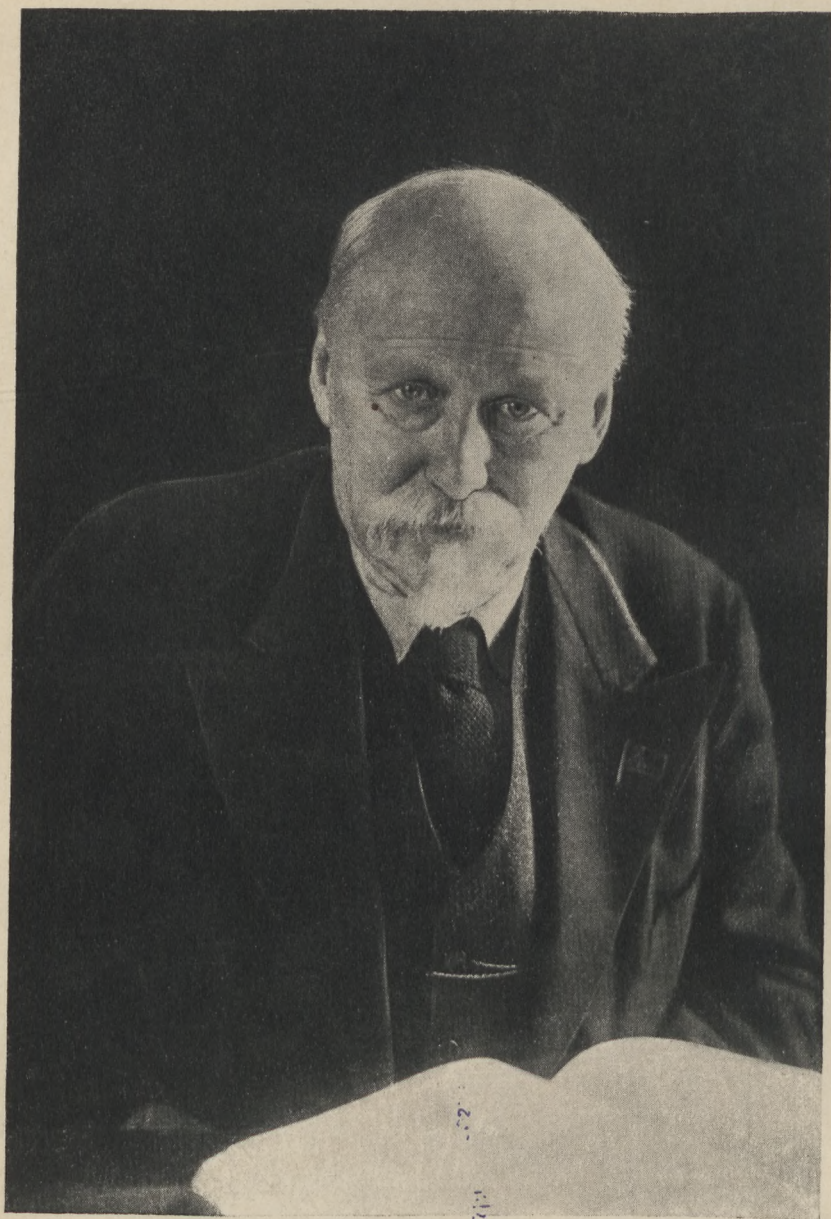




В. Комаров

1285483

mosca tal

Академик В. Л. КОМАРОВ

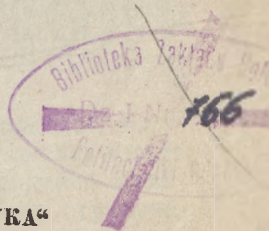
ВВЕДЕНИЕ В БОТАНИКУ

*Курс лекций,
прочитанных в Ленинградском государственном
ордена Ленина университете им. А. А. Жданова*

Под общей редакцией
Н. В. КОМАРОВОЙ

44

D 11/202



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО „СОВЕТСКАЯ НАУКА“
МОСКВА — 1949

201-



014598



Biblioteka
Uniwersytetu Gdańskiego



1100796057

XVI 13A

D 197/80/70

20,-

*„Любите свой народ, мои
юные друзья, изучайте его
историю, его культуру, его
науку, гордитесь русским
вкладом в сокровищницу мыс-
ли, а прежде всего и раньше
всего — учитесь защищать
свой народ от врагов“*

В. Л. КОМАРОВ

Обращение президента Академии
Наук СССР В. Л. Комарова к совет-
ской молодежи

„Правда“ от 29 октября 1943 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга «Введение в ботанику» академика Владимира Леонтьевича Комарова вводит в изучение ботанических дисциплин.

Давая своей книге название, автор имел в виду подчеркнуть ее общеобразовательное значение, в этой книге проведен тот основной принцип, который являлся для В. Л. Комарова руководящим в его долголетней педагогической деятельности по воспитанию кадров биологов: специалист любой из ботанических дисциплин — прежде всего биолог.

В книге В. Л. Комарова форма и структура растений рассматриваются на основе физиологических процессов и во взаимодействии со средой.

Соответственно основному направлению книги построен и ее план.

В вводной первой части книги рассматриваются происхождение и развитие растительного мира, раскрываются связи растений и животных, значение растений в природе и в хозяйственной деятельности человека. Вторая часть посвящена вегетативной жизни растений. Клетка трактуется как единица, выполняющая жизненные функции посредством своих живых частей — органоидов. Дифференциация тканей в многоклеточном организме рассматривается как исторически сложившийся результат специализации клеток, приспособленных к определенным функциям; органы изучаются как специализированные части единого целого, способные под воздействием среды к широкому метаморфозу. В итоге, растение вырисовывается перед читателем как живое пластичное целое в его многообразных жизненных проявлениях и в его развитии.

Третья часть книги посвящена размножению растений. Вегетативное и половое размножение, биология цветения и плодоношения разобраны с эволюционной точки зрения.

«Введение в ботанику» создавалось на основе лекций, прочитанных В. Л. Комаровым в советской высшей школе, когда он возглавлял кафедру ботаники в Петроградском — Ленинградском университете.

В связи с избранием в 1936 году на пост президента Академии Наук СССР В. Л. Комаров переехал в Москву.

Это был последний год, когда В. Л. прочел в Ленинградском государственном университете «Введение в ботанику», но и в последующие годы он не терял связи с университетом, кафедрой и учащейся молодежью. Посещая Ленинград, В. Л. нередко выступал перед студенческой аудиторией, читая очередную (по ходу курса) лекцию.

В 1935 году курс лекций В. Л. Комарова был застенографирован.

Подготавливая к печати этот курс, В. Л. Комаров успел обработать

лишь первые девять глав, остальные стенограммы остались необработанными автором и были обработаны его учениками: проф. О. Н. Радкевич — 10-я глава, доц. О. А. Муравьевой — 11—17-я главы.

Подбор иллюстраций, руководство их выполнением, а также первоначальная редакционная обработка книги проведены доц. О. А. Муравьевой.

Книга «Введение в ботанику» органически связана с книгой В. Л. Комарова «Практический курс анатомии растений» (1-е изд. в 1905 г., последнее, 8-е, в 1941 г.).

Эти две книги логически дополняют друг друга.

При окончательном редактировании ответственным редактором проф. Л. В. Кудряшевым в книгу внесены необходимые изменения и дополнения, отражающие достижения биологической науки за годы, отделяющие нас от времени работы В. Л. Комарова над книгой.

Эти дополнения даны частично в виде примечаний, а частично включены в текст книги и заключены в квадратные скобки.

Книга рассчитана на широкий круг лиц, интересующихся жизнью растений. Она содержит обширный ботанический материал и, несомненно, принесет большую пользу всем, кто интересуется и занимается изучением ботаники.

Всем лицам, оказавшим в той или иной форме помощь в подготовке этой книги к печати, выражаю благодарность.

Н. В. Комарова

ГЛАВА I

КОСМИЧЕСКАЯ РОЛЬ РАСТЕНИЙ, ИХ РОЛЬ В КРУГОВОРОТЕ ВЕЩЕСТВ НА ЗЕМЛЕ, ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ

Упал на землю луч солнца, упал и погас. Так говорит нам наше непосредственное восприятие, наш ежедневный опыт. За каждым днем следует ночь — темнота и охлаждение. К концу ночи, перед восходом солнца, температура, как правило, минимальная за сутки. То тепло, которое накопилось за день, за ночь частично или даже целиком улетучилось.

На самом деле, однако, дело обстоит иначе. Луч солнца, падающий на землю, не исчезает, он производит работу. Пускай мы ежедневно вечером видим, как наступает ночь, но каждый день от того солнечного сияния, которое досталось на долю земли, что-то остается.

Посмотрим, что же может остаться от такого мимолетного явления, как луч света. Он упал, погас, но не исчез, а лишь переменял форму.

Представим себе, что перед нами не земля, тот прекрасный мир, в котором мы живем, а луна, на которую также льются лучи солнца, но на которой нет ни атмосферы, ни воды. Картина лунного мира гораздо проще, чем то, что мы видим на земле. Там легче понять, куда деваются солнечные лучи.

Телескоп показывает нам, что на луне есть горы и равнины, скалы. Что же может сделать солнечный луч в этом скудном мире камня и песка, где больше ничего нет? Когда он падает на поверхность какого-либо твердого тела, то частично переходит в тепло, предмет нагревается. Лунный день длинный, солнце палит нещадно. Затем наступает длинная ночь и с ней сильное охлаждение (сутки на луне продолжаются целый месяц: полмесяца — день и полмесяца — ночь). Днем горные породы, составляющие поверхность луны, от действия солнца расширяются, причем составляющие их минералы расширяются неодинаково, отчего и связь их между собой нарушается; то же происходит и ночью, при охлаждении. Благодаря отсутствию или крайней разреженности лунной атмосферы лучи солнца доходят до поверхности луны без поглощения, то есть действуют значительно сильнее, чем мы можем это наблюдать на земле. Происходит разрушение горных пород под влиянием перемен температуры, соответственно тепловой и морозной эрозии земных горных пород. Под влиянием этой термической эрозии горы постепенно разрушаются, отдельные камни под влиянием силы тяжести падают вниз и образуют скопление камней, а эти последние под влиянием дальнейшей эрозии рассыпаются, превращаясь в песок.

А еще что? Больше ничего.

Значит, на луне от солнечных лучей сохраняется лишь эффект разрушения и перемещения минеральных частиц.

Теперь предположим, что перед нами иной мир, несколько более богатый, где, кроме каменных горных пород, есть еще воздух. Воды нет, но газообразные вещества образуют атмосферу. На планете, имеющей атмосферу, к явлениям эрозии прибавится еще передвижение газовых масс — явление ветра. Так как нагревание идет неравномерно, часть данной планеты, повернутая к солнцу, освещенная, вместе с тем будет и нагреваться, тогда как противоположная часть будет охлаждаться. Воздух, расширяясь от нагревания, будет передвигаться от стороны освещенной к стороне затененной, произойдет ряд воздушных течений, выражающихся в более или менее сильном ветре. Следовательно, мир явлений, обязанный своим происхождением солнечным лучам, будет богаче: кроме нагревания, появятся еще и ветер. Теперь быстрее пойдет эрозия, так как, кроме термической эрозии, появится еще и эрозия эоловая или ветровая.

Далее. Существуют планеты, где кроме каменной коры и атмосферы есть еще и вода. Здесь мир явлений еще богаче: если есть моря, то к явлениям эрозии и ветра прибавятся еще и морские течения, образование облаков, их движение, дождь и снег. Падая на каменную поверхность планеты, дожди будут разъедать камень, к эрозии термической, к эрозии эоловой присоединится еще и эрозия водная. Все движения воздуха и воды совершаются за счет превращения солнечных лучей в тепло и механическое движение.

Теперь изучим такой, еще более сложный мир, где к рассмотренным только что явлениям присоединяется зеленый покров растений, где есть моховый и травяные ковры, кустарники и деревья. Что мы увидим здесь? Увидим следующее. Солнечные лучи, падающие на зеленую поверхность листьев, превращаются в этих листьях не только в тепло, но и в химическую энергию. Они являются источником синтеза, источником образования сложных химических соединений. Растения растут, увеличиваются в размерах, накапливают питательные вещества, развивают листву, цветы и плоды, затем полностью или частично погибают, падают на землю, образуют перегной, а в известных условиях, при затрудненном доступе воздуха, например в болотах или затянутые песком, медленно тлеют, образуя торф или каменный уголь. Те пласты каменного угля, которые мы находим в земной коре и используем для наших топок, — различного возраста. Есть сравнительно молодые, например третичные, угли, есть и очень древние — каменноугольного периода или даже девонского, насчитывающие много сотен миллионов лет своего существования.

Следовательно, там, где солнечный луч — только световой луч, он явление мгновенное.

Там, где солнечный луч переходит в тепло, он производит механические движения в виде эрозии.

Там, где есть воздух, солнечный луч задерживается в явлении ветра.

Там, где есть еще и вода, он является движущей причиной образования морских течений, облаков, дождей и пр.

Но все-таки все подобные явления продолжаются днями, может быть неделями, а затем заключенная в них работа медленно затухает. Там же, где световой луч падает на зеленые листья растений, он задерживается надолго в виде химической энергии, связывающей атомы в сложные соединения; в виде горючих ископаемых он может быть задержан на поверхности земли на бесконечно долгое время. И только, когда мы ставим каменный уголь в условия горения, когда он, сгорая, разрушается, он снова отдает окружающему его миру то тепло и тот свет, которые когда-то, очень давно, солнечные лучи принесли на землю.

Здесь идет накопление энергии. Каждый день в тех областях земли, где лето, где температура выше ноля, происходит накопление энергии за счет падающего света, и земля обогащается возможностью новых явлений.

Теперь позвольте напомнить, что великий закон превращения вещества и энергии был открыт основателем русской науки — М. В. Ломоносовым.

Он стал основным законом естествознания, а если слить его вместе с законом постоянства материи [также открытым Ломоносовым], то получится наиболее общий закон природы, выражающий смену форм движущегося вещества. Никакая форма материи и движения не исчезает, не превратившись в другую, и никакая не появляется вновь, не возникнув путем превращения другой, причем общее количество материи и энергии остается неизменным. Все явления, совершающиеся в мире, все движения, словом, все доступные нашему восприятию явления включаются в общую цепь.

Где же источник всего этого?

Мы всматриваемся в окружающий нас мир и видим, что явления, развертывающиеся на поверхности земли, от нее самой могут заимствовать очень мало. На глубине — где десятков, где сотен километров — находятся раскаленные недра, содержащие в себе громадный источник энергии, но этот источник проявляется на поверхности лишь в виде землетрясений и вулканических извержений, явлений редких, которых большинство из нас не видало.

Главным источником энергии для осуществления процессов, происходящих на поверхности земли, практически же почти единственным, является солнечный луч. Когда он падает на листья растений, то задерживается, превращается в химическую энергию и в виде горючего или же в виде пищевых веществ, необходимых для нашего тела, начинает работать дальше, постепенно меняя и формы, в которые его работа превращается.

Откуда же берутся пищевые вещества?

Что дает нам минеральный мир для поддержания жизни? Не говоря о воде, как необходимом условии жизни, мы употребляем поваренную соль, которая, хотя и усваивается организмом, но пищевой собственно не является, а представляет собой одно из условий для переваривания пищи. Она дает в желудке соляную кислоту, которая необходима для того, чтобы пищевые вещества принимали удобоваримую форму.

Голодающие жители Южной Америки пробовали есть некоторые сорта глин, которые кажутся наощупь жирными. Но что получается далее? Живот человека, который ест эту жирную глину, раздувается, а сам он страшно худеет, потому что глина не растворяется, не переваривается. И человек губит себя таким образом быстрее, чем если бы он ничего не ел.

Значит, минеральными веществами питаться нельзя. А чем же можно?

Если мы станем анализировать все, что мы едим, то окажется, что вся пища, какой бы разнообразной она ни была, сводится к трем основным группам химических (органических) соединений:

1. Углеводы (сахар, крахмал и т. п.).
2. Жиры.
3. Белки.

Только три группы органических соединений действительно поддерживают жизнь и здоровье. В последнее время к ним отнесли еще группу витаминов.

Откуда же все они берутся?

Из растительного и животного сырья.

Большая часть человечества питается рисом, кукурузой, пшеницей, рожью, просом, картофелем, бобами, плодами деревьев и другими растительными продуктами.

Наоборот, народы Крайнего Севера, например, жители Чукотского края, эскимосы Америки и др., почти не видят растительной пищи, питаясь продуктами охоты и рыбной ловли. Также и кочевые народы Юга, живущие в степях и полупустынях, а то и среди настоящей пустыни, питаются, главным образом, молоком и мясом баранов, растительной пищи у них очень мало.

Однако человек, который питается мясом, может подумать и о том, откуда это мясо берется, откуда взялись составные части этого мяса — белковые вещества и жиры. Животное ест траву или какие-нибудь морские растения, например водоросли, и претворяет их в вещества своего тела; это последнее состоит, главным образом, из белковых тел и жиров, выработанных в результате переваривания растительной пищи. Следовательно, первичным источником как животной, так и человеческой жизни всегда является какое-нибудь растение, иногда крупное (дерево, трава), иногда мелкое, как, например, микроскопические водоросли, живущие в море (источник питания многих животных моря). И оказывается, что, в то время как животное питается всегда готовыми углеводами, белками и жирами, растения в своем распоряжении их не имеют, а вырабатывают наново за счет тех химических элементов, которые необходимы для образования углеводов, жиров и белков, а также солнечного света, потому что пищевые вещества характеризуются не только составляющими их атомами, но еще и большими запасами скрытой в их массе энергии.

Если мы говорим, что мы голодны, когда мы требуем пищи, то это, собственно, значит, что нам нужно возобновить запас энергии, за счет которой мы производим физическую и умственную работу. Мы не для того работаем, чтобы есть, а для того едим, чтобы работать, ибо работа есть нормальный смысл нашего существования.

Животная пища, которую мы получаем, образована животными за счет растений. И существует определенная противоположность между животными и растениями, которая состоит в том, что животное питается готовыми углеводами; жирами и белками, а растение создает эти необходимые ему соединения наново, как бы из ничего.

Но разве может быть что-либо, происходящее из ничего? Конечно, этого быть не может. Следовательно, неизбежен вопрос — откуда? Что есть в распоряжении растений? Воздух, вода, земля. Все это тела, взятые из мира неорганического.

Значит, растения создают органические вещества, те самые органические вещества, из которых состоит их тело, совершенно наново, из элементов мира неорганического.

Если мы сделаем элементарный анализ углеводов, жиров и белков, то мы увидим, что в их состав входят следующие элементы: углерод, водород, кислород, азот, сера, фосфор, калий, кальций, магний, железо и другие минеральные вещества, однако уже в ничтожных количествах.

Сочетания углерода, водорода и кислорода достаточно, чтобы образовывать углеводы (сахар, крахмал, клетчатка и др.) и жиры, а для белковых тел требуется еще азот, сера и в некоторых случаях фосфор.

Откуда растение может взять углерод? Из воздуха, ибо в состав воздуха входит углекислый газ (ангидрид углекислоты CO_2). Откуда водород и кислород? Из воды. А азот? Из почвы и воздуха, где его необъятно много.

Сера и фосфор, конечно, берутся из минеральных веществ. Следовательно, минеральный мир принимает участие в составе пищи.

Если под колокол, в замкнутое, изолированное от внешнего воздуха

пространство, поместить какое-либо животное, скажем мышь, то через некоторое время кислород воздуха, поддерживающий жизненный процесс, истощится, мышь замрет, хотя и можно еще ее оживить. Далее, мы вводим в это пространство зеленую ветку. Теперь перед нами заключенный в данном пространстве воздух, содержащий много углекислоты. Мы имеем, кроме того, обмершее животное, зеленую ветку и солнечный луч, так как опыт этот производим на свету. Животное оправляется, дышит, бегает. Из этих опытов мы получаем весьма важное сведение, что присутствие на свету зеленой ветки вызывает появление кислорода, которого не было. Мышь можно заменить в опыте раскаленным угольком, который затухает, как скоро истощится запас кислорода под колоколом, и снова вспыхивает, как только кислород появится. В дальнейшем легко убедиться, что опыт этот удастся только при наличии углекислоты: в присутствии зеленой ветки углерод углекислоты удерживается растением, и при этом выделяется свободный кислород.

Что же, собственно, происходит в зеленом листе, в самом растении при этих условиях, куда девается углерод и какая сила отделяет углерод от кислорода?

Мы отвечаем на это так: CO_2 и H_2O — углекислый газ и вода в условиях, в которые они попадают внутри зеленого листа на свету, диссоциируют, и в итоге образуется органическое соединение, известное под именем формальдегида CH_2O и свободный кислород O_2 .

Значит, с одной стороны, в растении происходит образование формальдегида и одновременно освобождение кислорода, входившего ранее в состав углекислоты. При дыхании, как и при горении, углерод в нашем организме связывается с кислородом воздуха, воздух беднеет кислородом и насыщается углекислотой.

Все происходящее на поверхности нашей планеты явления окисления, от вулканических извержений и лесных пожаров до горения в топках наших заводов, а также дыхание людей и животных выбрасывают в атмосферу громадное количество углекислого газа, а между тем процент его в атмосфере почти не меняется. И так длится уже бесконечное количество времени. Почему? Потому, что на земле установился определенный круговорот углерода. Процессы окисления углерода выбрасывают в атмосферу углекислый газ, а процесс жизни растений освобождает атмосферу от этого газа, чем и поддерживается нормальное содержание углекислого газа в воздухе. Если бы земля потеряла свой зеленый покров, то количество углекислого газа стало бы увеличиваться, а количество кислорода уменьшаться, и мы бы это ощутили через некоторое время на нашем дыхании.

Из углекислого газа и воды получается, как мы видели, формальдегид, а из формальдегида можно путем уплотнения его шести частиц представить себе образование одной частицы более сложного органического соединения $6(\text{CH}_2\text{O})$ — $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, содержащего в себе 674 калории, то есть мы получаем глюкозу, один из наиболее распространенных сахаров, придающий сладкий вкус плодам и другим частям растений. Этот процесс — создание органических веществ (сахара) из исходных неорганических (углекислоты и воды), происходящий в зеленом листе на свету, получил название фотосинтеза¹. Возможно до-

¹ Наши представления о химизме и течении процесса фотосинтеза в последнее время существенно изменились. Хотя и в настоящее время наши знания о течении этого процесса являются далеко не полными, несомненно, однако, что фотосинтез состоит из ряда фаз, строго координированных друг с другом. При этом одни фазы могут осуществляться только на свету, другие протекают в темноте.

Первые фазы фотосинтеза являются фотохимическими т. е. осуществляются при поглощении световой энергии, направляемой хлорофиллом на воду... Свободный кислород, образующийся в результате фотосинтеза и выделяющийся в атмосферу, по современным представлениям, получившим и экспериментальное подтверждение, является кислородом, прежде входившим в состав воды, а не углекислоты. Водород же

вольно большое накопление этого сахара и его превращение в крахмал. Итак, растение не только строит свое тело из продуктов усвоения углекислоты и воды, не только дышит за их счет, но и накапливает пищевые вещества про запас и снабжает ими животных и людей. Глюкоза является при этом исходным материалом при выработке более сложных веществ, в том числе жиров и белков.

Таким образом, значение растительного мира в окружающей нас среде является для нас первостепенным. Растения вырабатывают органические вещества, все чем мы питаемся, хотя бы это и прошло через тело животного.

Затем растения дают горючее, как образующееся на наших глазах — дрова, так и ископаемое — накопление растительного вещества в виде каменного угля, торфа и т. д.

Затем растение дает материал для стройки, для производства бумаги, для производства одежды (лен, конопля, хлопчатник), веревок, дубителей (дубление кожи), красителей, различных лекарств, веществ ароматических, вкусовых, многие химические реактивы, как спирт, уксусная кислота, лимонная кислота и пр. Одним словом, кроме обработки металлов и так называемых нерудных ископаемых, вся наша индустрия есть обработка веществ, образованных бесчисленными растениями за счет работы солнечного луча. Получается тесная связь между солнечным лучом, растением и человеком, ибо для нас пищевые вещества и горючее важны не только как материал, а, главным образом, как источник энергии.

Эта тесная связь является первым и основным положением ботаники. Из него вытекает все остальное, потому что растение с известной точки зрения есть как бы световая машина, вырабатывающая запас энергии за счет световых лучей. Растение, усваивая углерод, одновременно усваивает и солнечную энергию. В этом состоит мировая космическая роль зеленого растения, как это ярко показал в ряде своих работ К. А. Тимирязев. Можно учитывать килограмм хлеба, как определенное количество углерода, водорода, кислорода, азота, фосфора, серы, калия и пр., и можно определить его как 2167 калорий, полученных через усвоение пшеницей соответствующего количества солнечных лучей и последующего превращения деятельной энергии света в химическую энергию углеводов, белков и жиров пшеничного зерна, из которого испечен хлеб.

Итак, мы установили, что растение образует органическое вещество, а вместе с ним и запасы химической энергии за счет солнечного света и химических элементов, заимствованных из неорганической природы (воздух, вода и минеральные составные части почвы).

[Как же возникли растения, как вообще возникла жизнь на земле?]

Существует несколько теорий о том, как произошла земля. Гипотезы эти различны. Согласно некоторым из них, в развитии земли был период, когда она представляла собой не твердое тело, а массу газообразных веществ. В известный период времени это газообразное вещество имело очень высокую температуру, определяемую тысячами градусов.

Исходной точкой нашего рассуждения мы берем гипотезу, что на земле в тот период времени ничего живого существовать не могло, потому что все живое состоит из веществ, которые начинают разрушаться при температуре в 70° , и мы, следовательно, ничего живого

восстанавливает углекислоту, образуя соединения, служащие материалом для последующего синтеза углеводов. Что касается кислорода, входившего в состав углекислого газа, то он в атмосферу не выделяется, а участвует во внутриклеточных физиологических процессах.

Вопрос о первичном продукте фотосинтеза в настоящее время находится в стадии пересмотра и переработки]. Ред.

представить себе при температуре в 1000 и более градусов не можем. Наиболее стойкие споры бактерий выдерживают температуру около $+100^{\circ}$, но при очень высоких температурах всякое органическое вещество обычно превращается в воду, углекислый газ и золу.

Зная это, мы говорим смело, что когда-то на земле ничего живого не было. Для того, чтобы оно появилось, должны были прежде всего создаться такие условия, при которых возможно было наличие органических соединений, входящих в состав живого, а затем могли бы образоваться и функционировать живые существа, хотя бы в самой первобытной форме.

Какие же это условия?

Нужны умеренная температура, воздух, вода с растворенными в ней веществами, т. е. та среда, в которой был бы возможен обмен веществ, составляющий суть жизненного процесса.

Историю образования на поверхности земли подобных условий мы рисуем себе следующим образом. Первоначально вся газообразная масса была более или менее однородна. Но так как она излучала тепло своей поверхностью и была одновременно во вращательном движении, то началась дифференциация ее на слои, причем наиболее легкие вещества были отброшены к поверхности, наиболее плотные — к центру. Наружные слои газообразных веществ образовали воздушную оболочку земли — атмосферу. Вода при высокой температуре могла существовать только в парообразном состоянии в более охлажденных верхних частях атмосферы.

Затем при дальнейшем охлаждении, при излучении тепла в межпланетное пространство, начала постепенно выделяться вода. Как сначала газообразные вещества образовали наружную оболочку земли — атмосферу, так теперь вода образует вторую оболочку — водную — гидросферу.

Согласно одной из гипотез, вся земля имела довольно ровную поверхность и была равномерно залита водой (учение о первичном океане).

Затем образовалась каменная кора, так называемая литосфера, а внутри сохранилась нагретая масса первичного ядра, тоже дифференцировавшаяся по мере охлаждения на пласты различной плотности; так, главная масса сравнительно легкого кремнезема сконцентрировалась ближе к поверхности литосферы. Между атмосферой и гидросферой происходил постоянный обмен: под влиянием солнца вода испаряется, поднимается в атмосферу, охлаждается и затем падает в виде дождя или снега, при этом вода все время меняет свою фазу: то она жидкая, то газообразная. В воде могут быть растворены углекислота и другие примеси, которые действуют как растворители на горные породы литосферы. Появляются растворы минеральных веществ.

К тому времени, когда на земле установился нормальный круговорот воды, и появились водные растворы, произошло охлаждение наружной коры; препятствуя разрушительному действию внутреннего жара, она обусловила более или менее среднюю температуру, и тогда на поверхности земли сложились условия, при которых возможность появления жизни стала реальной.

Всем известно, что, согласно теории Ч. Дарвина, более совершенные высшие организмы, растительные и животные, происходят от менее совершенных, а эти последние — от первичных организмов, имеющих крайне простое строение. Сейчас мы знаем уже, что среди микробов имеются организмы, находящиеся на пороге видимости; их почти не видно в микроскоп, при самых сильных увеличениях они лишены видимой структуры, и мы узнаем об их существовании по их действию на окружающую среду, по их способности вырабатывать катализаторы и производить химические реакции, в их отсутствии не происходящие.

Еще ниже бактерий стоит бактериофаг, еще ниже — органические вирусы — живое вещество, проходящее через фильтр и лишенное видимой организации, еще ниже — вирусы кристаллизующиеся, но все еще способные к размножению и вызывающие специфические заболевания у зараженных ими растений.

Все это показывает, что в самом начале жизни могли возникнуть такие примитивные существа, которые способны действовать на окружающую их среду и в свою очередь связанные с еще более древним скоплением коллоидальных веществ в воде.

Микробиологи совместно с геологами утверждают, что на скалах у гребней высоких гор мы и сейчас находим простейшие бактериальные организмы, которые живут на поверхности камней, на известняках или на гранитах, увлажняемых оседающим на них туманом. Они понемногу растворяют поверхность камня и за счет камня, воды и воздуха строят свое тело.

Вопрос таков: если установлено, что когда-то на земле появились первичные организмы, то необходимо решить и вопрос — где, т. е. в какой обстановке это произошло?

Многие утверждали, что они появились на дне первобытного океана. Однако самое существование этого океана гипотетично, возможно, что его не было. Молодая кора земли испытывала в первые времена своего существования большое напряжение, благодаря тому, что изнутри на нее давила расплавленная масса ядра земли, поэтому образовались понижения и повышения, и вода скоплялась в понижениях. Это вероятнее, чем думать, будто бы поверхность земли была ровная и равномерно покрытая водой.

Снова вопрос. Предположим, что первые организмы, которые появились, могли жить или в воде, или на поверхности первозданных скал, но откуда они взялись? Были ли они кем-либо сотворены, или явились результатом известных изменений вещества, находившегося на поверхности земли?

В науке боролись две гипотезы: по одной организмы были сотворены (креационизм), по другой возникли сами собой (самозарождение). Опыт нам показывает, что все живые организмы, населяющие нашу землю, рождаются от себе подобных. Мы в окружающей нас среде самозарождения не видим, но самозарождение являлось совершенно естественной гипотезой для материалистов XVII и XVIII веков. В начале XIX в., 140 лет назад, французский ученый Ламарк, который впервые выступил с теорией эволюции, начинал процесс эволюции как раз с самозарождения. Обладая очень плохим микроскопом (тогда лучших не было), он все же потратил много времени на изучение микроскопических организмов, более простых, чем инфузории.

Эти организмы появлялись каким-то чудом. Например, в жаркий день берешь на дороге пыль, размещаешь ее с водой, в микроскоп сначала видишь только песчинки, а через несколько времени появляется масса живых существ, которые двигаются, нередко пожирают друг друга и пр. Откуда они взялись? Трудно, пожалуй, было представить себе, что эти организмы способны очень подолгу оставаться без всяких признаков жизни, а затем снова оживать, как только налицо будут вода и соответствующая температура.

Во времена Ламарка (книга его вышла в 1809 г.) казалось, что таким образом легко решается загадка происхождения жизни: в то время как животные рождаются друг от друга, из икры, яиц, а высшие растения — из семян, спор и пр., низшие могут якобы образовываться просто из дорожной пыли, всюду, где есть вода, воздух и необходимые минеральные вещества.

В середине прошлого века Французская академия наук назначила крупную премию за разрешение задачи — существует самозарождение

или нет. Пуше доказывал, что низшие существа образуются из настояев сами собой. Пастер утверждал обратное, что они образуются из различных ячеек и спор, т. е. от себе подобных.

[Однако еще задолго до Пастера ученые в своих опытах исследовали вопрос о том, могут ли ныне живущие низшие организмы зарождаться сами собой. Примером этому являются исследования М. М. Тереховского, работа которого вышла в 1775 г., т. е. за 107 лет до работы Пастера. М. М. Тереховский решительно высказывался против возможности самозарождения, подтверждая свою точку зрения результатами поставленных им разнообразных опытов. М. М. Тереховский вел наблюдения, повидимому, над свободноживущими пресноводными простейшими. Ученые в XVIII в. еще ничего не знали ни о существовании бактерий, ни о цистах простейших, а их много всюду — и в пыли, и в воде, и в воздухе. Последнее — самое важное, потому что именно воздух и его движения позволяют им проникать повсюду.

Если мы в комнатном воздухе, содержащем споры различных грибов, оставим открытой любую пищу, то она через некоторое время позеленеет, поскольку преобладают споры грибка *Penicillium*, или почернеет, если преобладают споры грибка *Aspergillus niger*, или ~~порожавеет~~, если преобладают споры грибка *Fusarium*. Споры этих трех грибов (и некоторых других) носятся в воздухе кругом нас. С бактериями дело обстоит еще хуже, потому что они еще мельче и еще выносливее.

Откуда же все они берутся?

Если мы будем изучать даже простейшие организмы, то и здесь мы найдем целый ряд градаций в строении и усложнении их особей.

Крупные бактерии позволяют изучать их строение, искать в них присутствие ядра, наблюдать их движение и изучать органы, с помощью которых они движутся. Простейшие бактерии — лишь еле заметные точки, даже при самых сильных увеличениях микроскопа. Далее идут уже крупные белковые молекулы, а не организмы.

Однако вопрос о простейших организмах не ограничивается тем, что видно в микроскоп. Важнее не то, как бактерии выглядят, а то, чем они питаются. Мы хорошо знаем бактерии патогенные, причиняющие болезни, и бактерии гниения; и те и другие требуют для своего существования наличия высших растений и животных, так как или паразитируют в них, или питаются их отбросами или остатками умерших. Существуют, однако, еще бактерии почвы и бактерии вод, которые могут существовать и за счет неорганического вещества. Бактериолог С. Н. Виноградский, исследуя бактерии почвы, обнаружил такие бактерии, которые могут существовать только на минеральном субстрате и погибают в присутствии белковых веществ и углеводов. Вместо обычного метода культуры на желатине их приходилось воспитывать на кремневых студнях. Есть бактерии, которые живут не за счет сжигания углерода, как огромное большинство растений и животных, а за счет окисления азота, серы, железа, кальция и пр. Жизненный процесс требует, чтобы непременно что-нибудь горело, окислялось, и непременно с выделением при этом энергии, а что именно окисляется, — это вопрос второстепенный. Такой процесс носит название экзотермического, и, с известной точки зрения, можно сказать, что жизнь принадлежит к явлениям экзотермическим, то есть выделяющим свободную энергию.

И вот, в какой-нибудь духе, пруде, яме с водой, где много отмерших животных и растений, появляется гниение, вода начинает издавать запах сероводорода. Исследование показывает, что обычно животные и растения там погибают, сероводород душит все. Он выделяется пузырями, имеет скверный запах, и где его много, — там обычная жизнь невозможна. Даже прекрасное Черное море, которое летом кажется

таким синим, особенно в хорошую погоду, на сравнительно небольшой глубине уже недоступно для жизни. Дельфины, рыбы, медузы и прочие представители животного мира живут в поверхностных слоях воды, а глубже в воде растворено столько сероводорода, что его не может вынести ничто живое. Говорят, что Черное море было когда-то большим пресным озером, заселенным массами пресноводных организмов, позднее же, когда образовался Босфор, морские воды из Средиземного моря проникли в Черное и сразу погубили в нем все живое. Массы этих пресноводных организмов сгнили, и сера, входившая в состав их белков, насытила воду (гипотеза Н. И. Андрусова). По мнению других авторов, сероводород Черного моря того же происхождения, что и сероводород мацестинских источников, и выходит из глубоких слоев земли.

Однако глубинный сероводород наверх не проникает. Оказалось, что в Черном море на определенном уровне находится слой, богатый бактериями, которые живут за счет окисления сероводорода. Сероводород сгорает в процессе этого окисления, а бактерии за счет этого процесса

растут, размножаются и строят такую плотную пленку, которая не пропускает сероводород в верхние слои воды. Подобное же явление имеет место и в глубоководных частях Каспийского моря. На севере, например вблизи Ленинграда, можно найти такие пруды, каналы и другие водоемы, где в силу того, что осенью отмирает много растений и животных, образуется путем гниения большое количество сероводорода, и вода становится безжизненной, а за

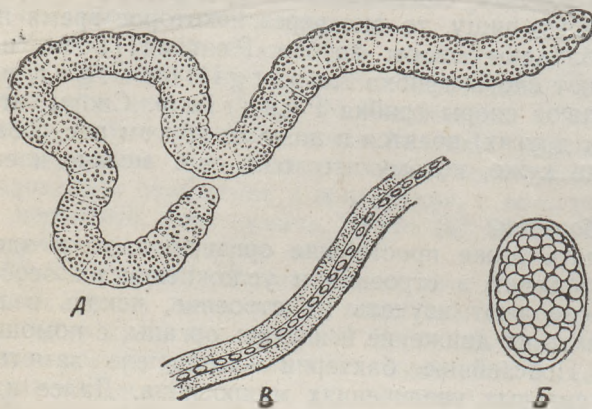


Рис. 1. А — Нить колоний серных бактерий (*Beggiatoa*); Б — серная бактерия (*Achromatium*) с каплями серы внутри; В — железобактерии (*Leptothrix oschasea*), заключенные в слизистое влагалище, пропитанное соединениями окиси железа.

тем в толще ее появляется помутнение, и под микроскопом вы видите (рис. 1, А) довольно длинные нити, которые двигаются и несут внутри массу блестящих шариков. Оказывается, что это сера: бактерии сжигают (окисляют) сероводород H_2S таким образом, что образуются вода и свободная сера, что дает 71 калорию, затем сера, отложенная в протоплазме серобактерий, окисляется в серную кислоту, освобождая при этом 2109 калорий. В отсутствие серы, как материала для дыхания, серобактерии погибают. Серная кислота вступает далее в соединение с имеющимися в воде основаниями, например с кальцием, и дает гипс. Таким образом, происходит освобождение воды от сероводорода, постепенное накопление сернокислых солей, которые никому не вредят, и водоем заселяется вновь свойственными ему организмами. Бактерии, сжигая сероводород, делают воду пригодной для жизни других организмов, сами же живут за счет окисления серы.

Эти и многие другие бактерии называются хемотрофными, т. е. питающимися за счет простых химических реакций. Сюда относятся серобактерии, железобактерии (рис. 1, В), азотобактерии и пр.

Следовательно, говорим мы, возможно появление на земле таких живых существ, которые могут жить самостоятельно, не используя органической пищи, которым не нужно ни углеводов, ни жиров, ни белков, а достаточно удобоокисляемых минеральных веществ. Эти пер-

вые организмы, которые появились на земле, были тесно связаны с минеральными растворами и простыми химическими реакциями, среди которых реакциям окисления принадлежит выдающаяся роль. Достоинством этой гипотезы является материалистическое объяснение жизненных явлений, но она не решает вопроса о происхождении белковых тел и, в частности, вопроса о происхождении органических катализаторов или энзим, регулирующих реакции, совокупность которых и определяет жизненный процесс простейших организмов.

Многие с этой простой гипотезой не согласны. Особенно не нравилась она виталистам, охотно принимающим гипотезу, согласно которой зачатки жизни приносятся на землю с других небесных тел вместе с метеоритами (иначе — аэролиты, болиды или падающие звезды), которые ночью бороздят небо и от времени до времени падают на землю в виде дождя камней или различной величины каменных обломков, причем некоторые из них содержат в отдельных случаях прослойки угля. Метеориты происходят оттого, что где-то далеко на небе от времени до времени происходят взрывы комет или мелких планет из группы астероидов, которые рассыпаются на мелкие осколки. Возможно, что эти планеты были когда-то цветущими мирами, на которых кипела жизнь; их взрыв должен был уничтожить все живое, но раз уголь не сгорел, то могли не уничтожиться и споры некоторых бактерий и с таким куском камня попасть на землю. Кроме того, споры могут самостоятельно попадать на землю с других миров, потому что световой луч может двигать очень легкие частицы, а так как бактерии очень малы и легки, то почему бы не предположить, что они, так сказать, путешествуют на крыльях света, отделяясь с поверхности более старых миров (теория панспермии Аррениуса). Иначе говоря, жизнь так же вечна, как извечны материя и энергия. А раз так, то и нечего ломать себе голову над вопросом, как появилась жизнь на земле.

Однако это допущение совершенно произвольно. Мы знаем, как негостеприимен межпланетный мир, с чрезвычайно низкой температурой (273° ниже нуля) и чрезвычайно сухостью, тогда как организмы без следов воды существовать не могут. Затем поражает время, которое необходимо для того, чтобы перелететь с одного мира на другой: необходимы годы для перелета с одной планеты на другую в пределах солнечной системы и многие столетия или тысячелетия для перелета с других звездных систем. Наконец, ультрафиолетовые лучи, которыми изобилует свет звезд, неминуемо должны убить все зародыши жизни, если они попадут в межпланетное пространство (на земной поверхности от их губительного действия предохраняет окружающая землю атмосфера). Поэтому, если взять всю совокупность условий, в которых оказался бы даже наиболее стойкий из организмов, нам известных, то гипотеза Аррениуса становится невероятной.

Ясно, что это не материалистическая гипотеза. Последняя требует более широкого взгляда на мир, как на эволюционирующее явление. В центре стоит эволюция вещества на основе химических элементов и их соединений.

По мере остывания нашей планеты формировался мир ее минералов: возникали сложные тела, соединения кремнезема, с одной стороны, углерода и азота — с другой. В конце концов возник тот сложный мир, который в наших глазах является наиболее сложным из всех, именно мир живых существ. Возможные пути образования белковых соединений до появления живых организмов излагаются в теории, разработанной советским ученым, акад. А. И. Опариным¹. Так или иначе, но эволюция вещества, в частности эволюция органических со-

¹ А. И. Опарин, Возникновение жизни на Земле, изд. Академии наук СССР, Москва, 1941.

единений, т. е. соединения углерода с водородом, кислородом, азотом и другими элементами, — вот гипотеза, удовлетворяющая требованиям диалектического материализма.

Совершенно естественно предположить, что появление живых существ в первые миллионы лет существования охлажденной уже земной коры, когда создались впервые условия для обмена веществ, процесс эволюции углеродистых соединений сделал возможным зарождение таких организмов, которые, находясь на границе видимости наших микроскопов, могли бы, подобно хемотрофным бактериям, питаться минеральными растворами. Последующий процесс состоит в дальнейшей дифференцировке микроорганизмов. Среди этих бактериальных пленок образовывались и окрашенные организмы, а между ними и такие, которые вырабатывают хлорофилл, зеленое вещество, способное в клетках растения превращать солнечные лучи в химическую энергию углеводов, жиров и белков¹.

В итоге образовался слой живых существ, или биосфера, изучением которой много занимался акад. В. И. Вернадский, так как органический мир сильно влияет также и на геологические процессы. С этого момента на земле установился тот круг явлений, который мы видим и в котором колоссальную роль играют солнечные лучи. На земле происходит круговорот составляющих ее элементов, а затем в этот круговорот вовлекается неистощимый запас энергии солнечных лучей, которая может лежать в земле в виде каменного угля миллионы лет. Земля обогащается новыми процессами, на ней происходящими и объединяющими как минеральный мир, так и мир живых существ.

Устанавливается круговорот веществ, определенный порядок, определенный обмен между атмосферой, гидросферой, биосферой и лито-

¹ [В настоящее время хемосинтезирующие организмы не рассматриваются в качестве первичных. Они получают энергию, необходимую для ассимиляции за счет окисления неорганических веществ. CO_2 и свободного кислорода, однако, в первичной атмосфере земли не было. CO_2 появился в атмосфере лишь вторично, преимущественно биологическим путем, а свободный кислород — еще позднее, в результате фотосинтеза. Вопрос о возникновении и эволюции органических соединений и о происхождении первичных организмов наиболее разработан акад. А. И. Опарным, теория которого принимается современными биологами.]

Вкратце эти взгляды сводятся к следующему:

Первым необходимым условием для появления жизни на земле является наличие простейших органических веществ. Они появились не сразу. Образование их происходило в отдаленные периоды существования земли. Тогда возникли первые соединения углерода, причем не в форме углекислоты, как думали раньше, а в соединении с водородом, т. е. в так называемом восстановленном виде. Повидимому, и азот появился на земной поверхности также в восстановленном виде (аммиак NH_3).

При той высокой температуре, которая была на поверхности земли, эти первичные соединения углерода и азота, пройдя через ряд превращений, давали в насыщенной водяным паром атмосфере разнообразные кислородные и азотные производные углеводов.

При падении температуры земли водяной пар превратился в жидкость, и на землю пролились горячие ливни, которые увлекали с собой находившиеся в атмосфере простейшие органические соединения. Они оказались, таким образом, растворенными в водах первичного океана с самого начала его существования. Эти органические соединения продолжали взаимодействовать между собой, образуя уже более сложные высокомолекулярные органические вещества, в частности аминокислоты. В условиях первичной земной гидросферы легко могло происходить и соединение в комплексы отдельных аминокислот.

Таким образом, наряду с другими сложными органическими соединениями, могли, конечно, появиться и соединения типа белковых тел. Свойства белковых тел — их способность к разнообразным реакциям, к образованию высокомолекулярных комплексов — являлись предпосылкой для их перехода на более высокую ступень органического вещества, для их превращения в коллоидные образования. Эволюция коллоидных образований, в химическом строении которых заложены колоссальные возможности, привела, по мнению акад. Опарина, к возникновению живых существ.

Акад. Опарин считает, что эволюция белка от его коллоидного раствора до простейшего живого организма шла через образование так называемых коацерват-

сферой. Изменяясь под влиянием воды, воздуха и живых существ, каменная оболочка земли — литосфера — стала изменяться, создавая различные условия жизни для всех населяющих ее живых существ. А разнообразие жизненных условий повлекло за собой и изменение форм жизни. Жизненные условия не только становились с течением времени все более и более разнообразными, но и усложнялись, а вместе с тем и усложнялись, и еще теперь усложняются, формы жизни. Этот процесс носит название эволюции или прогрессивного развития всего живого, он охватывает и растения. Этим мы сразу устанавливаем историческую точку зрения на эволюцию растений.

Насколько разнообразен сейчас растительный мир?

Мы видим несколько определенных типов растений, мало похожих друг на друга. [К менее организованным, более простым относятся низшие растения] — бактерии и сине-зеленые или циановые водоросли. За ними идут водоросли зеленые, бурые, красные. Мир водорослей чрезвычайно разнообразен, даже размеры их колеблются от микроскопических, без микроскопа не видимых, до крупных в 50—60 м длины.

Близки к водорослям, но лишены хлорофилла и перешли на питание готовыми органическими веществами, грибы. К ним относятся не только крупные съедобные или близкие к съедобным формы, но и плесени. Очень близок к грибам тип лишайников.

Более высоко организованы высшие растения. [Они представлены рядом типов.

К наименее организованным высшим растениям относятся мохообразные. Эти растения еще тесно связаны в своем существовании с достаточным увлажнением. Мохообразные не имеют корней, функции

т. о. в. Коацервацией называется процесс расслоения коллоидного раствора на богатый коллоидными веществами жидкий осадок и свободную от коллоидов жидкую среду. Этот осадок, или коацерват, представляет собой жидкое тело, отделенное от окружающей его среды очень резкой гранью. Подобно этим коацерватам, протоплазма клеток пропитана водой и имеет жидкую консистенцию. Но, так же как и коацерваты, капля ее при помещении в воду не смешивается с последней, а образует шарик, ясно отграниченный от окружающего его раствора.

Акад. Опарин указывает, что «образование коацервата является весьма важным этапом в эволюции первичного органического вещества, в процессе самозарождения жизни». До появления коацерватов все органические вещества были как бы слиты с массой окружающей их жидкой водной среды. После образования коацерватов органические вещества сконцентрировались в ее определенных точках, причем между средой и коацерватом всегда имела резкая граница.

Всякое живое существо так же более или менее резко обособлено от внешней среды, в результате чего между ними устанавливаются сложные взаимоотношения, носящие название обмена веществ. В зачаточном виде такой обмен веществ был свойственен и первичным комплексным коацерватам. Обладая способностью адсорбировать различные вещества из окружающего их раствора, коацерваты могли разрастаться за счет этих веществ. В них появилась некоторая, хотя и очень элементарная и неустойчивая структура.

Появившись, коацерваты эволюционировали, приобретали качества все более высокого порядка, подчиняющиеся уже биологическим закономерностям. Другими словами, эволюция коацерватов привела к появлению на земле простейших первичных организмов.

Эти первичные организмы могли существовать и расти только в результате адсорбции и усвоения (т. е. ассимиляции) органических веществ, растворенных в окружающей их водной среде. Таким образом, способность к питанию органическими веществами возникла, повидимому, раньше способности организмов превращать неорганические соединения в органические вещества. Первичные простейшие организмы были, следовательно, организмами гетеротрофными. Аутотрофные организмы появились позднее, так как для этого способа питания необходимо наличие высоко дифференцированных структур, возникших уже на основе длительной эволюции живых организмов. Это относится как к зеленым аутотрофам, так и ко всем видам организмов, способных к хемосинтезу.

Что касается диссимилиции, то самым древним ее способом является, повидимому, маслянокислое, а затем молочнокислое и спиртовое брожения. Способность к кислородному дыханию, так же как и к аутотрофному питанию, появилась, очевидно, позднее]. *Ред.*

которых выполняют ризоиды; проводящая система в виде сосудистых пучков у них отсутствует.

Более сложными будут папоротникообразные, имеющие корень, стебель и листья, но лишенные семян и цветов. Затем идут голосеменные растения, к которым относятся наши хвойные растения.

И, наконец, цветковые растения или покрытосеменные, среди которых находятся те в высокой степени важные для нас организмы, которыми мы пользуемся, как источником пищи: хлебные злаки, картофель, накапливающий в своих клубнях громадное количество крахмала, подсолнечник, дающий в семенах масло и пр.

Растения остановились на более низкой ступени развития, чем животные, они не развили такого сложного строения, таких сложных органов и форм, как животные, они прикреплены к почве, и свойственные им движения мало заметны. Они остановились на сравнительно низкой ступени общего развития, но от этого несколько не умаляется их громадная роль в общем строе жизни на земле, потому что при этом растения имеют ту замечательную способность ассимилировать, строить органическое из неорганического, которая обеспечивает также и жизнь животных.

К миру растений мы вообще относим те живые существа, в состав которых входит хлорофилл, способный задерживать солнечные лучи и превращать световую энергию в химическую энергию их углеводистых соединений. Кроме того, сюда относятся также и те растения, которые почему-либо не развили хлорофилла, или же его потеряли. Тут мы имеем не абсолютный, а относительный критерий, и должны доказать, что данные организмы происходят от зеленых, вырабатывавших хлорофилл предков, или что они способны при некоторых других условиях существования выработать этот хлорофилл.

Основным критерием для отличия простейших растений от простейших животных является, следовательно, зеленая окраска, которую дает ей хлорофилл, способный превращать солнечный свет в химическую энергию. Древесные лягушки или древесные кузнечики также зеленые, в кузнечиках найден даже и хлорофилл, усвоенный ими вместе с их растительной пищей. Хлорофилл этот, однако, не действенный. Вырванный из своего растительного окружения, он теряет свою активность, утрачивает, как это точно доказано, способность ассимилировать и приобретает роль защитной окраски.

Итак, с физической точки зрения, растение является посредником между солнцем и миром земных явлений, связанных с жизнью. Оно ассимилирует углерод углекислоты воздуха и элементы воды и синтезирует углеводы, жиры и белки; оно prepares пищевые вещества и горючее, причем последнее может запасать впрок на миллионы лет. В то же время растение — живое существо, которое питается, дышит, растет, размножается и имеет свою историю. Начало этой истории — зарождение жизни на земле и первых растительных организмов, в частности, — мы уже проследили, продолжение же ее — общий рост растительного покрова земли и расчленение его на различные типы, связанные с геологическими эпохами земли, — рассмотрим в следующей главе.

ГЛАВА II

РАЗВИТИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА НА ЗЕМЛЕ ОТ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДО НАШЕГО ВРЕМЕНИ

Мы видели, что растение способно поглощать углекислый газ из воздуха, причем углерод задерживается в растении, а кислород освобождается и пополняет собой общий запас свободного кислорода атмосферы. Одновременно с этим растение использует энергию солнечных лучей, превращая ее в химическую энергию сложных органических соединений: углеводов, жиров и белков.

Вещества эти становятся затем источником энергии для всего живого, для человека, животных и самих растений. Кроме того, они же составляют материал для процессов горения и, в виде топлива, являются пока главным энергетическим ресурсом нашей промышленности. Можно сделать предположение, что растение должно быть наилучшим образом устроено для осуществления указанных только что задач. Никто, однако, растения не создавал и не строил.

Растения выработались в результате сложного исторического процесса путем постоянного приспособления их организма к внешней среде, постоянного взаимодействия организмов и среды.

Геология учит нас, что все существующие на земле толщи известняков аморфных или кристаллических (например, мрамор) появились как продукт жизнедеятельности организмов, при жизни концентрировавших из водных растворов кальций в виде твердых отложений. Известняки составляют в поверхностных осадочных образованиях земной коры значительный процент. Благодаря такой концентрации кальция, земная кора, как обиталище всего живого, была изменена.

Далее, по некоторым данным, наши железные руды являются результатом жизнедеятельности так называемых железобактерий (см. рис. 1, В), которые окисляют растворимые в воде соли закиси железа и превращают их уже в нерастворимые окисные соединения, образуя скопление рудного железа.

Путем медленного тления растительных остатков под наносами песков и глин образовались залежи каменного угля, в болотах — залежи торфа. Словом, громадные скопления углерода и его соединений — результат работы растений.

Далее мы увидим, что бактерии и зеленые растения являются еще и почвообразователями, образуя так называемый перегной или гумус.

В то время как изменялась земная кора под влиянием работы организмов, изменялся и состав атмосферы, из которой зеленые растения постоянно выводили углерод и которую столь же постоянно обогащали свободным кислородом.

[Растения обитают в самых разнообразных средах.] В морской воде мы находим различную соленость, различное содержание растворенных в ней кислорода и других газов, различное освещение. Лучи солнца, проникая в воду, теряют постепенно лучи левой половины спектра (красные, оранжевые, желтые) и понемногу затухают. Следовательно, на различной глубине — различное освещение. Обильная растительная жизнь существует только в поверхностных слоях воды, чем прозрачнее вода, тем глубже, но глубже ста с лишним метров она прекращается. На глубине 1000 м царит уже абсолютная темнота. Однако и в этом стометровом слое условия жизни, освещения, газовый обмен, поглощение минеральных веществ чрезвычайно различны.

Растения суши также находятся в различных условиях освещения: в местах, расположенных ближе к полюсам, летом — длинный день, зимой — длинная ночь; в местах, близких к экватору, — равномерная смена дня и ночи по 12 часов. Различны также условия почвы; различно содержание газов в воздухе; различно доступное растениям количество воды, а также ее температура.



Рис. 2. Отпечаток листьев клена (*Acer trilobatum*) на камне.

Одним словом, все различно в различных местах земли. Даже на небольшом клочке земли, где-нибудь под Москвой или Ленинградом, в овраге или на ровном месте, на крутых склонах речных берегов, в тени леса или на солнцепеке, на глине или на песке, условия жизни растений сильно отличаются.

Растения, возникшие когда-то в виде простейших организмов, лишен-

ных еще видимой структуры, начали, как говорят, дифференцироваться, делаться различными, применяясь к определенным условиям внешней среды; это влияние среды на организм изменяло его физиологические процессы и привело к тому, что растения становились все более различными, и мы имеем в настоящее время от полумиллиона до миллиона различных растений [как высших, так и низших].

Однако путь, который прошел растительный мир, пока стал таким, каким мы его видим в настоящее время, — это длинный исторический путь. Поэтому, прежде чем мы перейдем к строению и функциям растений, мы должны бросить взгляд на прошлое, на соответствующие страницы из истории земли.

Всякая история основывается на сохранившихся от прошлого документах. И в нашем распоряжении также находятся точные документы: это — окаменелости и отпечатки, сохранившиеся в осадочных пластах земной коры (рис. 2 и 3). И теперь, на наших глазах, на дне морских заливов, на дне озер и даже прудов происходит отложение осадков, образующих донный ил. Осадки ложатся на дно не непрерывно, а периодически, слоями. Падающие на дно листья и другие части растений

ложатся на слой ила, отложившийся ранее их падения, и покрываются сверху слоем, осевшим позднее. Заключенный между слоями минерального осадка лист или какая-либо другая часть растения, например, плод, шишка или стебель, пропитывается, например, кремнеземом, минерализуется, или медленно обугливается, или, наконец, гнивает, исчезает, оставив, однако, после себя рельефный отпечаток на минеральном веществе. Со временем слои осадка отвердевают и превращаются в слои сланцев или других осадочных горных пород. Процесс этот очень медленный; разбивая камень, мы нередко находим заключенные в нем отпечатки или окаменевшие части растений, живших в прежние геологические эпохи (см. рис. 2 и 3).

Для современных донных отложений в озерах и на Черном море удалось установить летопись слоев, отложившихся в течение последних шести тысяч лет. Для образовавшихся же из подобных отложений горных пород исчисление времени их образования в значительной мере гадательно. Причина этого в

том, что все эти отложения претерпели позднейшие изменения благодаря различного рода движениям земной коры.

Приводим приблизительный расчет возраста слоев осадочных пород земной коры и распределение в них ископаемых остатков животных и растений. (См. таблицу геологических периодов.)

Следует оговорить, что произведенные разными авторами подсчеты времени различны: бытие нашей планеты, конечно, очень длительно, старые подсчеты выводились из толщины осадочных пород, новые — из изучения радиоактивного распада элементов земной коры; последние внушают больше доверия.

Характерное обстоятельство, вытекающее из нашей таблицы, — это крайняя неравномерность отдельных отрезков времени для отдельных эр, начиная с 2500—3500 миллионов лет для докембрия и 55—63 для кайнозоя.¹ Чем ближе к нашим дням, тем более насыщены осадочные пласты земной коры остатками жизни, тем они значительнее в наших глазах и тем меньшая толща осадков заслуживает внимания. Немногим менее, или может быть даже значительно более

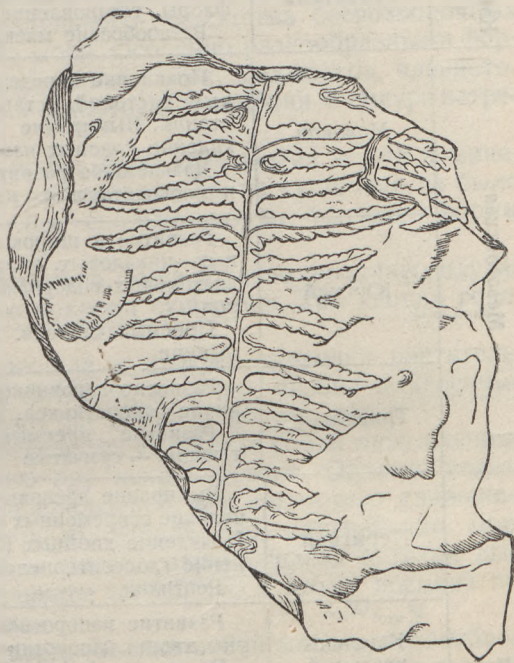


Рис. 3. Отпечаток листьев папоротника (*Pteris Dolitzkii* Palib) из третичных отложений.

половины всей толщ осадочных пластов земли относится к наиболее древней эре, именно архейской. Мы имеем в ней лишь очень мало остатков жизни: первые шаги в каждом процессе самые трудные и самые длительные. Однако и в отложениях, относящихся к концу этой эры, имеются известняки, которые, без сомнения, были построены организмами, осаждавшими известь из водных растворов. Имеются кое-где прослойки угля. Жизнь уже существовала, но структура характерных для нее простейших организмов нам остается почти неизвестной.

¹ Абсолютные цифры продолжительности геологических эр и периодов даются по Н. М. Страхову «Основы исторической геологии», 1948. *Ред.*

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ И РАЗВИТИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО МИРА¹

(более древние системы осадочных пластов помещены ниже, более близкие к современным — выше)

Эры	Периоды	Господствующая группа растений и животных	Продолжительность периодов в миллионах лет
Кайнозойская	Четвертичный	Господство современных видов и создание культурных растений и животных	1
	Третичный	Господство и разнообразие покрытосеменных (цветковых) растений. Постепенное развитие современной флоры, установление современных видов растений Разнообразие млекопитающих, птиц и насекомых	62
Мезозойская	Меловой	Появление и развитие покрытосеменных (цветковых) растений, установление современных родов растений. Вымирание цикадовых и гинкговых. Появление красных известковых водорослей Дальнейшее развитие рептилий, птиц, насекомых и млекопитающих	43
	Юрский	Развитие и широкое распространение голосеменных — цикадовых, гинкговых и хвойных. Появление диатомовых водорослей. Исчезновение птеридоспермов Пресмыкающиеся. Первичные птицы. Млекопитающие	45
	Триасовый	Развитие саговников, гинкговых и хвойных. Развитие папоротников. Вымирание кордаитов Развитие пресмыкающихся. Первые млекопитающие — сумчатые	36
Палеозойская	Пермский	Вымирание древовидных плауновых и хвощей; появление современных семейств папоротникообразных. Появление хвойных (Bauega и Walchia). Распространение глоссоптериевой флоры Рептилии	38
	Каменноугольный	Развитие папоротникообразных (древовидные плауны, хвощи, папоротники). Птеридоспермы и кордаиты Расцвет амфибий. К концу периода — появление насекомых	52
	Девонский	Псилофиты и первичные папоротникообразные растения. Первые голосеменные растения — птеридоспермы (папоротникообразные голосеменные). Возникновение грибов. К концу периода — вымирание псилофитовой флоры Разнообразные рыбы. Двоякодышащие рыбы	36
	Силурийский	Первые наземные растения — псилофиты Разнообразные морские беспозвоночные. Рыбы	50
	Кембрийский	Первые признаки стеблевых растений Преобладание трилобитов Водоросли и бактерии	38
Протерозойская		Бактерии и водоросли Простейшие животные	2500—3500
Архейская		Известняки, м. б. бактериального происхождения	

¹ Просмотрел и внес поправки с точки зрения новейших данных проф. А. Н. Криштофович.

Более поздний период, протерозой, составляющий около четверти всей продолжительности жизни на земле, — период примитивных животных и растений. Не только развилась уже жизнь, но и разделилась на животный и растительный мир. Мы уже находим железобактерии и бактерий кальцифильные, живущие на влажных скалах известняка. Конечно, существовали и другие простейшие растения, живущие обычно в воде. Среди животных выделялись корненожки или фораминиферы, близкие к амебонидным организмам, [и некоторые другие беспозвоночные].

Обратимся теперь к крупнейшей по своему значению эре, ознаменованной бурным развитием морской и наземной жизни, именно к палеозойской или эре древней жизни, длившейся от 298 до 360 млн. лет.

Появившиеся уже в протерозойской эре беспозвоночные животные в кембрии представлены почти всеми ныне живущими типами их, но господствующими формами этого периода являются трилобиты и плеченюгие.

Наибольшего расцвета фауна беспозвоночных достигает в силуре, который является периодом безраздельного господства беспозвоночных животных, населявших силурийские моря. Особенно разнообразными формами были представлены типы кишечнополостных, моллюсков, членистоногих и иглокожих. Из позвоночных животных в кембрии и силуре встречаются только панцирные рыбы.

В то время как в морях, где жизнь была обеспечена водой и минеральными растворами, она уже могла развиваться, на суше еще не было условий, которые поддерживали бы сколько-нибудь высшие формы жизни.

[Что же касается растительного мира, то не позднее середины силура] началось и развитие растительного покрова суши, или, как иногда говорят, выход растений на сушу.

В палеозойскую же эру произошла и дифференцировка растительного мира на ряд групп, потомки которых, конечно, сильно измененные и дифференцированные, существуют на земле и до сих пор.

Того разнообразия, которое сейчас представляет собой окружающий нас мир растений, в палеозойскую эру искать нечего. Однако нельзя представлять ее себе, как нечто однообразное: все время шло движение, прогрессивное развитие организмов. В начале его силурийские моря в своих осадках заключают только плохо сохранившиеся остатки вышних морских водорослей, указывающие на то, что к этому времени все классы водорослей уже сложились.

Суша силурийского периода представляла собой мало приспособленное для жизни обиталище. Еще недавно сложившаяся, нарушаемая вулканическими явлениями и тектоническими движениями, при отсутствии развитой речной сети, — суша эта представляла собой то, что мы теперь называем пустыней. Она недостаточно орошалась дождями и теплыми водами, а растения со своей стороны еще не были достаточно совершенно построены, чтобы, будучи окружены сравнительно сухим воздухом, впитывать воду из глубоких слоев земли. Палеонтология неизменно подтверждает, что до половины силурийского периода не было других типов растений, кроме бактерий, жгутиковых и водорослей.

Между тем животный мир достиг в это время достаточного разнообразия, что, конечно, подразумевает и наличие достаточного количества пищи. Животные питаются более мелкими животными, а те в свою очередь — растениями. Для того чтобы могли существовать рыбы, ракообразные, моллюски, различные классы червей и пр., необходимо, чтобы одновременно с ними существовали и различные типы водорослей — от микроскопических до высокоразвитых. И сейчас в морях растут водоросли в громадном разнообразии форм — микроскопические и крупные, плавающие или прикрепленные к грунтам морских мелководий, наконец, крупные водоросли различной окраски образуют

собой достаточно пышные луга, животные могут пастись на них и развиваться за счет лучистой энергии солнца, фиксированной морскими растениями и превращенной в источник энергии жизненных процессов и для всего живого.

Раньше считали, что первые растения суши относятся к девонскому периоду. Но в 1916 г. одновременно в двух местах, в горах Норвегии и в горах Шотландии, были найдены остатки растений, повидимому, принадлежащих к более ранним, верхнесилурийским отложениям и представляющих собой весьма своеобразный примитивный тип. На мокрых покатосях, обращенных к морю, стала появляться растительность, еще лишенная листьев и корней, которая имела ползучие корневища с ризоидами и поднимавшиеся



Рис. 4. Древнейшие ископаемые растения суши—псилофиты: А—риния (*Rhynia*) со спорангиями на концах вильчатых ветвей; Б—астероксилон (*Asteroxylon*).

кверху вильчато разветвленные стебли. На верхушке ветвей сидели спорангии, т. е. мешочки, содержащие споры, которые разносились ветром. Эти растения заселяли все новые площади влажной суши (рис. 4, А и Б).

Они имели слабое сходство с ныне существующим древнейшим растением псилотум (*Psilotum*, рис. 5), распространенным в вечно

влажных тропических лесах; оно так же лишено корней и листьев, имеет ползучие корневища, которые стелятся среди мхов по коре деревьев, и вильчато разветвленные зеленые стебли, на которых сидят спорангии с многочисленными спорами.

Название «псилотум» повторилось и в названии описанного выше класса ископаемых верхнесилурийских растений, названных псилофитами. По всей вероятности они произошли от морских водорослей, [повидимому, бурых], образующих очень часто заросли на прибрежных рифах. Окаменелости псилофитов дали возможность сделать такие шлифы, которые годились для изучения их под микроскопом и позволили изучить их клеточное строение.

Псилофиты могли появиться следующим образом. Посетители скалистых морских берегов легко могут разыскать ветвистые морские водоросли. В Черном море у нас очень много цистозиры (*Cystosira barbata*), а на севере — аскофилла (*Ascophyllum nodosum*). У водорослей нет разделения на корни, стебли и листья. К камням на дне они прикреплены плоской подошвой, состоящей из очень плотной ткани. Бурые ветви содержат хлорофилл, благодаря чему прекрасно ассимилируют свет и газы воздуха, растворенные в морской воде, и образуют немало органического вещества. В отлив (там, где он есть) подобные водоросли нередко оказываются на суше, обсыхают, а во время прилива снова напитаваются водой. Растения подводные выработали, однако, в себе способность помногу часов подряд оставаться без воды.

Если какой-либо геологический переворот поднимет морской берег и море больше не возвратится, то водоросли останутся на суше. Под жгучими лучами солнца они, казалось бы, должны были неминуемо погибнуть. Они борются за жизнь, [вырабатывая приспособления для удержания воды]. При благоприятных условиях влажности они могут превратиться в растения суши. Изучив развитие и анатомию водорослей этого типа, ученые пришли к выводу, что псилофиты силурийского периода произошли от морских водорослей, выработавших приспособления для жизни на суше.

В прибрежных мелководьях силурийских морей были большие заросли морских водорослей. Обладая хлорофилльным аппаратом, они усваивали лучистую энергию солнца, углерод углекислоты и минеральные соли из воды. При некоторых изменениях земной коры часть площади, занятой подобными зарослями, оказывалась в различной степени обмелевшей.

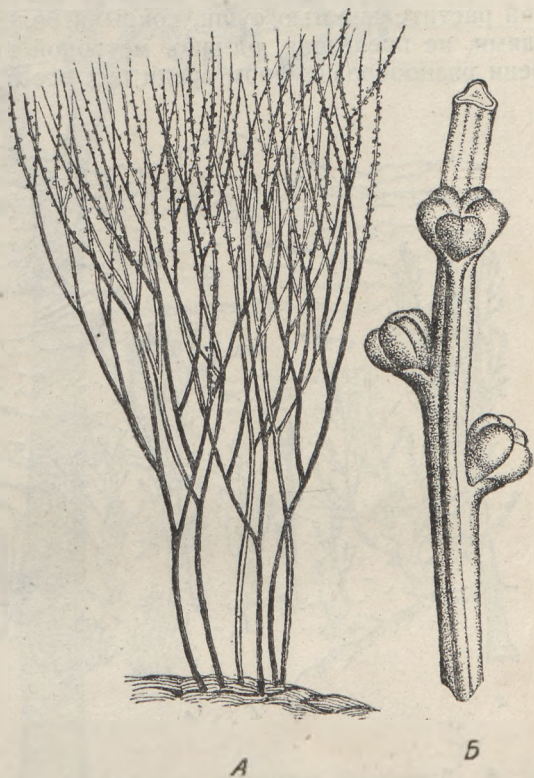


Рис. 5. Древнейшее ныне существующее растение — псилотум (*Psilotum triquetrum*): А — общий вид; Б — часть стебля со спорангиями.

[Позднее вода и совсем уходила, и водоросли оставались на сырых, плоских берегах уже вне воды. Водоросли попали в новые условия жизни. Новая среда вызвала у них появление приспособлений, необходимых для жизни на суше. Так появились псилофиты — первые наземные растения. Эти первые растения суши не имели ни корней, ни листьев. Их подземная часть состояла из корневищ, от которых отходили ризоиды, наземная — из дихотомически ветвящихся побегов с примитивным анатомическим строением. Непосредственно на стеблях сидели спорангии, наполненные спорами, служащими для размножения этих растений.

Появившись в верхнем силуре, псилофиты достигли своего наибольшего расцвета в нижнем и среднем девоне. В это время они стали главной растительностью суши, покрыли большие пространства своими зарослями, не превышая, однако, метровой высоты, причем с течением времени разнообразие форм среди них все возрастало (рис. 6). Если первые



Рис. 6. Девонский ландшафт: а — *Pseudosporochnus*; б — *Asteroxylon* — предок плауновых, в — *Calamophyton* (предполагаемый предок хвощей), г — *Cladoxylon* (один из предполагаемых предков папоротников).

псилофиты, принадлежавшие к родам *Rhynia* (см. рис. 4, А) и *Hornea*, отличались крайней простотой форм, то позднее они развили подземные органы, похожие на корни, и «листья» — как чешуевидные выросты стебля. Образовался род *Asteroxylon* (см. рис. 4, Б), имеющий большое значение в истории растительного мира. Появились и другие, более крупные, до 3 м высоты, и более сложные формы, например, *Pseudosporochnus*. С появлением этих листоносных форм чрезвычайно усилилась ассимилирующая деятельность растений, рост их и накопление ими органических веществ стали гораздо продуктивнее. Благодаря этому стал образовываться впервые слой органической почвы, богатый перегноем, что сделало возможным появление новых, более мощных и еще более сложных типов растений.

[Псилофиты вымирают к концу девона, но к этому времени хорошо обозначаются] три важнейшие группы высших споровых растений. Прежде всего основная группа — группа плауновых растений (*Lusorodinae*), представители которых в наше время невелики, но в те

времена достигали размера крупных деревьев. *Лусородиінае* — прямые потомки псилофитов. На рис. 7 изображен древовидный представи-

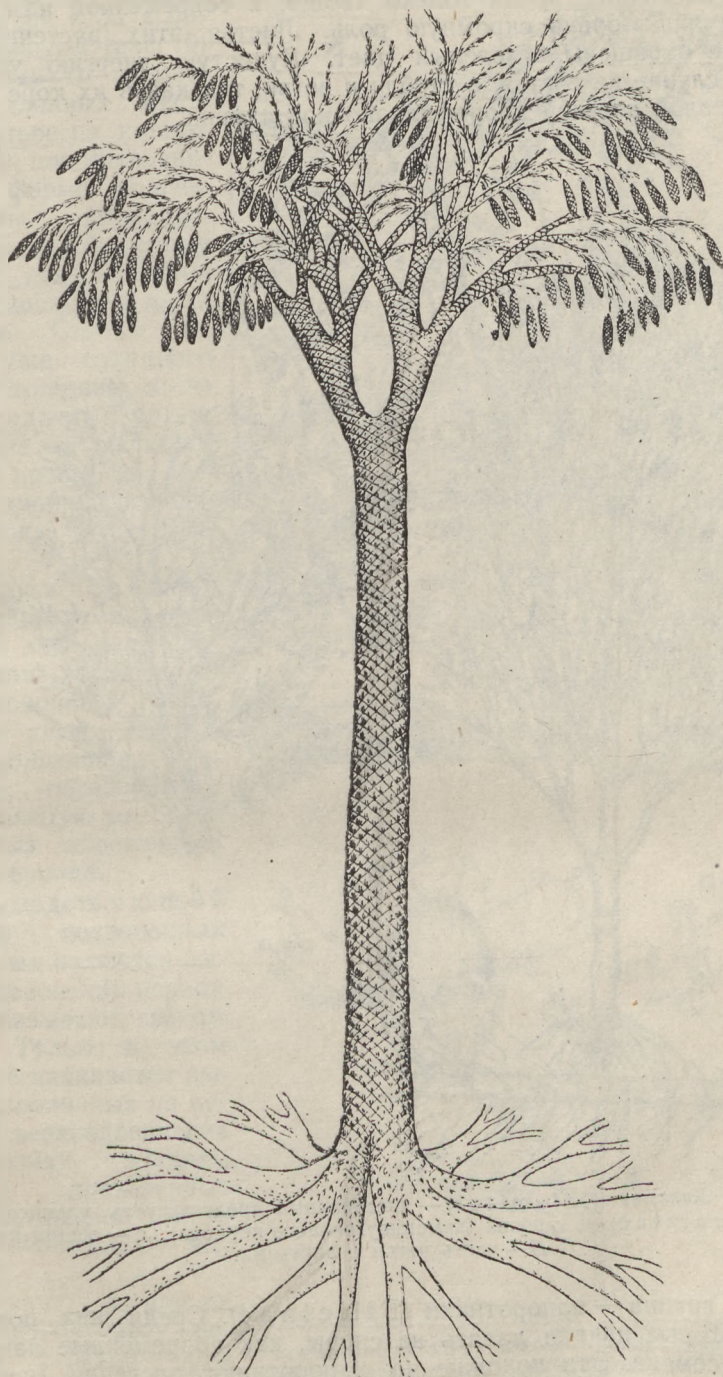


Рис. 7. Чешуедрев, лепидодендрон (*Lepidodendron*), общий вид.

тель плауновых — лепидодендрон или чешуедрев. [Их расцвет относится уже к следующему, каменноугольному, периоду].

Другая группа, возникшая в конце этого периода, — группа суставчатых или членистых растений (*Articulatae*), у которых стебли

и ветви состояли из отдельных члеников, в узлах которых сидели плотным кольцом листья (каламиты, рис. 8). Из растений этой группы сохранились в настоящее время только хвощи, в современной нам природе играющие лишь очень скромную роль. Листья этих растений мелкие и даже не окрашены в зеленый цвет. Лучистую энергию усваивают в данном случае не листья, а стебли и ветви, так как в их коре заложен сплошной слой зеленой хлорофиллоносной ткани.



Рис. 8. Каламит (*Calamites*) — древовидный представитель членистых (*Articulatae*) из карбона (каменноугольного периода): А — общий вид; Б — часть ветви с листьями.

Третья группа — папоротники (*Filicinae*). Среди них появились и такие, которые начали давать не споры, как современные нам папоротники, а семена. Эти похожие на папоротники растения (например, *Lugiodendron*, рис. 9) имели древовидные стволы, крупные размеры, и по краям их огромных листьев в особых чашевидных вместилищах сидели одиночные семена (рис. 9, Б). Эти древние папоротниковидные растения, размножавшиеся семенами, называют птеридоспермами.

В девонский период появилась еще одна группа крупных деревьев — кордаиты (*Cordaitales*). Позднее, в каменноугольный период, они

достигли своего расцвета и постепенно исчезли в следующий пермский период.

Кордаиты — высокие деревья в 30 и более м вышины (рис. 10) с пучками то ланцетных, то длинных жестких листьев на концах ветвей и плодушением в форме шишек. Кордаиты принадлежат уже к большому разделу голосеменных, куда относятся и наши хвойные. Стволы их были уже солидного роста и толщины, но не имели годичных колец; древесина их была построена проще, чем древесина хвойных, смоляные ходы отсутствовали.

[Характерными представителями животного мира девонского периода являются из беспозвоночных гонимиты из класса головоногих моллюсков и плеченогие, образовавшие подавляющую массу ракушечных известняков этого периода.

Господствующей формой позвоночных животных являются рыбы, и девонский период часто называют «веком рыб». Только в этом периоде начинается выход позвоночных на сушу. В верхнедевонских отложениях найдены первые достоверные остатки первых наземных позвоночных — амфибий].

Значит, в начале каменноугольного периода (кратко — карбон) из наследства девонского периода сформировались уже по крайней мере четыре группы крупных наземных растений. Все вместе они образовывали уже настоящие леса (рис. 10), росшие на влажных почвах по всей вероятности вблизи морского берега, у воды, частью на болотах или даже



Рис. 9. *Liginodendron* — папоротниковидное голо-семенное растение; А — часть вайи — листообразного органа; Б — семя, заключенное в чашевидное вместилище, покрытое железками; В — часть вайи с микроспорангиями.

по мелководьям, как теперь растут мангровые леса тропиков или леса из болотного кипариса (*Taxodium*).

Большое число остатков древних растений позволило восстановить картину первичных лесов земли. Во Франции были изучены крупные пласты каменного угля, состоящие, как показало микроскопическое их исследование, исключительно из спор, падавших с высоких деревьев типа плауновых, именно с лепидодендронов и сигиллярий (рис. 10). Какова же была мощь этих лесов! В литературе неоднократно высказывалось предположение, что атмосфера земли первоначально содержала более значительный процент углекислоты, чем теперь. И сейчас при вулканических извержениях выделяется из глубины масса угольной кислоты. В период, когда земная кора была еще менее мощной и устойчивой, когда нарушения этой коры и сопровождающие их явления вулканизма были более частыми, в воздухе, естественно, было много свободной углекислоты. Жизнь животных суши была этим затруднена, так как состав воздуха недостаточно соответствовал их потребности в кислороде.

Когда развились большие леса с их громадными лепидодендронами или чешуедревями, сигилляриями, зарослями древовидных хвощевых — каламитов, с массами папоротников и кордаитов, ассимиляция углекислоты пошла энергично. Углерод этой углекислоты постепенно оказался связанным в пластах каменных углей, в залежах углекислых солей кальция, т. е. в толщах известняков, а кислород перешел в состав атмосферы и сделал ее благоприятной для жизни крупных животных.

Миллиарды тонн углерода, вошедшие в состав земной коры, отложены именно работой растений. Вместе с тем к концу каменноугольного периода уменьшилась облачность, климат стал суше и солнечнее.

Если в девонский период из позвоночных животных самыми распространенными были рыбы, то теперь встречается большое количество форм, появившихся в конце девона амфибий. В карбоне появляются и насекомые, причем сразу в большом количестве.

В конце каменноугольного периода образовались крупные горные хребты, вытянутые в направлении, близком к меридиональному. Они были высоки и покрылись в подходящих для этого местах вечными снегами и ледниками. Ледники сползали вниз в равнины, что, вероятно, и вызвало появление растений, приспособленных к более сухому и холодному климату. Наряду с крупными кружевными листьями папоротников, о которых мы уже упоминали, найдены были и растения с простыми, языковидными жесткими листьями *Glossopteris* (рис. 11), свидетельствовавшие о том, что растительность от морских побережий стала проникать вверх по течению рек во внутренние области материков, бывшие ранее пустынными.

[Радикальная перемена физико-географических условий на поверхности земли произошла во второй половине пермского периода.

Увеличение солнечного сияния, уменьшение облачности, увеличение площади материков с огромными сухопутными пространствами и часто гористым рельефом повели за собой развитие более сухих климатов. В это же время происходят существенные изменения в составе наземной флоры. В нижнепермском периоде наземная растительность носила тот же характер, что и в карбоне. Изменение климата оказалось губительным для многих каменноугольных групп растений. Начиная со второй половины пермского периода, они резко сокращаются в числе и вымирают. Вместо них развивается новый мир растений].

Если посмотреть на пейзажи, изображающие растения каменноугольного леса (см. рис. 10), то нетрудно догадаться, что к новым условиям более всего подходили кордаиты и некоторые птеридоспермы с более плотными листьями. Сами по себе обе эти группы были обречены на исчезновение, но они дали начало новым, произошедшим от них

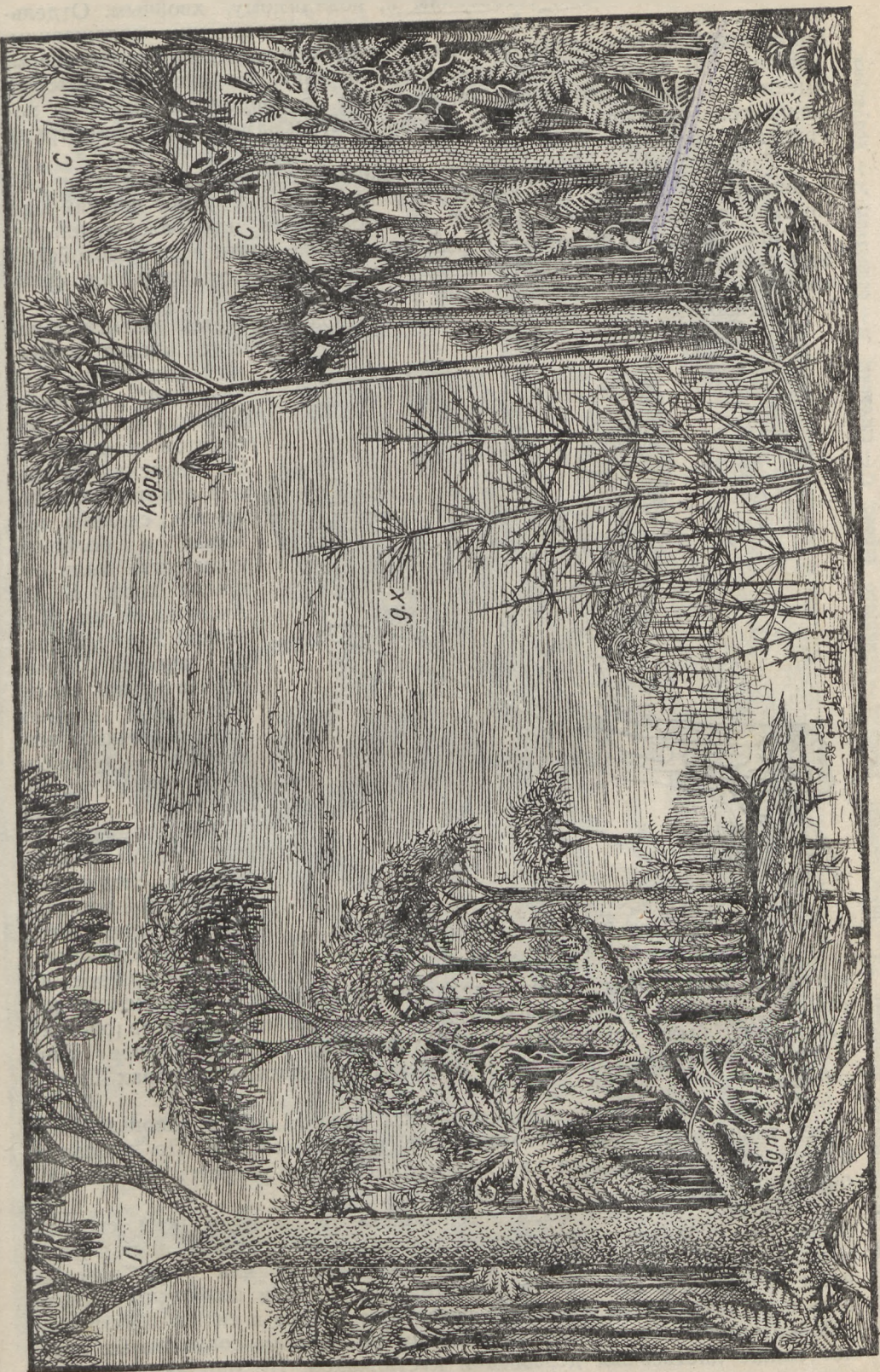


Рис. 10. Растительный ландшафт каменноугольного периода (карбона): л — лепидодендрон; д. х — древовидный папоротник; д. х — древовидные хвощи (каамиты); корд. — кордайт; с — сигиллярии.

растениям — гинкговым, саговникам и, повидимому, хвойным. Отдельные находки этих растений относятся к нижнепермским отложениям. Гинкговые и саговниковые возникли в связи с изменением птеридосперм. Хвойные, по крайней мере некоторые из них, по данным, которые имеются в нашем распоряжении, возникли от кордаитов. Типичная каменноугольная флора во второй половине перми замещается этими тремя группами растений.

Так как саговники, гинкговые и хвойные все имеют семена, не заключенные в завязь, а открыто сидящие на плодущих чешуях или листьях, то их называют обычно гимноспермами или голосеменными. Начиная со второй половины перми и в течение почти всей мезозойской эры голосеменные занимают повсюду господствующее положение, сравнительно с другими растительными формами.

[Животный мир пермского периода характеризуется развитием но-



Рис. 11. Ископаемое растение — глоссоптерис (*Glossopteris*).

вого класса наземных позвоночных — рептилий, отдельные находки которых относятся к карбону. Из пермских рептилий отметим парейазавров, скелеты которых в большом количестве были открыты проф. В. П. Амалицким на Северной Двине. В конце верхней перми окончательно вымирает ряд водных беспозвоночных животных — трилобиты, древние ежи, гогниятиты и многие другие формы. Таким образом, водная фауна следующей мезозойской эры значительно отличается от палеозойской].

Мезозойская эра до

середины мела характеризуется дальнейшим развитием голосеменных растений — именно саговниковых, гинкговых и хвойных деревьев (рис. 12). Последние были представлены араукариями, сохранившимися ныне в Южной Америке, Австралии и на некоторых южных островах Тихого океана.

Первым наиболее древним периодом мезозоя был триасовый. Наиболее типичный период мезозоя — это юрский период. По описанию одного из ученых, общая картина юрского мира рисуется следующим образом:

«На этом материке были пресноводные озера, куда реки сносили песок и ил с близлежащих холмов. В песок и ил попадали листья и семена, которые падали в воду с ближних берегов или были внесены в озеро ветром и водой. Эти растительные остатки позволяют обрисовать и растительность озерных берегов. Нет злаков и ситниковых растений, которые мы почти всегда находим по берегам современных озер, нет также лиственных деревьев и кустарников. Но они заменены деревьями гинкго и байеры, которые, принадлежа к голосеменным, все же



Рис. 12. Мезозойский ландшафт: Хв — представитель хвойных — мамонтовое дерево; С — саговник; Б — беннеттит; А — араукария. В воде заросль хвощей.

имеют широкие листовые пластинки, приближающие их к листовым породам. По всей вероятности, это были высокие деревья, растопыренные ветви которых несли на разветвлениях коротенькие веточки, увенчанные пучком дланевидных лопастных листьев. Их нежные сережки отваливались и падали во множестве в воду, сохраняя при этом пыльные формы. Деревья эти окаймляли озера и развивались там в большом разнообразии форм. Совершенно другой вид, напоминающий лиственницу, имели Чекановский с пучками тонких, как волос, листьев, брахифиллы с толстыми чешуйчатыми веточками и лептостробусы, не сравнимые ни с какими из ныне живущих деревьев. Однако вместе с этими чуждыми нам деревьями росли еще два вида ели, заставляющие нас думать, что уже тогда еловые леса покрывали склоны холмов. На сухих холмах росли, вероятно, эфедры, тогда как папоротники одевали почву своими мелкоразрезными листьями. Спокойные воды озера местами были покрыты тонкими зелеными нитями водорослей (*Confervites subtilis*), между ними копошились рыбки и личинки насекомых, тогда как жуки листогрызы грелись на солнце на листьях».

Семейство гинкговых было представлено в юре чрезвычайно богато многими родами и видами.

Среди хвойных в триасовый и юрский периоды выделялись рощи деревьев, потомки которых живы и сейчас, — араукария с высокими стройными стволами, многоэтажными кронами и крупными шишками, содержащими съедобные семена.

В юрском периоде среди саговников выделилась еще интересная группа беннеттитовых (рис. 12), отличавшихся тем, что их плодоношения несколько приближались по своему строению к цветам, например, к цветам магнолии. Позднее эта группа вымерла без остатка. Кроме того, выделилась еще и группа кейтониевых (*Caytoniales*), которую некоторые исследователи считают за близкую к родоначальникам цветковых растений. Другие относят ее к водным папоротникообразным, особо сложного строения, представителем которых в наше время является водный папоротник — род марсилия, дающий плотные замкнутые спороношения.

В течение первой половины следующего за юрским мелового периода представители еловых, араукариевых, кипарисовых, тиссовых, секвой и других хвойных деревьев [достигли пышного расцвета и] дали земле разнообразный и обильный древесный покров. Во вторую половину мелового периода под покровом этих лесов относительно быстро развивались покрытосеменные или цветковые растения, [первые находки которых относятся к ниже-меловым отложениям].

Особенной известностью пользуются в науке верхнемеловые отложения бассейна реки Потомак в Северной Америке, где одновременно росли и сохранились в виде обильных отпечатков в пресноводных отложениях ивы, дубы, ильмы, тюльпанное дерево, фиговое дерево, магнолии, клены, лавры и пальмы. С их развитием и расселением по всей земле саговники, гинкговые и хвойные частью вымерли, частью заняли сравнительно подчиненное положение.

[Фауна мезозойской эры характеризуется дальнейшим расцветом рептилий. Представленные самыми разнообразными формами, живущими повсюду — в воде, на суше, в воздухе, они достигли своего высшего развития в группе динозавров — «ужасных ящеров». В конце мела огромное большинство мезозойских рептилий вымирает, не переходя в кайнозойскую эру.

В нижнемеловых отложениях встречаются единичные находки нового класса — млекопитающих, которые в течение всего мезозоя были представлены в общем примитивными формами. Несколько позже, в юрском периоде мезозоя, появляются и птицы, правда, примитивные.

Главные представители водных беспозвоночных мезозоя — моллюски — аммониты и белемниты, вымирающие к концу этой эры].

В общем мы можем выделить в истории развития растительного покрова земли следующие периоды:

- I. Период бактериальных и близких к ним организмов.
- II. Период водорослей, от простейших до крупных морских форм, образующих обильные заросли в мелководных прибрежных частях морей.
- III. Период псилофитов, которые как бы осуществили задачу выхода растений из воды на сушу.
- IV. Период развития гигантских плауновых (лепидодендроны, сигиллярии и пр.) и хвощевых (каламиты) деревьев, папоротников. Появление кордаитов и папоротниковидных голосеменных (птеридоспермы).
- V. Период развития и расчленения голосеменных, представленных кордаитами, птеридоспермами, а позднее — гинкговыми, саговниками (цикадовыми) и хвойными.
- VI. Период появления цветковых растений в виде разнообразных форм.

Хвойные деревья построены уже достаточно совершенно для наземного существования, но в их строении есть все-таки несколько слабых черт. Во-первых, древесина хвойных лишена настоящих сосудов, по которым поднимается вода из корней в листья, поэтому хотя они и могут противостоять лучам солнца, но все же подъем воды затруднен, почему они и не могут развить большую листовую поверхность: последняя испаряла бы много воды, что при плохой подаче ее корнями через древесину стало бы губительно. Поэтому хвойные отличаются узкими и жесткими листьями в форме иголок или чешуй. Корни их обычно поверхностные, мало углубленные в почву и используют лишь воды верхних слоев последней. Все это неблагоприятно отражается на скорости роста и развития представителей этой группы. Во-вторых, пыльниковые шишечки у голосеменных развиваются совершенно отдельно от семяпочек и притом значительно ранее последних. Ветер подхватывает массу цветочной пыли и несет ее, причем лишь ничтожная часть этой пыли оседает на зачатки семян и опыляет их. Ветер — союзник ненадежный, он может и всю цветочную пыль унести в сторону, и тогда семян не будет. Это — слабая сторона [организации хвойных растений], тем более что никакого специального органа для улавливания пылинок у них нет.

Уже в каменноугольном периоде, одновременно с миром растений, стал развиваться мир насекомых. По мере того, как разнообразнее и совершеннее становились растения, разнообразнее и совершеннее становились и насекомые. Питание насекомых весьма различно: есть хищники, есть питающиеся падалью или другими гниющими отбросами и остатками животных и растений, есть листогрызы, есть питающиеся древесиной, есть, наконец, насекомые, посещающие цветы, где они находят пищевые концентраты в виде пылинок цветени, протеиновых железок или сахаристого нектара.

У голосеменных зачатков семени, или так называемая семяпочка, имеет на верхнем конце своем углубление, называемое пыльцевой камерой, в этом углублении выделяется и накапливается нектар, жидкость, содержащая сахар и минеральные вещества, необходимые для прорастания пылинок цветени.

Перелетая с растения на растение, питающиеся нектаром насекомые часто садятся и на пыльниковые шишечки, причем цветочная пыль осыпает их со всех сторон. Посещая затем пыльцевые камеры семяпочек с их нектаром, насекомые оставляют там часть принесенной ими пыли. Благодаря этому возник процесс перекрестного опыления, который лучше обеспечивает развитие семян и, кроме того, способствует обновлению организма.

Дальнейшее развитие процесса перекрестного опыления привело к образованию специального органа — цветка, в котором семяпочки хорошо защищены тканями завязи и покровами околоцветника и находятся в лучших условиях питания и испарения. Одновременно с возникновением цветковых растений, как самых совершенных, в группе птеридоспермов произошло совершенно иное изменение. Не только древовидные птеридоспермы раннего и среднего палеозоя имели на своих сложно рассеченных листьях семена, но и более мелкие, появившиеся много позднее, глоссоптерисовые также несли семена. Как возникали эти семена? Споры папоротников помещаются внутри особых мешочков — спорангиев. У большинства папоротников спорангии сидят кучками, которые защищены еще особым покрывальцем, а у некоторых крупных папоротников южных стран они собраны в особые вместилища — синангии. Можно представить себе переходы подобного синангия с многочисленными спорами к семени. Однако птеридоспермы постепенно вымерли, а настоящие папоротники к юрскому периоду достигли повсеместного распространения и большого разнообразия.

Птеридоспермы палеозоя связаны с цикадовыми и цветковыми, кордаиты — с развитием хвойных.

Мы уже говорили, что наиболее древние и обильные остатки цветковых растений обнаружены в пластах меловых отложений на р. Потомак в Северной Америке. Среднемеловые отложения с остатками цветковых растений известны также из Гренландии, Уссурийского края и из Португалии. Замечательно, что среди этих наиболее древних отпечатков мы находим не одну какую-либо группу, которую можно было бы признать за родоначальную, а целый ряд их, причем они принадлежат к совершенно различным семействам, как, например, ивовые, аралиевые, магнолиевые и пальмы. Получается впечатление, что целый ряд нам неизвестных предков одновременно приобрел свойство давать цветы. Если спуститься ниже, в слои юрского периода, то там несомненных остатков цветковых растений не найдено, — все до сих пор указанные остатки пока под сомнением. Поэтому вопрос о возможных предках цветковых или покрытосеменных растений висит в воздухе. Он намечен, но не решен. Итак, в потомакское время, или несколько ранее, цветковые растения, в виде целых лесов разнообразного систематического состава, начали одевать землю. Растительность эта соответствовала умеренно теплему климату, какой можно встретить у нас в Батуми, [средиземноморье и вообще в субтропических областях], где пальмы уже хорошо растут в грунте.

В течение всего верхнемелового периода шло развитие и умножение числа семейств цветковых; в то же время голосеменные растения частью вымирали (беннеттитовые и гинкговые), частью же продолжали развиваться и вырабатывать новые формы (среди еловых, таксодиевых и кипарисовых). Что же касается такого наследия каменноугольного периода, как папоротниковые, хвощевые и плауновые, то это — потомки более мелких палеозойских форм, они занимают уже второстепенное, подчиненное положение и сохранились вблизи вод, сосредоточены в лесах и в местах с более влажным климатом. И теперь в Полинезии есть острова, где осадков чрезвычайно много и где папоротники в многочисленных и весьма разнообразных формах составляют главную растительность горных ущелий и склонов.

За мезозоем идет новая эра — кайнозойская, эпоха нового времени, подразделяющаяся на два периода — третичный и четвертичный.

Третичный период длился 54—62 миллиона лет; он является временем максимального расцвета растительной жизни на земле. Легко представить себе материки третичного времени, одетые дремучими лесами, в которых преобладали широколиственные породы деревьев, с большими кронами, с могучими стволами, с густой тенью у почвы.

Все это походит на современные нам тропические леса, например, леса Бразилии, в которых так слабо развита травянистая растительность.

Среди этих темных лесов из гигантов-деревьев выделялись крутые горные склоны, морские берега, приречные полосы, на которых было возможно и развитие иной, требующей лучей солнца, растительности. Здесь обычны были пальмовые рощи, крупноцветные магнолии, всевозможные вечнозеленые кустарники, вьющиеся растения и пр. Конечно, этот растительный мир не был неизменным в течение столь продолжительного отрезка времени. Он изменялся в зависимости от колебаний климата, от изменений в очертании материков и морей, от поднятия новых горных стран, но долгое время это был мир, в котором деревья достигали максимальных размеров и большого разнообразия форм. В третичное время сложилось и громадное большинство основных видов современной флоры.

Третичный период делят обычно на две эпохи: нижнетретичную или палеогеновую и верхнетретичную или неогеновую (сокращенно — палеоген и неоген). Первую делят на три века: палеоценовый, эоценовый и олигоценовый; вторую — на два: миоценовый и плиоценовый. За это время движения земной коры создали складчатые зоны, вытянутые в широтном направлении, которые представляют собой величайшие из современных гор: Гималаи, Альпы, Пиренеи, Кавказ и пр. От палеоцена к плиоцену все время шло постепенное снижение средних температур в более северных странах и обострялось разделение на экваториальные и бореальные области.

Наиболее богатой и наиболее типичной для третичного периода была растительность эоцена. Растения жаркого климата, как пальмы, фикусы, лавровые, магнолии и др., росли в Европе и Америке вплоть до Гренландии. Эоценовая Европа представляется нам как значительная по своим размерам суша, прорезанная многочисленными морскими рукавами, где животные и растения находили себе великолепное пристанище. Климат был почти тропическим. В эоценовых отложениях Швейцарии, страны достаточно северной, обильные остатки лесных деревьев рисуют нам растительность, напоминающую скорее растительность Малайского архипелага, чем растительность даже самого юга Европы. Миртовые и сандаловые деревья, крупные толстолистные фикусы, эвкалипты, гваяковые деревья с их перистыми листьями, мыльные дег-зья, крылоплодники и другие представители жаркого климата изобиловали там, где теперь нормально растут лишь дубовые леса.

Климат олигоцена был уже холоднее. На берегах Балтийского моря в это время росли обширные леса из янтарной пихты, в подлеске которых еще попадались небольшие пальмы, росли камфарные лавры, вечнозеленые дубы и буки, болотный кипарис (*Taxodium*) и др.

Янтарь — не что иное, как смола хвойных деревьев, росших когда-то вблизи морских берегов; особенно много смолы выделяли четыре вида сосны и ель, сходная с аянской елью нашего Дальнего Востока. Смола, вытекавшая при разного рода ранениях, часто попадала в море, где под водой в песке твердела и превращалась в куски янтаря. Куски эти не всегда прозрачны, часто в них встречаются замурованные еще в то время, когда они были смолой, насекомые, веточки, цветы, листочки, семена и пр. (рис. 13). В городе Калининграде был составлен целый музей из кусков янтаря с остатками насекомых и растений. В этом музее можно было составить себе полное представление о мире растений олигоцена. Он не похож на современный, в его составе попадаются одновременно растения Европы, Японии и Китая и южных штатов Северной Америки, почему и говорят, что когда-то существовала общая европейско-китайско-американская флора, имевшая очень широкое распространение. В ней много видов дубов, кленов, ясеней, ильмов и каштанов.

Таким образом, удалось восстановить ход развития растительности, которая когда-то широким потоком залила собой весь северный пояс нашего полушария, а потом частью погибла, частью же разделилась на отдельные местные флоры. Следующая эпоха — эпоха миоцена — отличается уже более холодным климатом. На севере, например в Гренландии, появляется береза, ольха, осина, тогда как южные деревья полностью сохраняются только на юге европейского материка, так же как и наследие юрского периода — цикадовые (саговники).

К концу третичного периода похолодание земли усилилось, и в четвертичный период наступила ледниковая эпоха (рис. 14). Масса льдов скопилась вблизи полярных стран. Двигаясь на юг, они погребли под собой всю Северную Европу и Северную Америку. На пространстве нашего Союза один ледниковый язык доходил до Киева, другой до Воронежа. Ледники покрыли и более южные горные страны, как то: Альпы Швейцарии, Карпаты, Кавказ, Алтай и др.

Причина такого похолодания климата, при котором в северных

странах образовались мощные ледяные покровы, до сих пор достоверно не выяснена. Высказывались весьма различные предположения. Одно из них состоит в том, что земля на своем пути через мировое пространство вместе с солнцем проходит через скопления космической пыли, которая, находясь между землей и солнцем, ослабляет влияние последнего. В такие периоды земля получает меньше солнечного теп-

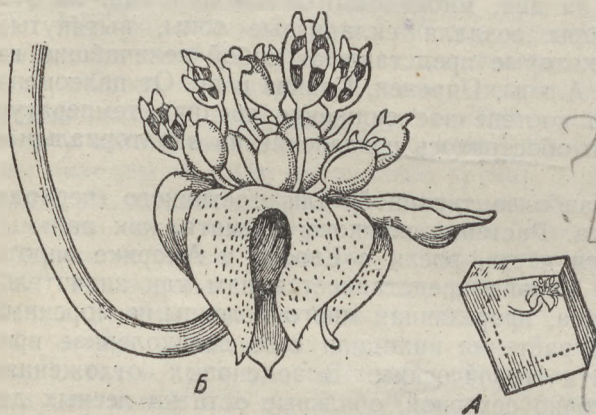


Рис. 13. А — цветок коричневого лавра, заключенный в куске янтаря; Б — тот же цветок (увеличен).

ла, и температура на ее поверхности падает. Когда же она попадает снова в прозрачные участки мирового пространства, влияние солнца усиливается, и климат снова становится теплее, а растительность пышнее, и леса снова продвигаются на север.

Эти временные хотя и продолжительные охлаждения не охватывали всего земного шара. Между экватором и сороковым градусом северной и южной широты оставалось еще достаточно тепла для поддержания южной растительности, и с наступлением более теплого времени снова начиналось заселение северных пространств, постепенно освобождавшихся из-под льда.

Наступление ледников, связанное с похолоданием, несколько раз останавливалось. Ледниковые периоды сменялись более теплыми межледниковыми, затем снова брали перевес первые. Конечно, при этом менялись все условия жизни растений, многие из них не выдерживали перемен климата и вымирали, другие, более выносливые, сохранялись в горных долинах, которые не были покрыты льдом и образовывали как бы убежища.

Подобные убежища несколько южнее ледниковых покровов имелись во всех частях света и позволили многим представителям миоценовой флоры сохраниться даже в момент наибольшего развития ледников. И теперь многие растения мы считаем реликтами (остатками) третичной флоры.

Мы можем судить об условиях жизни в ледниковое время еще и

по тому, что в некоторых местностях севера и сейчас еще сохранились условия ледникового времени. В Гренландии громадный ледник покрывает всю внутреннюю часть страны, где невозможны жизнь и деятельность человека, сосредоточенные лишь у морского берега. Стоит отойти от последнего, и вступаешь на поверхность сплошного ледяного покрова,

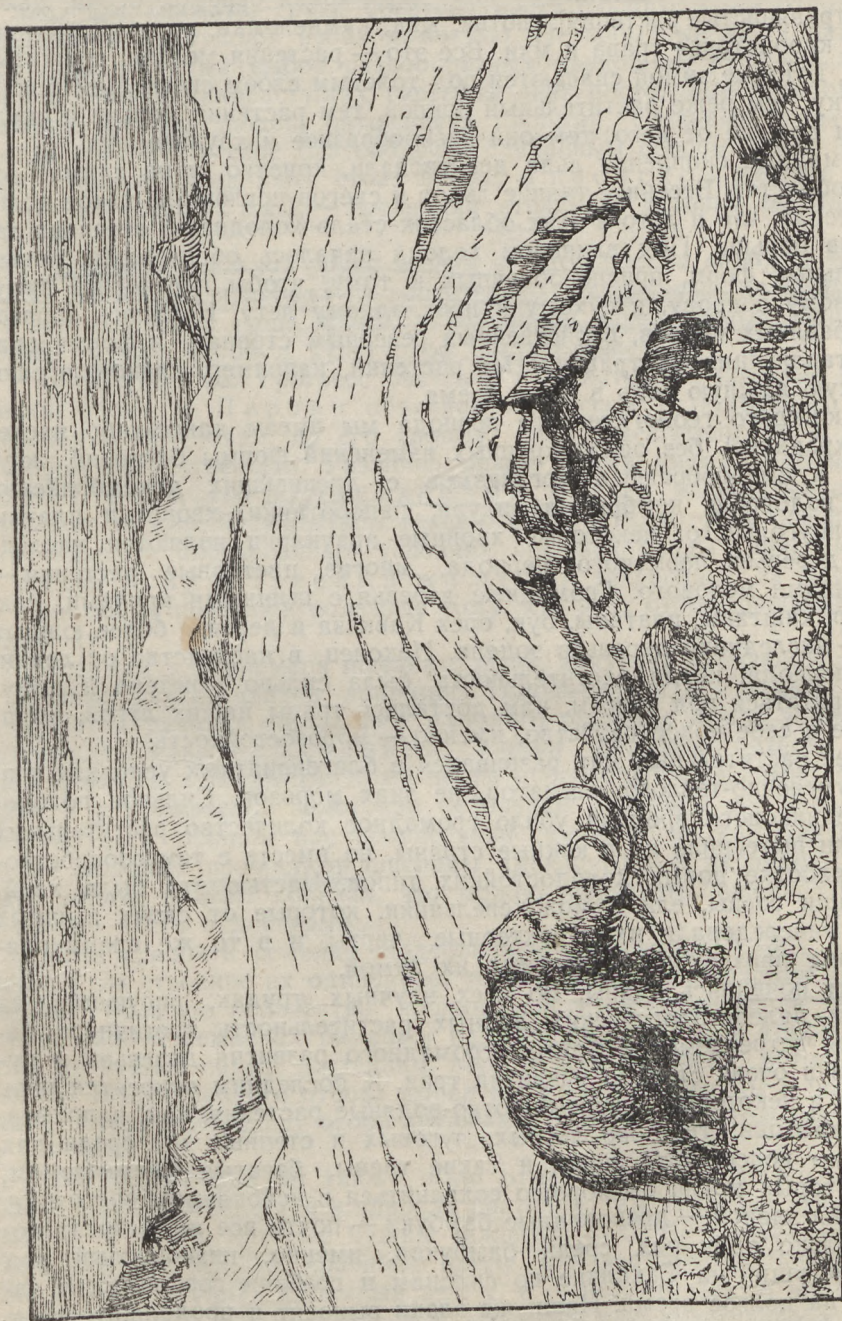


Рис. 14. Ледниковый ландшафт начала четвертичного периода. По краю ледника — тундровая растительность с кустарничками карликовой березы и ивы; слева — мамонт.

под которым исчезают горы и долины и лишь кое-где торчат изо льда верхушки скал.

В горах Норвегии есть места с широко раскинутым ледяным покровом; сплошные купола льда есть и на островах архипелага Франца-Иосифа. А на севере Сибири, где нет высоких гор, удобных для намер-

зания на них ледяных масс, мы находим в почве мощные ледяные слои и толстый слой вечной мерзлоты. Все же, если нет льда на поверхности и верхние слои почвы оттаивают, то развивается тундровая растительность.]

Раскопки обнаружили, что и по краю великого ледника ледникового времени росли карликовые ивы, карликовая березка, осоки, некоторые [травянистые растения]: лютик, мак, камнеломки, розовый мытник, крупка, куропаточья трава и мхи. Все это — растения мелкие, прижатые к почве, которые зимой спасаются под толстым слоем снега. Чем ближе к леднику, тем реже растительный покров, тем растения мельче и скуднее, чем дальше от него, тем они разнообразнее и крупнее.

Громадные скопления льда действовали, конечно, и на климат соседних областей. Весеннее таяние льдов и снегов поглощало такое количество тепла, что и лето в этих областях стало холоднее и весенних заморозков больше. Под влиянием холода началось образование новых растительных форм, приспособленных к тому, чтобы переносить зиму, к снеговому покрову, к сухому и прохладному лету. Началось образование травяных ковров, свойственных северным странам, и формирование составляющих их травянистых растений, например, злаков, играющих такую важную роль в наше время.

От каждого геологического периода мы имеем какое-либо наследие. Сохранились без особо крупных изменений формы бактерий, жгутиковых и амебообразных организмов с древнейших докембрийских времен, водоросли кембрия и силура; папоротники, хвощи и плауны с каменноугольного; некоторые хвойные араукарии являются наследниками деревьев пермского периода, многие цветковые растения — наследниками мелового. Громадные деревья с пышными кронами, как, например, каштаны, платаны, бук, орех Кавказа и деревья более южных стран, — наследники деревьев эоцена. Наконец, в наследство от ледникового периода, когда растительность была сильно угнетена и вынуждена прятаться под снегом, нам достались травы наших лугов, вырабатывавшие в себе новое свойство, именно — морозостойкость.

Ранее растительный мир развивался в благоприятных условиях теплого и умеренно-теплого климатов, не зная морозов. Сильное похолодание ледникового времени убило громадное количество растительных типов, или вытеснило их в южные страны, но вместе с тем способствовало выработке новых холодостойких типов. Частью это были хвойные — наши сосны, ели и можжевельники, которые от своих пышных предков унаследовали их характерные черты, и в то же время приобрели ряд признаков, спасающих их зимой.

Затем появились травы. Во всех научных трудах, рисующих на основании палеонтологических данных растительность третичного периода, мы встречаемся с фактом громадного развития деревьев и кустарников и очень слабого развития трав. К последним относятся лишь кувшинки и некоторые другие болотно-водяные растения, как, например, рогоз, и камыши; трав же лесных, луговых и степных мы среди них не находим вовсе, хотя знаем и такие травы, богатые кремнеземом, листья которых могли бы хорошо сохраниться в ископаемом состоянии.

Предки злаков — древовидные бамбуки — почти все не выносят морозов. Только один род среди бамбуков, именно, низкорослый род *Sasa*, растущий на Сахалине по склонам и гребням гор, выносит замерзание на долгое время. Наши же злаки выносят и продолжительные засухи и продолжительное промерзание.

Следовательно, от каждого пережитого землей периода среди нашей растительности имеются налицо какие-то представители. Каждое растение несет в своем строении отпечаток пережитого и испытанного его предками с древнейших времен, и каждое из них в то же время изменено той средой, которая его окружает в наше время.

Человек возник, примерно, при наступлении ледникового времени. С изменением условий среды в неблагоприятную сторону у наших обезьяноподобных предков возникла необходимость в первом основном условии человеческого существования — труде, так как явилась потребность в жилище, одежде и управлении огнем, что ранее в теплом и влажном климате, среди богатого растительного и животного мира не являлось насущной необходимостью. Первобытные люди нашли вокруг себя богатый выбор разнообразных съедобных растений. Однако использование дикорастущих растений дает постоянные перебои; древнейшие племена людей, питавшиеся плодами, семенами, корнями, не могли обеспечить свое благополучие случайным сбором семян или плодов. Словом, перед нами стоит вопрос о происхождении культурных растений, — последняя страница истории растительного мира.

Начало правильной точки зрения на этот вопрос положил Ч. Дарвин. Он проанализировал то растительное наследство, которым располагает человек в наше время, и установил определенные взаимоотношения между дикой и культурной растительностью.

В то время как прогресс растений и животных в прежние геологические эпохи Ч. Дарвин объяснял процессом естественного отбора, человек ознаменовал, по его словам, свое вмешательство в природу отбором искусственным. Различие между этими двумя видами отбора состоит в том, что естественный отбор вырабатывает и закрепляет за живым существом такие особенности, которые обеспечивают его жизнь в определенных условиях внешней среды (приспособление к среде), искусственный же отбор закрепляет за растениями и животными признаки, полезные тому, кто этот отбор производит, т. е. человеку.

Возьмем для примера пшеницу, рожь, кукурузу и сравним их зерна с зернами других злаков, например, тимopheевки или мятлика. И в тех и в других рядом с зародышем молодого растения лежит запасная питательная ткань — эндосперм, клетки которого битком набиты крахмалом, а в периферической части и белковыми зернами. И у мятлика и у тимopheевки эндосперм небольшой и запасы его невелики, используется целиком при прорастании семян, тогда как для лучшего молодых проростков пшеницы имеющегося в их эндосперме много, и опыт показал, что можно вырастить пшеницу, большую часть эндосперма.

Если сравнить семянку подсолнечника с семянкой ромашки, то строение их одинаково, только в семенах подсолнечника колено большое количество жирного растительного масла, которое очень мало в семянках ромашки или череды. Запасы в таком количестве не нужны самим растениям, зато нужны человеку, который с помощью искусственного отбора вывел такие сорта пшеницы и подсолнечника, которые обладают особо крупными запасами питательных веществ в семенах.

Это обстоятельство также было отмечено Ч. Дарвином: там, где человек вмешивается в природу растения, там усиленно развиваются именно те части, которые нужны человеку, будь то питательные вещества, волокно, пробка, красивые цветы, или что другое. Вероятно, что уже в более поздний каменный век, т. е. в неолитическую эпоху, человек, быть может еще бессловесный, научился уже культивировать растения и путем отбора изменять их природу. Правда, для этого потребовалось много времени. Человек проводил бессознательный отбор, т. е. он не просто сеял дикорастущие растения, а разыскивал среди них такие особи, которые отличались бы особо крупным развитием нужных человеку органов: плодов, клубней, луковиц и пр. Затем он уничтожал или оставлял без внимания все растения, его не удовлетворявшие, и сеял

только растения с крупными семенами или другими нужными для хозяйства органами. В результате того, что это повторялось много тысячелетий, этот процесс в конце концов переработал наследственные свойства растений и дал те основные сорта культурных растений, которые до последнего времени сеялись повсюду.

Вмешательство человека в природу, выражавшееся долгое время бессознательным отбором, заменилось [затем] сознательным отбором или селекцией.

Однако для отбора нужен соответствующий материал, нужно, чтобы среди посевов попадались растения, отличающиеся от основных в выгодную для хозяина сторону своим пышным развитием, или особо выносливые. Такие растения попадают на полях как результат изменчивости и скрещивания.

Уже многие из наших культурных злаков и огородных растений, а также плодовых деревьев, настолько сильно отличаются от своих диких сородичей, что точно указать, от какого именно дикорастущего растения происходит культурное, можно лишь в редких случаях. Очень часто мы наталкиваемся на то, что в культуру вошло не одно какое-либо строго определенное растение, а целая группа близких видов. Скрещивание этих видов между собой [было одним из моментов], создававших то разнообразие, из которого было что отбирать.

Хороший пример представляет собой обыкновенная капуста. Дикая капуста растет кое-где по берегам Средиземного моря, причем на различных побережьях этого моря имеются различные, близкие между собой, виды капусты. Культура капусты, вероятно, возникла на острове Крите более чем за тысячу лет до нашей эры, когда и выработалась кочанная капуста, в природе нигде не встречаемая. Указания на находки ее на скалистых берегах острова Гельголанд и пролива Ламацш оказались неверными в том смысле, что в указанных местонахождениях капуста одичала из культуры, а не дикая, — это не предок, а потомок культурной капусты. Предка не нашли, потому что его нет и не было. Капусту создали люди и путем искусственного отбора [и воспитания] видов между различными видами рода *Brassica* выработали новое растение, им нужное¹.

Предыдущего ясно, что растения, одевающие зеленым покровом землю, — продукт длительного исторического процесса. Изменения в солнечном климате земли, изменение самой ее поверхности, очертания материков и морей, процессы горообразования, процессы выветривания земной коры, образование почв, — все это в длительной смене создавало изменяющуюся постоянно среду, в тесном взаимодействии с которой растения [вырабатывали все новые и новые формы, а естественный отбор, уничтожая все отжившее, сохранял все жизнеспособное.

Постепенно выработались такие группы, как бактерии, различные типы водорослей, грибы, лишайники, мхи, папоротникообразные, голосеменные и покрытосеменные — цветковые растения. Наконец, среди последних выделилась группа наиболее близких нам культурных растений.

¹ Сознательный отбор не является теперь единственным методом для выведения новых пород культурных растений. И. В. Мичурин, Т. Д. Лысенко и их последователи разработали основы новой науки, указывающей пути и методы активного воздействия человека на природу живых организмов. Эта наука получила название творческого дарвинизма и нашла широкое распространение и признание в нашей стране. Задачей агробиолога теперь является не только подхватывание «милостей природы», но, главным образом, планомерное получение направленных изменений организмов, создание у них заранее заданных свойств.

Таким образом, современные методы выведения новых пород растений характеризуются активным вмешательством человека в природу растений, активной ее перестройкой. *Ред.*

В течение третичного периода и разнообразие условий жизни и разнообразие растительных форм достигло своего полного развития. Лесная растительность, разнообразные породы деревьев одели землю.

В ледниковое время четвертичного периода изменение климата северных стран выработало морозостойкую растительность, травянистые растения, растительность пастбищ и лугов. Наконец, современная нам эпоха, когда могучим фактором стал человек, вызвала появление культурной растительности, рост которой вытесняет ранее сложившиеся формы растительной жизни и обеспечивает как питание, так и ряд производств, необходимых человечеству.

Мы проследили постепенный ход развития растений от однообразных и даже мрачных лесов карбона к современной флоре, блестящей разнообразием своих форм и красок, и закончили тем миром пластичных культурных растений, с которыми оперирует современный агроном-растениевод.

Мы видели также, что в понятие «растение» входит несколько совершенно различных групп или типов, каждый из которых имеет свою историю и особую характеристику.

Isay

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЖИВОГО; РАЗДЕЛЕНИЕ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ НА РАСТЕНИЯ И ЖИВОТНЫЕ

В первой главе я определил роль зеленого растения как посредника между солнцем — источником энергии, с одной стороны, и животным миром — с другой. Растение изготавливает пищевые вещества и горючее, создает органические вещества из неорганических. В этом главная роль растений на земле, в этом их основная жизненная функция, которую они выполняют, как живые существа. Растение живет и выполняет ряд других функций, которые тесно связаны с понятием жизни.

Поставим перед собой вопрос: в чем же заключается жизнь? Если исходить из хорошо известного нам стандарта — нашего собственного «я», то придется признать, что жизнь растений резко отличается от нашей. У растений полное отсутствие нервной системы, общего кровообращения, мышечной ткани создает иллюзию, будто бы у них вся жизнь сводится к росту, откуда и самое их название. Странно объединять под словом «жизнь» столь несходные явления как растения и высшие животные. Обычно определяют «живое» как противоположность мертвому, как совокупность самостоятельных движений и изменений, связанных с поддержанием жизни. Зимой мертвое дерево в лесу мало отличается от живого, но весной одно остается неизменным, а другое одевается листвой и зацветает, чем и проявляет свою жизнь.

Надо условиться точнее, какое научное понятие кроется под термином «жизнь», из каких частных явлений складывается это общее — важнейшее на поверхности земли явление. Постараемся выяснить, что имеет общего между всеми живыми существами, какие только имеются на земле, начиная с бактерий и кончая человеком. Все животные, все растения — высшие и низшие — должны объединяться какими-то одинаковыми чертами, составляющими суть понятия «жизнь». Необходимо выяснить, каковы общие свойства жизни, каковы ее законы.

Надо, однако, оговориться, что все явления природы и все ее закономерности развиваются лишь в результате взаимодействия многих явлений. Меняются условия — меняются и явления. Таким образом, под словами «законы природы» мы подразумеваем определенную зависимость явлений от окружающего нас мира.

Если сравнивать совокупность всего, что живет, со всем неживым, то получится ряд общих отличительных признаков. Прежде всего все живое отличается от неживого некоторыми свойствами, совокупность которых мы обозначаем как закон обмена. Что обменивается и как обменивается? Живые существа, например, растения, окружены атмосферой, газами воздуха; они или окружены водой, или, находясь на почве, соприкасаются с ней частично.

Таким образом, их окружают и газовые смеси и водные растворы, [словом, все то, что в комплекс образует среду, в которой они живут].

Между водными растворами и газами окружающей среды и живым организмом происходит постоянный обмен веществ. С одной стороны, идет поглощение, с другой — отдача наружу. Такова общая форма этого закона.

Перед нами одновременно два явления: поглощение и выделение, иначе говоря, в живое существо непрестанно поступают элементы внешней среды, [необходимые для его развития и роста], подвергающиеся превращениям и обеспечивающие энергию жизненных процессов, так как они вводят вместе с собой в организм и запас энергии.

Этот важнейший процесс жизни, процесс усвоения пищи носит название процесса ассимиляции. Он реален только в связи со своей противоположностью — процессом диссимиляции, при котором вещества, составляющие тело растения или животного, распадаются, освобождая заключенную в них энергию и выделяя наружу продукты распада.

Когда мы говорим, что растение питается — что это значит?

Создавая углеродистые соединения, растение получает и запас аккумулированной солнечной энергии. Благодаря этому оно приобретает способность тратить энергию на синтез других органических веществ, составляющих живую клетку, получая из пищи элементы, необходимые для их создания. Следовательно, в процессе ассимиляции растение превращает мертвые, неживые элементы внешней среды в органическую часть живых растительных клеток. Оно получает возможность расти, увеличиваться в объеме, в весе, усложняться в структуре своих частей и вообще развиваться в самом широком смысле слова. Наиболее поразительным случаем построения органической материи из веществ неорганических является поглощение и усвоение растениями углерода.

Мы уже сказали, что процесс ассимиляции реален только в связи с процессом диссимиляции. Наиболее типичный случай диссимиляции, когда вещества организма окисляются, как бы сгорая при действии свободного кислорода воздуха, — есть дыхание. Оно должно заканчиваться распадом углеводов нацело, на углекислоту и воду. Неполное окисление дает продукты, могущие еще гореть. При недостатке кислорода дыхание может быть заменено брожением, при котором образуются углекислота и спирт или иные вещества.

Итак, каждая частица, выполняющая определенную работу в теле живого существа, вследствие распада освобождается из него и возвращается во внешнюю среду. Все время в живом организме происходит одновременный процесс поглощения частиц, построение из них живого организма и распад и отдача продуктов распада окружающей среде.

Таким образом, ассимиляция — диссимиляция есть непрерывно происходящий в организме процесс самообновления. Всегда процессы питания приводят к восстановлению разрушенных частей и каждая частица отработанного вещества сейчас же заменяется новой. Все же молекулы, которые в своей совокупности составляют живой организм, обновляются, замещаются новыми частями ассимилированной пищи, и жизнь немислима без постоянного движения, постоянного изменения, постоянного взаимодействия организма и окружающей его среды¹.

¹ В настоящее время процессам обмена придается еще большее значение. Обмен веществ, как отличительный признак живого, является процессом, из которого вытекает такое свойство живого организма как наследственность.

Что такое свойство наследственности?

Акад. Т. Д. Лысенко дает ему следующее определение: «Свойство наследственности — это способность организма брать из внешней среды только то, что соответствует природе данного организма, и не брать того, что ей не соответствует». Растения синтезируют сложные органические вещества из веществ неорганических. Они идут на построение растительного организма его живого тела. Но разные растения

Вернемся еще раз к роли солнечного луча, как источника энергии. Поглощая солнечные лучи, растение за счет их энергии производит весьма сложную работу. В результате сложных реакций наружу выделяется свободный кислород, а углерод, вступая в разнообразные реакции с другими веществами, поступившими в растение из внешней среды, образует сложные химические (органические) соединения — углеводы, жиры и белки. Эти органические вещества используются для построения клеток и заряжены потенциальной энергией, распределенной по тканям живого организма.

Другой, как бы противоположный процесс, — это поглощение из атмосферы кислорода, при помощи которого окисляются соединения, заключающие в себе углерод: последний, соединяясь с кислородом, превращается в инертное соединение — уголекислоту, а выделяющаяся при этом энергия используется для процессов жизнедеятельности.

Углеродный обмен растений тесно связан с поглощением и отдачей энергии.

Другие живые существа, не зеленые, не могущие поглощать солнечные лучи сами, поглощают углерод в виде его соединений — углеводов, жиров и белков, выработанных зелеными растениями и содержащих в себе запас потенциальной энергии. Они одновременно с этим поглощают кислород из окружающего нас воздуха. Кислород окисляет углеводы, жиры и белки, которые при этом как бы сгорают; углерод их снова связывается в уголекислоте, а энергия переходит в работу живых существ.

Мы имеем здесь первый важнейший цикл явлений обмена, именно — круговорот углерода. Атом углерода, содержащийся в уголекислоте, последовательно вступает в различные соединения, каждое со своими основными свойствами, он переходит из атмосферы в зеленое растение, из зеленого растения в организм животных и оттуда, в форме той же уголекислоты, снова в атмосферу. Круг замыкается. Этот круг можно, конечно, детализировать. Можно проследить путь, который проходят атомы углерода и связанная с ним энергия во всех деталях, и в нашем курсе мы еще будем иметь дело с этим процессом, потому что он лежит в основе всех явлений жизни. Если углерод играет важную роль, как элемент, способный давать массу соединений, то все же он не один участвует в процессе обмена. Элементы воды — водород и кислород — также очень важны. Откуда берется вода в процессе ассимиляции и как идет ее отдача в процессе диссимиляции, легко понять, так как мы все время имеем дело с водными растворами.

Наконец, в обмен входит еще и четвертый элемент — азот, играющий в этом процессе важнейшую роль, поскольку он является важной составной частью белка, — основы всякой живой клетки.

Круговорот азота сложнее, чем круговорот углерода.

берут из внешней среды не одинаковые вещества, а только те, которые требуются для осуществления свойственного им типа обмена веществ. Если мы изменим тип обмена веществ растения, заставив его ассимилировать вещества ему не свойственные, — мы изменим и наследственность этого растения. Так, например, срачивая веточку привоя с подвоем, мы заставляем эту ветку питаться чужой, несвойственной ей пищей. Будучи вынужденно ассимилирована, эта пища включается в состав тела привоя и становится необходимой для его дальнейшего развития. В результате наследственные свойства привоя изменяются, и плоды, выросшие на нем, будут гибридными, т. е. обладающими свойствами и того растения, на которое была привита ветка привоя. Потомство, полученное от таких гибридов, будет уже предъявлять к внешним условиям иные требования, чем то растение, с которого была взята ветка, послужившая привоем. Это потомство будет обладать иным типом обмена, иной наследственностью, иными признаками и свойствами.

Таким образом, наследственные свойства организма обуславливаются характерным для него типом ассимиляции, типом обмена веществ. Живой организм находится в постоянном и тесном единстве с условиями его существования, в единстве со средой. *Ред.*

Азот в газообразном состоянии — главная составная часть атмосферы. Мы, люди, получаем необходимый нашему организму азот в виде мясной или растительной пищи, дышать же азотом нельзя. Если бы нас поместили в атмосферу азота, то мы немедленно погибли бы.

Зеленые растения — пшеница, рожь, картофель и др. — требуют азотистых удобрений в виде навоза, минеральных удобрений и пр.; для них азот атмосферы также недоступен, они берут его из почвы в виде водного раствора, содержащего соли азотной кислоты, как и соли серной и фосфорной кислот.

Основной круговорот азота состоит в том, что связанный азот, уже вошедший в тела растений и животных, постоянно утилизируется вновь растениями и животными. Человек ли, насекомое, растение или их части отмирают, гниют и вновь переходят в почву. Находящиеся в почве азотистые соединения являются источником азотистого питания для зеленых растений. Без азота нет жизни, нет ни одного живого существа, в которое не входил бы азот. Он существенно необходим. Круговорот его как будто бы простой: азот временно работает в теле какого-либо организма, отработав, он переходит в почву, из почвы поглощается корнями растений в виде водных растворов селитры, снова входит в питательные вещества, образуемые растениями и служащие пищей животных. Например, в зерне ржи имеется азот. С клейковиной хлеба мы поглощаем этот азот и превращаем его в частицы нашего тела. Каждый организм отдает азотистые вещества окружающей среде.

В шестидесятых и семидесятых годах прошлого века немецкие агрономы пришли к неверной мысли, что азот, связанный в органических соединениях, и азот газообразный или свободный азот атмосферы не переходит один в другой. Считали, что количество связанного азота остается неизменным, поскольку атмосферный азот растительному миру недоступен, а это означало бы, что совокупность всего живущего на земле образует постоянную величину, которая возрасти не может. Вышло, что если мы желаем развить наше животноводство, желаем, чтобы на единицу населения вместо одной головы рогатого скота приходилось две, десять или более, то этого сделать нельзя; неоткуда взять нужное количество азота. Получился замкнутый круг.

Уже тогда перед агрономами очень остро встал вопрос, откуда взять азот. Залежи азотистых удобрений, известные в то время, были близки к истощению; казалось бы, что агрономическая наука стоит перед катастрофой, что придется идти на снижение сельского хозяйства в целом.

[Однако тупик этот оказался ложным, так как было доказано, что] при культуре бобовых растений количество азота в почве после снятия урожая не уменьшается, как при культуре злаков, а увеличивается.

В настоящее время точно установлено, что процессы связывания атмосферного азота и конечное превращение его в азот белковых или протеиновых соединений, играющих выдающуюся роль в жизни, идут на земле достаточно интенсивно.

Уже окисление азота атмосферы при грозových разрядах атмосферного электричества и дождевых облаков дает некоторое количество растворенного в дождевой воде аммиака — NH_3 , для чего необходимы только свободный азот атмосферы и водород воды.

Однако количество связанного азота, полученного благодаря этому, невелико. Позднее оказалось, что в почве имеется целый мир бактерий, прекрасно справляющихся одни — с превращением азота аммиака в азот селитры, другие — со сжиганием азота атмосферы в окислы, также соответствующие селитре. Благодаря введению С. Н. Виноградским точного способа учета числа почвенных бактерий обнаружилось, что такие бактерии азотособираатели, в частности *Azotobacter*, чрезвычайно многочисленны, особенно в подщелочен-

ных почвах нашего юга. Изучение бактерий почвы открыло нам целый мир, который ранее не был известен. В течение последних 50 лет понемногу выяснилось, что на земле все время идут процессы связывания азота и увеличения количества азота в почве.

Благодаря этому перед нами открывается полная возможность развивать урожайность полей и расширять скотоводство. Количество азотистых веществ, связанных с живыми организмами, может быть безгранично увеличено. По стопам бактерий можем идти и мы сами, так как мы можем строить заводы для сжигания азота атмосферы и для превращения его в окислы, которые в соединении с основаниями могут дать удобрение для наших полей.

Таким образом был вскрыт весь процесс, с помощью которого и азот можно вовлекать в общий круговорот жизни, постепенно увеличивая его количество, а следовательно, и увеличивая общую массу живого на земле.

Но как же происходит самый обмен? Каким образом газовые смеси и водные растворы, содержащие углекислоту или кислород, равно как и водные растворы, содержащие соли азота, попадают внутрь организма и усваиваются живыми частями последнего? Это достигается процессом диффузии и процессом осмоса.

Диффузия состоит в том, что благодаря движению молекул, составляющих газы и жидкости, они очень легко смешиваются друг с другом, взаимно проникают друг в друга, поэтому, когда мы дышим, кислород воздуха легко поступает во все ткани нашего тела. То же самое происходит и с растениями; внутрь растения постоянно входят частицы воздуха, наполняют все полости, в нем находящиеся, и вновь выходят наружу, имея уже другой состав. То же происходит и с водными растворами газов и солей, которые легко смешиваются друг с другом.

Однако мы наталкиваемся здесь на такую трудность. Изучая растение в разрезах, мы видим, что оно состоит из так называемых клеток, в которых в числе других веществ находятся водные растворы, и из межклеточных пространств, в которых циркулирует воздух. Таким образом, газообразная среда и водная среда внутри растительного организма разъединены.

Углекислота и кислород могут свободно диффундировать внутри живых частей растения, диффундировать могут и водные растворы, но растворы, находящиеся в почве, т. е. дождевая вода, которая, проникая в землю, растворяет там соли и некоторые органические вещества и образует так называемый почвенный раствор, — эта вода, омывая корни растения, проникнуть в них за отсутствием отверстий не может. Здесь выступает на сцену второй процесс — процесс осмоса.

Осмос — явление чрезвычайно интересное и важное, им обуславливаются многие свойства растений. Оно состоит в том, что водные растворы, при известных условиях, проходят через перепонки, в которых никаких отверстий нет. Перепонка, разделяющая два раствора, может пропускать растворы, и тогда она является проницаемой, или только воду, и тогда она является полупроницаемой. Благодаря осмосу корни всасывают из почвы растворы солей и частично отдают наружу раствор сахара и органических кислот.

Поглощение путем осмоса воды и минеральных солей делает все растение напряженным, плотным. Такое состояние напряжения получило название тургора; тургор как бы растягивает и расправляет ткани растения, делает их упругими. Потеря тургора вызывает вялость тканей.

Для того, чтобы лучше понять это явление, рекомендуется сделать следующий простой опыт. Берут пятипроцентный раствор сернокислой меди и бросают в него кусочек железистосинеродистого кали, называемого желтой кровяной солью, $K_4Fe(CN)_6$. Сначала кусочек лежит на дне без изменения, но вскоре одевается коричневой пленкой. Пленка

эта состоит из железистосинеродистой меди. Благодаря разности концентраций растворов снаружи и внутри (под пленкой) вода будет проходить через пленку, растягивая ее. Последнее приведет к разрыву пленки. Однако при этом железистосинеродистое кали снова придет в контакт с сернокислой медью, и тотчас же образуется новая пленка. В результате пленка будет расти, и через некоторое время с поверхности куска железистосинеродистого кали она поднимется в виде мешка, который будет расти вверх, пока не достигнет поверхности раствора.

Процесс осмоса, хотя и является процессом физическим, молекулярным, принимает выдающееся участие и в явлениях жизни и обуславливает постоянное всасывание растением растворов, его окружающих. Особенно ясно это в отношении корней. Растворы, проникнув в растение, поднимаются затем по растению вверх, доходят до листьев, где и отдают воду. Благодаря осмосу и испарению в растении получается постоянный ток воды, поддерживающий тургор во всех частях его. Каждая живая клетка, в какой бы части растения она ни находилась, все время получает свежие питательные растворы в обмен на растворы веществ, уже отработанных или находящихся в избытке.

На предложенной выше модели осадочной перепонки из железистосинеродистой меди и всасывания раствора, связанного с ростом, мы имели явление, далекое от жизни. В чем же различие? На модели мы видели лишь одну реакцию образования за счет сернокислой меди и железистосинеродистого кали нового вещества — железистосинеродистой меди, в организме же мы имеем сложную цепь химических превращений, приводящих к построению самого организма, возмещению его потерь и проявлению жизненных явлений.

У предметов неорганических, у кусков камня — гранита, гнейса, известняка и пр. — можно наблюдать только прямое воздействие среды. Дождевая вода, смена температур, действие ветра или удара камня по камню — все это производит эрозию или выветривание, ведущее к уничтожению камня, превращению его в песок и пр. Камни под влиянием среды, включая действие водных растворов, не только не растут, но и уменьшаются в размерах. Процессы образования горных пород, например, осаждение извести из водных растворов в форме сталактитов или образование песчаников и сланцев на дне моря, также сводятся к отношению простому воздействию среды путем испарения, уплотнения или цементирования. Обмена с окружающей средой, сопровождаемого сложной цепью постоянных закономерных химических превращений и образованием совершенно новых органических соединений, здесь не наблюдается.

[Итак, первый общий закон жизни — закон обмена.]

Примером для установления второго закона жизни — закона раздражимости — послужит нам оригинальное бобовое растение стыдливая мимоза (*Mimosa pudica*, рис. 15). Под тропиками можно видеть целые заросли этой мимозы. Перед вами яркая зелень растений в полтора — два метра вышиной, — подул ветер, и вы видите, как все сразу переменялось: окраска стала бледной, растение как бы съежилось. Оказывается, что при малейшем прикосновении листья этого растения складываются попарно, и все черешки опускаются. Вся заросль резко меняет свой общий вид. Проходит некоторое время, вокруг все спокойно, и снова листья поднимаются, листочки их расходятся и ложатся плоско, процесс ассимиляции углерода и лучистой энергии восстанавливается полностью. Что же здесь происходит? Мимоза построена таким образом, что у основания каждого листа имеется чуть расширенное основание черешка. У основания каждого маленького листочка — расширенный черешочек. В этих черешках и черешочках ткани построены так, что вода может или всасываться клетками и вызывать в них состояние тургора, или выходить в межклетные пространства, где

ранее находился воздух, и тогда клетки теряют свой тургор, как бы подвядают. В первом случае и весь лист и его листочки напряжены и занимают положение, обычное для каждого здорового листа, во втором — они складываются и опускаются, так как ткани их лишились тургора, и он их уже не поддерживает. Чтобы точнее подметить механизм опускания листьев мимозы, вы осторожно ударяете лист пальцем. Лист содрогается и весь опускается. Теперь вы уточняете: еще ударяете лишь по одному из многочисленных листочков, не сотрясая всего листа, и все же, хоть и гораздо медленнее, складываются все листочки,



Рис. 15. Побеги стыдливой мимозы (*Mimosa pudica*) со сложными листьями: А — в спокойном состоянии; Б — после раздражения.

пара за парой, и, наконец, опускается весь лист. Здесь уже налицо восприятие раздражения тронутым вами листочком, передача его по листку к основанию и, наконец, ответ на раздражение — опускание всего листа.

Переменим еще раз методику опыта. Возьмем зажигательное стекло или лупу и наведем световой зайчик только на одно сочленение последнего непарного листочка. Тот же эффект: свет раздражает восприимчивую часть черешочка, раздражение передается дальше к основанию главного черешка, и лист опускается. Получается то же самое, как если уколоть человеку палец булавкой, и он рефлекторно отдернет свою руку. Получается то же действие, но менее сложное.

потому что у растения нет нервов, нет мышц, а раздражение передается из клетки в клетку по протоплазме. Живое вещество — протоплазма — как оказывается, обладает способностью передавать раздражение на расстояние, может вызывать сжатие тканей, выделение воды из клеток и спадение тканей. Получается нечто похожее на движение мышц, на передачу по нервам, а иной, пожалуй, скажет даже, что растение чувствует прикосновение. На самом деле у растения все это гораздо проще: здесь явления раздражения более примитивны, но все же мы имеем способность протоплазмы воспринимать явления внешней среды, передавать возбуждение на расстояние и как-то целесообразно реагировать на него движением. У мимозы это проявляется резко, хорошо заметно; у других растений это трудно обнаружить, но все же растениям это явление свойственно. Вспомним, например, так называемый «сон растений» — у клевера, у кислички (*Oxalis acetosella*): листочки их сложных листьев к ночи складываются и опускаются. Раздражимость, как свойство протоплазмы, является отличительным свойством живого от неживого. Конечно, и неживое реагирует на прикосновение, свет, тепло, электрические разряды и пр., но при этом нет той сложности в этом явлении реакции на внешний мир, какая имеется у живого организма. В неживой природе простая механическая модель может объяснить все происходящее при этом, а в живом растении в процесс раздражимости входят и химические превращения, а может быть и превращения лучистой энергии, связанной клетками. Таким образом, вторым законом жизни, отличающим живое от неживого, и будет закон раздражимости.

Третьим законом является закон развития. Для всего живого характерно, что, зарождаясь в виде одной микроскопически малой клетки, у большинства организмов именуемой «зиготой», каждый организм проходит затем ряд последовательных этапов, постепенно все более и более увеличиваясь и усложняясь, пока, наконец, не приходит во взрослое состояние. Подобно тому, как каждое живое существо проходит сложный и длинный путь развития от одной клеточки до взрослого состояния, когда у него развиты и различные ткани и различные органы, подобно этому развивался и развивается также и весь мир живых существ. От простейших и до высоко-дифференцированных высших организмов тянется длиннейший путь развития, соответствующий течению последовательных геологических эпох.

Первоначально на земле жили только бактерии, потом появились более сложные жгутиковые и амебообразные организмы, далее появились и прошли свой путь развития от простейших форм до наиболее совершенных водоросли, позднее к водорослям прибавились грибные организмы, затем — с выходом растений на сушу — псилофиты, мхи, папоротникообразные, голосеменные и, наконец, цветковые, наиболее сложные растения по строению своих весьма разнообразных тканей и органов. Последним звеном в этой длинной цепи растительных типов являются культурные растения, созданные человеком и целесообразно отвечающие потребностям хозяйства.

Процесс индивидуального развития организма от единой клетки — зиготы — до взрослого состояния называется онтогенезом, а процесс эволюции, обнимающий историю организмов от простейших предков до высших совершенных форм, называется филогенезом.

[Развивается всякий организм — и животное и растение.

Бросьте весной в землю зерна яровой пшеницы — осенью вы увидите колосья, наполненные зернами. Что происходило с растением в течение лета? Оно росло и развивалось. Значит, здесь мы имеем два процесса — рост и развитие. Процессы эти связаны между собой, но они не однозначны. Может быть так, что рост растения пойдет быстро, а его развитие медленно. Если мы посеем весной озимую рожь,

она начнет развиваться, но через некоторое время развитие прекратится и дальше будет продолжаться только рост растения. Оно достигнет больших размеров, но так и не будет плодоносить до самой осени, не перейдет в стадию плодоношения. Растение в данном случае росло, но не развивалось.

Что же такое рост? Рост растения — это одно из свойств развития, выражающееся в количественном увеличении массы растительного организма. Он зависит и от природы растения и от условий окружающей среды. Пшеница не вырастает до размеров тополя, и разница в высоте этих растений зависит от их различной природы, но растения одного и того же сорта пшеницы могут значительно отличаться друг от друга по размерам, и эти различия зависят от тех конкретных условий окружающей среды, в которых жили эти растения.

Что мы понимаем под развитием растения?

Развитие растения — это ряд качественных изменений, которые претерпевает растение в своей индивидуальной жизни от семени до образования новых семян.

Разграничение понятий роста и развития растений является заслугой акад. Т. Д. Лысенко. Изучая изменения, протекающие в растении за время его индивидуальной жизни в определенной обстановке, Т. Д. Лысенко разработал свою теорию стадийного развития растений. Сущность этой теории заключается в следующем.

Растение в своем индивидуальном развитии — от посева семени до образования новых семян — проходит ряд этапов, или стадий, последовательно сменяющих друг друга.

В прохождении стадий развития имеется строгая последовательность: не закончив первой стадии, растение не может перейти к следующей. При этом для перехода растения от одной стадии к другой требуется комплекс внешних условий, определяющийся природными свойствами данного растения. При отсутствии этих условий развитие растения задерживается и оно не может перейти к следующей стадии. В вышеприведенном примере с озимой рожью растение не могло развиваться, перейти к следующей стадии развития, к плодоношению, так как было помещено в условия, не свойственные природе озимого растения, начинающего развитие с осени при пониженных температурах.

Акад. Т. Д. Лысенко предполагает, что имеется 4—5 стадий развития растения, но открыты и изучены пока две — стадия яровизации и световая. В свете учения о стадийном развитии легко понять, почему в нашем примере озимая рожь, посеянная весной, не может перейти к плодоношению. Она дает лишь вегетативный рост — кущение. Для того чтобы заставить растение плодоносить в первый год посева, нужно подвергнуть его яровизации — действию пониженных температур, т. е. такому воздействию, которое превращает озимое растение в яровое.

Озимая рожь в течение многих и многих поколений высевалась с осени. До морозов выросшее из семени растение росло, кустилось и затем, застигнутое низкими температурами, под покровом снега зимовало до следующей весны. Оно проходило стадию яровизации.

Если мы весной подвергнем намощенные, чуть тронувшиеся в рост семена озимой ржи действию пониженных температур от 0 до +10° Ц в течение 18 дней и затем высеём, растение будет расти и сможет перейти к следующей — световой стадии, определяющей наступление плодоношения. Прохождение световой стадии, однако, требует иных условий. Здесь основным фактором является свет. Различные растения требуют различной напряженности света и продолжительности освещения. Растения «длинного дня» (северные по происхождению растения, например, рожь) требуют длительного освещения, так как они сформировались при длинном дне северных широт; растения «короткого дня» (южные по происхождению растения, например, кукуруза,

просо) требуют для нормального прохождения световой стадии периодического затенения при культуре их в северных широтах. Если не создать этих условий растению, оно не приступит к плодоношению.

Акад. Т. Д. Лысенко разработал также практический прием искусственной предпосевной яровизации растений, чашедший широкое применение в практике нашего сельского хозяйства. Оказалось, что посевы яровизированными семенами увеличивают урожайность растений.

Таким образом, индивидуальное развитие растения тесно связано с внешними условиями и определяется также природными особенностями организма, его филогенезом.

В этом заключается огромное научное общеприродное значение теории стадийного развития, созданной академиком Т. Д. Лысенко.

Зная требования растения к внешней среде на разных стадиях развития, исходя из учета его природных свойств, можно сознательно изменять развитие растения в нужном нам направлении. В этой действительности заключается особая важность учения акад. Т. Д. Лысенко.

Таким образом, мы установили три основных свойства или закона жизни, которые отличают живое от неживого, объединяя в общее понятие жизни явления, свойственные и растениям. Однако вместе с тем мы ни на одну минуту не должны забывать, что живые существа, единые по основным своим свойствам, бесконечно разнообразны в своих проявлениях.

Одним из характерных проявлений разнообразия работы растений являются способы питания. Мы начали нашу первую главу с указания, что наиболее характерной особенностью зеленых растений является ассимиляция углерода из углекислоты воздуха и одновременное усвоение чистой энергии, получаемой от солнца. Мы признали тогда это явление за основной способ питания растений. Однако этот способ питания далеко не единственный.

Уже наше предположение о происхождении на земле хемотрофных бактерий ставит ребром вопрос о различных способах питания. Повидимому, первым древнейшим способом питания организмов является хемотрофный (хемосинтез)¹. Здесь энергия солнечных лучей еще не принимает участия в жизни организмов. Энергия жизненного процесса черпается из процесса окисления какого-либо химического элемента. В сущности, для поддержания жизни пригодна любая реакция, сопровождающаяся освобождением энергии, хотя бы в форме тепла, т. е. любая экзотермическая реакция. И в настоящее время мы имеем ряд организмов, которые относятся к хемотрофной группе, например, железо- и серобактерии наших водоемов. Организмы эти широко распространены и способствуют образованию залежей, например, в форме болотной руды; они играют на земле и сейчас большую роль.

Второй способ питания — фототрофный (фотосинтез).

Под этим названием объединяются процессы усвоения живым растением чистой энергии солнца или других источников света, т. е. здесь мы имеем основной процесс растительной жизни. Зеленые растения обладают такой же способностью аутотрофного, т. е. самостоятельного питания, как и хемотрофные. Это значит, что по сравнению с другими организмами, лишенными этой способности, они не нуждаются в готовых органических соединениях, но строят их из элементов, которые заимствуют из воздуха и воды, а также из почвы. Процесс питания фототрофных растений состоит в том, что зеленый лист поглощает смесь газов, составляющих воздух, с помощью особых отверстий (кустьиц), находящихся на листе. Внутри листа, распростра-

¹ См. сноску на стр. 16—17.

няясь по межклетникам, углекислота проникает в живые клетки, стенки которых пропитаны водой. Углекислота растворяется в воде и усваивается зеленым листом под влиянием света. В результате этого процесса кислород выделяется в атмосферу, а углерод, вступая в соединение с водородом и кислородом воды, образует углеводы. Первым удобно накапливаемым соединением этой группы является сахар, который путем дальнейших превращений дает крахмал, клетчатку и другие безазотистые соединения.

Громадному большинству растений свойственно фототрофное питание. Хемосинтез и фотосинтез представляют собой автотрофное питание, которое мы противопоставляем гетеротрофному, где растение использует готовые органические вещества.

Третий способ питания — сапрофитный.

Все многочисленные отбросы жизни, экскременты животных, палый лист осеннего листопада, мертвый ствол дерева, наконец, все мертвые растения и животные или их отмершие части становятся добычей плесеней и бактерий. Питающиеся трупами бактерии разлагают углеводы, жиры и белки данного организма, превращают их в другие менее сложные соединения, в конце концов в аммиак, углекислоту и воду. Труп исчезает.

Если бы сапрофитных бактерий не существовало, то жить на земле было бы очень трудно, потому что со времени палеозоя вся поверхность земли была бы завалена умершими растениями и животными и все пищевые вещества были бы связаны. Благодаря сапрофитам все вещества, необходимые для жизни, постоянно переходят из одного организма в другой, почему и получается круговорот веществ. Те же самые атомы и молекулы поддерживают одновременно жизнь массы особей. Каждый из нас может оказаться обладателем таких атомов углерода или азота, которые временно входили в тело какого-либо динозавра юрского времени или панцырной рыбы силурийского. Вещества, поддерживающие жизнь, одни и те же, но в природе они попадают в различном соединении то в один, то в другой организм благодаря сапрофитам — бактериям и грибам. К числу сапрофитных растений относятся и некоторые высшие растения, например, некоторые бесхлорофилльные орхидеи, гнездовка (*Neottia nidus avis*), падьян (*Corallorhiza*, см. рис. 106) и некоторые другие.

Четвертый способ питания — паразитический.

На полях клевера или льна можно иногда наблюдать, что растения перепутаны какими-то белыми или красноватыми нитками, иногда из-за них и урожая собрать нельзя. Это так называемая повилика (*Cuscuta*) или чортовы нитки (рис. 16). Повилика не имеет ни корней, ни листьев. Это травянистое растение состоит из мясистых, тонких, как нити, стеблей, которые опутывают другие растения и врастают в них присосками — гаусториями (см. рис. 102), с помощью которых они высасывают из питающего их растения соки и за их счет развивают громадное количество цветов и семян. Семена падают на землю, прорастают, проростки сначала имеют корень и стебель, стебель растет, а корень понемногу сходит на-нет, вещества же, его составляющие, идут на подкормку и рост стебля. Стебель этот производит своим верхним концом круговые движения, которыми захватывает стебель какого-либо из соседних аутотрофных зеленых растений, присасывается к нему и начинает расти уже за его счет. Это настоящий паразит, который наносит большой вред посевам клевера и льна, семена которых надо тщательно очищать при посеве от семян повилики. Обычно паразиты отличаются еще и тем, что органы, не нужные им для поддержания жизни, у них исчезают: у повилики исчезают листья и корни, последние заменяются присосками, развивающимися из клеток наружной кожицы.

К числу злостных паразитных растений нашей флоры относится

также волчок или заразиха (*Orobanchе*), которая паразитирует на корнях подсолнечника.

Как сапрофиты, так и паразиты лишены хлорофилла, поэтому они имеют обычно желтую или бурую окраску.

На острове Суматра имеется редкое и там растение раффлезия (*Rafflesia*, рис. 17). Она живет в корнях растений семейства, к которому принадлежит виноград. На корне появляется как бы кочан капусты, это — цветочные почки раффлезии, тогда как другие ее жизненные части скрыты внутри корня, где и получают необходимое им питание. На поверхности находится только цветок, имеющий более метра в поперечнике. Ткани его мясистые, мясочерной окраски. Под деревом в лесу виден только такой цветок; ни корня, ни стебля, ни листьев, ничего этого у раффлезии нет; только громадный цветок, выросший на чужом корне, и присоски внутри последнего. Это крайняя степень паразитизма и вытекающего из него упрощения строения. Цветы необходимы и этому растению, так как они дают семена, а семена заражают новых хозяев.

У нас в европейской части Союза (например, на Украине и на Кавказе) имеется полупаразит, — это омела (*Viscum album*, рис. 18), растущая на ветвях тополей, осин и, реже, фруктовых деревьев — груш и яблонь. Омела — зеленая, имеет стебли и листья, но ее корни заменены присосками. Она образует зеленые и зимой, округлые кусты на ветвях деревьев, резко выделяясь среди их крон. Омела дает осенью белые, очень клейкие ягоды, которыми питаются многие птицы. Вместе с пометом птиц семена попадают на ветви деревьев, к которым прилипают и там прорастают. Омела не полный паразит (полупаразит): имея зеле-

ные листья, хотя и упрощенной формы, она может и самостоятельно ассимилировать, но корни у нее превращены в присоски (рис. 18, Б), глубоко проникающие в древесину ветви хозяина и высасывающие из него воду с растворенными в ней минеральными солями. Борьба с омелой трудна, так как на месте каждого срезанного куста ее появляется несколько молодых, выросших из ткани, присосков: приходится спиливать целые ветки. Хозяина своего — дерево — омела понемногу истощает и даже губит, после чего, разумеется, погибает и сама.

Однако главная масса паразитов, большинство их, принадлежит к грибам и бактериям. Перед вами упавший ствол дерева в лесу, он лежит уже давно, сохраняя видимость здорового ствола. Вы подходите к нему и дерочинным ножом пробуете его разрезать. Оказывается, древесина его стала совершенно мягкой, под микроскопом обнаруживается,



Рис. 16. Паразитное растение — повилика (*Cuscuta*), обвивающаяся вокруг растения-хозяина; справа — проростки повилики.

что вся эта древесина пронизана тончайшими нитями плесени, осахарившей и использовавшей большую часть твердых клеточных стенок. Плесень эта принадлежит грибу трутовику (*Fomes*), плодовые тела которого имеют вид козырьков или копыт, торчащих сбоку на коре дерева (рис. 19). Живые деревья кругом также украшены там и здесь подобными «козырьками». Микроскопически малая спора, попав в ранку



Рис 17. Тропическое паразитное растение — раффлезия (*Rafflesia*), общий вид.

кору дерева, прорастает и пронизывает затем понемногу весь огромный ствол, убивая его. Лесовод, видя в лесу подобные деревья, бракует их.

Еще важнее для нас изучение паразитных грибов — головни и ржавчин, которые живут на хлебных злаках [и приносят огромный ущерб в хозяйстве, резко снижая урожайность растений]. Ржавчинный грибок на листьях образует скопление спор в виде черных или желтых полосок или пятен, а головневый гриб в зернах вызывает уничтожение содержимого и замену его черным или чернофиолетовым порошком спор.

Наконец бактерии, вызывающие сибирскую язву и другие заразные болезни у домашних животных, чуму, холеру, тиф, туберкулёз и массу других ужасных болезней человека, — также паразиты. Мы твердо

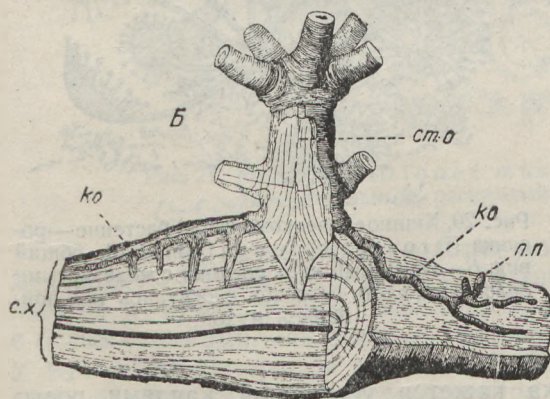


Рис. 18. Полупаразитное растение — омела (*Viscum album*): А — отдельный куст с плодами на ветке дерева; Б — нижняя часть стебля омелы с корнями в теле растения-хозяина: с. х. — стебель хозяина, ст. о. — стебель омелы; к. о. — корни омелы; п. п. — придаточные почки на корнях омелы, из которых вырастают новые побеги омелы; В — кусты омелы на дереве зимой.

знаем, что победа над ними требует полной социальной перестройки человеческого общества. Только в бесклассовом обществе можно правильно поставить борьбу с этими паразитами и избавить от них человечество.

Следующий, пятый, способ питания — хищнический.

К этой группе растений относятся такие, которые способны сами вырабатывать углеводы, например, сахар, но растут в таких условиях, в которых из почвы не могут получить соединений азота. Такие растения ловят насекомых и извлекают азот путем переваривания последних.

В болотах нашего севера имеется очень много так называемой росянки. Росянка круглолистная (рис. 20) — маленькое растение, состоящее из розетки листьев, пучка корней и цветочной стрелки с маленькими белыми цветами на верхушке. Самое замечательное в ней — это ее листья. Они покрыты довольно длинными, красного цвета волосками, имеющими на концах расширения — железки, выделяющие пищеварительный сок. На болоте

(*Drosera rotundifolia*,

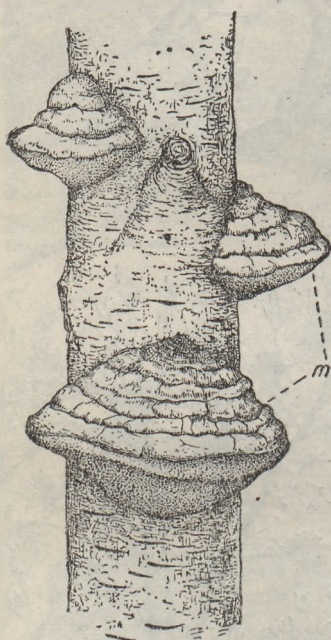


Рис. 19. Паразитирующий гриб — трутовик (*Fomes*) на стволе дерева.



Рис. 20. Хищное (насекомоядное) растение — росянка (*Drosera rotundifolia*); А—общий вид; Б—отдельный лист росянки с железистыми волосками; часть волосков изогнулась над пойманной мухой.

в летний солнечный день росянка кажется усыпанной каплями росы; если подвергнуть эту «росу» химическому анализу, то окажется, что в состав этой довольно вязкой жидкости входит фермент, аналогичный пепсину нашего желудка; это фермент, переводящий нерастворимые в воде белки в растворимые пептоны. Кроме того, аналогично соляной кислоте нашего желудка, в соке росянки имеется муравьиная кислота, также содействующая пептонизации белков.

Однако, как же может насекомое попасть в этот переваривающий его аппарат, — как бы желудок? Когда муха или другое насекомое садится на лист, привлеченное его внешним видом, в поисках нектара или других съедобных для него растительных выделений, то оно касается своими лапками основания волосков, а там имеются раздражимые

клетки, которые передают воспринятые ими раздражения протоплазме волоска. Волоски отвечают на раздражение тем, что загибаются верхушками к середине листа, который и сам изгибается, получая форму чаши или ложки. Окруженная со всех сторон волосками, муха понемногу попадает в сплошную каплю выделенного ими пищеварительного сока, в котором и происходит переваривание. К концу процесса тело мухи растворяется, кроме хитиновых покровов. После этого лист снова расправляется, волоски становятся на свое место, и ветер уносит подсохший на солнце покров насекомого. Можно упомянуть еще росянку длиннолистную — *Drosera longifolia*, у которой лист, реагируя на прикосновение насекомого, может закручиваться по длине. У росянок процесс обмена комбинируется еще и с процессом раздражимости.



Рис. 21. Мухоловка (*Dionea muscipula*): А — общий вид; Б — отдельный раскрытый лист мухоловки.

В Америке на торфяных болотах можно разыскать так называемую мухоловку — *Dionea muscipula* (рис. 21). Она состоит из розетки листьев и пучка корней, всасывающих воду; цветочная стрелка ее с белыми цветами, как и вся мухоловка, крупнее, чем у росянки. Листья у мухоловки построены еще интереснее, чем у росянки. Каждый лист состоит из двух симметричных половинок (рис. 21, Б), имеющих зубчатые края с сильно удлиненными зубчиками, расположенными так, что зубчики одного края приходятся против промежутков другого. Насекомое, севшее на такой лист, может долго гулять по нему, не вызывая никаких изменений, но если оно коснется одной из трех щетинок, симметрично расположенных на каждой из двух половинок листа, то возникает раздражение, которое передается средней жилке. Лист захлопывается, и насекомое оказывается внутри глухого мешка. Теперь начинают действовать красные сидячие железы, рассеянные по всей поверхности листа. Они выделяют пищеварительный фермент, близкий пепсину, и муравьиную кислоту, все белки насекомого растворяются, остается только хитиновый покров, который сдувает ветер, когда лист снова раскроется.

На нашем севере, на лугах около рек в июне легко встретить жирянку (*Pinguicula vulgaris*, рис. 22), у которой фиолетовый цветок своей формой напоминает фиалку. Это растение имеет розетку листьев, снабженных грибовидными сидячими железками, которые выделяют ферменты, пептонизирующие белки. Оно не имеет столь сложных приспособлений, как мухоловка и росянка, насекомое здесь просто прилипает к вязкой пищеварительной жидкости и в ней переваривается.

Насколько деятельно вещество, выделяемое железками, показывает то, что крестьянки во многих местах Архангельской и Вологодской об-



Рис. 22. Жирянка (*Pinguicula vulgaris*), общий вид.

ластей собирают жирянку и росянку для того, чтобы с их помощью мыть кринки из-под молока. Молоко, свертываясь, задерживается трещинами и неровностями стенок посуды, вода не растворяет белков, росянка же своими ферментами растворяет белки и отлично очищает посуду.

Для таких растений, как росянка, мухоловка, жирянка, возможность усваивать азот, доставляемый им насекомыми, имеет громадное значение.

В тропиках, где жизнь развивается гораздо разнообразнее и пышнее, мы имеем еще более изумительные вещи. Мы имеем там кувшинчики (*Nepenthes*, рис. 23), у которых листья развиваются в некоторой своей части в виде полого сосуда большой вместимости (около стакана). На внутренних стенках этого «сосуда» находятся железки, выделяющие пищеварительный сок и муравьиную кислоту; более половины всего сосуда наполнено жидкостью; насекомые садятся на край кувшинчика, падают с него внутрь, тонут в жид-

кости и перевариваются там. Кувшинчики *Nepenthes*'а могут переваривать даже крупных насекомых и часто полны ими.

Кроме того, существуют еще более сложные случаи питания растений, в которых принимают одновременно участие цветковые растения, грибки и бактерии, или грибы и водоросли. Эти симбиотические системы питания мы изложим в свое время в связи с учением о корне, теперь же ограничимся упоминанием об их существовании.

В заключение этой главы поставим вопрос: чем растение отличается от животных? Вопрос этот кажется излишним, пока мы сравниваем между собой высшие организмы. Если же нам приходится работать с низшими организмами — бактериями, одноклеточными водорослями и грибами, с одной стороны, и одноклеточными животными, — с другой, то он приобретает большую остроту. Э. Геккель пробовал выйти из затруднения, установив особый мир низших организмов — протистов или монер, но создал этим лишь затруднение, так как явилась необходимость разграничивать растения уже не только от животных, но и от протистов. Ограничимся, следовательно, разделением и низших организмов на животные и растительные. Животные и растения,

как это впервые высказал Ч. Дарвин в конце своего труда о происхождении видов, имеют общее происхождение: древнейшие организмы не были разделены на животные и растения, разделение это явилось позднее. Животные и растения как бы взаимно дополняют друг друга, у растений преобладает синтез органического вещества и накопление энергии, у животных — дальнейшая его переработка и быстрое освобождение энергии.



Рис. 23. Насекомоядное растение — непентес (*Nepenthes*): общий вид растения.

Раньше во многих курсах общей физиологии говорилось, что животное дышит кислородом и выделяет углекислоту; растение, наоборот, дышит углекислотой и выделяет кислород. Позднее, когда выяснилось, что дыхание растений также состоит в поглощении кислорода и выделении углекислоты, стало понятно, что газовый обмен между организмом и окружающей его средой не дыхание, а процесс более сложный, и у растений прежде всего надо выделить процесс питания углеродом углекислоты, при котором выделяется кислород. Этот процесс у растений количественно более мощный, чем процесс дыхания, сопровождающийся поглощением кислорода и сжиганием углеводов и пр.

Основная масса растений, окрашенная специфическим для нее пиг-

ментом хлорофиллом в зеленый цвет, обладает способностью фототрофного питания, т. е. способностью синтезировать питательные вещества за счет энергии солнечных лучей, углерода, углекислоты воздуха и элементов воды. Растение обладает способностью накапливать и сохранять в своих тканях запасы образованных им органических веществ: например, запас сахара в корне свеклы, запас крахмала в зернах пшеницы или клубнях картофеля, запас жирного масла в семенах подсолнечника или конопли.

Животные не синтезируют неорганических веществ, они переваривают готовые углеводы, жиры и белки, образованные другими животными или растениями, причем превращают белки растительные в белки животные, масла растительные в жиры животные и т. д. Самое же главное в том, что животные не превращают лучистую энергию солнца в химическую энергию. От мира неорганического растения, как и животные, отличаются процессом непрерывного превращения вещества и энергии. Однако животные отличаются несравненно большей подвижностью и более активным характером реакций на раздражение, чем растения.

Быстрота реакций, быстрота движений у растений и животных резко различны. В то время как животные на своем, более богатом энергией, пищевом материале могут развивать более быстрые движения, более быстрые превращения, растения являются организмами, работающими более медленно. Когда мы видим перед собой поле ржи или пшеницы, мы знаем, что здесь создается вновь органическое вещество, но видим также, что, несмотря на потоки солнечных лучей, падающих на поле, работа, происходящая в растениях, не отличается быстротой: нужны недели и месяцы, чтобы процесс накопления углеводов и белков закончился и урожай созрел. Растения берут количеством особой, неустанной работы. На этом и основано огромное хозяйственное значение растений. В общем растения меньше расходуют в процессе диссимиляции и меньше освобождают энергии, животные — больше. Процесс диссимиляции, в частности, процесс дыхания, у животных проходит интенсивнее.

Так как в процессе обмена у растений главное значение имеют углеводы, то продуктом их окисления являются органические кислоты, особенно часто щавелевая, яблочная, лимонная и пр., почему выделения растений кислые. У животных преобладает белковый обмен, конечным продуктом которого в организме является мочевина, легко распадающаяся с образованием аммиака, почему выделения животных щелочные. Грибы, которые лишены хлорофилла, мало используют углеводы, богаче белковыми соединениями, почему и имеют щелочные выделения. Однако по другим своим свойствам, по близости к некоторым водорослям они все же ближе к растительному миру.

Мы видели, что по способам питания растения разбиваются на пять групп, причем первые три группы — хемотрофные, фототрофные и сапрофитные организмы — играют колоссальную роль в общем процессе круговорота веществ на земле. Что касается паразитов — будь то бактерии, грибы или цветковые растения, — то они играют уже второстепенную роль, и количество органического вещества, которое они вводят в свой жизненный обиход, сравнительно ничтожно, зато борьба с паразитами в сельском хозяйстве и в медицине имеет для нас первостепенное значение. Наконец, хищники — это, так сказать, музейный объект, редкое явление, которое важно для нас не по своей роли в круговороте веществ, а тем, что помогает выяснить сущность жизненных свойств растений.

Мы охватили в этой главе общие свойства жизни, а также разделение ее на мир растений и мир животных. Теперь необходимо познакомиться с тем общим явлением, которое объединяет не только свойства, но и строение растений, именно с их клеточным строением. Клетка и протоплазма будут далее сопровождать нас во всех наших изысканиях.

Часть вторая

ОРГАНЫ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

ГЛАВА IV

СТРОЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Первые попытки проникнуть с помощью микроскопа в тайну строения растений относятся к 1660—1680 гг. Как ни плох был микроскоп, которым пользовались тогда исследователи, все-таки они пришли к совершенно верному заключению, что в строении разнообразных частей растений, которые они резали и рассматривали в микроскоп, — пробка, куски коры, листья, мякоть и косточки плодов — имеется нечто общее. Всегда разрезанные части растений имели вид как бы сети, состоящей из массы отдельных ячеек. Были ли это кружочки, многогранники или вытянутые формы, — легко было объяснить зависимость формы этих ячеек от их давления друг на друга. Такое строение оказалось позднее общим для разных частей самых разнообразных растений. Эти отдельные ячейки получили укрепившееся впоследствии в науке название клеток или клеточек, а все строение организма — условное название клеточного строения.

Теория клеточного строения, разработанная Шванном и Шлейденом (1839), подтвердила принципиальное единство и общее происхождение всего живого.¹

Уже с начала XVIII столетия, когда микроскоп был несколько улучшен, стали замечать, что в клетках в значительном числе случаев имеется и содержимое. Оказывается, что внутри каждой такой ячейки или клетки (рис. 24) имеется плотное блестящее тельце, получившее название клеточного ядра. Для содержимого клетки установился термин «протоплазма». Таким образом, уже более ста лет назад стало известно, что растения имеют однородное строение, что они состоят из отдельных частиц, отграниченных одна от другой твердой оболочкой, причем внутри каждой такой оболочки имеется более плотное блестящее тельце — ядро и густая полужидкая масса протоплазмы, несколько схожая по своему составу с белком сырого куриного яйца.

В этом учении были, однако, некоторые неясности: например, поражало то, что среди водорослей и грибов существуют организмы, построенные иначе.

Особенно выделяется одна сравнительно небольшая водоросль, растущая на каменистом дне заливов западной части Средиземного моря и называемая каулерпой (*Caulegra*, рис. 25). В каких бы направлениях мы ни разрезали ее, она нигде не обнаруживает клеточного строе-

¹ Впервые отчетливо сформулировал положение о том, что все живое состоит из клеток и возникает из клеток, что отличием живого от неживого является клеточное строение, до Шванна и Шлейдена, — русский натуралист Павел Горьников (1834). *Ред.*

ния. Внутри всего растения, как в плоской листообразной верхней его части, так и в нижней стеблеобразной и в похожих на корни отростках, внедряющихся в грунт, нигде нет клеточных перегородок. Здесь имеется одна общая полость, и в ней много ядер; они погружены в протоплазму и передвигаются вместе с ней внутри тела растения, то переходя в нижнюю часть его, то поднимаясь вверх. Везде от наружных стенок каулерпы отходят внутрь небольшие палочкообразные выросты, на которые и опирается протоплазма при своих передвижениях.

Такое строение поняли как громадную клетку, дифференцированную наподобие целого растения, имеющего как бы стебли, листья и корни. Позднее это строение получило название сифонного (неклеточного). Это обстоятельство [сильно изменяет первоначальную точку зрения на строение организмов, согласно которой все они обязательно состоят из отдельных клеток].

Другой столь же трудный случай, — это плазмодий грибов-слизевиков, или миксомицетов. Плазмодий слизевиков представляет собой скопление протоплазмы с многочисленными клеточными ядрами. Плазмодий достигает иногда значительных размеров, подвижен, но совершенно лишен оболочки как внутри, так и снаружи. Плазмодий может быть совершенно не защищен, или одет выделениями аморфной извести, клеточного же строения в нем нет и в помине.

Все дело в том, что оболочка есть недеятельная защитная часть клетки, это ее неживая часть; более существенными являются ядро и протоплазма.

Работа именно этих двух частей клетки и обуславливает собой явления жизни. Поскольку и в сифонном организме и в плазмодии слизевиков имеется большое количество ядер, мы можем считать, что плазмодий по своему строению соответствует многоклеточному организму, но ядра с окружающей их протоплазмой не отделены друг от друга клеточными оболочками.

Клетку вообще можно рассматривать, как [обладающую всеми свойствами живого и преемственно передающую эти свойства от предков к потомкам единицу, «из размножения и дифференцирования которой возникают и вырастают все организмы». (Ф. Энгельс, «Л. Фейербах», М., 1931)].

Живое содержимое клетки, в противоположность оболочке, иногда называют протопластом, в котором наиболее существенными элементами различают ядро и протоплазму.

После открытия протоплазмы дальнейшие исследования показали, что в клетках заключен еще ряд образований, которые вначале остались

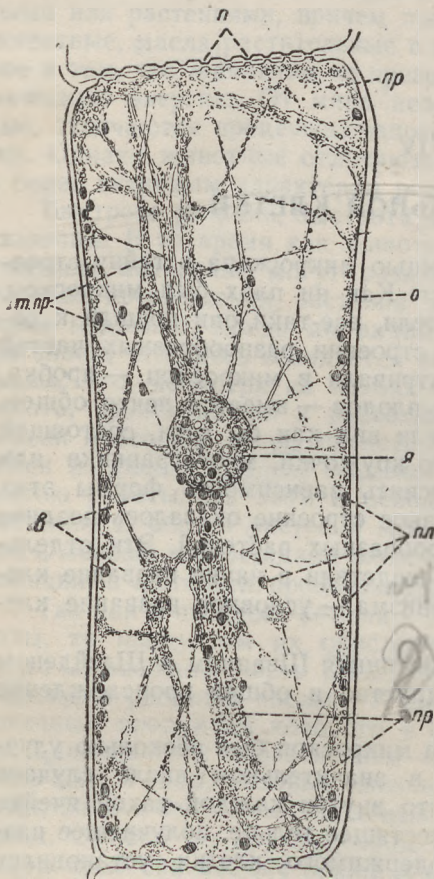


Рис. 24. Растительная клетка: о — оболочка; п — поры в оболочке; я — ядро; пр — протоплазма; т. пр. — тяжи протоплазмы; пл. — пластиды; в — вакуоли.

незамеченными. Так, внутри протоплазмы находятся в растительных клетках, отсутствуя в клетках животных, еще довольно плотные зерна, называемые пластидами.

Затем было обращено внимание на то, что протоплазма, концентрируясь около стенки клетки, около оболочки, и образуя еще несколько тяжей, пересекающих полость клетки и окружающих ядро, все-таки не заполняет всей полости взрослых клеток.

Остаются пространства, в которых нет никаких зерен, никакой протоплазмы, они наполнены жидким раствором, так называемым клеточным соком. Эти полости получили название вакуолей (от слова вакуум — пустота, вакуоля — маленькая пустота или пустотка). Вакуоли всегда отграничены от протоплазмы, возникающей на поверхности последней, осадочной перепонкой. Также и сама протоплазма под плот-

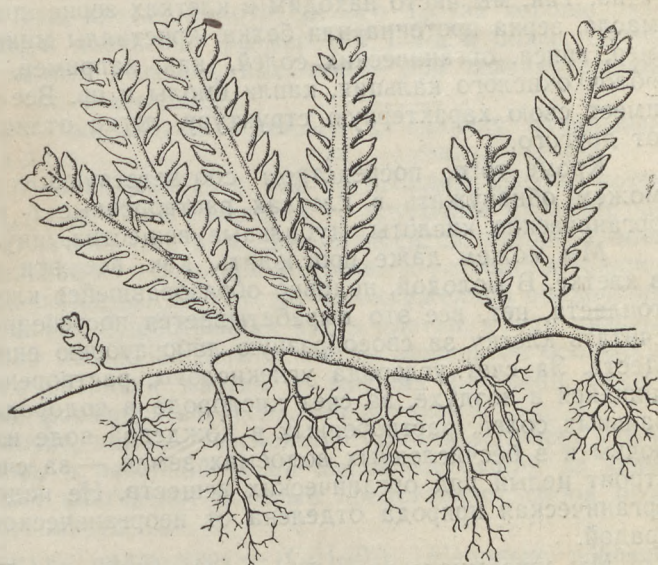


Рис. 25. Водоросль каулерпа (*Caulerpa*).

ной клеточной оболочкой несет обычно прозрачный гомогенный слой, в котором нельзя обнаружить ни зерен, ни нитей, никаких особых образований. Этот наружный слой протоплазмы получил наименование стекловидной протоплазмы, или гиалоплазмы. На поверхности последней возникает осадочная или осмотическая перепонка¹.

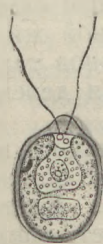


Рис. 26. Одноклеточная водоросль хламидомонада (*Chlamydomonas*).

Во многих случаях клетки живут свободно, не соединяясь ни в какой комплекс. Клетки могут образовывать, группируясь по нескольку, или помногу, так называемые колонии, а затем снова освобождаться и тогда двигаться свободно. Очень часто такие отдельно живущие клетки с их ядром, протоплазмой, вакуолями, клеточным соком, а часто и с пластидами, бывают еще снабжены и органами движения в виде ресничек или жгутиков, например, водоросль хламидомонада (рис. 26). Жгутики являются плазматическими нитями, они обыкновенно нарастают изнутри клетки, а на концах легко разрушаются. Наличие жгутиков обеспечивает живущей в воде клетке вращательное и поступательное движения, в зависимости от характера их колебаний.

Наконец, в протоплазме встречаются более трудно обнаруживаемые тельца различной формы — хондриозомы, значение которых пока еще не вполне ясно. Некоторые авторы рассматривают их как зачатки пластид (протопластиды), из которых впоследствии образуются пластиды. Важно, однако, что мы находим хондриозомы и у животных.

¹ Существование полупроницаемых (осмотических) перепонок в настоящее время оспаривается в исследованиях Насонова и Александрова (1940), которые полагают, что осмотическую функцию выполняет вся протоплазма. *Ред.*

Следовательно, в клетке есть свои постоянные части: ядро, протоплазма, и переменные сообразно тому, каков возраст клетки — вакуоли с клеточным соком. У фототрофных организмов (водоросли, мхи, папоротникообразные, голосеменные, цветковые) громадную роль играют пластиды.

Надо помнить, что кроме перечисленных частей клетки, в ней могут находиться еще различные включения, являющиеся продуктами обмена. Так, мы часто находим в клетках зерна крахмала, капли жирного масла, зерна протеина или белка, кристаллы минеральных солей, например, гипса, органических солей, как, например, щавелевокислого или яблочнокислого кальция, капли смолы и пр. Все это под микроскопом имеет свою характерную структуру, легко отличающую одно растение от другого.

Кроме того, посредством соответствующих реактивов мы легко можем обнаружить в клетках растворенные в клеточном соке сахар, органические кислоты, дубильные вещества, инулин, аспарагин и пр.

Мы можем даже проследить, как все эти вещества появляются в клетке. В молодой, недавно образовавшейся клетке ничего, кроме протопласта, нет, все это вырабатывается постепенно. Это позволяет нам считать клетку за своеобразную лабораторию синтеза органических веществ. За счет углерода углекислоты, растворенной в воде или находящейся в воздухе, за счет кислорода и водорода воды, за счет минеральных солей, растворенных в дождевой воде или в грунтовых водах почвы и в бесчисленных водоемах земли, — за счет всего этого клетка строит целый ряд органических веществ. Не надо, однако, думать, что органическая природа отделена от неорганической непреодолимой преградой.

Мы уже много раз убеждались в полной возможности синтезировать органические вещества из неорганических. Вёлер открыл синтез мочевины [А. М. Бутлеров, синтезировал моносахарид, А. Н. Бах — соединение, подобное белку]. Не за горами, может быть, те дни, когда станет возможным синтез живого вещества — протоплазмы.

Рассматривая отдельные ячейки, из которых состоит любая растительная ткань, любой растительный орган, которые имеют общие свойства во всем растительном мире, неизменно повторяющиеся при самых разнообразных условиях, мы замечаем, что основа растительной жизни и есть клетка. Дерево, трава, куст состоят из тысяч и миллионов таких клеток, живых и мертвых. Из одной клетки путем ее роста и деления образуются новые организмы.

Характерной чертой клетки является то, что в ней вы найдете все основные проявления жизни. В клетке легко обнаружить процесс обмена, состоящий одновременно из ассимиляции и диссимиляции. Клетка питается, всасывает питательные вещества, их перерабатывает, синтезирует сложные органические вещества, поглощает свободный кислород воздуха, проявляет при этом определенную энергию, часто движется, растет и, достигнув известных пределов, делится.

Конечно, мы не утверждаем, что жизнь на земле пошла именно от такой клетки, какую мы видим здесь, от подобной структурно сложной клетки с рядом органоидов. Мы даже имеем две группы растительных организмов — бактерии и циановые водоросли, где клетки построены гораздо проще: нет резкого деления на ядро и протоплазму, нет резкого деления на протоплазму и пластиды, нет явно сформировавшейся твердой оболочки. Клетка там более примитивна.

Исходя из группы бактерий микрококков, мы можем легко себе представить, что возможна такая первоначальная стадия существования клетки, когда мы имеем только каплю коллоидного белкового вещества, и единственная сила, которая определяет форму этой капли, — это поверхностное натяжение, специально изучаемое физической химией. Для

нас физикохимическая модель клетки ясна. С другой стороны, клетка — живая, т. е. она обладает определенными свойствами, о которых мы уже говорили, и про которые было сказано, что жизнь — это непрерывный поток вещества и энергии.

Типичная неспециализированная клетка цветковых растений имеет в поперечнике от 0,01 до 0,1 мм, но многие клетки мельче или крупнее. Клетки, накапливающие запасные вещества, особенно в виде раствора сахара, много крупнее: так, клетки мякоти спелого арбуза хорошо различимы простым глазом и достигают размеров в 1 мм и более. Очень длинные клетки растительных волокон, имеющие — при незначительной толщине — от 2 до 8 и более мм длины.

От общей характеристики клетки перейдем к анализу отдельных ее частей — органоидов.

Прежде всего люди ознакомились с тем органоидом клетки, который мы называем оболочкой. В сущности то клеточное строение растений, которое было отмечено еще в XVII в., относится именно к оболочке, так как все остальное казалось при тогдашнем устройстве микроскопа не чем иным, как полостью или пустотой, окруженной оболочкой.

Оболочка не есть самая существенная часть клетки: среди низших растительных организмов можно встретить клетки, лишенные оболочки. В ранней стадии своего развития клетки у высших растений также не имеют оболочки, она формируется несколько позднее.

Что же такое оболочка, каковы ее свойства? Это эластичная, сравнительно твердая пленка, в основной своей массе состоящая из углевода целлюлозы или клетчатки, который представляет собой продукт деятельности протопласта.

Элементарная формула целлюлозы — $(C_6H_{10}O_5)_n$. Невольно вспоминается формула сахара глюкозы $C_6H_{12}O_6$: как будто бы клетчатка — это такой сахар, от которого отнята частица воды. Исходным веществом, из которого строится целлюлоза или клетчатка, и является сахар, но истинное химическое строение ее, несмотря на простоту элементарной формулы, много сложнее, — это высокополимерное соединение. Клетчатки в растениях очень много, и она является по своему количеству едва ли не главной составной частью растительного организма. Однако в состав оболочки входят и другие вещества, близкие к углеводам — пектиновые вещества, легко набухающие, легче растворимые. Клетчатка же не растворима ни в щелочах, ни в кислотах, лабораторно она поддается лишь растворяющему действию реактива Швейцера, т. е. аммиачному раствору окиси меди. Зато в клетках встречается особое вещество — цитаз, гидролизующее клетчатку при обычной температуре. При обычных же условиях клетчатка нерастворима и представляет собой очень хорошую защиту. Эластичность ее позволяет ей гнуться при механических воздействиях и растягиваться, не разрываясь, а нерастворимость — не изменяться под влиянием различных примесей в той воде, которая действует на нее снаружи.

Таким образом, оболочка — это прежде всего средство защиты, это — покров живой клетки, живого организма. В случае повреждения, ранения, она легко восстанавливается. Рана может затянуться новым выделением новых молекул той же целлюлозы.

Кроме защитной функции, целлюлозная оболочка имеет еще и механическое значение. Она образует остоу растения. Твердые части растения обязаны своей твердостью именно тому, что ткани состоят из клеток, выделивших толстые оболочки, которые хорошо сопротивляются изгибу, давлению, растяжению и сжатию. Таким образом, вторая функция оболочки соответствует функции механической, — это скелет клетки.

Оболочка с течением времени пропитывается, или, как говорят, инкрустируется различными другими веществами. Среди низших организмов мы имеем диатомовые водоросли, которые в огромных количе-

ствах встречаются как в морской, так и в пресной воде, образуя целые пласты донных отложений (диатомовый ил). Эти водоросли имеют оболочки, пропитанные кремнеземом, причем количество кремнезема может даже превышать количество целлюлозы. Можно сказать, что клетки этих водорослей живут как бы в стеклянных коробках — в прозрачной твердой оболочке из окремненной целлюлозы.

В других случаях в оболочке отлагаются соли кальция. Есть группа морских водорослей, которых долго смешивали с кораллами; позднее их называли нуллипорами, так как в них нет свойственных кораллам отверстий — пор, ведущих в полость, занятую коралловым полипняком. Вся масса водоросли кажется сплошной, окаменелой. Водоросли эти имеют пурпурную окраску, могут жить на значительной глубине, нередко образуя целые подводные рифы. Известь здесь отложена исключительно в клеточных оболочках.

Однако гораздо чаще оболочка пропитывается органическими веществами; прежде всего сама клетчатка дает различные соединения с образующимися внутри клетки кислотами и спиртами. Очень обыкновенным инкрустирующим веществом является лигнин, вещество древесины, из которой состоит главная масса древесных стволов. Лигнин сообщает оболочкам большую твердость, но не мешает им пропитываться водой, а, следовательно, и проводить растворы.

Другие часто встречающиеся вещества, пропитывающие оболочки, это суберин — вещество пробки, и кутин — вещество поверхностного защитного слоя клеток кожицы. Оба они близки к жировым веществам, не растворимым в кислотах, но омыливаются крепкими щелочами и не пропускают ни воды, ни водных растворов, ни газов. Как и все жировые вещества, они не содержат азота.

Таким образом, оболочка клеток может быть пропитана как минеральными, так и органическими веществами, увеличивающими ее прочность, ее стойкость по отношению к вредным воздействиям внешней среды.

Всякая нормальная оболочка растительной клетки имеет поры. Число пор, их расположение и форма чрезвычайно разнообразны. Пores имеют вид щелей, косых или прямых, то округлые, то сложно построенные и носят название оккаймленных пор, то, наконец, это настоящие каналы, пронизывающие самые толстые оболочки (см. рис. 43, В). При изучении тканей придется изучать и поры. Теперь же ограничимся указанием на то, что хотя оболочка и представляет собой наружный панцирь, защиту и скелет клетки, сообщая ей определенную форму и стойкость, тем не менее она не сплошная, а имеет поры, допускающие общение заключенной в эту оболочку протоплазмы с внешним миром.

Таким образом, первый, наиболее легко замечаемый органоид клетки, — это ее оболочка. Второй по времени обнаружения — это ядро. Ядро под микроскопом довольно сильно преломляет свет и кажется то более темным, чем остальное содержимое клетки, то блестящим, но часто его трудно заметить, и тогда приходится прибегать к окраске. Форма ядра шаровидная, продолговатая или вытянутая в соответствии с формой самой клетки. [В известную пору жизни клетки] ядро кажется зернистым.

В состав ядра входят основные элементы — органогены: углерод, азот, кислород, водород, кроме того, сера и обязательно фосфор. Основной белковый комплекс ядра носит название нуклеопротеидов, в молекулу которых входит нуклеиновая кислота, содержащая фосфор. Последняя и обуславливает способность ядра резко окрашиваться основными и нейтральными красками, концентрируя их из растворов. Эта способность ядра окрашиваться играет большую роль при цитологических и гистологических исследованиях, обнаруживая ядро в тех случаях, когда его трудно заметить, и помогая изучать его строение. Обычно

ядерные краски это гематоксилин в различных соединениях с квасцами. Ядро имеет на поверхности свою осадочную перепонку, в нем есть также свой ядерный сок, благодаря чему ядро путем осмоса впитывает в себя вещества из окружающей его протоплазмы и отдает наружу часть имеющихся в нем растворов. Составной частью ядра является хроматин, т. е. легко окрашивающаяся часть. Наконец, в ядре в большинстве случаев имеется ядрышко (одно или два—три). Ядро — необходимый органоид в процессе регенерации, в процессе деления, в процессе роста клетки.

Изучая функции ядра в клетке, И. И. Герасимов выяснил, что если разрезать длинную клетку, например, клетку какой-либо нитчатой водоросли так, что в одной ее части сохранится ядро, а другая будет его лишена, то получится следующее: в той части, где имеется ядро, оболочка восстановится, клетка приобретет прежний вид — жизнь от испытанного повреждения не прервалась; в той же части, где ядра не было, клетка может некоторое время питаться и дышать, но рост оболочки и деление клетки, т. е. образование молодых клеток, невозможны.

Без ядра питание и дыхание продолжаться еще некоторое время могут, но постройка недостающих частей (регенерация), дальнейшая активная жизнь и работа клетки прекращаются.

Если поранить оболочку клетки и оставить ее на некоторое время в покое, то через несколько времени видно в микроскоп, что ядро передвинется к месту ранения, и здесь начнется рост поврежденной оболочки, начнется процесс восстановления.

Отметим, что ядро является активным, иногда движется внутри клетки, регулирует жизнь клетки и всякий раз, как происходит процесс, требующий затраты энергии со стороны организма, выдвигается на первое место.

Но ядро не может действовать вне окружающей его протоплазмы. Их взаимодействие необходимо. Исходя из такого взаимодействия, мы можем понять функцию ядра в процессах регенерации частей клетки, как функцию образования прежде всего соответствующих катализаторов. Катализаторами называют в химии тела, действующие одним своим присутствием, иначе — вызывающие определенную реакцию, в которой они видимого участия не принимают. Многие химики рассматривают их как ускорителей реакций. Все важнейшие превращения веществ в организмах и, в частности, в клетках совершаются при посредстве катализаторов. Катализаторы, вырабатываемые в живой клетке, носят название ферментов или энзимов, а реакции, ими вызываемые, — энзиматических. Мы уже несколько раз говорили, что клетка есть лаборатория синтеза органических соединений. Вся работа ее построена на катализе, а катализ — на наличии энзимов. Энзимов требуется ничтожное количество, так как они почти не затрачиваются в процессах, которые обуславливают, а между тем без них превращение веществ в клетке неосуществимо.

Ядро наново строит поврежденную оболочку не механически, но находясь около места, где она повреждена, и выделяя энзимы, которые обуславливают превращение сахара в целлюлозу и удерживают молекулы последней в месте разрыва.

Таким образом, ядро часть своих функций осуществляет путем содействия образованию катализаторов или энзимов.

Третьим органоидом клетки является протоплазма, открытая около 110 лет назад. Во второй половине прошлого века было установлено единство живой протоплазмы для растений и животных, — протоплазмой стали называть вообще живое вещество. Протоплазма представляет собой вязкую массу, которая целиком заполняет очень молодые клетки; последние могут состоять только из ядра и протоплазмы.

О строении протоплазмы первоначально судили по картинам, наблюдаемым на окрашенных препаратах, или при ее отмирании. Так, одни на основании изучения тонких препаратов, фиксированных и окрашенных, утверждали, что протоплазма имеет зернистое строение, другие — что она построена из правильно расположенных нитей, третьи — что протоплазма построена в виде сети, состоящей из волоконцев или фибрилл, в промежутках между которыми содержится жидкость; можно сказать даже, что она похожа на губку или имеет губчатое строение.

Теперь мы считаем, что микроскопическая картина протоплазмы неустойчива и зависит от возраста и состояния клетки. Так, в молодой клетке протоплазма кажется нам зернистой, в клетках взрослых мы часто видим нити протоплазмы, протянувшиеся от ядра к постенному слою и создающие картину филлярного или нитчатого строения; в старости клеточная вакуолизация создает картину сети или пены. Поэтому мы теперь определяем протоплазму как коллоидальную систему, состоящую из крупных сложных молекул, построенных в форме комплекса белков с фосфорными и жировыми веществами и взвешенных в водном растворе различных, свойственных клетке, веществ. Однако мы продолжаем считать протоплазму носителем жизни.

Химический состав протоплазмы таков: органогены — углерод, водород, кислород, азот, затем сера, фосфор, калий, кальций, магний и другие элементы, но в очень незначительном количестве. Как пример сложности протеиновых соединений протоплазмы, приведем ценин, белок из зерен кукурузы $C_{736}H_{1161}O_{208}N_{184}S_3$. При развешивании этой формулы оказывается, что белки эти состоят из аминокислот, имеющих общую формулу $R-CH(NH_2)-COOH$, причем под R скрывается либо атом водорода, либо углеродная цепь разнообразного сложного строения. Примером аминокислот являются широко распространенные соединения: аргинин, гистидин, лизин, лейцин, тирозин, глютаминовая кислота.

Если ядро хорошо окрашивается щелочными красками, то протоплазма особенно хорошо красится кислыми красками, например, кислым фуксином, анилиновыми красками с уксусной кислотой и пр.

Если взять сырой белок куриного яйца, вылить его в воду и затем наблюдать за ним, то возникнет вопрос, в чем различие между этим белком и протоплазмой. Химический состав, коллоидальная структура, внешние свойства чрезвычайно сближают эти соединения, но все-таки белок куриного яйца не протоплазма. Разбив скорлупу свежего яйца, можно найти на поверхности желтка в одном месте небольшое мутноватое пятнышко, в котором никакой структуры, кроме коллоидальной, не увидим, и, однако, это небольшое пятнышко — протоплазма будущего цыпленка. Вся масса белка — пища этого будущего цыпленка. Цыпленок этот белок съест, разложив его на аминокислоты, и из этих аминокислот будет вырабатывать белки своего собственного тела, расти [и развиваться].

Для нас это химическое воззрение на живую протоплазму есть вместе с тем и материалистическое воззрение на жизнь вообще. Наш враг — это витализм, который считает, будто наука бессильна раскрыть процесс жизни в его существенных чертах, а дает объяснение лишь отдельных вспомогательных процессов. Виталисты считают, что за явлениями жизни скрывается особая невидимая жизненная сила, совершенно не поддающаяся усилиям разума понять, в чем она заключается. Жизненная сила «*Vis vitalis*» — нечто совершенно особое и необъяснимое. Такая позиция виталистов враждебна науке, которая окрылена именно своей уверенностью в том, что в конце концов удастся объяснить и понять все явления жизни без изъятия и этим получить возможность управлять ими как в медицине, так и в животноводстве и растениеводстве. Представители фашиствующих ученых буржуазных стран покло-

няются «жизненной силе», мы же употребляем все усилия, чтобы раскрыть познание жизни до конца, так как знаем, что за границами видимого и познаваемого вообще ничего нет.

Белковые коллоиды отличаются некоторыми свойствами, весьма для нас важными. Так, они свертываются при высокой температуре, обладают вязкостью и способностью набухать, поглощая воду. Всеми этими свойствами обладает и протоплазма. Какая же разница между похожим на протоплазму коллоидным раствором белка и самой протоплазмой? Протоплазма находится все время в процессе обмена с внешним миром: она поглощает кислород, выделяет углекислоту, перерабатывает различные солевые растворы, совместно с ядром образует ферменты, которые вызывают целый ряд химических превращений. Всего этого нет в белке куриного яйца. И, наконец, протоплазма обладает способностью к движению.

Движение протоплазмы в клетках бывает циркуляционное или круговое и струйчатое. В одних клетках протоплазма образует зернистые течи, по которым и движется отдельными струями. Течи эти пересекают полость клетки, (располагаясь) среди клеточного сока, с которым никогда не смешивается. Часто они идут от ядра к постенному слою или образуют вокруг ядра сетчатое скопление. Иногда можно заметить, что и ядро увлекается движением протоплазмы. Редко удается заметить активное движение ядра, обычно оно пассивно в струе протоплазмы. Можно видеть в этих струях и пластиды и продукты жизнедеятельности протопласта (зерна крахмала, капли жира и др.).

В других случаях протоплазма собрана исключительно или преимущественно у стенок клетки, у ее оболочки. Здесь движение круговое. Циркуляция протоплазмы имеет в этом случае определенное направление и определенную быстроту движения. Движение — характерная видимость особенности протоплазмы, оно связано с обменом: поскольку идет обмен, идет и движение. Быстрота движения невелика, обычно от одной до пяти тысячных миллиметра в секунду, под микроскопом она кажется значительной, но надо брать поправку на увеличение микроскопа.

Движение протоплазмы можно ускорить прибавлением в воду капли спирта, или слегка подогревая препарат. Наоборот, если действовать на протоплазму избытком того же спирта или каким-либо анестезирующим веществом, то движение остановится.

Таким образом, протоплазма представляет собой белковое тело, или смесь белковых тел, имеет все свойства коллоидов и, как наиболее характерное свойство, обнаруживает самостоятельное движение.

Очень удобно наблюдать движение протоплазмы на плазмодиях миксомицетов. Ряд опытов с этими плазмодиями показал, что они отвечают активным движением при воздействии на них тепла, света, кислорода воздуха, механических прикосновений и химических веществ, например сахара, хинина и пр. Очень характерной реакцией всякой протоплазмы является свертывание (коагуляция) под влиянием температуры, кислот и щелочей, солей тяжелых элементов и пр. Реакция эта необратима, вследствие чего протоплазма легко разрушается и отмирает.¹

Можно было бы продлить перечень реакций протоплазмы, но мы ограничимся указанием на то, что белки протоплазмы никогда не находятся в покое, но все время создаются и разрушаются. Ядро и протоплазма образуют как бы активную пару, обуславливающую явления жизни. Ни ядро отдельно, ни протоплазма отдельно, но их взаимодействие друг с другом и с внешней средой является центром нашего внимания при изучении жизненных процессов.

¹ Советскими авторами (Насонов, В. Г. Александров, П. В. Макаров и др.) было показано, что начальные стадии коагуляции протоплазмы могут быть обратимыми. *Ред.*

Перейдем к четвертому, очень важному органоиду клетки, именно — к пластидам. Пластидами называются погруженные в протоплазму белковые тела, более плотные, чем она сама. Форма их различна: то они видны в микроскоп как зерна, продолговатые или шаровидные, то имеют форму лент, пластинок, иногда сетчато продырявленных, звездобразных, или какой-либо другой формы. Особенно разнообразна форма пластид у водорослей. Пластиды бывают бесцветными и тогда носят наименование лейкопластов. В других случаях они зеленые и носят название хлоропластов. Наконец, они могут быть окрашены в оранжевый, кирпично-красный, морковный или желтый цвет, и тогда мы называем их хромопластами. В белковом теле пластид могут быть растворены различные красящие вещества — пигменты. Когда клетка образуется вновь, пластиды в ней бесцветны, имеются только лейкопласты, позднее, особенно под действием света, образуются пигменты, и пластиды окрашиваются. Так как пластиды высших растений очень мелки, от пяти до десяти тысячных миллиметра и невидимы невооруженным глазом, то мы не различаем отдельных пластид, а видим общую окраску. Пластиды называют также хроматофорами (носителями окраски). У водорослей обычно хроматофор соответствует одной крупной пластиде, у высших растений хроматофор зернистый; так как у них зеленые пластиды имеют овальную форму, то мы говорим о хлорофилльных зернах или хлоропластах, т. е. зернах, окрашенных хлорофиллом.

Пластиды могут передвигаться вместе с протоплазмой. Если освещение слишком яркое, то протоплазма вместе с пластидами уходит в более затененную часть клетки, тогда орган бледнеет, листья растения становятся более светлыми; если, наоборот, протоплазма концентрируется на наружных стенках клеток, то листья становятся более темными. На этом построено различие между световыми и теневыми растениями: растения, растущие в тени, в лесу, имеют более яркую, более насыщенную окраску, чем растения лугов и пастбищ. Возьмем ландыш (*Convallaria majalis*): если он сорван на открытом месте, листья у него светлые, желтовато-зеленые, если в густом лесу или в овраге, в тени, то зелень его листьев будет темнее.

К пластидным пигментам принадлежат: зеленый пигмент — хлорофилл, желтый — ксантофилл и оранжево-красный — каротин. Последний при ближайшем исследовании превращается в целую группу близких соединений, получивших название каротиноидов. Все три пигмента обычно находятся в пластидах одновременно, зеленый часто преобладает и как бы перекрывает желтый и оранжево-красный. Тем не менее соотношение количества пластидных пигментов влияет на тон окраски листьев, чем и обуславливается различие тонов зеленой кроны леса. Особенно заметно это весной, когда каждая порода деревьев отличается своей окраской.

Хлорофилл является наиболее активным пигментом, он содействует превращению лучистой энергии солнца в потенциальную энергию химических соединений. В настоящее время установлено, что хлорофилл состоит из двух составных частей: хлорофилл «а» с формулой $C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$ — сине-черный в сухом состоянии и зеленовато-голубой в растворах и хлорофилл «в» с формулой $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ — зелено-черный сухой и чисто зеленый в растворах. На две части хлорофилла «а» приходится 0,75 хлорофилла «в». В золе хлорофилла имеется 2,7 проц. магния.

Хлорофилл образуется в проростках растений (первоначально белых или желтых) на свету и в присутствии железа¹. Отсутствие железа при-

¹ В проростках многих хвойных растений хлорофилл обнаруживается и в темноте. Ред.

чиняет особую болезнь — хлороз, пагубную, например, для плодовых деревьев.

Хлорофилл растворим в спиртах, эфирах, бензинах и в жирах, чаще всего он извлекается из растений спиртом. В воде он нерастворим, а в спиртовом растворе обнаруживает характерную флуоресценцию, т. е. будучи зеленым в проходящем свете (насквозь), он кажется ярким малиново-красным в отраженном свете. Как это показал своими классическими исследованиями К. А. Тимирязев, хлорофилл сильно поглощает лучи левой половины спектра и особенно красные лучи, расположенные в спектре между френгоферовыми линиями В и С, свободно пропускает лучи средней части спектра, особенно зеленые, интенсивное поглощение имеется и в сине-фиолетовой части спектра (рис. 27). В хлор

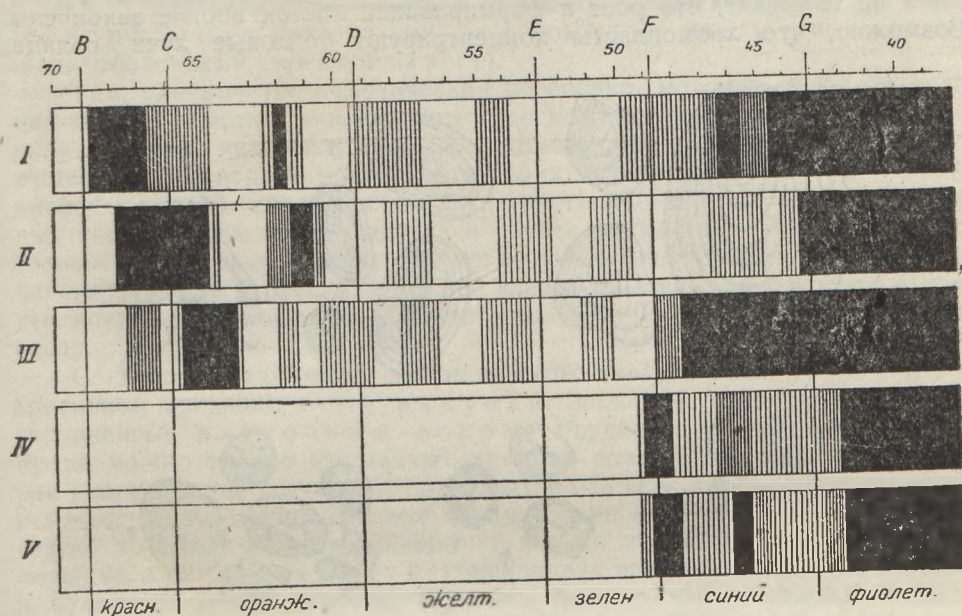


Рис. 27. Спектры поглощения хлорофилла и каротиноидов: I — солнечный спектр; II — спектр поглощения хлорофилла „а“; III — хлорофилла „б“; IV — каротина; V — ксантофилла. Буквы обозначают так называемые френгоферовы линии солнечного спектра.

рофилльном зерне хлорофилл находится в коллоидном соединении с белком, как бы растворен в последнем. Каротин, или, вернее, каротиноиды имеют общую формулу $C_{40}H_{56}$, причем содержание их в хлоропластах относится к хлорофиллу как 0,17 проц. на 2,75 проц. хлорофилла. При созревании плодов хлорофилл исчезает, а каротиноиды накапливаются и придают многим плодам оранжевый цвет, нередко даже кристаллизуясь в клетках их мякоти.

Ксантофилл имеет формулу $C_{40}H_{56}O_2$, светложелтую окраску и примешан к хлорофиллу в пластидах в еще меньшем количестве.

Осенняя желтая или буроватая окраска листьев зависит от постепенного разрушения в умирающем листе хлорофилла, который перестает маскировать содержащиеся в листе ксантофилл и каротин.

Ксантофилл и каротин — это пигменты, которые играют защитную роль, фильтруют солнечные лучи (см. спектр поглощения, рис. 27) и меняют их свойства в благоприятном ассимиляции направлении. Наконец, нельзя не отметить, что каротин химически близок к весьма важному для нашего здоровья витамину А, образуемому из каротина в результате его окислительного расщепления.

В хлоропластах нередко можно видеть маленькие зернышки крахмала, как продукт ассимиляции, почему их иногда обозначают как первичный крахмал. У некоторых водорослей в пластидах образуются капли жирного масла.

Лейкопласты сохраняются в течение всей жизни растения в разных бесцветных частях его; например, в клубнях картофеля имеются только лейкопласты, в которых формируются вторичные крахмальные зерна. Функция их в этом случае доказана: они способствуют отложению в тканях растения запасных питательных веществ.

Следует отметить при этом, что у различных видов растений форма и величина крахмальных зерен весьма резко различаются (рис. 28).

Наконец, хромопласты в плодах, в лепестках цветков и пр. указывают на тот факт, что рост и формирование клеток вполне закончены. Возможно, что хромопласты концентрируют тепловые лучи солнца,

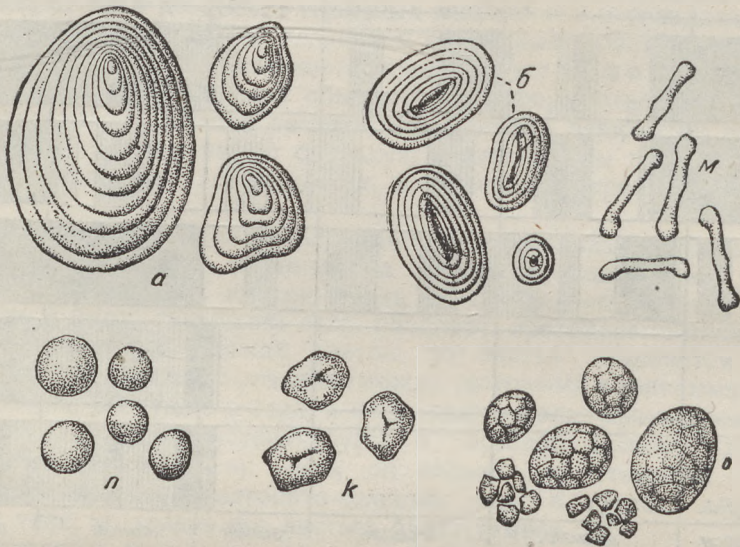


Рис. 28. Типы крахмальных зерен: *а* — из клубней картофеля; *б* — из бобов; *м* — из сока молочая; *п* — из зерновки пшеницы; *к* — из кукурузы; *о* — сложные зерна овса, внизу распавшиеся на простые зерна.

как бы согревая соответствующий орган. Кроме того, наличие хромопластов в клетках плодов имеет то значение, что обусловленная ими окраска привлекает внимание птиц, поедающих плоды и способствующих распространению семян, невреждимо проходящих через их кишечный тракт.

Пластиды могут делиться, образуя перетяжки на середине, и число их в клетке может этим путем увеличиваться. В очень молодых клетках, еще не вполне развитых, констатированы очень мелкие включения — хондриозомы, которые некоторыми исследователями рассматриваются как зачатки пластид.

Пятым органоидом клетки является гиалоплазма, или осмотическая перепонка, которая представляет собой выделение протоплазмы на ее поверхности, особенно при соприкосании с растворами. Прошедшие сквозь поры в оболочке или прямо сквозь оболочку в полость клетки растворы минеральных веществ, газов и пр. соприкасаются с протоплазмой, при этом на ее поверхности образуется тонкий слой прозрачного белка, лишенный зернистости или струйчатости и неподвижный. Наружная поверхность этого слоя является осадочной или осмотической, полупроницаемой перепонкой, имеющей избирательную способность по

отношению к различным растворам: она пропускает одни растворы и не пропускает другие, одни растворы проходят через нее быстрее, другие медленнее. Поэтому растения, растущие на одной и той же почве, могут накапливать в своих тканях различные находящиеся в почве элементы. Есть растения, которые совершенно не восприимчивы к солям кальция, тогда как другие поглощают их в больших количествах; есть растения, концентрирующие в своих тканях марганец, которого в окружающей их среде чрезвычайно мало, и т. д. Способность гиалоплазмы вбирать в себя определенные растворы обуславливает, конечно, всю жизнь данного растения. Впрочем, некоторые ученые считают за осмотический слой (перепонку) не только гиалоплазму, но весь слой постенной протоплазмы, отличая при этом наружную осадочную оболочку (плазмалу), внутреннюю осадочную оболочку, прилегающую к вакуолям (тонопласт), и протоплазму, расположенную между этими осадочными оболочками (мезоплазму).

Там, где имеется осмотическая перепонка, можно наблюдать явления осмоса. Клетка, в клеточном соке которой есть сахар и органические кислоты, всасывает воду с растворенными в ней минеральными веществами и отдает почве часть своих сахаров и кислот. Выделение кислот клетками корня способствует растворению минеральных составных частей почвы и переходу их в почвенный раствор. Нельзя говорить только о действии среды на организм, нужно говорить о взаимодействии среды и организма. Это взаимодействие выражается в том, что клетки растений выделением кислот изменяют окружающую их среду.

С гиалоплазмой тесно связан шестой, хорошо различимый под микроскопом органоид, — это вакуоли (полости) среди протоплазмы, заполненные клеточным соком. Разделять гиалоплазму и вакуоли можно только формально, так как полость сама по себе ничто, она реальна лишь постольку, поскольку у нее есть стенка — гиалоплазма и наполнение — клеточный сок. Французские авторы, называющие пластиды лейкоцитами, различают не только хлоролейциты и хромолейциты, но и гидролейциты, приравнивая вакуоль с клеточным соком к белковым типам пластид. Функции вакуоль очень важны. Прежде всего сюда относится выделительная функция. В вакуолях сосредоточены все отбросы процессов обмена, все, что образовалось в протоплазме, но затем стало ненужным или даже вредным.

Таковы органические кислоты, как результат неполного окисления углеводов; минеральные вещества, всосанные из почвы, но избыточные или не нужные вовсе. Кислоты и минеральные вещества, действуя друг на друга, образуют кристаллы углекислой, щавелевокислой, лимоннокислой, яблочнокислой извести, кристаллы гипса. В других случаях в вакуолях накапливаются капли жирного масла и такие продукты, как смолы, эфирные масла, каучук, таниды (эфиры дубильных кислот), алкалоиды и пр.

Чем старше клетка, тем крупнее находящиеся в ней вакуоли, тем больше в них продуктов обмена и тем чаще встречаются кристаллы, сростки кристаллов (см. рис. 53, Б) и другие образования.

Но по поводу кристаллов можно противопоставить виталистическую и диалектическую точки зрения.

Уже давно было известно, что улитки едят не все растения, но делают среди них известный выбор, некоторые растения как бы защищены от их укусов. Исследование этих растений показало, что кристаллы, которые находятся в их клетках, принадлежат к типу рафид или игольчатых кристаллов (см. рис. 53, А); при укусе они вонзаются в глотку улитки, и это настолько мешает ей, что улитка вообще перестает трогать подобное растение. Легко сделать вывод, что растения специально вырабатывают рафиды, чтобы улитки их не ели. Мудрые

растения, видите ли, предвидя нападение улиток, заранее готовят орудия защиты. Таково виталистическое объяснение.

Материалистическое объяснение другое: образующиеся в процессе дыхания органические кислоты действуют на растворимые в воде соли кальция, всосанные корнями из почвы, и образуют вместе с кальцием такие соли, которые легко выкристаллизовываются в клеточном соке. Если в клетке есть свободная глюкоза, получаются острые игольчатые кристаллы — рафиды, которые оседают целыми пачками, если же преобладают свободные кислоты, то выкристаллизовываются кристаллы другой формы: октаэдры, призмы, их сростки и красивые шарообразные шиповатые сростки — друзы (см. рис. Б, d_2).

Диалектическое объяснение принимает во внимание не только способ образования, но и другую сторону. Надо помнить, что процесс кристаллизации соответствует усреднению органических кислот, избыток которых отравляет протоплазму. Если процесс образования кристаллов нарушен, то кислот слишком много, и клетка погибает. Следовательно, мы имеем здесь процесс выживания наиболее приспособленного, то есть случай естественного отбора. Организмы, образующие кристаллы, выживают, а не образующие их — вымирают. Поэтому-то кристаллические октаэдры, рафиды, друзы так широко распространены в мире растений.

Пластиды, как мы видели, имеют свои пигменты, клеточный сок также имеет свои. На первом месте здесь стоит группа антоцианов или антоцианинов. Это — пигменты, окрашивающие лепестки цветов в красные, синие, фиолетовые, малиновые и прочие близкие тона. Нередко нижняя сторона листьев окрашена в красный или фиолетовый цвет; корни, стебли, листовые черешки и пр. — в красный. Красящие вещества эти образуются в клетках обычно при избытке сахара и при низкой температуре, отчего их особенно много в весенних проростках растений и в осенней листве (у нас краснеют осенью осина, рябина, виноград). (В основе образования пигментов этой группы лежит окисбензойная кислота ($C_7H_6O_3$), производные которой — флавоны — в присутствии сахара и свободного кислорода под влиянием энзимов клетки дают антоцианины, которые по своему химическому строению близки к дигликозидам). Антоцианины могут образовываться и в темноте и замечательно тем, что меняют свою окраску под влиянием кислот и щелочей, находящихся одновременно с ними в клеточном соке. Так, синяя окраска василька зависит от находящихся в клетках кожицы лепестков этого растения продуктов распада белков, имеющих резко щелочную реакцию. Чисто розовый или красный цвет лепестков розы, гвоздики и пр. зависит от кислой реакции их клеточного сока; лиловая окраска сирени, фиолетовая окраска фиалки зависит от близкой к средней реакций их клеточного сока.

Интересно, что у некоторых цветов окраска меняется: так, бутоны незабудки (*Myosotis*) имеют розовую окраску, которая сменяется голубой по мере накопления в клеточном соке продуктов распада белков протоплазмы. У медуницы (*Pulmonaria officinalis*), травянистого растения наших лесов, цветы вначале розовые становятся затем сине-фиолетовыми, а еще позднее — синими.

Близка к нейтральной реакция сока в клетках листьев так называемой красной капусты, благодаря чему вытяжка из них (водная или спиртовая) очень легко меняет окраску от прибавления к ней кислот и щелочей. Следовательно, антоциан, как и лакмус, можно использовать для распознавания кислотности и щелочности в любом случае, когда это потребует.

Пигменты клеточного сока все вообще растворимы в воде, почему и могут быть названы гидрохромами, в противоположность пигментам пластид — липохромам, растворимым в жирах и жирорастворителях.

Вакуоли могут содержать:

1. Воду — около 98 проц.
 2. Неорганические соли, поглощенные из окружающей растении среды вместе с почвенным раствором.
 3. Растворимые углеводы (сахара, инулин¹ и пр.).
 4. Белковые производные: полипептиды, аминокислоты, пептоны.
 5. Растворенные в соке алкалоиды и глюкозиды (лекарственные вещества).
 6. Газы, например, кислород и углекислота.
 7. Энзимы.
 8. Органические кислоты.
 9. Пигменты.
 10. Кристаллы минеральных солей.
 11. Эфирные масла, дубильные вещества, капли смолы, каучук и пр.
- Давление, которое клеточный сок производит на клеточную оболочку, растягивает ее и способствует ее росту.

Седьмой органоид, или вернее целая их группа, — это плазматические образования, которые служат частью для движения, частью для передачи раздражения и растворимых веществ. Так, у свободно живущей клетки часто развиты жгутики или реснички (см. рис. 26). Есть даже целый класс простейших водных организмов, носящих название жгутиковых.

Жгутик или ресничка состоит из внутриклеточного органа — блефаропласта и отходящей от него плазматической нити, проходящей через оболочку клетки и выдвигающейся далеко наружу. Частью волнообразное, частью круговое движение жгутика приводит клетку одновременно во вращательное и поступательное движение и позволяет ей целесообразно отвечать на внешние раздражения. Зеленая особь направляется в более освещенную часть препарата, бесцветная — в более затененную; любая из них реагирует на растворенный в воде кислород, на примесь питательных веществ, на тепло, холод и т. д.

Может ли быть что-либо подобное у клетки, входящей, например, в состав ствола дерева? Здесь клеткам двигаться некуда, они плотно склеены между собой, но сквозь поры оболочки отдельные тяжи протоплазмы проходят из клетки в клетку.

Некоторые ученые высказывали мысль, что в сущности любое многоклеточное растение, например, дуб или сосна имеют одну общую плазматическую массу, так как протоплазма отдельных клеток соединена тяжами в единое целое.

На самом же деле, однако, такого единства протоплазмы нет; посредством тяжей соединены не все клетки, а только более или менее значительные их группы в отдельных тканях, особенно в так называемых паренхимных тканях.

Там, где из клетки в клетку проходят плазматические нити, идет согласованная работа соседних клеток, процессы, в них происходящие, объединяются и они обмениваются продуктами своей жизнедеятельности; могут передавать друг другу и раздражения, ими получаемые,

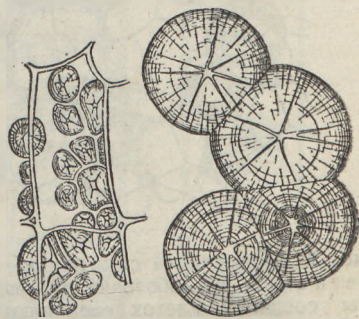


Рис. 29. Сферокристаллы инулина.

¹ Инулин — углевод, по химическому составу близкий к крахмалу, но встречается в клетках не в твердом виде, а растворен в клеточном соке. Обнаруживается благодаря способности образовывать крупные сферокристаллы (рис. 29) под действием спирта.

и питательные вещества. Органоид, объединяющий работу нескольких клеток, носит название плазмодесм (рис. 30); эти плазматические соединения являются необходимой составной частью растительного организма, хотя обнаруживаются и не у каждой клетки. У низших организмов мы знаем такие случаи, когда сквозь очень плотную или сильно окремнелую оболочку (у диатомовых водорослей) проходит протоплазма и движется по наружной стенке клетки, а затем снова входит в клетку. Соприкосновения плазмы с внешним миром и восприятие раздражения биологически необходимы.

Передача раздражения и перенос растворенного материала, участвующего в обмене, — таковы две основные функции плазмодесм.

Знакомясь с органоидами клетки, мы разбили наше внимание между деталями строения и забыли о клетке в целом. Теперь соберем все это вместе и попробуем ответить на вопрос: что такое клетка?

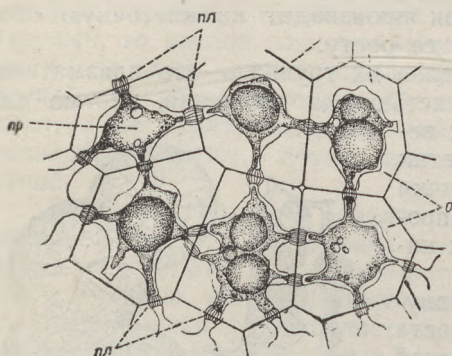


Рис. 30. Разрез через семя пальмы (*Агеса олеагеса*): *о* — оболочка; *пр* — протопласты соседних клеток соединяются посредством плазмодесм (*пл*) — тончайших плазматических нитей.

Во-первых, клетка является «главной органической структурной формой»¹ со всеми особенностями жизни — будет ли она одиночной или входит в состав многоклеточного организма. Она осуществляет обмен, ей свойственна раздражимость, и она имеет свой цикл развития, повторяющийся из поколения в поколение. Молодая клетка заполнена зернистой протоплазмой и имеет сравнительно крупное ядро. Позднее, под влиянием накопления продуктов обмена, в ней появляются вакуоли с клеточным соком, которые все растут. Теперь можно различить постенный слой протоплазмы — гиалоплазму, нити или тяжи про-

топлазмы от постенного слоя к ядру и вокруг последнего. Ядро не стало меньше, но его относительная величина по отношению к размеру всей клетки уменьшилась. Наконец, мы видим клетку с огромной центральной вакуолью, ядро лежит около постенного слоя, в котором появились мелкие вакуольки; дальнейшая вакуолизация — это уже дряхлость клетки.

Рост клетки может повлечь за собой деление ее на две дочерних, и тогда, вместо одряхления, наступит омолаживание.

Кроме того, клетку можно рассматривать как осмотический аппарат, своего рода осмометр. Содержа в себе в виде сока раствор сахара и органических кислот, она всасывает воду и почвенный раствор, причем развивает значительное внутриклеточное давление, достигающее иногда до многих десятков атмосфер. Это-то давление и прижимает к оболочке постенный слой протоплазмы и сообщает самой оболочке сильное напряжение. Благодаря внутриклеточному давлению, растущий корень может вонзаться в землю, раскалывать камни, пробуравливать куски дерева и пр. Напряженное состояние клетки, вызванное давлением клеточного сока на оболочку, называют тургором.

Искусственно мы можем не только уравновесить клеточное давление, но даже и лишить клетку воды. Явление это называется плазмолизом. Плазмолиз вызывают так: готовят раствор сахара, поваренной соли, селитры или других солей определенной крепости, например, пять весовых частей калийной селитры на сто весовых частей воды; восемь частей поваренной соли на сто частей воды; тридцать частей

¹ Ф. Энгельс, «Диалектика природы», 1933, стр. 23.

тростникового сахара на сто частей воды. Эти растворы осмотически равноценны один другому.

Определенная крепость раствора весьма важна: слишком слабые растворы, называемые гипотоническими, плазмолиза не вызывают; увеличивая концентрацию, мы сначала доходим до такой крепости раствора, когда эндосмотический ток равен экзосмотическому, и между ними устанавливается равновесие, что, однако, все-таки плазмолиза не вызовет. Такой раствор, крепость которого равна крепости раствора внутри клетки, называется изосмотическим. Все растворы, крепость которых выше изосмотической, или так называемые гипертонические растворы, вызывают плазмолиз; практически удобнее такие, которые лишь немногим крепче, так как более крепкие вызывают столь быстрый плазмолиз, что все клетки уродуются, и это маскирует происходящие в них изменения.

Однако, что такое крепость раствора? Осмотическое давление раствора пропорционально числу молекул растворенного в нем вещества. Растворы с равным числом молекул получаются, если рас-

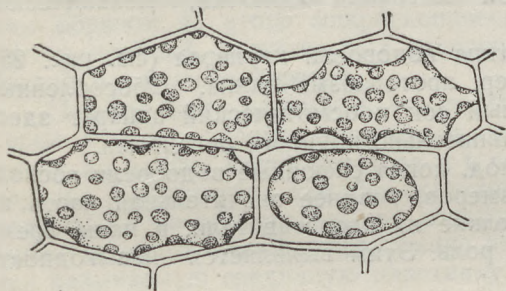


Рис. 31. Последовательные стадии плазмолиза в клетках листа мха *Mnium*. В нижней левой клетке протопласт начинает отставать от оболочки; в правой соседней клетке под действием плазмолиза протопласт съежился, отделился от оболочки и принимает форму, близкую к шару. Внутри видны хлоропласты.

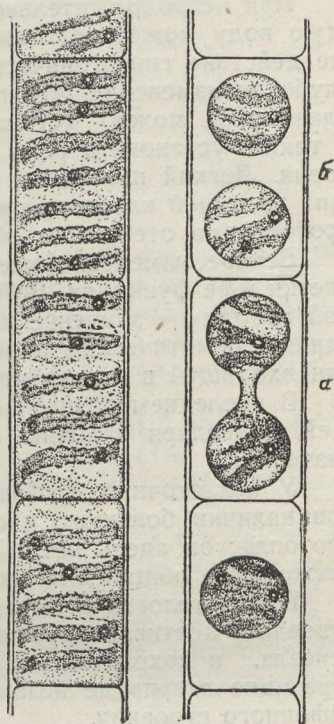


Рис. 32. Плазмолиз в клетках во доросли спирогиры (*Spirouga*) Слева нормальная, не плазмолизи- рованная нить водоросли; справа — в средней клетке (а) содержимое клетки перетягивается посредине и затем разрывается на два шара (б)

творить в равных объемах воды какие-либо вещества в количествах, пропорциональных их молекулярным весам. Единица измерения здесь грамм-молекула, сокращенно — моль, т. е. столько граммов растворимого вещества (на один литр воды), сколько единиц в его молекулярном весе. Поэтому моль тростникового сахара с формулой $C_{12}H_{22}O_{11}$ соответствует 342 г на литр воды; моль поваренной соли $NaCl$ — 58 г, моль калийной селитры KNO_3 — 101 г, моль спирта — 46 г.

Исходя из этого, можно искусственно вызвать плазмолиз. Если мы прибавим к препарату здоровой клетки под микроскопом каплю гипертонического раствора, то увидим, что хотя оболочка клетки и не меняет своего положения, но содержимое ее съеживается, отстает от оболочки, и между оболочкой и протоплазмой появляется пространство, занятое раствором (рис. 31), протоплазма при этом принимает форму овала, шара, или продолговатую, либо разбивается на два шара (рис. 32), во всяком случае объем протоплазмы сильно уменьшается за счет утраты вакуолю частью воды, и протоплазма занимает теперь лишь часть клеточной полости.

Опыт удается лишь при жизни клетки; мертвая протоплазма свободно пропускает растворы и не съеживается. Вообще все дело здесь в целостности осмотической перепонки, нарушение которой лишает клетку ее осмотических свойств. Если взять для опыта клетки с окрашенным клеточным соком, например, кусочек ткани из корня свеклы или из лепестка цветка, то легко убедиться, что при съеживающем действии плазмолиза протоплазма не пропускает пигмент наружу, и все явления плазмолиза сводятся к потере воды.

При непродолжительном действии плазмолиза перенос клеток в чистую воду может восстановить нормальную картину, продолжительное же действие гипертонического раствора вызывает в протоплазме столь глубокие изменения, что реакция становится необратимой. С помощью плазмолиза можно установить величину внутриклеточного давления, а также установить роль почвенного раствора солей в жизни клеток корня. Легкий плазмолиз выявляет также нити плазмодесм, переходящих из одной клетки в другую, так как они разрываются позднее, чем протоплазма отстаёт от оболочки.

Всякое изменение клеточного давления (сказывается) на тургоре клетки и ее функциях. Во взаимоотношениях клетки с окружающей средой громадное значение имеет то обстоятельство, что клетка является единым осмотическим аппаратом, будь она единой, свободно живущей, или входящей в состав многоклеточного организма.

В последнем случае клетка является строительной единицей, имеющей, благодаря наличию неживой клеточной оболочки, механическое значение.

У неклеточных организмов типа водоросли каулерпа (см. рис. 25), при наличии большого числа ядер, протоплазма едина. Обособленных протопластов здесь нет. Клеточный сок и осмотический аппарат здесь также один, общий для всего сравнительно крупного организма.

Палеонтология отмечает период, когда сифонные водоросли господствовали, достигая крупных размеров, позднее значительная часть их исчезла, и сохранились лишь мелкие их представители, в наше время играющие в природе незаметную роль. Этим выявляется невыгодность сифонного строения.

Дело в том, что если порвать оболочку подобного организма, например, каулерпы, то внутриклеточное давление выдавит оттуда протоплазму, и, очутившись вне клетки, она погибнет, и весь организм пропадет; если же порвется клеточная оболочка в какой-либо части многоклеточного организма, то это коснется лишь одной или немногих соседних клеток, остальные же останутся целы и невредимы. В борьбе за существование организмы, имеющие клеточное строение, получили перевес, так как клеточное строение оказалось чрезвычайно выгодным для сохранения жизни, потому что механические повреждения очень часты и могут привести к исчезновению данного организма.

В многоклеточном организме каждая клетка работает как целый организм, всасывающий и отдающий растворы. При делении клетки образуется масса ей подобных, которые, дифференцируясь, в дальнейшем развивают крупный многоклеточный организм.

ГЛАВА V

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ТКАНИ

Клетка, как таковая, может представлять собой вполне развитый одноклеточный организм, так как в ней сосредоточены все материальные выражения жизненных функций. Клетка питается, всасывает растворы, превращает их в углеводы, жиры и белки за счет кислорода воздуха; клетка движется, клетка делится, размножается, — одним словом, клетке свойственны все основные жизненные функции.

Каким образом одна клетка превращается в сложный организм, каким образом из этого микроскопически малого существа может развиться крупный растительный организм, например, пшеница или даже организм крупного дерева?

Прежде всего вспомним, что делящаяся клетка дает две новые, которые могут у низших организмов стать свободными и самостоятельными; но клетки могут остаться и в соединении, причем в большинстве случаев оказываются как бы склеенными между собой межклеточным веществом, по обе стороны от которого располагаются первичные оболочки соседних клеток, образующие вместе с межклеточным веществом так называемую срединную пластинку.

Первичные оболочки клеток состоят из целлюлозы. Межклеточная прослойка в мягких тканях состоит из пектиновых веществ, соединенных с известью, и в зрелых плодах иногда расплывается сама собой.

При опробковении или одревеснении срединной пластинки происходит лигнификация пектиновых веществ, и межклеточное вещество становится нерастворимым даже в серной кислоте.

Пектиновые соединения, в основе которых лежат вещества с формулой $C_{24}H_{32}O_{24}$, отличаются легким набуханием в теплой воде и при кипячении с сахаром и органическими кислотами образуют желе.

На растворении межклеточного вещества срединной пластинки основан технологический процесс мочки льна и конопли. При этом каждое волокно, состоящее из одной длинной клетки, отделяется от соседнего именно путем уничтожения межклеточного вещества срединной пластинки, без повреждения при этом целлюлозных оболочек.

Когда стараешься проследить судьбу клетки внутри организма, то оказывается, что клетки сложного организма находятся в столь разнообразных условиях жизни, что и сами становятся различными. Факт, о котором мы сейчас говорим, обычно носит название закона разделения труда. Изучая клетку, мы насчитали в ней семь органоидов, которые представляют собой различные стороны жизненного процесса. Представим теперь, что данная клетка может развить не все функции жизни, а лишь одну из них, или две-три за счет угнетения остальных. Путем суживания жизненных задач, путем отказа от развития ряда функций, достигается усиление той единственной или тех немногих

функций, которые достались на долю данной клетки в силу условий ее существования внутри сложного организма. Масса клеток работает теперь как один организм, целое достигается сужением функции отдельных его частей, весь организм от этого выигрывает, хотя отдельные клетки развиваются односторонне, или даже погибают.

Принцип разделения труда иногда невыгоден или даже губелен для отдельных клеток, которых он касается, но благоприятен для организма в целом.

Дуб, сосна, ель, береза и др. представляют собой громадное скопление древесины, коры, листы и пр. При этом в древесине имеется сравнительно небольшой процент живых клеток, все остальное — масса пустых оболочек, заполненных водой или воздухом, или какими-либо инертными веществами. Клетки, которые выработали массу старой древесины, погибли, остались их оболочки, которые тем не менее обеспечивают крепость тела растения и являются необходимым звеном жизни.

Продолжительность жизни этих сложных организмов ограничена определенным пределом, даже и при благоприятных условиях. Есть деревья, которые могут жить тысячи лет, но дисгармония, развивающаяся между отдельными их частями, в конце концов приводит к гибели целого. Максимальная известная нам продолжительность жизни деревьев — это шесть-семь тысяч лет для мамонтового дерева (*Sequoia gigantea*, см. рис. 82), но в конце концов и они погибают, и продолжить их жизнь до бесконечности нельзя.

Каждое растение имеет определенный срок жизни. Так, мы различаем растения однолетние, двухлетние, многолетние, которые живут лишь некоторое число лет.

Как перейти от изучения клетки к изучению сложных организмов? Этим вопросом занимаются гистология и анатомия растений.

Когда ученые начали изучать внутреннее строение растений, рассматривая тонкие прозрачные срезы частей растений под микроскопом, то оказалось, что и формы клеток и способы их соединений в так называемые ткани довольно разнообразны.

Большинство растительных клеток можно по форме разделить на две группы — паренхимные и прозенхимные клетки. Паренхимные клетки изодиаметричны, т. е. они имеют более или менее одинаковый диаметр в различных сечениях. Они могут быть округлыми, многогранными, кубообразными или даже продолговатыми, но всегда имеют более или менее тупые или округлые концы. Клетки эти большей частью живые, имеют обильное содержимое и способны делиться.

Прозенхимные клетки — это клетки сильно вытянутые, с острыми концами, большей частью с толстыми слоистыми оболочками, часто пустые или с незначительным содержимым. Эти прозенхимные клетки обычно входят в части скелета растений, они определяют крепость, твердость, сопротивляемость частей растений. Вначале, когда эти клетки молоды, они также имеют внутри ядро и протоплазму, как и другие клетки. Впоследствии это содержимое теряется.

Третье понятие — это склеренхима, общие свойства клеток которой заключаются в том, что при сильном одревеснении и утолщении их оболочек от протоплазмы в них ничего не остается. Понятие склеренхима не перекрывает понятие прозенхимы, так как сюда отнесены и такие клетки, которые имеют паренхимную форму, лишь бы стенки одревеснели, как это, например, имеет место у клеток, из которых построена скорлупа орехов.

Клетки, составляющие сложный организм, следует распределять на категории, на ткани.

[Разделение клеток на паренхиму и прозенхиму — чисто морфологическое и является односторонним. Функции, выполняемые ими, могут быть различными.]

Можно руководствоваться не формой клеток, а той основной функцией, которая им свойственна.

Такой принцип выделения тканей может быть назван принципом физиологической или функциональной анатомии растений.

Однако мы должны учесть также и происхождение ткани, ее развитие в онтогенезе растения.

Тканью называется группа клеток, имеющих одинаковую форму, выполняющих по преимуществу одни и те же функции и имеющих определенное происхождение. Только такая классификация тканей, которая учитывает указанные выше положения, может быть принята.

По происхождению разделяют ткани на первичные и вторичные. Первичными называются ткани, образующиеся в точке роста, обычно на верхушке стебля или на кончике корня, а вторичными — те ткани, которые возникают в процессе утолщения стебля и корня или образуются из других живых клеток, закончивших свое формирование (см. ниже)].

Если свободно живущей клетке свойственны все жизненные функции, то в клетках, составляющих сложный организм пшеницы, картофеля, дуба, сосны и пр., мы наблюдаем разделение труда. Каждая группа клеток берет на себя лишь часть этих функций, остальные не развиваются, зато одна какая-нибудь функция развивается гораздо сильнее, позволяя всему организму производить большую работу.

Остановимся поэтому на органоидах клетки, их функциях и на отражении их в сложном организме растения.

Одним из основных органоидов клетки является ядро. Основная функция ядра строительная, иначе — образовательная; это — способность вырабатывать новые части клетки совместно с протоплазмой или новые клетки. Сообразно этому и в сложном организме должны быть такие группы или скопления клеток, которые выполняют эту образовательную функцию, которые благодаря своему постоянному делению строят организм.

[Эти группы клеток составляют систему особых тканей, носящих название образовательных тканей].

Возьмем продольный разрез кончика корня (рис. 33) или верхушки стебля. Мы увидим здесь скопление правильно расположенных, одинаковых по форме тонкостенных клеток, набитых живой протоплазмой с относительно крупными клеточными ядрами. Ни вакуолей с клеточным соком, ни зерен крахмала, ни кристаллов мы здесь не увидим. Это и есть образовательная ткань, так называемая первичная меристема.

Меристема, первичная образовательная ткань, представляет собой скопление прямоугольных благодаря взаимному давлению клеток, которые постоянно делятся, — в этом их основная функция: благодаря увеличению числа клеток и их последующему росту растет и весь организм.

Первичная меристема находится в концах корней, в концах стебля и его ветвей, в почках, в зародыше семян. Везде она является однообразно построенной и чрезвычайно жизненной, превращая притекающие сюда питательные вещества в протоплазму, в новые ядра и поддерживая этим рост соответствующего органа.

Но вот растение уже сформировалось, достигло значительных размеров и все еще растет. Везде, где в уже сложившемся растении продолжается рост, мы находим присутствие какой-либо образовательной ткани, почему и говорим не об одной образовательной ткани, но о системе их. Их несколько, сообразно тому, какую специальную ткань вырабатывает данная образовательная ткань. Вы делаете точное измерение толщины ствола какого-нибудь дерева. В прошлом году толщина

ствола была 45 см в поперечнике, а в нынешнем оказалось 50, — имеется прирост в толщину на 5 см. Откуда это взялось? Ведь меристема находится на верхушке стеблей, на конце корней, а здесь налицо рост в толщину. Какая же ткань вызвала этот рост?

В толще ствола заключена вторичная образовательная ткань с той же функцией постоянного деления, постоянного превращения вещества в протоплазму, в клеточные ядра. Эта вторичная образовательная ткань получила название камбия (см. рис. 81). Камбий располагается тонким слоем вокруг всего ствола, на границе между двумя проводящими

тканями: древесиной, подающей воду из корней к листьям, и лубом, по которому движется нисходящий ток веществ, созданных листьями. И камбий неустанно наращивает в одну сторону — кнаружи — луб, а в другую — во внутрь — древесину, образуя в составе последней так называемое годовое кольцо.

Таким образом, деятельность клеточного ядра и протоплазмы, обуславливающих образование оболочек и новых клеток, сделалась специальной функцией особо выделенных для этого клеток. У этой ткани нет хлорофилльных зерен и связанной с ними способности фотосинтеза, у них нет способности копить запасные питательные вещества или продукты, уже отработанные организмом. Клетки меристемы питаются тем, что выработано другими тканями, готовым соком растения.

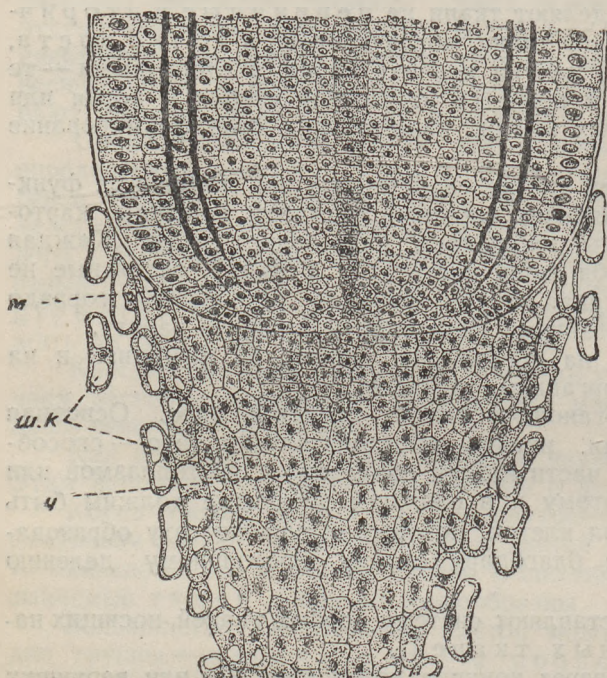


Рис. 33. Продольный разрез кончика корня: *м* — меристема (первичная образовательная ткань); *ч* — чехлик; *ш. к.* — шелушащиеся клетки чехлика.

Мы не наблюдаем здесь и движения протоплазмы, но только рост ее.

Следующий органоид клетки — это клеточная оболочка, органоид защиты и механической опоры. Она имеет две функции: с одной стороны, она представляет собой покров клетки, одежду ее, а с другой — является наиболее твердой ее частью, опорой, остовом, скелетом клетки.

Функции эти представлены двумя системами тканей: системой покровных тканей и системой тканей механических. Начнем с первой.

Функции покровных тканей очень важны. Растение представляет собой скопление живых клеток, содержащих большое количество воды. Листья, ветви распростерты в атмосфере, на них постоянно действуют солнце и ветер, заставляя их терять воду. Если подача воды корнями замедлится, то крона погибнет. Кроме того, в составе солнечных лучей есть и ультрафиолетовые лучи, которые легко могут убить протоплазму. Если взять кварцевую лампу и направить ее свет на какую-либо мало защищенную ткань, то эта ткань отомрет на наших глазах: ультрафиолетовые лучи действуют на нее смертельно. Надо защитить эту ткань.

Большое значение имеют также механические повреждения, наносимые ветром, ударами соседних ветвей, животными, которые надкусывают отдельные клетки. В некоторых случаях могут уничтожающе действовать и химически активные вещества, попадающие на поверхность клеток.

Покровная ткань с ее защитной функцией представляет собой важнейшее образование, необходимое для того, чтобы растение могло существовать.

Система покровных тканей складывается следующим образом: первичная покровная ткань, называемая эпидермой или эпидермисом (иначе — кожа), и вторичные покровные ткани — пробковая или пробка и корка. На разрезе через точку роста — на верхушке стебля (рис. 34) — можно видеть, что наружный слой клеток отличается от остальных. Клетки несколько вытянуты перпендикулярно к поверхности; оболочки, обращенные наружу, утолщены. Постепенно этот один слой клеток — тонкая пленка, окружающая молодое растение или молодые части растения, — обособляется и приобретает совершенно иные свойства, чем все остальные клетки. Из этого слоя клеток, часто называемого дерматогеном, и образуется первичная покровная ткань — эпидермис.

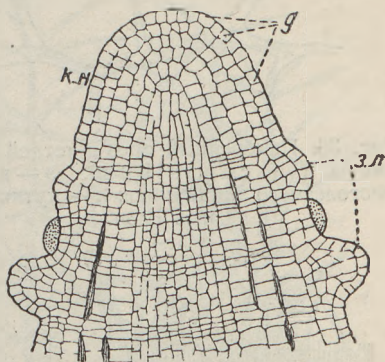


Рис. 34. Продольный разрез через верхушку стебля: к. н — конус нарастания; д — дерматоген; з. л — зачатки листьев (листовые бугры). Темные полосы между клетками — воздушные ходы.

Клетки эпидермиса богаты водой, клеточным соком. Солнечные

лучи, падающие на растение, проходят сквозь слой воды, причем часть вредных растений лучей задерживается. Так как клетки эпидермиса очень рано перестают делиться, то разрастающиеся под ними другие ткани растягивают их, и они понемногу становятся плоскими, как бы распластанными || параллельно поверхности органа. Они очень крепко соединены между собой, тем более, что волнистыми своими краями сильно заходят одна на другую (рис. 35). Зато с подлежащими им тканями они соединены очень слабо и нередко их можно срывать целым пластом, особенно с мясистых листьев. В общем кожа представляет собой прозрачную ткань, состоящую обычно из одного слоя клеток, почти всегда лишенных хлоропластов, плотно соединенных между собой. Они прекрасно пропускают свет к зеленым клеткам, лежащим глубже.

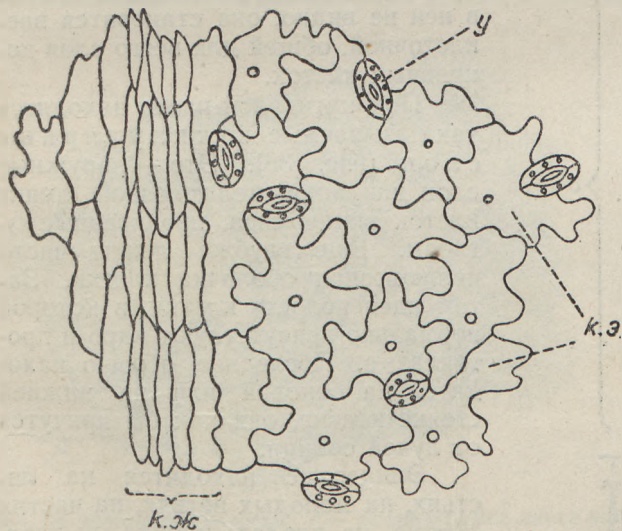


Рис. 35. Эпидермис кожицы листа гороха (*Pisum sativum*): к. э — клетки эпидермиса с извилистыми краями, прикрывающие мякоть листа; к. ж — клетки, прикрывающие жилку; у — устьица.

лым пластом, особенно с мясистых листьев. В общем кожа представляет собой прозрачную ткань, состоящую обычно из одного слоя клеток, почти всегда лишенных хлоропластов, плотно соединенных между собой. Они прекрасно пропускают свет к зеленым клеткам, лежащим глубже.

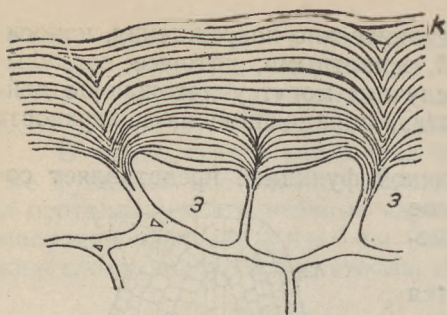


Рис. 36. Поперечный срез 9-летней ветви омелы (*Viscum album*): э — клетки многолетнего эпидермиса; к — кутикулярные слои.

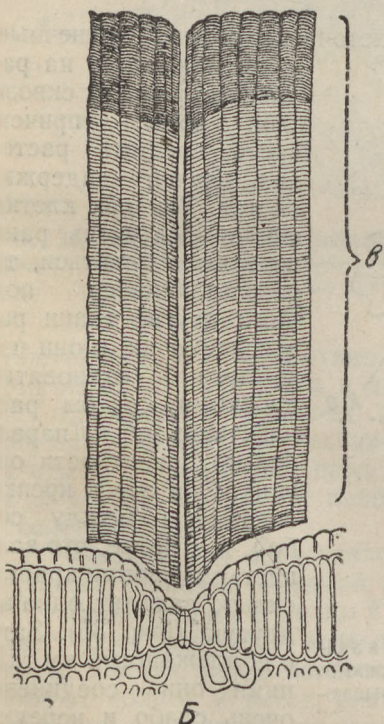
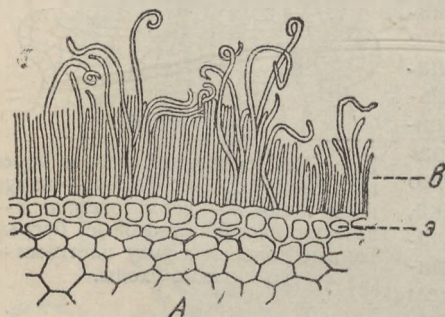


Рис. 37. А — поперечный срез через узел стебля сахарного тростника: э — эпидермис в — воск в виде тончайших палочек; В — поперечный разрез через кожуру пальмы (*Clorostockia cerifera*): в — мощный слой воска, отставший от эпидермиса.

На поверхности клеток эпидермиса выделяется обычно тонкий слой жирового вещества, которое на воздухе твердеет, образуя тонкую прозрачную пленку, плохо смачиваемую водой и не растворимую, не изменяющуюся под действием кислот и щелочей. Эта твердая ровная пленка, покрывающая кожуцу, носит название кутикулы.

В каждом городе из труб тех топок, где сжигают каменный уголь, выделяется сернистый ангидрид, он оседает на листву, на ветви растений; падающий затем дождь или тающий снег смачивают этот осадок, образуется серная кислота. В природе возможны подобные случаи и помимо действия топок, когда вредные вещества, образующиеся в атмосфере, падают на поверхность растений. В задачу кутикулы и входит защита растения от различных неблагоприятных воздействий. Если разрезать какую-либо часть растения, имеющую первичную покровную ткань, то видно, что над клетками эпидермиса проходит тонкая пленка кутикулы. Кутикула сливается в одну общую пленку, отдельных клеток в ней не видно, она становится внеклеточной, общей для всего слоя покровных клеток.

Под кутикулой часто находятся так называемые кутикулярные слои (рис. 36). Это — наружные слои наружной целлюлозной стенки клеток эпидермиса, пропитанные кутином. Еще глубже лежит чисто целлюлозная оболочка клетки. Затем идет полость клетки, в которой нормально присутствуют ядро и протоплазма. Последние обычно находятся на боковой или на нижней стенке клетки, они как бы прячутся от лучей солнца.

Эпидермис находится на листьях, на молодых ветвях, на частях цветка, на плодах; иногда он представляет собой довольно твердую ткань: так кожа яблока представляет собой типичный эпидермис с хорошо развитой кутикулой.

У растений, листья которых осенью не опадают, а держатся по нескольку лет, эпидермис может состоять из двух или более слоев клеток, что еще более гарантирует лист

от излишней потери воды. Таков эпидермис на листьях хвойных деревьев, на листьях и ветвях омель (рис. 36), на листьях многих южных растений, например агавы.

Кроме кутикулы, эпидермис может выделять и другие вещества, пропитывающие наружную его оболочку, или образующие слой на его поверхности. Таков, например, восковой налет на нижней стороне листьев *клюквы*, на кожице плодов *сливы*, на стебле сахарного тростника (рис. 37, А) и на кожице пальмы *Клоростоксия* (рис. 37, Б). Воск принадлежит к группе жировых веществ или липоидов. Химически он является смесью жиров, жирных кислот, углеводов и пр., а не единым химическим телом; он хорошо защищает клетки эпидермиса от излишнего испарения. Более редки случаи пропитывания клеточных стенок эпидермиса известью или кремнезёмом, но и они хорошо известны.

У чрезвычайно многих растений отдельные клетки или группы соседних клеток продолжают свой рост даже после того, как ткань эпидермиса вполне образовалась. Они могут расти лишь в одном направлении — наружу, и вытягиваются в так называемые волоски или трихомы. Простей-

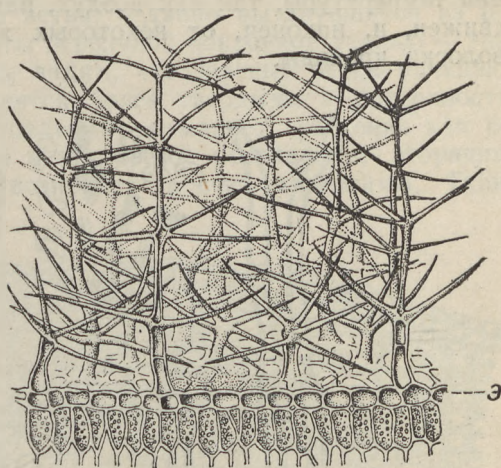


Рис. 38. Поверхность листа медвежьего уха (*Verbascum thapsus*) с ветвистыми волосками: э — эпидермис.

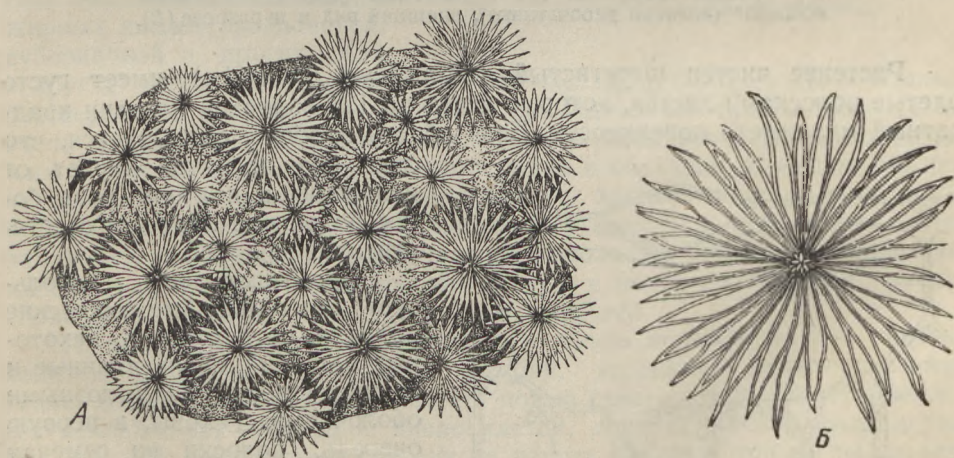


Рис. 39. Звездчатые волоски: А — на эпидермисе листа лоха (*Elaeagnus*); Б — отдельный волосок при большом увеличении.

шие волоски одноклетные, простой и мешковидной формы (см. рис. 40), но они могут быть и разветвленными, двухлучевыми или многолучевыми, как у крестоцветных. Многоклетные волоски приобретают нередко очень сложные формы, например, ветвистые волоски медвежьего уха (*Verbascum thapsus*, рис. 38) и щитковидные волоски лоха (*Elaeagnus argentea*, рис. 39). От волосков следует отличать шипы, — колючие образования, которые отходят не от эпидермиса, а от целой

группы глубже лежащих клеток и, разрастаясь, одревесневают, например, у шиповника и некоторых видов паслена.

Волоски, если они хорошо развиты, прикрывают эпидермис хотя и не сплошным, но все же достаточно мощным слоем (рис. 38 и 39), чтобы служить хорошим защитным средством от испарения, от быстрых перемен температуры, так как воздух, находящийся между ними, мало подвижен, и, наконец, от некоторых животных, как, например, жгучие волоски крапивы.

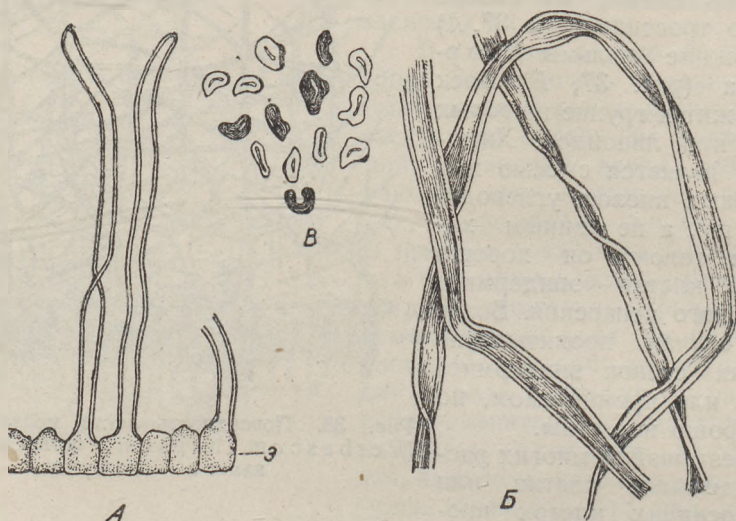


Рис. 40. Поперечный разрез через эпидермис семени хлопчатника (*Gossypium*): А — клетки (э) эпидермиса с волосками, представляющими собой выросты наружной стенки клеток; В — волоски ваты, или так называемые „хлопчатобумажные волокна“ (волоски хлопчатника), внешний вид и в разрезе (В).

Растение чистец шерстистый (*Stachys lanata*) имеет густо одетые волосками листья, которые несут по 120 волосков на один квадратный миллиметр поверхности. Если сбрить волоски, оказывается, что лист без волосков теряет от испарения в полтора раза более воды, чем лист с его естественной защитой.

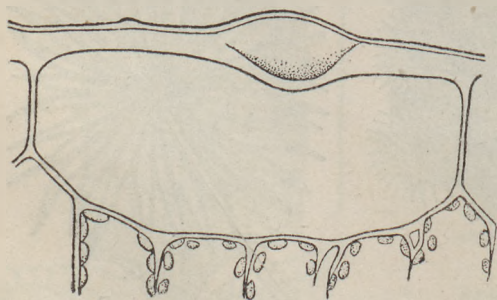


Рис. 41. Выпуклая клетка — „глазок“ — в верхнем эпидермисе листа теневое растения.

эти вырастают из клеток кожицы семян, эластичны и удобны для собирания, так как семена развиваются помногу в одной коробочке.

У теневых растений нередко клетки эпидермиса верхней стороны листьев выпуклые. Формой своей они напоминают оптическую линзу — зажигательное стекло (рис. 41) — и концентрируют падающие на поверхность клетки солнечные лучи в определенной точке, находящейся уже за эпидермисом, в клетке глубже лежащего слоя листовой мякоти. Свет раздражает протоплазму в фокусе схождения лучей, раздражение

это передается по плазмодесмам от клетки к клетке и вызывает движение черешка, ставящее лист под определенным углом к падающим на него лучам, регулируя этим поглощение и усвоение лучистой энергии. Таким образом, приходится признать за эпидермисом еще и функцию восприятия светового раздражения.

Мы все знаем, что молодые ветви, недавно вытянувшиеся из почек, зеленые и мягкие: они покрыты первичной покровной тканью — эпидермисом. Наступает осень, и мы видим, что зеленые ветки начинают темнеть, меняют окраску, становятся более твердыми с поверхности. Осенью под влиянием холодов эпидермис отмирает, растение как бы раздевается, но под эпидермисом в это время развивается вторичная образовательная ткань, которая возникает за счет паренхимы. Ткань эта — пробковый камбий или феллоген.

[Кнаружи (к периферии стебля) феллоген развивает пробку, а вовнутрь — пробковую паренхиму, так называемую феллодерму.

Сложная, вторичная покровная ткань носит название перидермы. Перидерма состоит из пробкового камбия, пробки и феллодермы (см. рис. 59)].

Пробка состоит из клеток, оболочки которых пропитаны пробковым веществом или суберином, представляющим собою смесь соединений группы жирных кислот: феллоновой, субериновой и других. Как и другие жировые вещества, суберин не пропускает воды и водных растворов, не страдает от кислот и пр. Идеальная пробка состоит из очень мягких толстостенных клеток, с отмершим без остатка содержимым. Клетки эти развиваются многослойно и образуют хорошую защиту на поверхности, совершенно изолирующую живые ткани от всех вредных наружных влияний. Всем известна утилизация пробки как материала для укупорки, как материала для изоляции. Дерево, дающее промышленную пробку, — это пробковый дуб, с которого снимают пробку, снова отрастающую, лишь бы уцелел феллоген.

Пробка сама расти не может, — это ткань мертвая, но под ней находится феллоген — пробковый камбий, вторичная образовательная ткань, которая образует все новые и новые ряды клеток. [Внутрь феллоген откладывает небольшое число клеток, дающих начало феллодерме (см. рис. 59). Феллодерма состоит из живых клеток с тонкой целлюлозной оболочкой, вначале имеющих таблитчатую форму, а затем превращающихся в обычные паренхимные клетки].

У нашей белой березы очень характерная пробковая ткань — береста (рис. 42). Слой за слоем отслаиваются пробковые клетки, внутри которых выкристаллизовывается маленькими иголочками особое вещество — бетулин; он белого цвета, а потому и береста белая. Когда береза стареет, поверхность ее меняет окраску, становится темносерой, меняет и строение, становится твердой, царапает руки. Оказывается, что изменилась работа пробкового камбия, он стал выделять, наряду с мягкими пробковыми клетками, также и твердые клетки с толстыми одревесневшими оболочками, быстро отмирающими, но зато очень

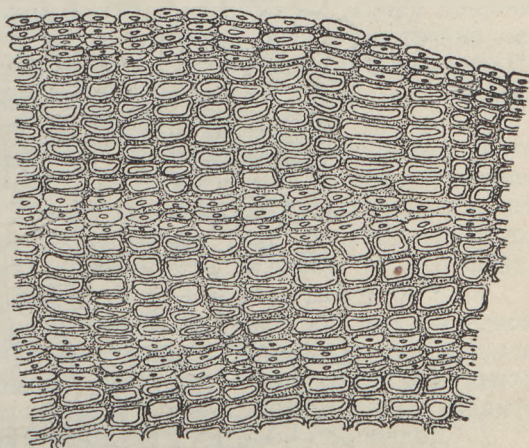


Рис. 42. Береста (перидерма) березы.

крепкими. Получается сложное образование, в которое входит как бы несколько тканей, и которое является очень характерным для большей части деревьев.

[Перидерма у большинства деревьев сохраняется длительное время (у сосны 8—9 лет, у дуба 25—35 лет, у пихты 45—50 лет). Но и у них затем перидерма заменяется третичной покровной тканью — коркой.

Феллоген постепенно утрачивает свою деятельность, но по мере утолщения ствола дерева требуется его защита в наружных слоях. Тогда возникают в глубине стебля, в более глубоких слоях его коры, новые участки феллогена, дающего новые прослойки пробки. У некоторых деревьев феллоген возникает сплошными кольцами, и тогда поверхность ствола остается гладкой.

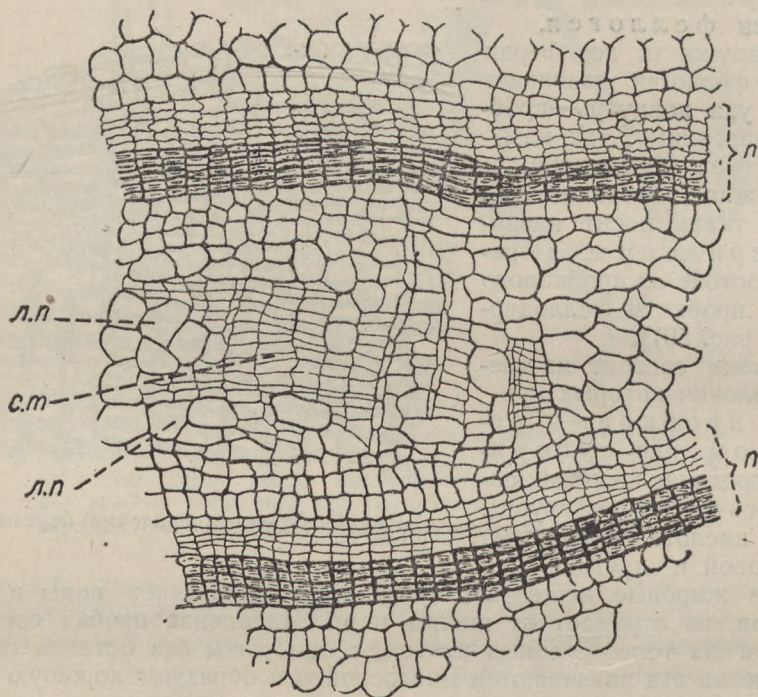


Рис. 43. Поперечный срез корки сосны: *п* — перидерма; *л. п* — лубяная паренхима; *с. т* — ситовидные трубки.

Ткани, изолированные от срединных участков стебля вновь возникшей пробкой, отмирают и сбрасываются. Через некоторое время еще глубже в коре стебля образуется новый слой феллогена, отслаивающего новые слои пробки. В результате поверхность ствола становится шероховатой, бородавчатой. Покровная ткань, образованная рядом прослоек перидермы, и называется коркой.

Старые стволы дубов, сосен (рис. 43), берез и пр. покрыты коркой. Мало ли что поселится снаружи на дереве: и грибки, и мхи, и лишайники, просто пылью его занесет — станет трудно дышать, и вот дерево, путем отслаивания пробки и наружных слоев корки, сбрасывает весь этот сор и снова оказывается чистым. Чем здоровее дерево, тем быстрее идет слущивание, тем чище поверхность дерева. Больное и потому медленно растущее дерево быстро покрывается всевозможными пришельцами — лишайниками и т. д. Когда видишь в лесу дерево, сплошь одетое лишайниками, то не следует думать, что лишайники заели это дерево: нет, это больное дерево, которое даже не в состоянии сбросить с себя лишайники.

Найдя в лесу свежесрубленную сосну, интересно проследить, как меняется на различных частях ее покровная ткань. Верхушки ее веток одеты гладким эпидермисом, затем и окраска и свойства поверхности меняются, ниже начинается пробковая ткань, которая слущивается неправильными кусками, еще ниже к пробке прибавляется все больше и больше твердых механических элементов, и пробка переходит в более темную твердую корку.

Обратим внимание на то, как тесно связаны две ткани — покровная и образовательная. Как только оказывается, что данной покровной ткани недостаточно для того, чтобы сберечь растение, вступает в работу образовательная ткань, которая чинит повреждения, образует новые массы покровных, защитных клеток.

Функцией защиты не исчерпываются задачи оболочки клетки. Оболочка является защитой внутренних частей растения, но она является также и его скелетом. Мы должны поэтому перейти от тканей покровных к тканям механическим, т. е. к тканям, преимущественно перед прочими подвергающимся механическим воздействиям и оказывающим сопротивление таким механическим факторам, как растяжение, давление и сжатие.

Ткани механические должны поддерживать такие жизненные части растений, которые ловят солнечные лучи, поглощают углерод углекислоты воздуха, поглощают воду, хранят запас питательных веществ, передвигают питательные растворы по растению. Все эти части должны находиться в безопасности от раздавливания и разрыва. Эту-то функцию и выполняют механические ткани.

Для того, чтобы клетка превратилась в элемент механической ткани, нужно, чтобы она выработала твердую мощную оболочку и разрослась определенным образом. Вначале — это образовательная клетка с крупным ядром и большим количеством протоплазмы, позднее же — только пустая клетка, зато с мощной и твердой оболочкой.

Механические ткани разделяются на [следующие основные категории: склереиды, к которым относятся, например, каменные клетки; склеренхимные или механические волокна (сюда относятся лубяные волокна и древесинные волокна или либриформ); колленхима].

Каменные клетки имеют более или менее выдержанную паренхимную форму. Форма эта изменяется в зависимости от давления, испытываемого растущей клеткой, которая может образовывать различные боковые отростки и сама удлиняться. Механические клетки, образующие ореховую скорлупу или находящиеся в мякоти плода груши, сохраняют округлую форму (рис. 44). Оболочка их толстая, слоистая, пронизанная каналами. Первоначально оболочка тонкая, затем протоплазма отлагает на ней несколько слоев целлюлозы. Работа протоплазмы состоит в том, что она всасывает растворы, содержащие сахар, из других клеток и превращает этот сахар в вещество оболочки, отлагая последнее изнутри на ранее уже сложенную оболочку. Кроме того, в результате происходящих при этом химических процессов часть клетчатки или же вся она целиком пропитывается лигнином — оболочки одревесневают.

Процесс роста и лигнификации (одревеснения) клеточных стенок все суживает и суживает полость клетки, для протоплазмы остается все меньше места. Однако она все время получает материал извне и не может быть совершенно изолирована от внешнего мира. Это достигается тем, что слои утолщения не захватывают пор, имеющихся в первичной оболочке, и поры эти понемногу превращаются в простые или даже ветвистые каналы, которые соответствуют порам и каналам соседних клеток, оставляя свободным узкий путь из клетки в клетку, к источникам необходимых клеткам растворов (рис. 44).

Клетка все еще растет, вернее растут (утолщаются) ее стенки. Наконец, полость клетки настолько суживается, что протоплазма умирает, развитие механической клетки закончилось. Группа подобных клеток образует крепкую защитную ткань. Если такие клетки лежат среди сочной мякоти в тканях сочных плодов, в мягких частях коры, в листьях, то они развиваются под давлением соседних клеток, отличающихся сильным тургором, иногда в несколько атмосфер.

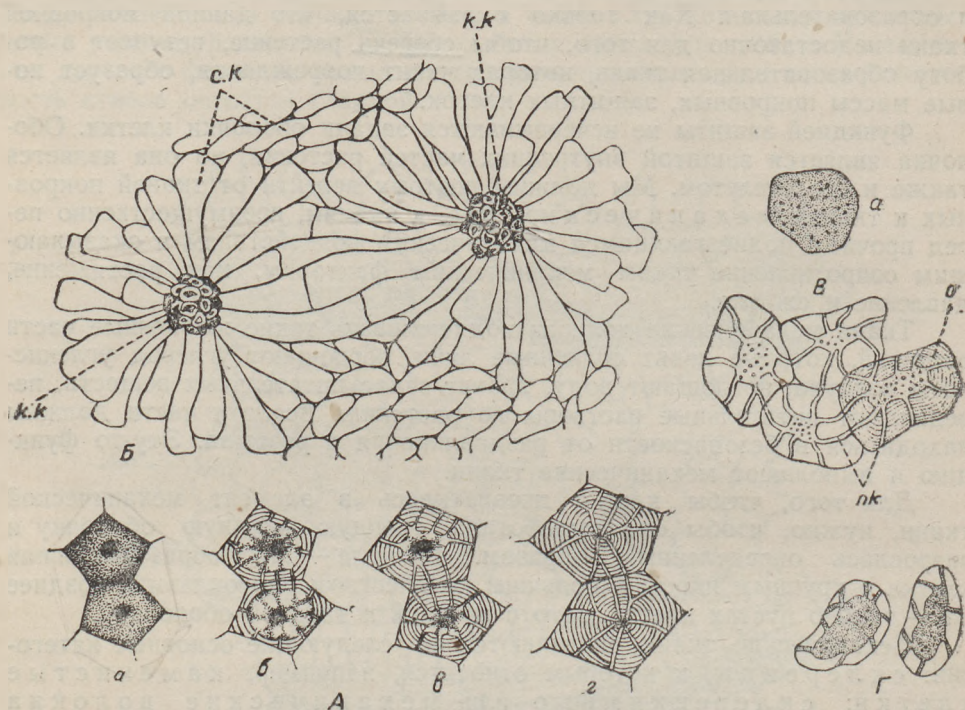


Рис. 44. Каменные клетки: А — а, б, в, г — постепенное утолщение оболочки и образование поровых каналов при развитии механической клетки из паренхимной; Б — мякоть плода груши: с. к — сочные тонкостенные клетки мякоти, радиально расположенные вокруг группы каменных (к. к) клеток; В — каменные клетки груши (большее увеличение): о — оболочка; п. к — поровые каналы; а — одна клетка с поверхности, точки на ней — выходы поровых каналов; Г — для сравнения каменные клетки мякоти плода рябины.

Такие же клетки мы находим во многих частях растений, везде они представляют собой точки опоры. Опираясь на них, развиваются другие ткани.

[Склеренхима или склеренхимные волокна — состоят из удлиненных, прозенхимных клеток с утолщенными стенками, причем стенки их или остаются целлюлозными, или же пропитываются лигнином — одревесневают. Различают склеренхиму, развившуюся от первичной меристемы — первичную склеренхиму и развившуюся из вторичной меристемы — из камбия. Это будет вторичная склеренхима.

Первичная склеренхима составлена обычно группами клеток в области перицикла (см. ниже) стебля, или в виде обкладки окружает проводящие пучки.

Вторичная склеренхима, отложенная камбием, представлена механическими волокнами. Волокна, расположенные в лубяной части, называются лубяными волокнами, расположенные в древесине — древесинными волокнами или либриформом.

Рассмотрим лубяные волокна льна и конопли, от которых используются механические элементы стебля. Мы найдем здесь вытянутые параллельно длине стебля очень длинные клетки с очень узкой полостью, слоистыми сильно утолщенными стенками и заостренными концами. Длина таких клеток в несколько десятков, и даже в несколько сот раз больше их поперечника. У льна (рис. 45) длина механических волокон 20—40 мм, у конопли — 10 мм и более, у обыкновенной крапивы (*Urtica dioica*) — 77 мм, у китайской крапивы (*Boehmeria nivea*) — 220 мм. Длина превышает ширину иногда в 600 раз.

Волокна эти ценятся в текстильной промышленности за свою длину, и тем более ценятся, чем химически чище целлюлоза их слоистых стенок. Если сравнивать волокнистые клетки стебля конопли и такие же клетки из стебля льна, то оказывается, что волокна конопли значительно короче, и в их слоистых клеточных оболочках отложен лигнин, тогда как волокна льна длиннее, тоньше и имеют целлюлозную оболочку; волокна конопли могут ломаться, они гораздо грубее и менее пригодны для выделки тканей; в некоторых случаях, однако, их предпочитают, как более твердые. Используются также механические волокна и других растений, как, например, канатника (*Abutilon*) и

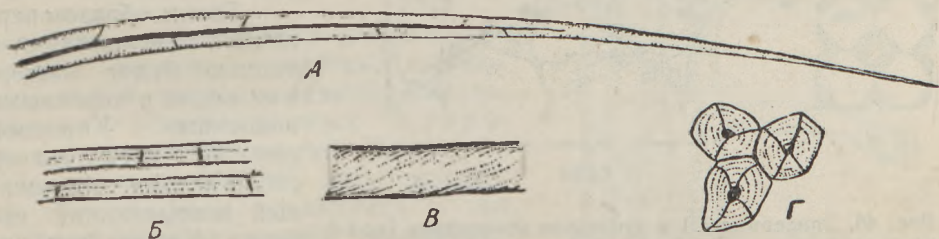


Рис. 45. Схематическое изображение механических (склеренхимных) волокон из стебля льна: А — конец волокна; Б — часть волокна в продольном разрезе; видна полость, в оболочке заметна слоистость и каналы (щелевидные поры); В — поверхность волокна со спиральной штриховатостью; Г — поперечный разрез трех волокон.

кендыря (*Arosunum venetum*), во множестве растущего по поймам рек Средней Азии.

В древесине деревьев мы находим древесинные волокна или либриформ с совершенно одревесневшими оболочками. Они короче, чем лубяные волокна, но также заострены на концах.

Если механические клетки и склеренхимные волокна в некоторой степени соответствуют элементам костной ткани животных, то хрящевой их ткани соответствует у растений также особая механическая ткань, называемая колленхимой.

Колленхима состоит из живых клеток с неравномерно утолщенной оболочкой и помещается в коре молодых стеблей, в черешках листьев и пр. Оболочки ее клеток состоят из целлюлозы и отличаются сильным лучепреломлением, отчего под микроскопом нередко кажутся блестящими. Особенно типична так называемая уголковая колленхима (рис. 46), у которой в поперечном сечении видно, что углы прямоугольных или многогранных клеток заполнены наслоениями целлюлозы, тогда как середины граней не утолщены, и полость клетки представляется круглой. Особенность колленхимы в том, что она, являясь опорой мягким тканям, вместе с тем продолжает расти, следуя за ростом органа.

Перейдем теперь к следующей системе тканей, именно — к системе тканей в с а с ы в а ю щ и х. В клетке мы отметили на поверхности протоплазмы осмотическую перепонку, так же как на границе ее с вакуолями — так называемый тонопласт (см. стр. 76). По некоторым данным,

в построении осмотических перепонок протоплазмы принимают участие также некоторые липоиды, т. е. жировые соединения и фосфатиды — фосфорнокислые соединения. От процентного содержания липоидов и фосфатидов зависит избирательная способность осмотической перепонки.

Основные всасывающие ткани находятся на корнях, опущены в почву, где встречаются почвенный раствор — воду, в которой растворено некоторое количество минеральных веществ почвы. Молодые корни одеты эпидермисом, который, как и на стебле, сменяется пробковыми, а еще позднее корковыми тканями. Нас сейчас интересуют наиболее молодые корни, одетые однослойным гладким эпидермисом. Эпидермис этот построен иначе, чем эпидермис листьев и веток. Самой интересной его особенностью является то, что на известном расстоянии от

кончика корня некоторые клетки эпидермиса разрастаются в очень длинные тонкие трубочки, которые мы называем корневыми волосками (рис. 47).

Таким образом первичной всасывающей тканью будет эпидермис корня с корневыми волосками. Корневой волосок представляет собой весьма совершенный всасывающий аппарат. Кончик его закруглен и в нем находится клеточное ядро с небольшим количеством протоплазмы, образующей здесь скопление. Затем протоплазма

тянется чрезвычайно тонким слоем по внутренней поверхности оболочки, окружая центральную вакуоль.

Почвенный раствор всасывается и поступает в вакуоль корневого волоска, причем, благодаря полупроницаемости протоплазмы, в клетку попадает сравнительно мало бесполезных веществ. С другой стороны, из волоска часть сахаров и кислот клеточного сока выделяется путем экзосмоса наружу, в почву, где и становится материалом для жизни почвенных грибов и бактерий.

Накопившиеся в клеточном соке корневого волоска растворенные соли переходят затем по законам осмоса в клетки коры корня, передаваясь от клетки к клетке, и попадают в конце концов в сосуды, т. е. трубки, по которым и поднимаются вверх, в стебель и листья. Можно думать, что и тонкостенные паренхимные клетки коры корня входят в состав всасывающей ткани.

Корневые волоски представляют собой очень сильный аппарат, всасывающий воду из почвы. Замечено, что в сухих странах корневые волоски выбирают из почвы даже связанную в ней воду, потерю которой при повторном взвешивании и подсушивании не могут обнаружить даже химические весы.

Продолжительность жизни корневого волоска невелика. Чрезвычайно напряженная работа по всасыванию растворов, сильный тургор, ничтожная масса протоплазмы вызывают быструю изнашиваемость волосков, они отмирают и заменяются новыми на вновь вырастающих

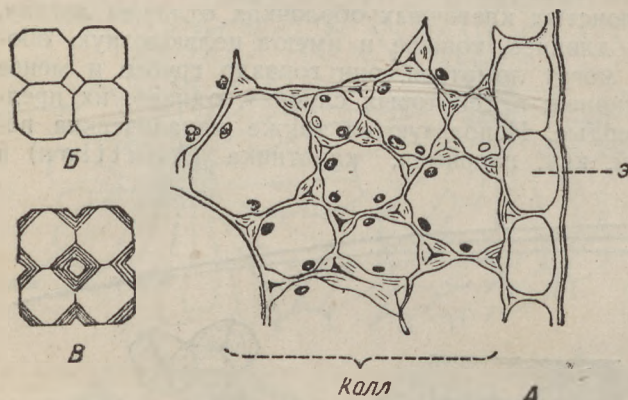


Рис. 46. Эпидермис (э) и уголковая колленхима (колл.) на поперечном срезе черешка бегонии: Б, В — схема, изображающая образование колленхимы из паренхимных клеток: сверху четыре паренхимных клетки и между ними воздушный ход; внизу возникшие из них, путем неравномерного утолщения стенок, колленхимные клетки.

участках молодых корешков. Особенность растения, как живого организма, — все старое быстро заменять новым по мере изнашивания. Все время процесс роста обновляет всасывающий аппарат. Если по какой-либо причине корневые волоски не могут развиваться, то всасывание переходит к клеткам эпидермиса корешков. В чем здесь различие?

Если сравнить волосок с клеткой эпидермиса, то сразу видно, что поверхность волоска очень велика, а поверхность клетки эпидермиса очень мала; всасывающая ткань специфична, а у эпидермиса имеются смешанные функции, защитные и всасывающие, поэтому всасывание идет медленнее. При изучении корня мы увидим осложняющие моменты этого процесса. Мы не можем указать вторичных всасывающих тканей, так как недолговечная первичная всасывающая ткань все время заменяется в растущем корне вновь образующейся первичной тканью.

При изучении клетки мы видели, что в ее протоплазму погружены пластиды трех различных категорий: лейкопласты — белые, хлоропласты — зеленые и хромопласты — оранжевые или желтые.

Роль хлоропластов в сложном организме выполняют клетки, слагающие пятую систему тканей, именно, систему ассимиляционных хлорофиллоносных тканей. На разрезе зеленого листа (рис. 48) легко увидеть за тонким слоем эпидермиса с его кутикулой ряды плотно сомкнутых клеток с плоскими концами. Клетки эти густо набиты зелеными хлорофилльными зернами. Еще глубже клетки становятся менее плотными, между ними видны большие пространства, наполненные воздухом. Оболочки зеленых тканей пропитаны водой. Углекислота растворяется очень легко в этой воде и всасывается клетками, в которых и перерабатывается зелеными пластидами. Образуется сахар — глюкоза и различные его производные.

В условиях среднего освещения и средней влажности ассимилирующая ткань, или иначе — хлоренхима, листьев распадается обычно на две ассимиляционные ткани: плотную палисадную ткань и рыхлую губчатую.

Если брать листья различных растений, то легко заметить, что нижняя сторона листа обычно бледнее верхней, иногда беловатая. Дело в том, что к верхнему эпидермису листа прилегает палисадная паренхима, в клетках которой хлорофилльные зерна очень обильны, тогда как к нижнему эпидермису прилегает губчатая паренхима, клетки которой и беднее хлорофилльными зернами и разделены, кроме того, воздухоносными полостями, почему и окраска здесь бледная.

Клетки палисадной паренхимы вытянуты перпендикулярно к поверхности листа. Происходит это потому, что солнечные лучи, падая на лист, заставляют протоплазму перемещаться на боковые стенки. Мы знаем, что расти могут только те стенки, около которых есть протоплазма, так как вещество клеточной оболочки вырабатывается и выде-

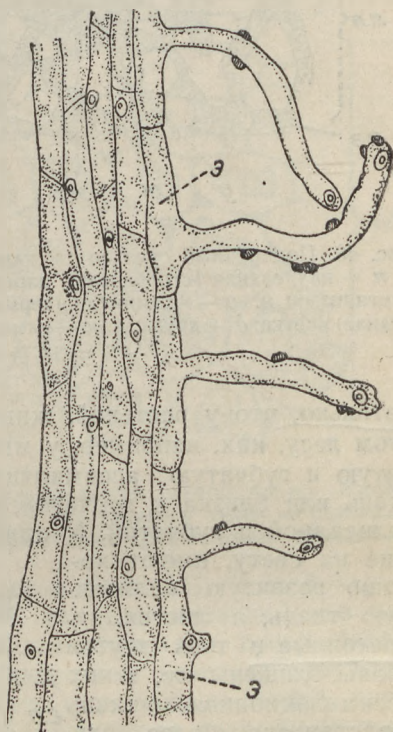


Рис. 47. Часть продольного среза молодого корня: э — клетки эпидермиса, из которого развиваются корневые волоски. Ядра находятся в кончике голосков; на волосках видны пристающие к ним частицы почвы.

ляется протоплазмой. Очень молодые клетки начавшего развиваться листа изодиаметричны, но поскольку протоплазма, избегая яркого света, скопляется преимущественно на боковых стенках, последние растут сильнее, и клетка становится вытянутой, палисадной, столбчатой. Заме-

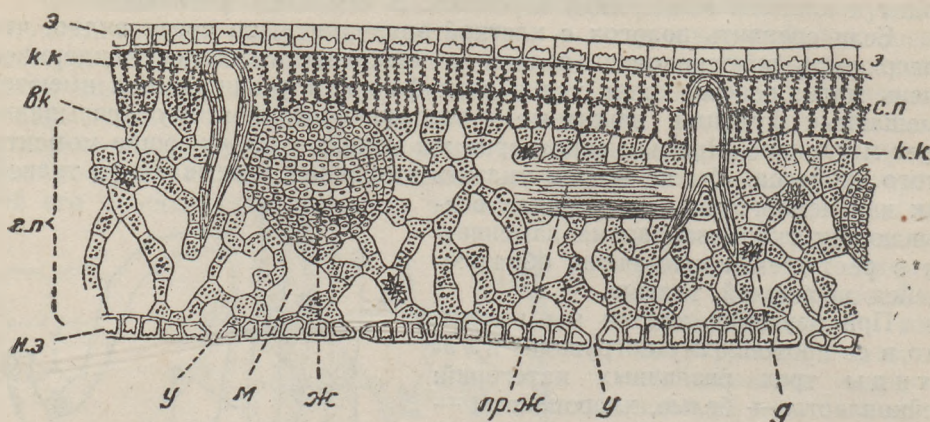


Рис. 48. Поперечный срез листа камелии: э — эпидермис верхней поверхности листа, с. п — палисадная (столбчатая) паренхима; г. п — губчатая (рыхлая) паренхима с межклетниками; н. э — нижний эпидермис; у — устьице; в. к — собирательная (воронко-видная) клетка; д — друза; к. к — каменистая клетка; ж — жилка (поперечный разрез) — пр. ж. — часть продольного разреза жилки.

чательно, что у растений, живущих в глубокой тени, в ущельях, в густом лесу, как, например, у многих папоротников, разделения на столбчатую и губчатую ассимиляционную ткань нет. Их ассимиляционная ткань или близка к губчатой, или средняя по своему строению между палисадной и губчатой. У одного и того же дерева листья, вырастающие на свету, имеют хорошо развитую палисадную ткань, а листья, затронутые в тень внутри кроны, лишены ее; в них ассимиляционная ткань представлена более или менее резко выраженной губчатой тканью (см. рис. 124).

Листья, направленные вверх под таким углом, что солнце одинаково освещает их и сверху и снизу, имеют с обеих сторон листа, и с верхней и с нижней, одинаково палисадную паренхиму. Такой лист называется изопалисным (рис. 49).

Перейдем теперь к шестой системе тканей, прообразом которой будут лейкопласты, белые бесцветные пластиды, располагающиеся в протоплазме клеток, мало освещенных или совершенно не получающих света.

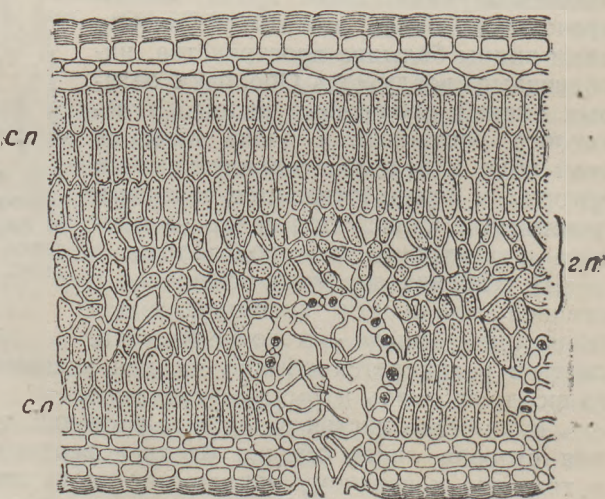


Рис. 49. Поперечный разрез через мякоть листа олеандра (Nerium): изопалисный лист, у которого столбчатая (палисадная) паренхима (с. п) с обеих сторон листа — у верхней и нижней поверхности; г. п — губчатая паренхима.

Шестая система тканей — это ткани, в клетках которых идет накопление питательных запасов веществ, это система запасных тканей.

Одетый тонким слоем защитной пробковой ткани клубень картофеля даст нам образец мощной запасной ткани (рис. 50). Разрез такого клубня дает нам картину массы округлых паренхимных клеток, равномерно развивающихся и очень богатых содержанием. Из перерезанных при этом клеток выступают как бы капли молока — это клеточный сок, в котором взвешено огромное количество крахмальных зерен. Количество этих зерен так велико, что ядро и протоплазма становятся совершенно незаметными, равно как и пластиды. Если картофелину выставить на солнце, то она часто зеленеет. Размеры молодой картофелины позволяют найти такие клетки, в которых заметны ядро и пластиды, причем можно заметить, что крахмальные зерна залегают и растут внутри тела пластиды, которая постепенно растягивается и, наконец, становится тонкой пленкой на поверхности крахмального зерна (рис. 51). Весной картофель солодеет — делается сладковатым, так как имеющийся в нем крахмал в это время особым ферментом, диастазом, превращается в сахар, и можно видеть разъеденные действием диастаза крахмальные зерна. Проросший картофель содержит еще больше сахара, который переходит затем в развивающиеся побеги, идет на развитие листьев,

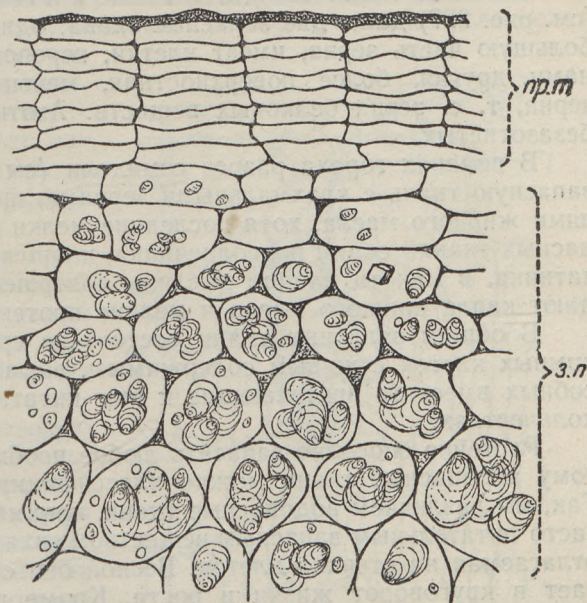


Рис. 50. Разрез картофельного клубня: *пр. т* — пробковая ткань клубня; *з. п* — запасная ткань из паренхимных клеток, наполненных крахмальными зернами.

пленкой на поверхности крахмального зерна (рис. 51). Весной картофель солодеет — делается сладковатым, так как имеющийся в нем крахмал в это время особым ферментом, диастазом, превращается в сахар, и можно видеть разъеденные действием диастаза крахмальные зерна. Проросший картофель содержит еще больше сахара, который переходит затем в развивающиеся побеги, идет на развитие листьев,

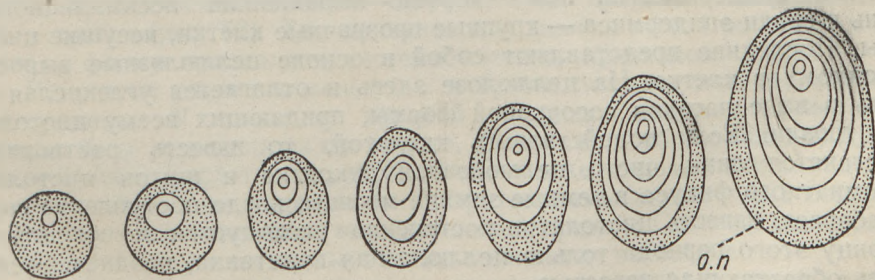


Рис. 51. Образование крахмального зерна в пластиде: *о. п* — остаток пластиды.

стеблей, корней, но через некоторое время картофельный клубень, израсходовав весь свой запас воды и крахмала, делается пустым; сохраняется от него лишь покровный слой пробки, который и висит сморщенный на подземной части картофельного куста, как напоминание о прошлом. Картофелина состоит из запасной ткани, назначение которой ясно: в течение лета зеленые листья вырабатывают гораздо больше углеводов, чем нужно растению для текущих его потребностей — дыха-

ния, роста, образования целлюлозных оболочек и пр., избыток углеводов переходит под влиянием фермента, вырабатываемого протоплазмой клеток, в крахмал и отлагается в форме крахмальных зерен. В тканях клубня, кроме того, имеется еще вода с небольшим запасом необходимых минеральных солей и белки, — все, что нужно для развития картофеля на будущее лето.

Запасные ткани находятся также и в семенах. В зерновках пшеницы (см. рис. 227) даже две запасные ткани: одна, составляющая по объему большую часть зерна, имеет клетки, переполненные крахмальными зернами, другая, более поверхностная, меньшая, содержит протеиновые зерна, т. е. зерна белковых веществ. Азотистых запасов меньше, чем безазотистых.

В семенах гороха разрез семядоли (см. рис. 234, I) обнаруживает запасную ткань с крахмальными зернами, протеиновыми зернами и каплями жирного масла, хотя последние мелкие и мало заметны. Зато в запасных тканях семян подсолнечника, клещевины (см. рис. 234, II), хлопчатника, в мякоти плодов маслины совершенно нет крахмала, преобладают капли жирного масла и мелкие протеиновые зернышки.

В общем запасные ткани состоят из сравнительно крупных паренхимных клеток с живым содержимым, вырабатывающим энзимы и способных вмести́ть притекающие к ним питательные вещества в больших количествах.

Растение способно запасать любое необходимое ему вещество. Поэтому и запасные ткани можно классифицировать по их содержимому. Так, мы различаем водоносные ткани, крахмалоносные ткани и пр. Очень часто питательным запасным веществом является клетчатка (см. рис. 235), отлагаемая на стенках клеток. Весной она осаживается и снова вступает в круговорот жизни и роста. Кроме разнообразных питательных веществ, клетки запасной ткани могут запасать и вещества неорганические. Мы знаем уже, что при дыхании в процессе окисления углеводов, как правило, образуются органические кислоты, особенно часто щавелевая, избыток которой смертелен: ее необходимо нейтрализовать, что совершается путем воздействия на нее углекислой извести. У растений из семейства крапивоцветных и шелковичных углекислая известь накапливается в виде особых образований, называемых цистолитами, входящих в состав запасной ткани.

На поперечном разрезе листа обыкновенной крапивы, конопли или комнатного растения фикуса (*Ficus elastica*, рис. 52) виден многослойный эпидермис, за ним — хорошо выраженная ассимиляционная ткань и среди эпидермиса — крупные прозрачные клетки, несущие цистолиты. Последние представляют собой в основе целлюлозные выросты, по одному в клетке. На целлюлозе здесь и отлагается углекислая известь в виде натеков сосочковой формы, придающих всему цистолиту вид грозди. Если подействовать кислотой, то известь растворится, и останется лишь чисто целлюлозная рукоятка и щиток цистолита. У комнатного фикуса в темные зимние месяцы, когда поступление солей ослабевает, известь цистолитов постепенно расходуется и сохраняется к концу этого периода только целлюлозная подставка, позднее, весной, вновь обрастающая известью.

Развитие запасных тканей чрезвычайно важно для растения, потому что в других тканях — ассимиляционной, всасывающей и пр. — питательных веществ очень мало. Листья салата, шпината и щавеля имеют 90 проц. и более воды, и, кроме того, клетчатку, в целом питательных веществ 5—8 проц., тогда как в пшеничном зерне с его запасными тканями питательных веществ более 90 проц. Понятно, что мы и культивируем растения, главным образом, ради их запасных тканей.

Седьмая система тканей образовалась в растениях на почве преимущественного развития вакуолей с клеточным соком. Клеточный сок —

не только слабый раствор минеральных веществ, поступивших из почвы. Вода всасывается клеткой через плазматическую перепонку и проходит через весь постенный слой протоплазмы. При этом из протоплазмы переходит в клеточный сок все, что вообще может быть растворено. Растворяются как продукты ассимиляции, так и продукты дыхания, поскольку последнее сопровождается неполным окислением веществ. Жизнь поддерживается горением углеводов, особенно сахаров. Если поглощение кислорода при этом замедлено, то образуются не углекислота и вода, а органические кислоты, особенно щавелевая, яблочная, дубильная. Эти кислоты, накапливаясь в протоплазме, входят затем в соединения с различными основаниями и дают соли, эфиры и пр.

Вода переносит все эти продукты в клеточный сок, который и приобретает при этом кислый вкус и кислую реакцию, что может зависеть и от кислой щавелевокальциевой соли, как, например, у щавеля. Вода, которую растение всасывает из почвы, обычно содержит углекислый кальций; щавелевая или иная органическая кислота вытесняет угольную кислоту и в соединении с кальцием дает щавелевокислый кальций, который очень легко выкристалливывается. В клеточном соке появляются многочисленные кристаллы различной формы. Форма кристаллов складывается в зависимости от различных примесей в клеточном соке. Если в нем есть свободная глюкоза, то получится одна форма кристаллов — рафиды; если избыток органических кислот — другая; если примесь минеральных солей — третья (рис. 53). Тем не менее для многих видов растений можно считать форму кристаллов систематическим признаком.

Ненужные растению вещества, отбросы, должны быть выведены или изолированы. У животных вредной является мочевая кислота, она должна быть выведена из организма, равно как и образующаяся в мышцах молочная кислота. У растений мы также видим кислоты как продукт обмена — они выделяются из протоплазмы в клеточный сок, который и является первичной выделительной средой. Словом, мы подошли к вопросу о системе выделительных тканей.

Какие же вещества могут отлагаться в выделительных тканях? Кристаллические образования, эфиры дубильных кислот, смолы, эфирные масла, слизь, гумми, вода, продукты азотистого обмена, как аспаргин, продукты углеродистого обмена — некоторые сахара и пр.

В систему выделительных тканей входят наружные железистые волоски или железки, вместилища выделений и, наконец, выделительные ходы, например, смоляные или слизевые ходы. Особое место занимает млечный сок и вмещающие его млечные клетки и трубки.

Выделительные клетки обычно имеют паренхимную форму и тонкую оболочку; ядро и протоплазма сохраняются или погибают. Вместилища

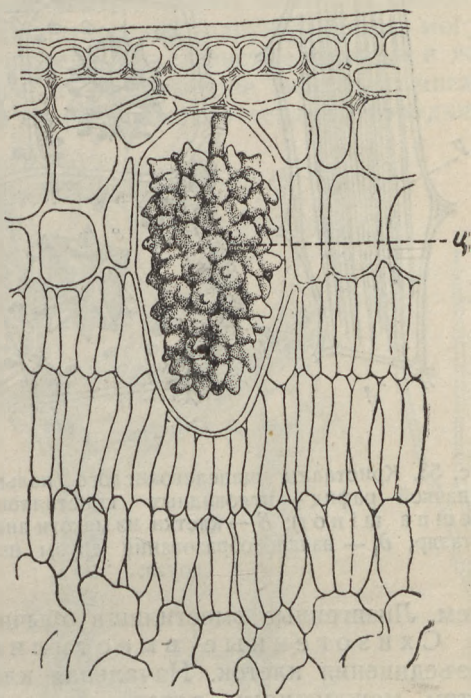


Рис. 52. Поперечный срез листа фикуса (*Ficus elastica*): ц — цистолит

выделений и выделительные ходы бывают выстланы внутри плоскими эпителиальными клетками, которые остаются живыми и неустанно выделяют в полость хода смолу, слизь и пр. Таким образом, надо различать активные выделительные клетки и вместилища выделений. Первые как бы фильтруют и отбрасывают то,

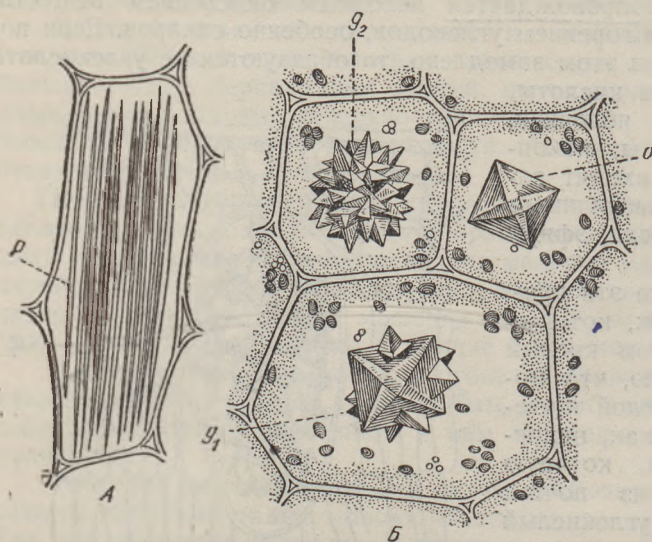


Рис. 53. Кристаллы щавелевокислого кальция: А — клетка с пачкой рафид — игловидных кристаллов (*p*) в рядке (*Lempinorg*); Б — клетки из мякоти листа бегонии; *o* — октаэдр, *d₁* — начало образования друзы из октаэдра; *d₂* — друза.

что не нужно для дальнейшего обмена или имеется в избытке, вторые — пассивные вместилища. Вместилища эти бывают двоякого рода: лизигенные и схизогенные. Лизигенные вместилища образуются путем растворения группы клеток, причем сначала внутри этих клеток появляется смола или другое соответствующее вещество, а затем они погибают и растворяются; на месте их остается пустое межклеточное пространство, которое и

полняется выделя-

нием. Лизигенные вместилища обычно лишены эпителия. Схизогенные вместилища и ходы образуются путем разделения клеток. Начальная клетка при этом делится на четыре, затем между ними появляется узкий межклетник, который растет, а окружающие его клетки делятся дальше и превращаются в эпителий. Часто, впрочем, наблюдается смешанная картина, полость, возникшая схизогенно, позднее разрастается и увеличивается лизигенно. Самым типичным случаем схизогенных вместилищ являются смоляные ходы в листьях, коре и древесине хвойных деревьев (рис. 54).

Своеобразной группой являются млечники. Млечный сок, или

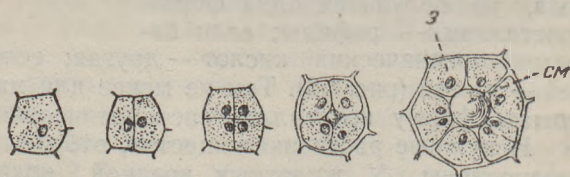


Рис. 54. Образование смоляного хода у хвойных: э — эпителий; см — капля смолы.

латекс, встречается у растений из семейства молочайных, маковых, колокольчиковых, шелковичных и многих других. Он содержит энзимы, белки, сахар, камеди, алкалоиды, смолы, иногда каучук и многие другие вещества, взвешенные в водянистой жидкости, образуя эмульсию.

Млечный сок может быть заключен в отдельных клетках, или же в клетках, соединенных в ряды или сети, причем разделяющие их перегородки или продырявливаются, например у чистотела, латука (рис. 55, А), или же совершенно исчезают, — это так называемые членистые млечные трубки. Наконец, отличаются нечленистые млечные трубки, например у молочайных (рис. 55, Б), которые возникают в виде одной клетки в период прорастания семян и затем,

по мере роста растений, разрастаются в очень длинные ветвистые трубки (рис. 55, В), содержащие стенную протоплазму и многочисленные ядра.

Возможно, что млечные трубки надо относить не к выделительной, а к проводящей ткани, так как до сих пор окончательно не выяснено, принимает ли млечный сок участие в обмене веществ в окружающих млечную трубку тканях, или не принимает. Мыслимо даже отнесение их к запасной ткани, в зависимости от того, какова окажется роль веществ млечного сока в круговороте жизни.

Большую роль в жизни растений играют также элементы выделительной ткани, удаляющие избытки выделений наружу. Сюда могут быть отнесены прежде всего многочисленные железистые волоски и железки, находящиеся на эпидермисе и выделяющие эфирные масла. Железки хорошо видны на нижней стороне листьев черной смородины,

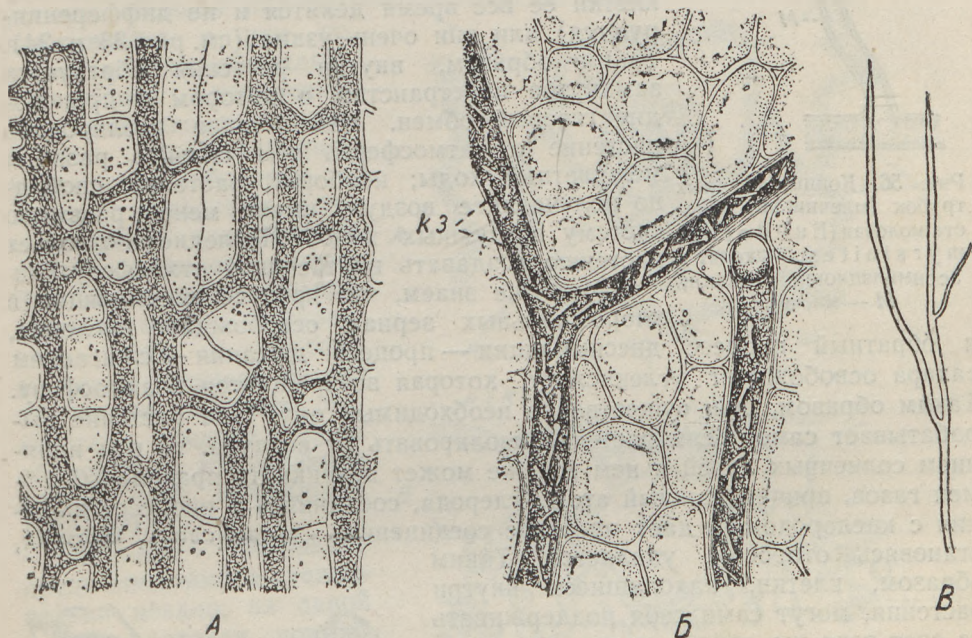


Рис. 55. Млечные трубки (млечники): А — членистые в стебле латука, в продольном разрезе; Б — часть нечленистого млечника молочая (*Euphorbia splendens*). В млечном соке видны крахмальные зерна (кз), похожие на берцовые кости; В — млечные трубки молочая, отпрепарированные после гниения стебля.

мяты, на соцветиях ясенца (*Dictamnus*), на черешках герани (рис. 57), на шишках хмеля и пр. Присутствие выделительных железок очень часто сопровождается характерным запахом.

На листьях мы часто видим также особые железки, выводящие избыток воды в капельножидком виде. Они называются гидатодами, расположены по краям листа на концах зубчиков и имеют сложное строение, к которому мы еще вернемся позднее (см. рис. 123).

К выделительной ткани можно отнести и железки насекомоядных растений, о которых мы уже упоминали.

Следующая, восьмая, система тканей — это ткани проветривания, которые можно также назвать дыхательными тканями.

Мы тщетно стали бы искать происхождение этой ткани из какого-либо клеточного органоида. Клетка поглощает воздух своей поверхностью, благодаря его способности растворяться в воде; в виде водного раствора он может передаваться из клетки в клетку. Тем не менее обычно клетки и в сложном организме соединены между собой не плотно:

между каждыми тремя-четырьмя клетками образуется путем растворения межклеточного вещества срединной пластинки пространство, часто в форме треугольника, которое называется межклетником, или межклетным пространством. Система межклетников и есть главная часть системы проветривания. Внутри растения она дает почти сплошное сообщение, по которому и циркулируют свободные газообразные вещества, в том числе и водяной пар.

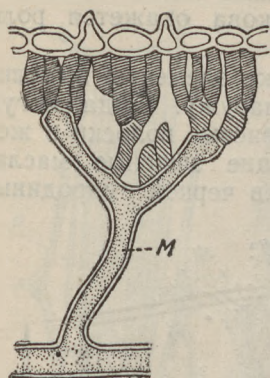


Рис. 56. Концы млечных трубок (млечников) в листе молочая (*Euphorbia myrsinites*) подходят к ассимиляционной ткани; М — млечник.

Межклетные, или воздушные, ходы идут по всему растению от кончика корня до кончиков ветвей, они проникают и в листья, и в стебли, и в корни, и в части цветов и плодов. Только в меристеме их нет (поскольку клетки ее все время делятся и не дифференцируются), или они очень узкие (см. рис. 33 и 34). Таким образом, внутри растения образуется замкнутое пространство, в котором и происходит газовый обмен. Чем полнее изолировано растение от атмосферы, тем сильнее развиты межклетные ходы; наоборот, растение, свободно получающее воздух, имеет менее развитую систему воздушных ходов. Последнее позволяет растению создавать внутреннюю атмосферу.

Мы уже знаем, что процесс ассимиляции в хлорофилльных зернах освобождает кислород, и обратный процесс диссимиляции — процесс дыхания — сжиганием сахара освобождает углекислоту, которая возвращается в атмосферу. Таким образом, оба, существенно необходимые ему, газа растение вырабатывает само. Если растение изолировать от воздуха, то под влиянием солнечных лучей в нем все же может возникнуть правильный обмен газов, причем каждый атом углерода, соединяясь в процессе дыхания с кислородом, и дает инертное соединение — углекислоту, которая, становясь отбросом, удаляется. Таким образом, клетки, находящиеся внутри растения, могут сами себя поддерживать за счет того же самого количества углерода и кислорода, лишь бы растение было достаточно освещено.

Однако усвоение углерода постоянно выводит его атомы из общего круговорота, значительная часть их переходит в клеточную оболочку, в элементы древесины — в дубильные кислоты, камеди, смолы и прочие органические вещества, накапливаемые растением, или же сбрасываемые ими в виде шелушащихся частей коры и опадающих листьев. Доступ воздуха извне должен быть обеспечен.

Одно из различий между растением и животным состоит в том, что животные поглощают твердую пищу ртом и затем ее переваривают в своих пищеварительных полостях, растение же рта не имеет и потому должно довольствоваться всасыванием растворов путем осмоса, но поглощать этим же путем кислород при дыхании было бы трудно; и вот мы видим, что на поверхности растения имеются особые отверстия — устьица, которые могут открываться и закрываться под влиянием изменяющихся условий. Этими отверстиями растения поглощают воздух, через них происходит газовый

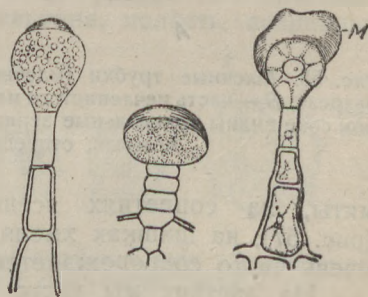


Рис. 57. Железистые волоски на черешке листа герани. Эфирное масло (М) выделяется верхней клеткой волоска.

обмен растения. Устьица хорошо видны под микроскопом при самом мимолетном взгляде на нижнюю поверхность листа.

[Устьице представляет собой щелевидное отверстие, ограниченное двумя замыкающими клетками, имеющими при рассматривании с поверхности полулунную форму (рис. 58, А).

На поперечном разрезе через устьице видно, что стенки замыкающих клеток имеют различное строение. Стенки их, обращенные к клеткам эпидермиса, выпуклые и в общем тонкие или слегка утолщенные, а обращенные к устьичной щели — вогнутые. Они сильно утолщены, особенно сверху и снизу (рис. 58, Б)].

Устьичная щель лежит обычно на дне углубления, называемого передним двориком устьица. Этот передний дворик имеет то значение, что выходящий из щели устьица водяной пар задерживается в нем на время и этим замедляет дальнейшее испарение. Передний дворик нередко бывает еще защищен утолщением оболочки, а иногда волосками, что еще более задерживает выход водяного пара. Задний дворик устьица обращен внутрь межклеточного хода и особого значения не имеет, но его не может не быть, поскольку средняя часть оболочки замыкающей клетки дает выпуклость (рис. 58).

Устьице возникает среди эпидермиса сравнительно поздно, из одной клетки, которая повторными делениями образует ряд клеток, составляющих устьичный аппарат. [Одна из них делится еще раз, образуя замыкающие клетки, имеющие благодаря этому более мелкие размеры].

Замыкающие клетки несколько расходятся вследствие растворения межклеточного вещества, образуя устьичную щель.

Обычно устьице состоит из шести клеток. Четыре из них бесцветны, как и вообще клетки эпидермиса. Они имеют ядро, протоплазму, вакуоль с клеточным соком и лейкопласты и, наконец, оболочку с порами. Замыкающие клетки всегда содержат, кроме того, хлорофилловые зерна.

Неодинаковая толщина внутренних и наружных стенок замыкающих клеток приводит к изменению их положения при колебаниях тургорного давления.

Если в их вакуолях много воды, то она, повышая тургор, распирает оболочку замыкающих клеток. Наружные стенки растягиваются значительно больше, чем внутренние (последние упираются в соседние

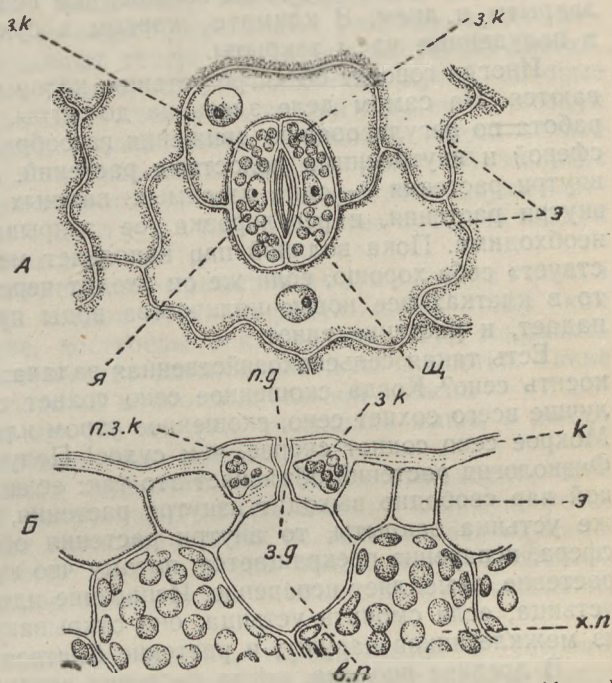


Рис. 58. Устьице чабреца (*Thymus serpyllum*): А — с поверхности; Б — в поперечном разрезе: з. к — замыкающие клетки с хлоропластами и ядрами (я); п. з. к — полость замыкающих клеток; щ — щель устьица; п. д — передний дворик; з. д — задний дворик; з — клетки эпидермиса; к — кутикула; в. п — воздухоносная полость под устьищем; х. п — клетки хлорофиллоносной паренхимы под эпидермисом.

клетки эпидермиса), кривизна клеток увеличивается и щель раскрывается.

Если же, наоборот, количество воды в замыкающих клетках уменьшается — уменьшается их объем, стенки их распрямляются, и устьичная щель закрывается.

Количество воды в замыкающих клетках регулируется четырьмя бесцветными клетками устьичного аппарата и наличием сахара, образующегося деятельностью их хлорофилловых зерен.

Ночью сахар и крахмал в замыкающих клетках расходуется, клеточный сок перестает всасывать воду, и устьица закрываются. Днем они открыты, поскольку их хлорофилловые зерна вырабатывают сахар, а общее испарение воды растением не велико. Если же испарение сильное, и растение теряет воды больше, чем всасывает корнями, то устьица закрыты и днем. В климате жарком и сухом устьица, как правило, в полуденные часы закрыты.

Иногда говорят об «игре устьиц», которые то закрываются, то открываются. На самом деле здесь не до игры, здесь настоящая работа, работа по регулированию движения газообразных веществ между атмосферой и внутренними полостями растений. Циркуляция водяного пара внутри растения — одна из самых важных работ, какая происходит внутри растения, и регулировка ее закрыванием устьиц совершенно необходима. Пока водяной пар наполняет межклетники, растение «чувствует» себя хорошо, если же он уходит через устьица слишком быстро, то в клетках все новые количества воды превращаются в пар, тургор падает, и растение вянет.

Есть такая сельскохозяйственная задача: в какие часы лучше всего косить сено? Когда скошенное сено сохнет скорее всего? Ответ таков: лучше всего сохнет сено, скошенное утром или после небольшого дождя. Мокрое сено сохнет скорее, чем сухое! Получается явное противоречие. Физиология растений объясняет это так: если устьица открыты, то водяной пар свободно выходит изнутри растения, трава сохнет скорее; если же устьица закрыты, то внутри растения образуется замкнутая атмосфера, испарение прекращается, потому что кутикула, покрывающая все растение, замедляет испарение. Испарение идет, главным образом, через устьица; если смочить устьица, они открываются, водяной пар выходит из межклетников наружу, и растение быстрее сохнет.

В древние времена, когда растения впервые начали населять сушу, им приходилось перестраивать свой организм, так как предки их жили в воде. Их организм должен был приспособиться к условиям действия солнца и ветра, а также к использованию непосредственно окружающего их воздуха.

Подобно тому, как многие животные, жившие в воде и дышавшие жабрами, приспособляясь к жизни на суше, стали развивать легкие из плавательного пузыря, так и у растений в борьбе за существование выжили те, которые стали развивать, с одной стороны, покровную ткань с ее кутикулой, с другой — устьичные аппараты. Развитие их дало растениям возможность жить на суше, а затем и расселяться далеко от воды, покрывая горные склоны и долины. Строение устьиц у псилофитов — первых известных нам наземных растений — доказывает, что они были приспособлены к закрыванию.

Таким образом, основной орган тканей проветривания — это замыкающие клетки устьиц, все время находящиеся в движении, которое имеет свое механическое объяснение. Однако это не механический, а биологический процесс, так как он связан с образованием сахара и крахмала хлорофилльными зернами, процессом сгорания сахара, процессом осмоса, а главное — с протоплазмой и ее обменом.

Если взять лист в конусе нарастания при его образовании, то на нем устьиц не найти. Как и всегда придется рассматривать изучаемый

предмет не только во взрослом состоянии, но и в состоянии становления, чтобы понять, как он образуется.

Мы уже говорили, что каждый устьичный аппарат развивается из одной клетки путем ее повторного деления. Осталось, однако, неясным, почему вдруг клетки эти начинают делиться и образуют эти замечательные пары замыкающих клеток. В устьичные аппараты превращаются клетки, находящиеся на концах межклеточных ходов. Очень рано в первичной образовательной ткани, в меристеме, возникают воздушные ходы. Рассматривая продольный разрез любой точки роста, легко заметить в паренхиме под меристемой продольно расположенные черные штрихи (см. рис. 33, 34). Растворяя межклеточное вещество, клетки сами образуют газовые ходы — межклетники и выделяют в них газообразные вещества. Когда лист развит настолько, что оформилась его кожица со своей кутикулой, воздушные ходы пронизывают уже весь лист. Кое-где клетки эпидермиса покрывают теперь не мякоть листа, не клетки, а выходы воздушных ходов. Под влиянием солнечных лучей, которые вызывают расширение и движение воздуха внутри растения, воздух и водяной пар давят на клетки эпидермиса, вызывают определенное механическое раздражение в протоплазме клетки, дают ей импульс к делению. Последним актом является прорыв между этими двумя клетками, т. е. образование самой щели устьица, через которую воздух и водяной пар найдут себе выход.

В литературе встречается нередко выражение *водяные устьица* (см. рис. 123). Устьица эти имеют очень широкую щель, тогда как клетки, к ней примыкающие, построены так, что не могут закрывать и открывать эту щель и по существу замыкающими не являются. Такие устьица входят в состав сложной водоотделительной железы — *гидатоды* (см. рис. 123, А), о которой мы уже упоминали выше, и имеют с настоящими устьицами весьма мало общего.

Устьица открывают выход содержимому межклеточных ходов, пока растение одето первичной покровной тканью. Однако каждую осень мы замечаем, что первичная покровная ткань не выносит резких изменений температуры, и поэтому зеленые ветки покрываются пробковой тканью, которая возникает под эпидермисом и приводит к сбрасыванию последнего.

Если сбрасывается эпидермис, значит, сбрасываются и устьица, т. е. растения теряют способность регулировать движение водяного пара и воздуха. Однако тот самый механизм, который вырабатывает пробку, покрывающую растение сплошной непроницаемой для воды броней, развивает и органы обмена, именно *чечевички* (рис. 59).

На разрезах молодых веток, срезанных осенью, под эпидермисом легко найти чечевички, залагающиеся среди молодой пробковой ткани. Они состоят из рыхлой клеточной ткани, которая носит название выполняющей ткани чечевичек [и образована пробковым камбием, феллогеном]. Ткань эта — белая или желтоватая — разрастается и, разрывая отмерший уже к этому времени эпидермис, образует как бы открытую щель для ввода внутрь растения наружного воздуха. Здесь лежащие глубже живые клетки, чувствительные к переменам температуры и к высыханию, защищены рыхлой массой выполняющих клеток, между которыми циркулирует воздух.

Чечевички можно видеть чуть ли не на любой ветке 3 — 6-летнего возраста: на темной коре выделяются светлые чечевички, как продольные или поперечные широкие щели, суженные к краям, реже они имеют округлую форму.

Таким образом, вторичная покровная ткань дает и вторичную систему проветривания; с возрастом чечевички заменяют собой устьица.

Когда дерево стареет и на стволе его, особенно в нижней части, образуется твердая защитная ткань — *корка*, мы находим в этой

корке глубокие трещины, открывающие воздуху доступ к внутренним тканям.

Кроме общей системы межклетников, открывающейся наружу устьицами или чечевичками, и особенно сильно развитой в губчатой паренхиме листьев, имеется еще ряд специальных тканей проветрива-

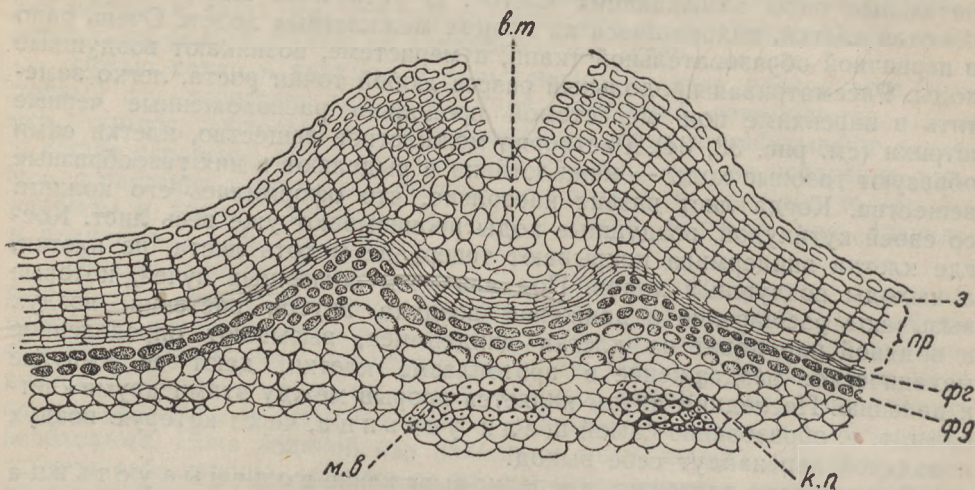


Рис. 59. Чечевичка и пробка бузины: э — эпидермис; пр — пробковая ткань; фг — феллоген (пробковый камбий); фд — феллодерма; к. п — коровая паренхима; м. в — группы механических волокон; в. т — выполняющая ткань чечевички, богатая межклетниками.

ния. Так, у водяных и болотных растений мы находим особую, очень рыхлую ткань — аэренхиму, клетки которой или образуют правильные цепочки вокруг крупных воздушных ходов (см. рис. 144), или разрастаются в ветвистые образования, как, например, в стебле ситника

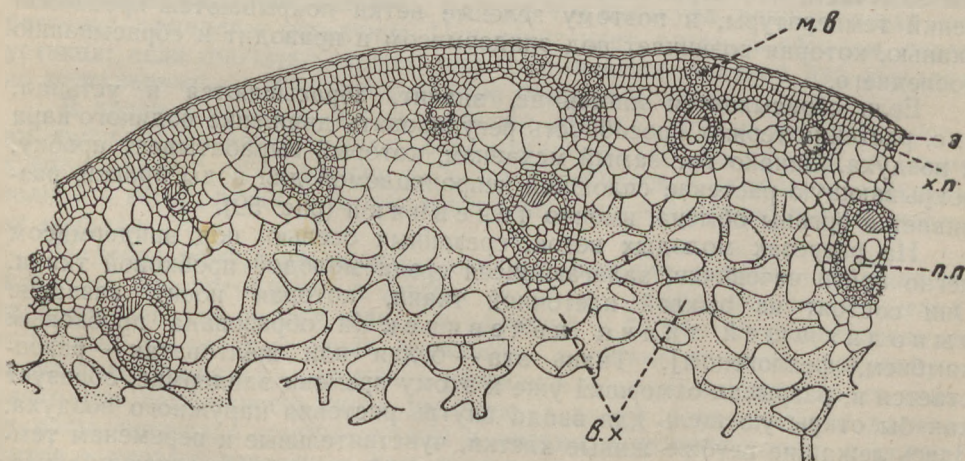


Рис. 60. Поперечный срез стебля ситника (*Juncus*): э — эпидермис; х. п — хлоренхима (хлорофиллоносная паренхима); м. в — группы механических волокон; в. х — межклетные воздушные ходы; п. п — проводящие пучки.

(*Juncus*, рис. 60), смыкающиеся концами своих отростков, между которыми остаются свободные пространства. У многих растений, нижняя часть которых погружена в ил под воду, аэренхима образуется в коре, обеспечивая газообмен стебля, погруженного в ил.

В аэренхиме подводных частей растений мы находим еще одно образование, относящееся, пожалуй, к механической ткани. Под водой расте-

ние испытывает сильное давление, некоторые из развивающихся молодых клеток аэренхимы под влиянием этого механического раздражения дают выросты, а острые концы оболочек их древеснеют, и такие клетки превращаются в рогатые распорки (рис. 61, *р, к*). Под давлением воды рыхлая ткань сжимается, рогатые клетки смыкаются концами и образуют скелет мягкой губчатой ткани, благодаря чему воздушные ходы остаются открытыми и циркуляция воздуха не прекращается.

Как видно, везде есть в природе полезные приспособления, вырабатываемые отбором за счет обычного клеточного материала, путем приспособ-

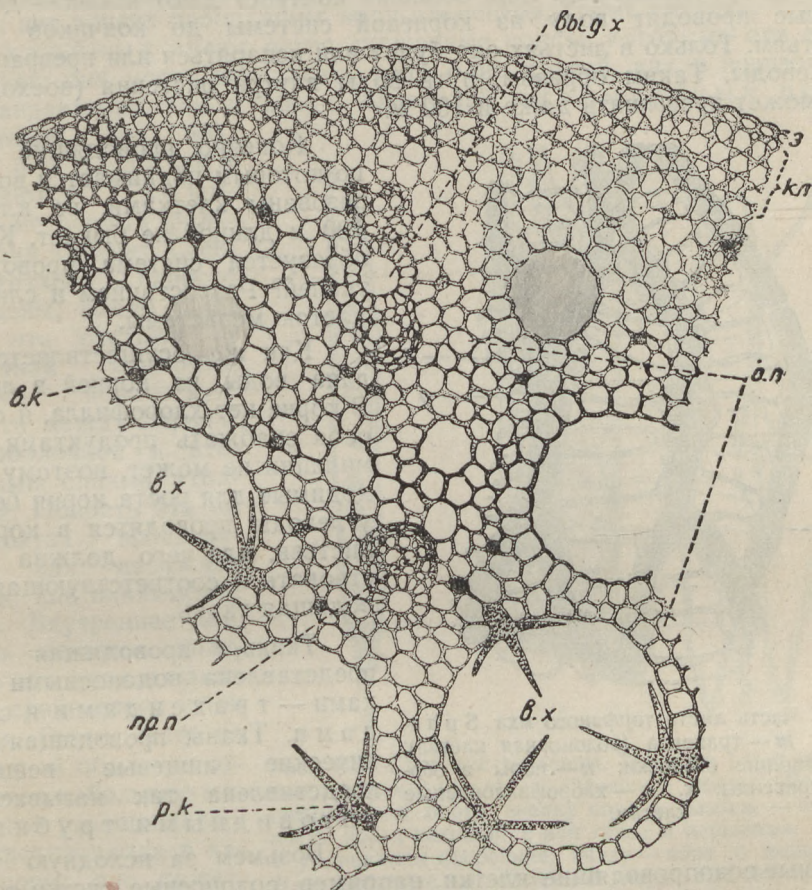


Рис. 61. Поперечный срез цветоножки кувшинки (*Nymphaea candida*); *э* — эпидермис; *к.л.* — колленхима; *о.п.* — основная паренхима, в ней *в.к.* — выделительные клетки; *в.х.* — выделительные ходы, окруженные эпителием; около выделительных ходов проводящие пучки — парные или одиночные — *пр.п.*; *в.х.* — воздушные ходы и в них рогатые механические клетки — *р.к.*

собления отдельных клеток к создавшимся условиям, путем превращения клеток в ту или иную ткань.

Девятая система тканей — это система проводящих тканей. Морские водоросли часто бывают поставлены в условия неравного освещения. Они часто растут на значительной глубине и достигают иногда высоты 20 и более метров; нижняя часть их освещена слабо, верхняя находится у поверхности моря и получает много света. В освещенных частях тела водоросли происходит фотосинтез, затененные же части должны довольствоваться лишь теми углеводами, жирами и белками, которые притекают к ним из освещенных частей, где происходит синтез органического вещества. Особенно это относится к сахару, глав-

ному энергетическому запасу клеток. А раз неизбежны передвижки сахара на значительные расстояния, то естественно, что должны быть какие-то трубочки, по которым сахарные растворы могли бы двигаться.

На суше на первом месте стоит циркуляция воды. Вода всасывается только кончиками корней, которые погружены в почву. Есть растения с чрезвычайно глубокой корневой системой. В Средней Азии мы находим большие глинистые площади, заросшие верблюжьей колючкой (*Alhagi camelorum*, см. рис. 90). Это — травянистое растение, но корневая система его развивает свои мочки на глубине 5—10 м, достигая грунтовых вод. Еще больший контраст дают высокие деревья, которые проводят воду из корневой системы до кончиков ветвей к листьям. Только в листьях она будет или испаряться или превращаться в углеводы. Таким образом, путь воды внутри растения (восходящий ток) может превышать даже и 100 м.

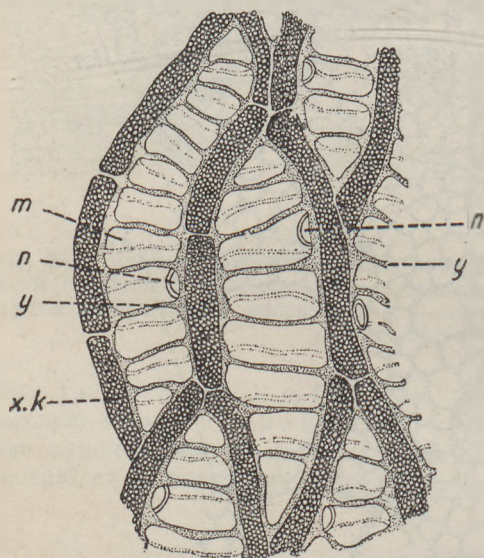


Рис. 62. Часть листа торфяного мха *Sphagnum*: *m* — трахеида (водоносная клетка); *y* — утолщение оболочки; *n* — поры в оболочке трахеиды; *x. k* — хлорофиллоносные клетки.

Конечно, проводящие ткани, по которым поднимается вода, образованы клетками, но клеток в 100 м длиной не бывает. Как же образуется система проводящих тканей? Разрастанием и слиянием клеток меристемы.

Как же осуществляется подача воды из корней в листья? В корне нет хлорофилла, и он сам себя снабжать продуктами ассимиляции не может, поэтому необходимые для роста корня белки и углеводы проводятся в корни из листьев, для чего должна существовать и соответствующая проводящая ткань.

Ткань, проводящая воду, представлена водоносными клетками — трахеидами и сосудами. Ткань, проводящая органические пищевые вещества, представлена так называемыми ситовидными трубками.

Возьмем за исходную точку отдельные водопроводящие клетки, например, водоносные клетки торфяного мха или сфагна. Мхи не имеют корней; нередко на мерзлой земле или недостаточно обводненной почве верхушка сфагна продолжает расти, тогда как нижняя часть постепенно отмирает. Торфяной мох питается исключительно атмосферными осадками, и в промежутки между дождями вода должна как-то сохраняться. Наряду с узкими длинными зелеными клетками, которые используют элементы воды и строят из них и углерода углекислоты углеводы, мы находим в листочках торфяного мха крупные, сильно разросшиеся боченкообразные клетки, наполненные водой (рис. 62). Они сохраняют в себе воду даже при сильном солнце, при сильном проветривании и понемногу передают ее зеленым клеткам.

Как и в других случаях, сильный рост истощает протоплазму, и она исчезает, построив оболочку. В данном случае оболочка утолщена незначительно, спадаться же ей мешают ленты утолщения, подобные обручам, которые отложены на внутреннюю поверхность оболочки. Иногда утолщения оболочки имеют вид спирали. Кроме того, в оболочке имеются еще поры — сквозные отверстия, через которые вода

входит внутрь или выходит наружу. Такие водоносные клетки с кольцами утолщений называются трахеидами и являются прообразом тканей, проводящих воду у [более организованных сухопутных растений].

[У них известно] несколько типов трахеид, сообразно с формами утолщения клеточных стенок. Утолщения бывают кольчатые, спиральные или сетчатые; кроме того, в тех случаях, когда оболочка утолщена более сильно и более равномерно и утолщение ее прерывается лишь порами, — различают лестничные и пористые трахеиды. У хвойных деревьев, которые представляют собой более древнюю форму жизни, нет других проводящих воду элементов, кроме трахеид. Трахеиды хвойных имеют остро скошенные концы, которыми они соприкасаются; они могут передавать воду одна другой, как в горизонтальном направлении, так и вверх, благодаря окаймленным порам их стенок (рис. 63).

Окаймленными называются поры, имеющие особый фильтрующий аппарат. Стенки трахеид слоисто утолщены; около поры слои эти отстают от первичной оболочки, образуя коническую полость между первичной оболочкой и вторичными слоями утолщения. Полость эта на препаратах просвечивает, как наружное кольцо или окаймление поры. Внутреннее же, много меньшее кольцо — это вход в канал поры, среди слоев утолщения. Очень часто на первичной оболочке отлагается небольшое мозолистое утолщение как раз против входа в канал поры; оно кажется темной точкой в центре внутреннего кружка окаймленной поры.

Если вода, проходящая из одной трахеиды в другую, проникла под некоторым давлением в полость окаймленной поры, то дальше она фильтруется сквозь тонкую перепонку первичной оболочки, утолщение же в середине последней, нажимая на узкое отверстие поры, спасает оболочку от прорывов. Получается сложно построенный фильтр. И в нашей хозяйственной практике есть фильтры с утолщением на середине фильтрующей перепонки, которое, нажимая на края оправы фильтра, спасает фильтрующую перепонку от разрыва в случае увеличения давления.

У трахеид с окаймленными порами есть и своя невыгода. Хотя они и проводят воду на большую высоту, но все же при фильтрации из трахеиды в трахеиду движение совершается медленно. У большинства хвойных листья узкие, с сильно развитой кутикулой и воском, словом, с замедленным испарением. Если сравнить лист сосны с листом липы,

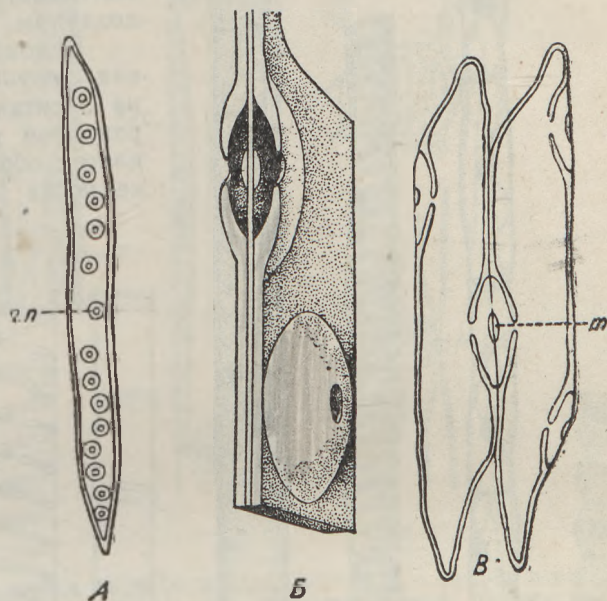


Рис. 63. Строение трахеиды. Трахеида (А) с окаймленными порами (о. п.) из древесины сосны; Б — модель окаймленной поры: сверху пора в разрезе — видна полость поры, ведущий в нее канал и первичная оболочка с утолщением посредине; внизу — пора с поверхности; В — положение окаймленной поры относительно двух соседних трахеид; т — тор, утолщение на первичной оболочке.

то сразу видно, что один из них испаряет мало, другой много. Вывод отсюда тот, что хвойные должны довольствоваться сравнительно небольшим количеством воды и расходовать ее возможно медленно, так как вода, поглощенная корнями, поднимается к листьям медленно.

Название «трахеиды» напоминает нам слово трахеи. Трахеи — это дыхательные трубочки насекомых. Когда ботаники XVIII столетия стали исследовать строение древесины деревьев, то они, делая разрезы, обычно находили в трубках проводящей ткани воздух и воображали, что это вместилище воздуха, которым растения дышат. Сейчас мы говорим, что, как правило, воздух находится между клетками. Трахеиды — это клетки, лишенные в зрелом состоянии протоплазмы; в них обязательно должна быть вода. Старые ботаники ошибались, потому что при их несовершенной технике вода из разрезов вытекала, а вытекая, заменялась воздухом.

Водопроводящие трубки растения, тянущиеся снизу вверх часто на десятки метров в деревьях, образуются так (рис. 64): столбики клеток образовательной ткани в точке роста сильно растут в длину

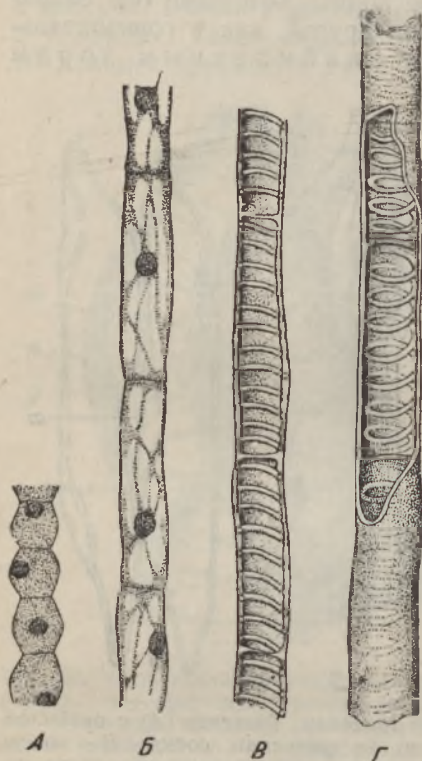


Рис. 64. Развитие сосудов. Образование спирального сосуда из клеток паренхимы: *А* — столбик паренхимных клеток; *Б* — те же клетки, вытянувшиеся, но еще живые и с тонкими стенками, в них энергичные продольные токи; *В* — начало одревеснения, поперечные перегородки еще сохранились; *Г* — исчезновение поперечных перегородок.

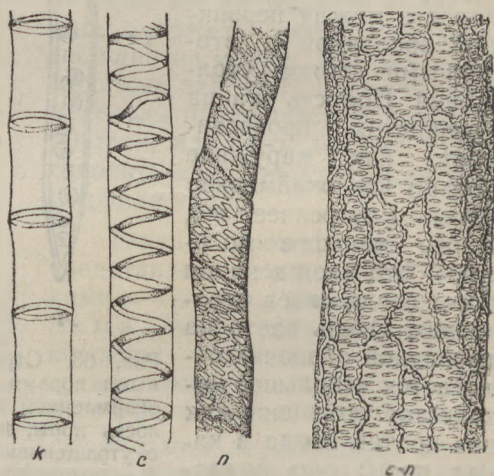


Рис. 65. Типы сосудов: *к* — кольчатый; *с* — спиральный; *п* — пористый, в нем видны остатки поперечных перегородок между клетками, из которых образовался сосуд; *с-п* — сетчато-пористый сосуд.

под влиянием проходящих в них водяных токов, а затем теряют содержимое; в период своего роста они утолщают стенки, сообразно давлению, которое испытывают. Естественный отбор выработал целесообразные приспособления, состоящие в том, что протоплазма не только успевает превратить клетку в длинную трубку, но и снабжает ее утолщениями в стенках, что мешает им спадаться при давлении со стороны соседних клеток. Эти трубки мы называем сосудами или трахеями. Они построены целыми цепочками клеток, расположенных одна над другой; поперечные стенки, их разделяющие, рассасываются (рис. 64), почему и получается сплошная водяная нить от кончика корня до листьев. Вода движется в них по законам движения воды в капиллярах

ных трубках, кроме того, она поднимается благодаря испарению воды листьями и, в-третьих, благодаря тому давлению, которое развивает процесс осмоса в клетках корня.

Оболочки трахейд и сосудов одревесневают, пропитываются лигнином, что особенно ясно видно на утолщениях оболочки. Сообразно характеру их утолщений мы имеем сосуды с утолщением в виде ленты, кольчатые, спиральные и сосуды пористые — различного типа (рис. 65): сетчатые, лестничные и др. Система проводящих трубок (капиллярные трубки с двумя концевыми двигателями), с другой стороны, она все время находится под контролем живых клеток, которые окружают

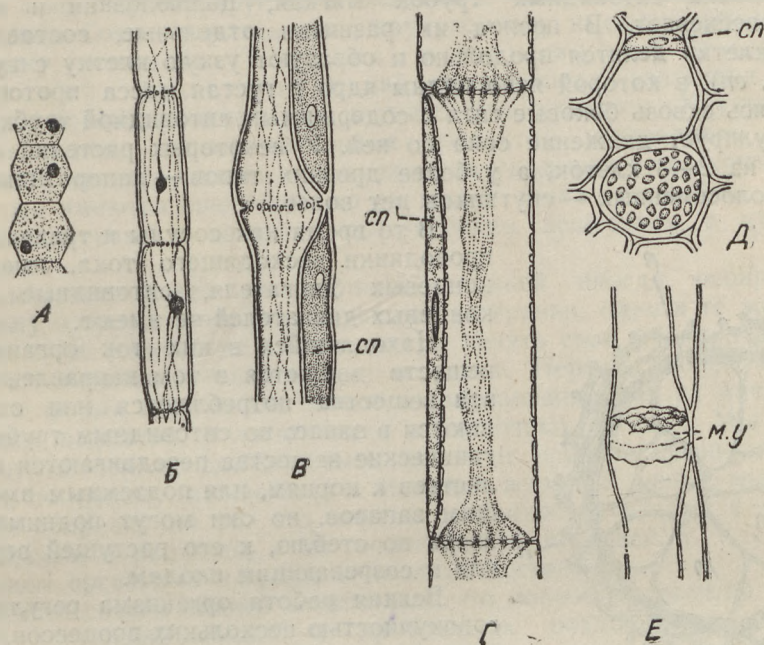


Рис. 66. Развитие ситовидной трубки из parenchymных клеток: А — столбик parenchymных клеток; Б — клетки вытянулись, образовались продольные токи протоплазмы и поры в поперечных стенках; В — отделились клетки-спутники (сп); Г — ситовидная трубка и спутник — сп (слева); содержимое ситовидной трубки, проходящее через поры ситовидных пластинок, съезжилось в виде узкого тяжа посредине клетки; на боковых стенках заметны поры в оболочке; Д — поперечный разрез через две ситовидные трубки и спутник — сп; нижняя трубка разрезана на уровне сита; Е — мозолистое утолщение на ситовидной пластинке — м. у.

сосуд и определенно на него влияют, частью поглощая воду через поры, частью сдавливая его.

Сосуды собраны обычно в пучки, с которыми мы познакомимся позднее, изучая строение стебля. Пучки эти называются проводящими, поскольку имеется в виду только проводящая ткань, и сосудисто-волокнистыми, если принимают во внимание также и механические волокна, обычно ее сопровождающие.

Перейдем теперь к той проводящей ткани, которая является проводником нисходящего тока, проводит питательные вещества из листьев в корни.

Речь идет о ситовидных трубках. Ситовидные трубки развиваются следующим образом (рис. 66): начало их составляют вертикальные столбики клеток меристемы, которые разрастаются в длинные трубки, причем поперечные перегородки между отдельными клетками — членами трубки — не исчезают, а развивают многочисленные сквозные

крупные поры, превращающие перегородки в пластинку, напоминающую сито или решето. Подобные же сита развиваются [у многих растений (папоротникообразные)] и на боковых стенках трубок. Сита и дали повод назвать эти образования ситовидными трубками.

В начале своего развития клетки, слагающие ситовидную трубку, имеют, как и все остальные, ядро и протоплазму, но впоследствии протоплазма образует только узкий постенный слой, клетки теряют способность делиться и ограничивают свое бытие чисто служебной функцией — проведения питательных веществ. Так как протоплазма сама подвижна, то она способствует проведению питательного раствора как в полости трубки, так и через поры ситовидной пластинки.

Оболочка ситовидных трубок мягкая, целлюлозная и никогда не одревесневает. В период их развития отдельные, составляющие трубку клетки делятся продольно и образуют узкую клетку спутник (рис. 66, *сп*), в которой ясно видно ядро и густая масса протоплазмы; соединяясь сквозь боковые сита с содержимым ситовидной трубки, спутник регулирует движение сока по ней. У некоторых растений спутник состоит из 2—3 клеток, а у более древних типов — папоротникообразных и голосеменных — спутников нет вовсе.

В то время как сосуды и трахеиды, как проводники восходящего тока, имеют два концевых двигателя, ситовидные трубки концевых двигателей не имеют.

Находящийся в них ток органических веществ движется в том направлении, где эти вещества потребляются или откладываются в запас; по ситовидным трубкам органические вещества передвигаются вниз от листьев к корням, или подземным вместилищам запасов, но они могут подниматься и вверх по стеблю, к его растущей верхушке или к созревающим плодам.

Всякая работа организма регулируется совокупностью нескольких процессов. Летом растение сильно испаряет воду, сильно всасывает корнями почвенный раствор, при этом вырабатывается масса углеводов и других питательных веществ, — поэтому и передвижение соков по растению напряженное. Зимой ничего этого нет. Поэтому и сосуды и ситовидные трубки осенью сдавливаются и частично закупориваются. В ситовидных трубках на ситах начинает нарастать мозолистое тело, или каллус (рис. 66, *Е*). Весной каллус легко растворяется, и ситовидные пластинки снова приобретают проводящую способность.

В сосудах, проводящих воду, происходят более сложные явления: там очень часто живые паренхимные клетки, граничащие с порами в боковых стенках сосуда, врастают в полость последнего и образуют так называемые тиллы, которые отделяются от производящих их клеток, сами делятся и заполняют полость сосуда свободно лежащими в ней клетками (рис. 67). Когда весной восстанавливается сильный восходящий ток по сосудам, вода смывает тиллы и открывает себе свободный путь.

Заканчивая изложение основных особенностей проводящей системы тканей, мы должны еще раз вернуться к системе млечных трубок, которые мы отнесли ранее к системе выделительных тканей.

Некоторые авторы относят млечные трубки к проводящей ткани, так как они вплотную подходят к клеткам ассимиляционной

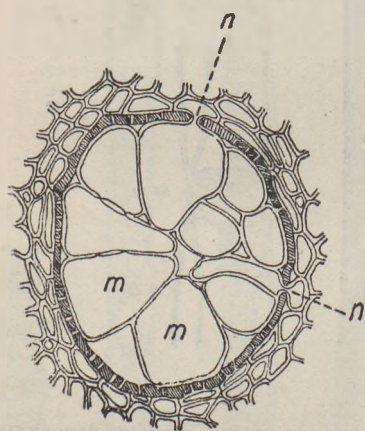


Рис. 67. Тиллы в сосудах: паренхима, окружающая сосуд, дает через поры (*n*) в сосудах выросты (*m*), закупоривающие сосуд.

паренхимы (см. рис. 56), из которых получают часть своего содержимого и разносят затем питательные пластические вещества по коре, вплоть до корней. Действительно, сеть млечников в нашем обыкновенном одуванчике или чистотеле с его оранжевым млечным соком пронизывает все растение. По некоторым наблюдениям млечные трубки, расположенные обычно вблизи от ситовидных трубок, как бы соревнуются с последними. Там, где развиты млечники, меньше ситовидных трубок.

Нельзя не упомянуть еще об одном. У некоторых растений в млечном соке находятся такие ценные для промышленности вещества, как каучук и гуттаперча. В тропиках их доставляют деревья, например, молочайное *Hevea*. Оно дико растет в лесах по р. Амазонке, а в настоящее время культивируется в жарком и влажном климате. У нас в Советском Союзе нашли свои каучуконосы, именно — родственные одуванчику кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz*) и тау-сагыз (*Scorzonera tau-saghyz*), найденные в горах Казахстана и теперь введенные (особенно кок-сагыз) в массовую культуру. Каучук долго считался одним из окончательных продуктов углеродного обмена, мешающим процессу жизни и подлежащим удалению из ее круговорота. Теперь же имеются сведения, что он может снова втягиваться в обмен живыми клетками и является пластическим веществом в их строительстве.

Изложенная выше классификация тканей иногда оспаривается: поскольку природа вообще не знает резких границ, одни и те же клетки, а также и их соединение в ткань могут менять свои функции в зависимости от внешних условий или от возраста. Нередко более важными кажутся: форма клеток, или способ их образования, или их микрохимия, например, вещества, отлагающиеся в клеточных стенках. Мы же считаем, что в основу должен быть положен принцип физиологической работы, по-нашему, важнейший в явлениях жизни. Конечно, мы должны вносить поправку на то, что многие особенности связаны с историческим прошлым растений, с их геологической историей, т. е. с взаимодействием организма и среды в далеком прошлом.

Девять систем тканей можно было бы пополнить десятой системой тканей, воспринимающих и проводящих раздражения (например, у мимозы), но эта система пока еще мало изучена, и ее изложение не дало бы нам ясной картины ее особенностей.

При изучении органов растений мы будем исходить из наших девяти систем растительных тканей: это позволит нам легко ориентироваться в их сложном строении. Зная части, легко познаешь целое.

ГЛАВА VI

ПРОВОДЯЩИЕ ПУЧКИ И СТРОЕНИЕ СТЕБЛЯ

В начале нашего разбора растительных тканей упоминалось о делении клеток, как анатомических элементов, на паренхимные и прозенхимные. Сделаем ли мы разрез стебля, или разрез листа, или корня, — безразлично, мы

прежде всего увидим на каждом разрезе, с одной стороны, мякоть или основную ткань, с другой — какие-то твердые элементы, которые кажутся на поперечном разрезе точками, а на продольном представляют собой длинные нити или тяжи. Эти твердые тяжи трудно поддаются разрыву, отличаются одновременно и твердостью и гибкостью, — они-то и образуют скелет растения. Основная ткань состоит из паренхимы, ткань скелета — из прозенхимы.

Если мы от формы клеток обратимся к их функциям, то увидим, что в состав мякоти войдут ткани: ассимиляционная, запасная, выделительная и ткань проветривания. Это — ткани, сложенные из тонкостенных паренхимных, обычно живых клеток.

Ткань скелета состоит из собранных в плотные пучки или тяжи элементов проводящих тканей, которые объединяют физиологически все части растения в единое целое, и из элементов механических, даю-

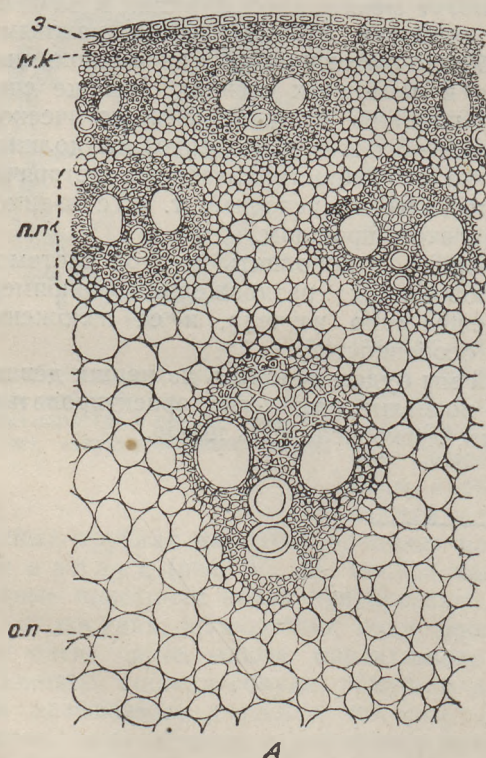


Рис. 68. Поперечный срез стебля кукурузы (*Zea mays*). Среди основной ткани распределены проводящие пучки; *з* — эпидермис; *м. к* — кольцо механических волокон; *п. п* — проводящие пучки; *о. п* — основная паренхима.

щих растению возможность сопротивляться растяжению, сжатию и давлению.

Раздел о сосудисто-волокнистых или проводящих пучках — один из самых существенных в анатомии растений.

Возьмем поперечный срез кукурузы (рис. 68, 69). Среди его основной ткани распределены проводящие пучки. Рассмотрим отдельный (рис. 69) пучок.

В нем прежде всего бросаются в глаза два широких сетчато-пористых сосуда, у их основания лежат кольчатый и спиральный сосуды значительно меньшего диаметра. Над большими сосудами отчетливо выступает овальная группа тонкостенных клеток, в которых не трудно узнать ситовидные трубки с их спутниками. Резко заметно, что пучок состоит из двух основных частей: сосудов и ситовидных трубок.

Третий элемент, который окружает почти весь пучок кукурузы, — это механические волокна, плотно прилаженные одно к другому, и на разрезе часто представляющиеся многогранными.

Определим ближе три части, составляющие вместе сосудисто-волокнистый пучок. При этом мы не ограничимся зрительными впечат-

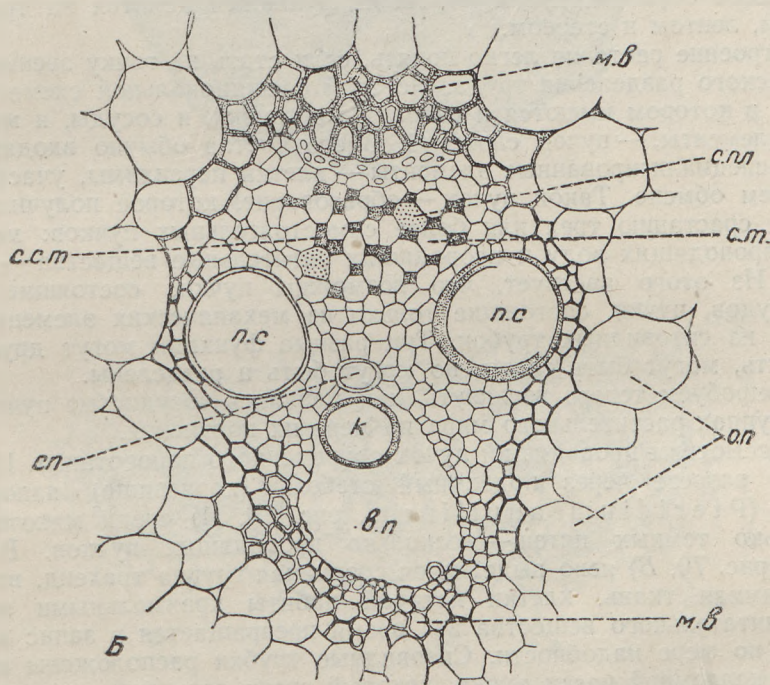


Рис. 69. Закрытый проводящий пучок: *п. с* — сетчато-пористые сосуды; *сп* — спиральный сосуд; *к* — кольчатый сосуд; *в. п* — воздушная полость; *с. т* — ситовидные трубки; у некоторых разрез прошел на уровне ситовидных пластинок — *с. пл*; *с. с. т* — спутники ситовидных трубок. Вокруг пучка — механические волокна — *м. в*. Ситовидные трубки расположены к периферии, сосуды к центру стебля.

лениями, которые дает микроскоп, а призовем на помощь еще и микрохимию, применим реактивы. Реактив на клетчатку — хлор-цинк-иод, т. е. иод с хлористым цинком — красит целлюлозу в фиолетовый цвет, поэтому часть пучка, где оболочки клеток целлюлозные, окрасится в фиолетовый цвет, все остальные части станут желтыми. Чтобы разобраться в последних, возьмем одну из реакций на лигнин, которая смогла бы показать, нет ли здесь одревесневших оболочек. Возьмем для этого органическое вещество флороглюцин, пропитаем препарат раствором этого вещества, прибавим затем каплю крепкой соляной кислоты. Мы

получим, таким образом, органическое вещество — фурфурол, которое окрашивает одревесневшие оболочки в пурпурный или малиновый цвет. Следовательно, часть нашего препарата будет окрашена в фиолетовый цвет хлор-цинк-йодом, а другая часть, одревесневшая, в малиновый цвет флороглюцином. Сообразно этому, анатомия растений уже очень давно разделила сосудисто-волокнистые пучки на две части: флоэму и ксилему. Флоэма — это лубяная часть пучка, ксилема — древесинная его часть.

Обычно в каждом проводящем пучке имеются оба эти элемента. Если принять во внимание не только одревеснение клеточных оболочек, а также функции отдельных частей пучка, то придется делить его на три части.

Самая существенная часть пучка — это совокупность элементов, которые проводят воду; она называется г а д р о м (от греческого слова «гюдор» — вода). Та часть пучка, которая проводит органическую пищу растения, особенно углеводы и белки, и где находятся ситовидные трубки, называется л е п т о м. Та часть пучка, в которую входят механические элементы, называется с т е р е о м.

Таким образом, пучок по своим функциям делится на три части: гадром, лептом и стереом.

Строение растения легко понять, если стать на точку зрения физиологического разделения труда. По этой функциональной схеме каждый пучок, в котором имеются и ситовидные трубки, и сосуды, и механические элементы, — пучок сложный. В его состав обычно входят также менее специализированные элементы — клетки паренхимы, участвующие в общем обмене. Такой пучок — образование, которое получилось благодаря срастанию трех или более самостоятельных пучков: механических, проводящих воду и проводящих питательные вещества — ассимиляты. Из этого явствует, что возможны пучки, состоящие только из сосудов, пучки, состоящие только из механических элементов, или только из ситовидных трубок. Три разные функции могут друг другу помогать, могут быть слиты, но могут быть и разделены.

Попробуем теперь взглянуть, как менялись сосудистые пучки в разных группах растительного мира по мере их появления.

Рассмотрим проводящий пучок современного папоротника. На поперечном разрезе через подземный стебель (корневище) папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*, рис. 70, А) среди мякоти видно несколько темных пятен — несколько проводящих пучков. В таком пучке (рис. 70, Б) ясно выделяется срединная группа трахеид, вокруг — паренхимная ткань, клетки которой набиты крахмальными зернами; часть питательного вещества все время превращается в запас и расходуется по мере надобности. Ситовидные трубки расположены кольцом вокруг ксилемной части пучка, который сверх того окружен еще клетками весьма оригинального строения. У них одна стенка, обращенная к пучку, очень толста, а наружная тонка. Клетки эти одревеснели и образуют вокруг пучка как бы защитное кольцо; это э н д о д е р м а пучка.

Такой пучок расти не может, в нем нет образовательной ткани, трахеиды и ситовидные трубки делиться не могут, а клетки запасной ткани, хотя и делятся, но лишь в редких случаях. Это з а м к н у т ы й, или з а к р ы т ы й, п у ч о к. Совокупность пучков вместе с окружающей их основной паренхимной тканью называется ц е н т р а л ь н ы м ц и л и н д р о м, или с т е л о й.

Учение о стеле, называемое с т е л ь я р н о й т е о р и е й, имеет громадное значение в палеонтологии. Если вы находите ископаемый ствол дерева, или его кусок, то по расположению элементов стелы вы можете определить растение. Строение стелы очень разнообразно. Если нет сердцевины, и ксилема занимает центральное положение, а флоэма распо-

жена по периферии, то такая стела носит название протостелы. Если проводящие пучки расположены непрерывным кольцом, а сердцевина выполнена основной тканью — сердцевинной — это сифоностела. Если между участками ксилемы и флоэмы сердцевина продолжена в виде сердцевидных лучей — это эустела, или диктиостела.

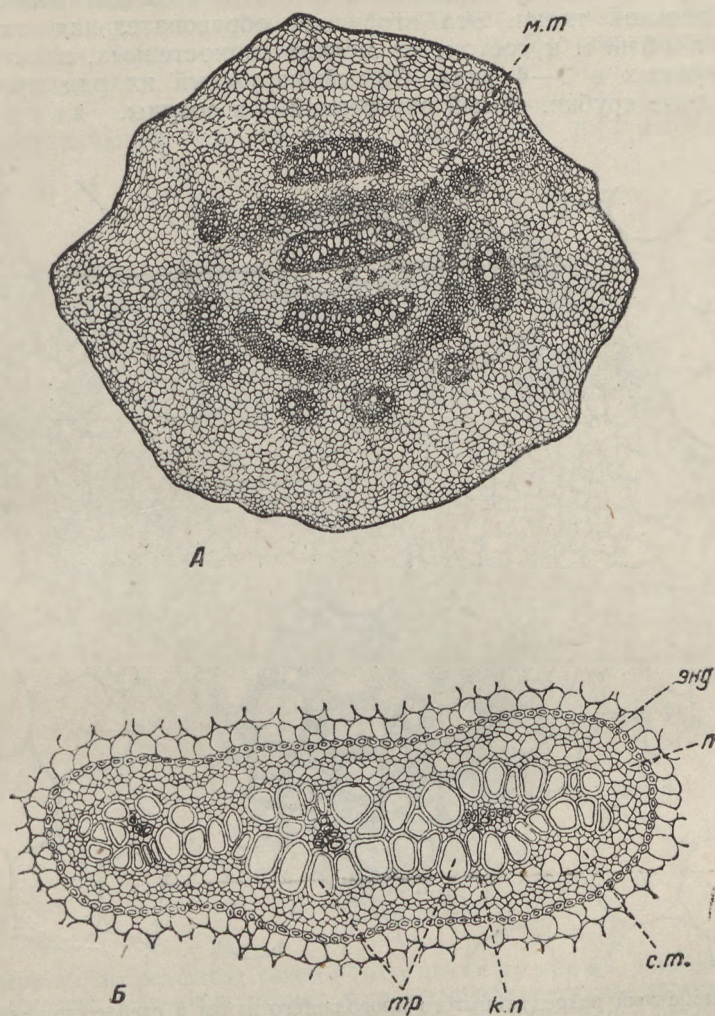


Рис. 70. А — поперечный разрез корневища подземного стебля папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*): среди основной ткани — подковообразный участок механической ткани — *м. м.*; внутри и кнаружи от этого участка расположены проводящие пучки. Б — отдельный проводящий пучок того же корневища: *энд* — энлодерма — кольцо механических элементов; *п* — перицикл — кольцо из крахмалоносной паренхимы; средняя часть пучка состоит из крупных трахеид — водоносных клеток — (*к. п.*), окруженных паренхимными крахмалоносными клетками (*к. п.*). Вокруг трахеид кольцом расположены ситовидные трубки — *с. п.*

Вернемся к отдельным пучкам. Возьмем пучок закрытый, не растущий, с постоянным числом элементов, но с резко выраженными ксилемой и флоэмой, — пучок из стебля кукурузы (см. рис. 68, 69).

Флоэма в этом, как и в большинстве пучков, расположена ближе к коре, а ксилема — ближе к сердцевине стебля. Механические клетки здесь расположены почти кругом пучка, но особенно много их на двух полюсах над флоэмой и под ксилемой (древесиной). Они охраняют от сдавливания наиболее важные части — ситовидные трубки и сосуды.

Тип замкнутого пучка характеризует злаки и вообще однодольные растения.

Но существуют пучки открытые, которые могут расти в толщину, в которых число ситовидных трубок и сосудов может постоянно увеличиваться. Это пучки двудольных, например, клещевины (рис. 71). В таких пучках между ксилемой и флоэмой проходит полоска клеток образовательной ткани. Эта вторичная образовательная ткань называется камбием и состоит из мелких тонкостенных, плоских клеток, расположенных в 3—4 ряда. Самый наружный их ряд превращается в ситовидные трубки, самый внутренний — в сосуды.

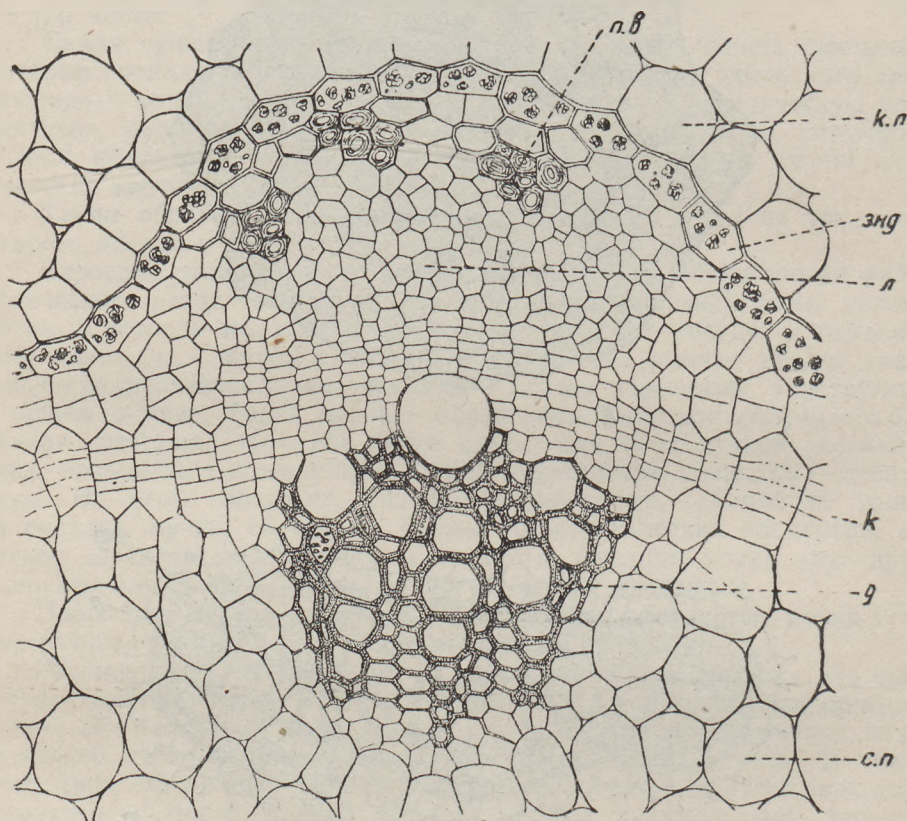


Рис. 71. Поперечный разрез открытого проводящего пучка в стебле клещевины (*Ricinus communis*): к. п — паренхима коры; энд — эндодерма; п. в — перициклические волокна; л — луб; к — камбий; д — древесина; с. п — сердцевинная паренхима.

К числу открытых пучков относятся также двусторонние, или биколлатеральные, пучки, например, у тыквенных (рис. 72); в таком пучке древесина занимает среднюю часть пучка, а луб повторяется дважды по обе стороны ксилемы. Камбий имеется только между древесиной и наружным лубом, второго камбия нет. Мы имеем здесь с внутренней стороны один самостоятельный флоэмный закрытый пучок и открытый пучок из ксилемы и наружной флоэмы. Механические элементы в биколлатеральном пучке тыквы представлены слабо, толстостенных механических волокон нет вовсе. Объясняется это тем, что тыквенные имеют лежащий стебель, который опирается на землю или другую опору. Зато флоэмная часть, обеспечивающая быстроту роста и образование придаточных корней, развита сильнее обыкновенного.

Наконец, у многих растений, кроме проводящих пучков, имеются

еще и чисто стереомные пучки, состоящие из пригодных для пряжи механических волокон: ни сосудов, ни ситовидных трубок в них нет. Стереомные пучки хорошо развиты в листьях прядильной агавы (*Agave sisalana*); не менее очевидна их польза у таких растений, как джут, китайская крапива, лен, конопля, канатник и др. Если надо селекционировать одно из этих растений, то приходится идти на увеличение стереомных пучков за счет остальных. Тот, кто культивирует прядильные растения, всегда стремится к тому, чтобы стереомные пучки развивались сильнее. Стереомные пучки образуются над лубом из перидикла — слоя клеток, отграничивающего стелу от коры. Поэтому составляющие их волокна называются перидикличес-

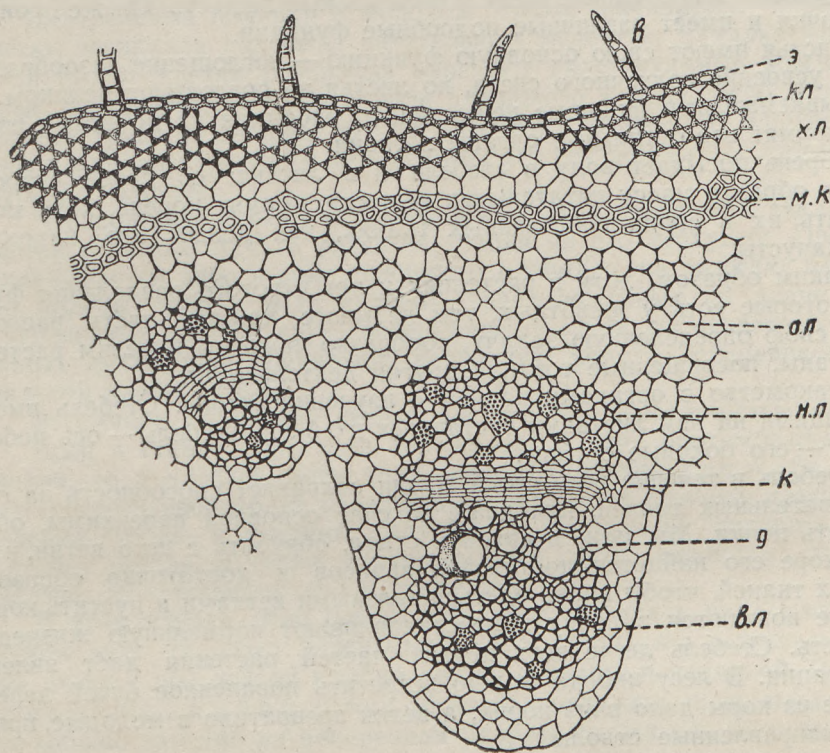


Рис. 72. Поперечный разрез стебля тыквы (*Cucurbita pepo*): э — эпидермис с волосками (вл — волосок); кл — колленхима; х. п — хлорофиллоносная паренхима коры; м. к — кольцо из механических (перидиклических) волокон; о. п — основная паренхима. Строение биколлатерального открытого пучка: н. л — наружный луб, к — камбий; д — древесина; в. л — внутренний луб.

скими в отличие от лубяных волокон, образованных камбием в лубе. В строении растений имеют весьма важное значение стереомные пучки. Это как бы кости растения, которые сообщают ему определенное положение, твердость, позволяют ему сопротивляться ветру и другим вредным воздействиям внешнего мира.

Пучки проходят через все растение — через корни, стебли и листья. Если взять, скажем, лист клена и долгое время колотить его щеткой, то получится при точном соблюдении формы листа тонкая сеть жилок, это и есть сеть пучков, выделенная путем разрушения мякоти.

Используем теперь наши знания о сосудисто-волокистых пучках для познания более сложных частей, именно — органов растений.

У животных совершенно ясно наличие органов поглощения пищи, пищеварения, дыхания, кровообращения, движения и пр. У растения нет

столь полной дифференцировки частей, как у животных. Так, почти из каждого отрезка растения можно, сделав черенок, вырастить целое растение, если же отделить конечность у какого-либо высшего животного, то из нее решительно ничего не вырастет. У растения можно оторвать любую ветку, поместить ее в мокрый песок, она пустит корни, и вырастет дерево. Самостоятельность частей растения больше, чем самостоятельность частей животного. Растение имеет корни, погруженные в почву и поглощающие жидкую пищу — почвенный раствор. Корни подают растению и воду, и азот, и другие минеральные вещества, ему необходимые.

Стебель осуществляет связь между корнями и листьями: его основная функция — проведение воды и питательных веществ. Он же производит почки и имеет различные подсобные функции.

Листья имеют свою основную функцию — поглощение газообразной пищи, усвоение солнечного света, но листья не поглощают целиком вырабатываемые ими пищевые вещества, а, рассылая их по всему растению, кормят все остальные органы и ткани.

Корень посылает воду в стебель и в листья; со своей стороны, листья, образуя массу питательных веществ, кормят корень, хотя могут отлагать их в своих собственных тканях, как делает это, например, лист капусты.

Таким образом, хотя в растениях и нет строгого разделения функций, которые есть у животных, тем не менее каждая часть растения имеет свою определенную задачу, сообразно чему мы и делим растение на органы, посвященные той или другой деятельности.

Знакомство с органами начнем с изучения стебля. Стебель вместе с сидящими на нем листьями составляет побег. Стебель — ось побега, листья — его боковые органы.

Стебель в течение всей своей жизни сохраняет способность за счет образовательных тканей, или даже за счет основной паренхимы, образовывать почки. Мы можем срубить ствол, обрубить с него ветви, и все же в коре его найдется достаточно запасов и достаточно образовательных тканей, чтобы вновь одеться зелеными ветками и пустить корни, которые вонзаются в почву и восстанавливают нормальную жизнедеятельность. Стебель легче всех других частей растения дает явление регенерации. В лесу иногда можно встретить поваленное бурей дерево, которое из коры дало вниз корни, а ветви превратило в молодые, прямо вверх направленные стволы.

Для коллекции в один из музеев привезли зимой несколько стволов. Помещение было не очень сухое, и вот стволы, пролежав полгода в комнате, весной покрылись зелеными ветками, выросшими из запасных почек. В стволе оказалось достаточно и воды и запасных питательных веществ для того, чтобы образовать почки, — и срубленный, лишенный и корней и ветвей, ствол покрылся ветками и листьями.

Стебель объединяет деятельность листьев и корней; через стебель проходят и питательные минеральные вещества в водном растворе, и сахара, жиры и белки из листьев. Стебель совмещает нисходящий ток из листьев в корни и восходящий — из корней в листья.

Затем стебель своими разветвлениями обуславливает распределение в почве корневой системы, а в воздухе — кроны облиственных ветвей.

Морфологически стебель состоит из узлов и междоузлий. Узлы — это места прикрепления листьев, здесь стебель утолщен и внутри построен из переплетающихся пучков. Узлы отличаются большой прочностью.

Узлы хорошо выступают на стеблях хотя бы, например, у злаков и зонтичных. Возьмем стебель бамбука, этого деревянистого злака, на нем узлы сильно выступают. На каждом из них виден рубчик — место прикрепления листа. Междоузлия у большинства злаков внутри полые, узлы

же образуют сплошные перегородки. Если отпилить часть стебля бамбука с узлом у нижнего края распила, то получится стакан, если просверлить перегородки, то будет водопроводная труба. Из крупных стеблей бамбука можно производить постройки.

Анатомически мы различаем обычно в молодом стебле: эпидермис, колленхиму, тонкую полоску ассимиляционной ткани и бесцветной паренхимы. Эти элементы входят в состав так называемой первичной коры. Внутренней границей ее является эндодерма — слой паренхимных клеток, содержащих крахмал. Совокупность тканей, расположенных внутри от эндодермы, как мы уже говорили, называется центральным цилиндром или стелюй.

Центральный цилиндр в молодом стебле начинается перициклом. Клетки перицикла содержат питательные вещества. В дальнейшем развитии стебля клетки перицикла образуют склеренхимные волокна, которые располагаются либо в виде сплошного кольца, либо в виде отдельных групп, и придают стеблю большую крепость. С наружной стороны перицикл граничит с эндодермой, а с внутренней — с ситовидными трубками флоэмы.

[Проводящие пучки развиваются из клеток прокамбия, закладывающегося с самого начала развития стебля на его верхушке. Прокамбий закладывается либо в виде сплошного цилиндра, на разрезах имеющего вид кольца, либо в виде полосок, расположенных по длине стебля и отделенных друг от друга паренхимными клетками первичных сердцевинных лучей. Они соединяют первичную кору с сердцевинной — центральной частью стелюй.

Вторичное утолщение стебля достигается деятельностью камбия.

Если в стебле меристема заложилась в виде прокамбиального цилиндра, то и камбий сразу дает сплошное кольцо клеток. За счет их деятельности происходит наращивание элементов флоэмы, идущее к периферии стебля, и ксилемы, идущее от внутренней границы камбия к центру стебля, а также и паренхимных клеток вторичных лучей, радиально пересекающих луб и древесину.

В этом случае, если прокамбий располагается в виде полос, отделенных друг от друга паренхимой, то в стебле мы встречаем открытые пучки с прослойкой камбия между флоэмой и ксилемой. Это будет пучко-вый камбий. Пучки обычно расположены правильным кругом, что хорошо заметно на поперечном разрезе стебля как двудольных, так и хвойных растений. Через некоторое время паренхимные клетки, расположенные между соседними пучками в области камбия, получают способность к делению. Возникает межпучковый камбий. В результате смыкания пучкового и межпучкового камбия образуется сплошное камбиальное кольцо. Камбиальное кольцо, как и в первом случае наращивает флоэму кнаружи и ксилему внутрь стебля, что ведет также к увеличению толщины стебля]. Центральная часть стебля занята сердцевинной паренхимой, которая иногда разрушается, — тогда в стебле возникает полость.

Стебель, если он прямостоящий, несет определенную нагрузку, на него давит масса облиственных веток. Ветер ударяет в крону, она парусит, получается сильное сопротивление, под влиянием которого стебель гнется. В этом отношении различие между деревом и травой невелико. 10 июня 1902 г. на границе Иркутского края и Монголии мне пришлось наблюдать, что глубокий снег выпал уже после того, как листья на березах вполне распустились. На деревьях налипла масса снега, и тяжесть его согнула березы в лесу так, что верхушки их касались земли, образуя правильные дуги. Я шел под ними, как под снежными воротами. Когда снег стаял, стволы берез выпрямились. Какая сила смогла выпрямить эти стволы, откуда взялась необходимая для этого упругость?

Ее обеспечили стереомные пучки. Но как должны они быть расположены? Вы берете отрезок стебля с тем расчетом, чтобы его вертикальная ось равнялась одному метру. Вы тщательно вымеряете оба среза и убеждаетесь, что их поверхности параллельны одна другой. Затем следует согнуть этот отрезок стебля и измерить расстояния, отделяющие верхний срез от нижнего. Опыт показал, что при таких измерениях неизменно оказывается, что ось, проходящая через центр среза, не изменилась и осталась равной 100 см, тогда как все остальные вертикальные оси от выпуклой стороны стебля к вогнутой дадут 105, 104, 103, 102, 101, 99, 98, 97, 96, 95 см. Все они кажутся разными, причем на выпуклой стороне они укажут на то, что часть стебля растянута, а на вогнутой — что она сжата и укорочена. Ткани клеток вогнутой стороны сжались, так как уступили давлению, и, наоборот, ткани клеток выпуклой стороны растянулись, уступая растяжению и сопротивляясь разрыву.

Если принять во внимание, что ветер сгибает стебли изо дня в день и притом в различных направлениях, что при этом отдельные клетки то сжаты, то растянуты, а особенно сильно сжимаются и растягиваются ткани, лежащие ближе к поверхности, например, под эпидермисом, то является предположение, что это не может не отразиться на форме клеток.

В растущих тканях, в меристеме, это влияние скажется тем, что клетки станут расти преимущественно вдоль. Важно не прямое механическое растягивание и сжимание, а реакция растущей клетки на определенное механическое раздражение. Клетки сердцевины стебля, на которые сгибание стебля действует слабо, останутся паренхимными, а клетки, располагающиеся близ поверхности, превратятся в волокна стереомных пучков.

Зависимость распределения в стебле механических элементов от давления — вертикального и бокового — была установлена еще в 70-х годах прошлого века и затем экспериментально исследована в 20-х и 30-х годах нынешнего века советским ученым проф. В. Ф. Раздорским.

Если рассматривать поперечный срез стебля, то на нем хорошо выступают светлые пятна, — это стереомные пучки, толстые клеточные оболочки которых хорошо отражают свет.

Возьмем разрез стебля глухой крапивы (*Lamium album*, рис. 73). Разрез этот имеет квадратную форму; средняя часть стебля поляя, в углах хорошо выделяются четыре стереомных пучка, под защитой которых лежат пучки гадрома и лептома. Если соединить середины стереомных пучков прямыми линиями, то окажется, что линии эти перекрещиваются в центре разреза. Вспомним теперь, что в строительной механике применяется так называемая двутавровая балка. Двутавровой она называется потому, что форма ее напоминает две буквы Т, сросшие своими основаниями. Утолщенные концы такой балки называются ее полками, а связующий полки стержень — выполнением. Когда строят из двутавровых балок какое-либо сооружение, например колонну, то расчет показывает, что вся тяжесть ложится на полки, а выполнение играет лишь ту роль, что не позволяет полкам сдвигаться с назначенного им места. Часто выполнения может вовсе не быть, но полки всегда берутся в четном числе и располагаются по окружности одна против другой.

Согласно принципу двутавровых балок, мы можем считать, что стебель глухой крапивы построен из двух таких балок.

Между строительством человека и ростом стебля в условиях постоянного действия ветра — только внешнее сходство, в природе нет процессов, похожих на сознательную стройку. Однако там, где есть сходные механические явления, может быть и сходство частей.

В стеблях цилиндрической формы расположение механических частей более сложное, пучки всегда расположены параллельно поверхности, нередко в форме замкнутого кольца. Возьмете ли вы разрез стебля подсолнечника, зонтичного растения или чертополоха, вы увидите, что центральная часть стебля полая, никакого сопротивления не оказывает. Чаще же всего стебли состоят из четырех двутавровых балок.

Число стереомных пучков и места их расположения повторяются у всех растений данного вида с большой правильностью, при этом пучки всегда расположены симметрично, всегда можно представить себе, что это полки двутавровых балок. Таким образом, получается, что все бесчисленные видоизменения в строении стебля укладываются в общую закономерность.

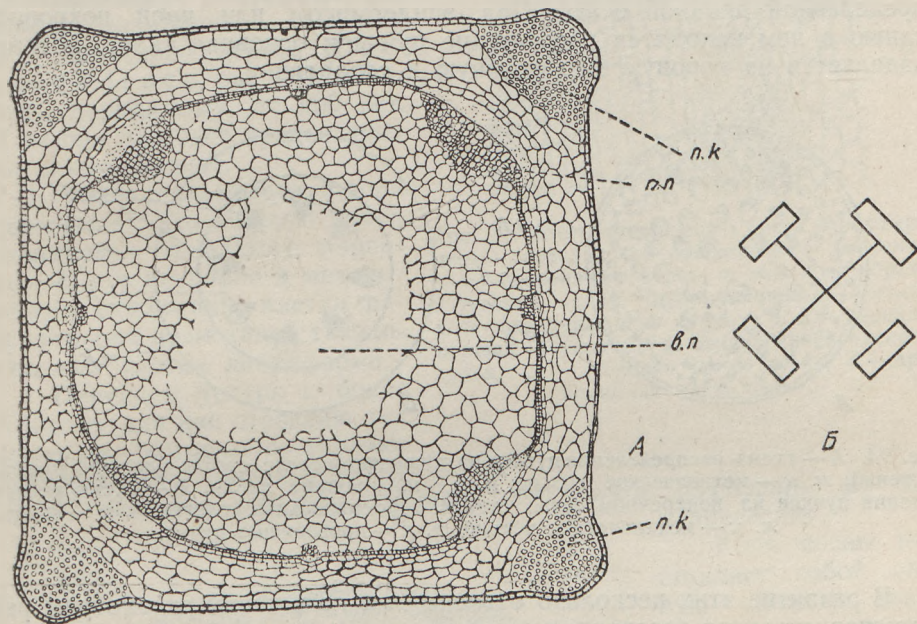


Рис. 73. А — поперечный разрез стебля глухой крапивы (*Lamium album*): п. к. — механические пучки из колленхимы в четырех углах стебля, представляющие собой как бы сложную балку из двух простых двутавровых балок; п. п. — проводящие пучки; в. п. — воздухоносная полость. Б — схема из двух простых двутавровых балок.

Подтверждается ли это правило у тех растений, пучки которых расположены по всему полю разреза, а не только вдоль его окружности? Да, подтверждается, так как и в этом случае мы имеем дело с двутавровыми балками, уложенными в несколько кругов, причем внутренние имеют более короткое выполнение, чем внешние.

Практически это важно для текстильщиков, строящих декортикатор, т. е. машину для удаления коры: благодаря правильности расположения пучков, можно рассчитать декортикатор так, что он не повредит волокна. Конечно, закономерность в распределении проводящих и стереомных пучков сложилась не в порядке предварительного расчета, а благодаря естественному отбору: стебель, построенный таким образом, оказывает ветру наиболее рациональное сопротивление и наиболее рационально несет тяжесть кроны.

Исторически строение стебля сложилось по-разному у четырех различных типов растений. У папоротников среди основной ткани проходят сложные пучки, окруженные каждый своим механическим кольцом —

эндодермой. Основа их ксилемы — крупные трахеиды с лестничными утолщениями в стенках.

У голосеменных растений есть камбий и связанный с ним рост в толщину. Ксилема складывается из некрупных трахеид с окаймленными порами в стенках.

У односемядольных растений пучки лишены камбия и на поперечном срезе стебля как бы разбросаны среди основной ткани (рис. 74, А). Доказано, однако, что и здесь имеется сложная система двуглавых балок, и механический принцип выдержан.

У двусемядольных растений пучки открытые, с камбием между ксилемой и флоэмой; они располагаются правильным кольцом в стебле, внутри которого находится сердцевина или воздухоносная полость (рис. 74, Б).

Стебель вообще представляет собой геометрическое тело с резко определенной длинной осью. Под эпидермисом или иной покровной тканью в нем находятся проводящие пучки и основная ткань, которая разделяется на коровую паренхимную и сердцевину.

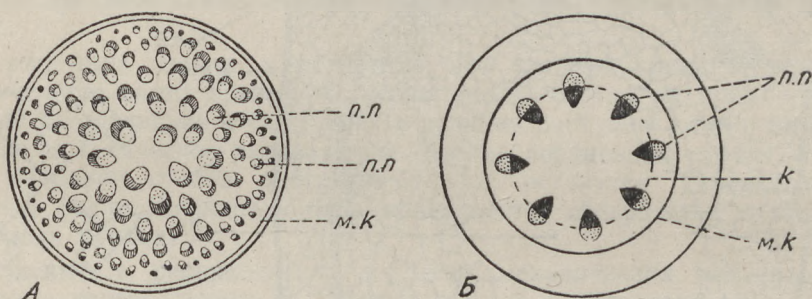


Рис. 74. А — схема распределения пучков на поперечном срезе стебля односемядольных растений: м. к — механическое кольцо; п. п — проводящие пучки. Б — схема распределения пучков на поперечном срезе стебля двусемядольных растений: к — камбий, м. к — механическое кольцо, п. п — проводящие пучки.

В развитие этих несколько отвлеченных положений рассмотрим ряд примеров строения деревянистых стволов.

Возьмем обрубок ствола древовидного папоротника, представителя группы, сложившейся еще в палеозойские времена. Это простейший случай строения древесного ствола из отдельных пучков проводящей ткани, причем они хорошо видны простым глазом. Снаружи здесь не только одревесневшая коровая паренхима, но еще и целая муфта придаточных корешков. Корешки эти всасывают дождевую воду и росу и отдают их стеблю. Почему нужна такая поправка к корневому питанию? Потому что крупные листья папоротника испаряют много, а подземные корни развиты слабо.

Возьмем другой случай, когда у растения имеются только закрытые пучки, т. е. когда в пучках нет камбия. У однодольных камбий утрачен, в их пучках нет вторичной образовательной ткани, они не могут расти, не могут слиться в общее кольцо.

Пример — ствол пальмы. На разрезе (рис. 74, А) среди одревесневшей паренхимы вы видите мелкие точки, это отдельные пучки. Под самой поверхностью проходит слой механических волокон в виде механического кольца (оно встречается и у травянистых растений), затем идет основная ткань с огромным числом проводящих пучков, расположенных по более или менее отчетливой спирали. Не имея камбия, стволы пальмы растут в толщину очень слабо, причем рост в толщину у них зависит больше всего от увеличения размеров клеток основной

ткани. Благодаря отсутствию обновления, такие стволы не могут достигать особенно больших размеров, и предел их жизни обычно менее 100 лет. У драцен, юкк и других близких к ним представителей семейства лилейных со-здался особый способ роста в толщину: у них возникают деления клеток камбиального типа в перицикле — слое, отделяющем центральный цилиндр от коры. Этот перициклический камбий образует паренхиму и новые проводящие пучки в ней (рис. 75). Благодаря этому своеобразному утолщению создается возможность долголетия: драконово дерево (*Dracaena draco*, рис. 76) доживает, повидимому, до 200 лет. У наших деревьев предел жизни много больше.

Разрез пальмового ствола показывает, что каждый пучок изолирован от другого паренхимой, что неудобно в механическом отношении: клетки паренхимы не дают такой твердости, как клетки либриформа.

Перейдем теперь к более важному для нас строению тех деревьев, которые составляют главную массу наших северных лесов.

У хвойных деревьев имеется уже резкое разделение на кору и древесину.

Кора сосны представляет собой сложную систему тканей. Отметим в первую очередь наличие здесь феллогена, или пробкового камбия. Феллоген состоит из живых клеток, очень малых, содержащих густую протоплазму и крупные клеточные ядра и отщепляющих от себя снаружки клетки пробковой ткани, а к центру — клетки паренхимной ткани феллодермы. Пробка с поверхности шелушится, она может спадать целыми пластами, а затем снова нарастать

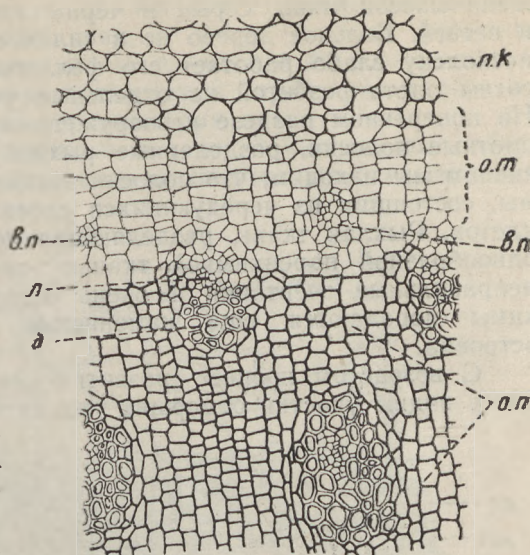


Рис. 75. Часть поперечного среза стебля драцены — древовидного однодольного растения: п. к — паренхима коры; о. т — пояс образовательной ткани (periциклическое кольцо); в. п — возникающие пучки; о. п — одревесневшая паренхима, в которой распределены пучки; л — лубяная часть пучка; д — древесинная часть пучка.



Рис. 76. Внешний вид драконова дерева (*Dracaena draco*).

благодаря феллогену. Шелушение пробки играет большую роль в жизни дерева. Как только деятельность феллогена ослабевает, на коре

начинают селиться лишай, мхи, водоросли и грибки. В лесу часто можно видеть, как какая-нибудь плухо растущая ель как бы заглушена массой мхов, серых и черных лишайников, свисающих с коры и ветвей. Большое дерево не в силах сбросить всех этих пришельцев, поскольку слабо работает его феллоген. Поверхность старых стволов сосны одета разбитой на отдельные участки и шелушащейся коркой. На поперечном разрезе невооруженному глазу представляются тонкие плотные полосы, разделенные рыхлой основной массой. Под микроскопом мы находим, что полосы эти являются в виде поясов перидермы, состоящих из чередующихся слоев толстостенных и тонкостенных клеток. Рыхлая ткань, разделяющая полосы перидермы, оказывается однообразной паренхимной тканью, отмершие клетки которой имеют неправильные очертания и очень богаты смолой. Среди этой паренхимы попадаются еще каменистые клетки, нередко образующие островки.

С возрастом процесс развития корки переходит с коры на луб. Здесь видны участки отмерших уже ситовидных трубок, выделяющиеся

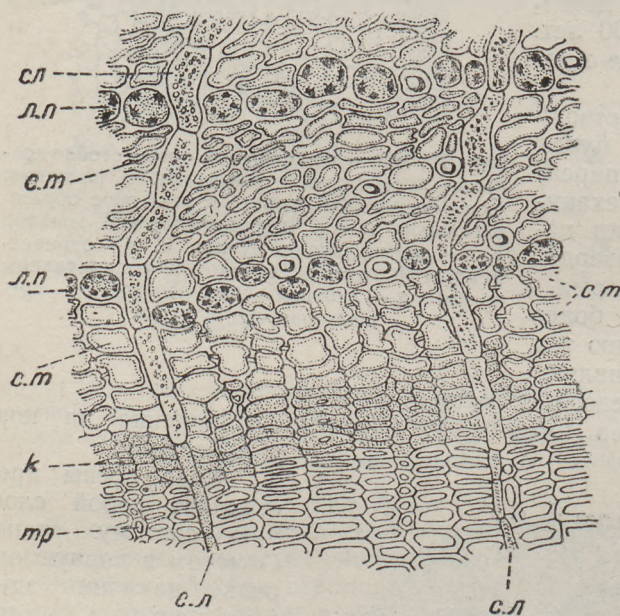


Рис. 77. Поперечный срез через луб сосны: с. т — ситовидные трубки; л. п — лубяная паренхима; к — камбий; тр — трахеиды; с. л — сердцевинный луч.

среди лубяной паренхимы правильным расположением своих элементов, так как ситовидные трубки хвойных не имеют спутников, участки их состоят из одинаковых клеток, узких, вытянутых по тангенсу, как клетки камбия, из которых они произошли (рис. 77).

Под лубом — камбий, за ним древесина, главной основой которой являются проводящие воду трахеиды. У хвойных нет деления на проводящие и механические ткани. Те же клетки, которые проводят воду, являются и клетками опоры, клетками скелета; их толстые одревесневшие

стенки выдерживают и давление, и растяжение, и сжатие, тогда как поры в этих стенках пропускают воду, и общая масса всех этих трахейд тянет воду вверх, как фитиль. В самом центре распила можно заметить некоторый участок паренхимных клеток, которые являются сердцевинной, но здесь они одревеснели и слились с массой древесины.

На поперечном срезе через древесину сосны (рис. 78) прежде всего бросается в глаза масса однообразных клеток: некоторые с более массивными стенками, другие — с более тонкими. Весенняя древесина отличается менее утолщенными оболочками, поздняя осенняя — более толстыми. Затем среди той же ткани нетрудно заметить окошко, обрамленное неодревесневшими вытянутыми клетками, лежащими концентрически вокруг отверстия. Это смоляной ход, обрамленный своим эпителием, — выделительными клетками, которые выделяют в полость хода смолу. Смола у хвойных скапливается в выделительных клетках и выполняет смоляные ходы.

Далее обращают на себя внимание полоски из клеток, которые пересекают древесину радиально — от сердцевины к коре. Это так называемые сердцевинные (или радиальные) лучи. Они состоят из клеток, расположенных в один ряд, и несут особую функцию: в стебле, наряду с вертикальным током, имеется и горизонтальный ток — из коры через луб и древесину к сердцевине и обратно. Этот ток идет только по клеткам сердцевинных лучей.

Каково значение этого горизонтального тока? Осенью мы наблюдаем, что сердцевинные лучи переполнены питательными веществами.

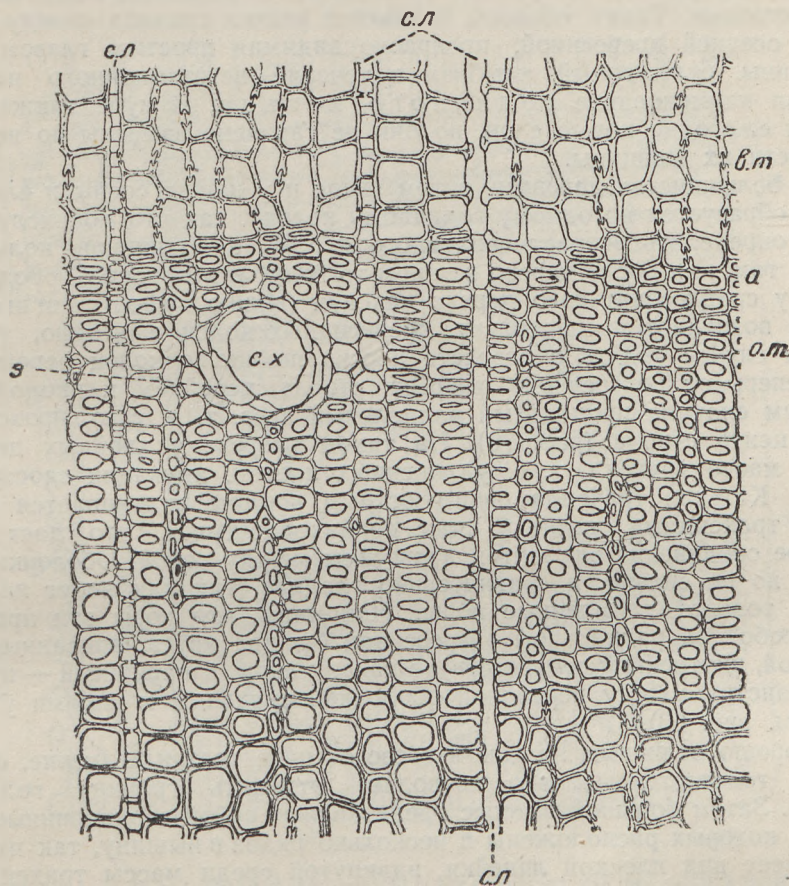


Рис. 78. Поперечный срез через древесину сосны (*Pinus sylvestris*): а — граница между весенними (в. т) и осенними поздними (о. т) трахеидами; с. л — сердцевинный луч; с. х — смоляной ход в виде полости, окруженной клетками эпителия (э).

чаще всего зернами крахмала. Зерна крахмала отлагаются во всех живых клетках внутренней части ствола: нередко с наступлением холодов крахмал заменяется жирным маслом, которое, благодаря своим физическим свойствам, защищает от промерзания всю толщу ствола. Ранней весной масло и крахмал переходят в сахар, присутствие которого легко обнаружить в так называемой пасоке, т. е. соке, вытекающем весной из пораненных стволов. В непораненных деревьях пасока по древесине устремляется в почки и способствует разворачиванию листьев. Все части раскрывающихся почек растут за счет веществ, входящих в состав пасоки, обилием которой и объясняется быстрота разворачивания листьев деревьев весной.

Горизонтальный ток необходим для растений: в течение лета и осени по нему из ситовидных трубок вещества переходят в древесину

и сердцевину ствола, по нему же весной эти вещества частично переходят снова в ситовидные трубки и идут на питание корней, тогда как, поднимаясь по древесине, идут к почкам.

Как видите, тонкий сердцевинный луч играет значительную роль, имея определенную функцию в жизни растений.

Необходимо обратить внимание на годовичные кольца. На любом поперечном срезе мы ясно видим концентричные круги. Происходят они от того, что весной камбий дает группу крупных трахеид, летом рост древесины идет медленнее, чем весной, и все элементы древесины мельчают; последние элементы, откладываемые камбием, исключительно толстостенные. Таким образом возникает резкая граница между весенней и осенней древесиной, прекрасно видимая простым глазом. Слой древесины, отложенный камбием в течение вегетационного периода, получил наименование годовичного кольца. В лубе также отлагаются ежегодно новые слои, но они не так ясно заметны по незначительности их толщины.

У большинства деревьев, в том числе и у наших сосны и ели, ежегодно образуется по одному годовичному кольцу, так что по числу колец легко определить возраст спиленного дерева, а по ширине кольца судить о том, как росло дерево в таком-то году. У некоторых пород, в том числе у среднеазиатского дерева саксаул (*Haloxylon ammodendron*) возникает по несколько древесинных колец ежегодно, так что в этом случае судить о возрасте дерева по числу колец невозможно.

Теперь от поперечного разреза ствола перейдем к продольному. Возьмем сначала продольный радиальный срез, т. е. срез, проходящий через центр ствола (рис. 79). На таком разрезе у хвойных деревьев видна масса трахеид, т. е. удлинённых клеюк, имеющих заостренные концы. Каждая трахеида своим острым концом вклинивается между двумя трахеидами, выше и ниже ее находящимися, что дает очень прочное соединение элементов древесины между собой. Оболочки утолщены, но не сильно, и сравнительно гладкие, так как несут исключительно только окаймленные поры. Напомним, что поры эти представляют собой на радиальном разрезе как бы два круга, вписанных один в другой, внутренний соответствует каналу поры, а наружный — пустому пространству между первичной оболочкой трахеиды и слоями утолщения (см. рис. 63).

Хорошо отличимы на таком срезе осенние трахеиды, узкие, сравнительно толстостенные, что позволяет отметить границу годовичного кольца. Затем большой интерес представляют собой сердцевинные лучи, клетки которых расположены в несколько рядов ввышину, так что весь луч имеет вид плоской линейки, вдвинутой среди массы трахеид. Это тем важнее, что на поперечном срезе мы легко могли совершенно неверно вообразить, будто бы сердцевинный луч идет сверху вниз через всю толщу древесины.

У сосны клетки сердцевинного луча на радиальном разрезе не одинаковы, средние ряды клеток имеют гладкие, довольно толстые, с простыми крупными порами стенки, а клетки, расположенные по верхнему и нижнему краю луча, имеют неровные, сильно зубчатые внутренние стенки и окаймленные поры. Физиологи выяснили, что эти наружные клетки проводят воду. Они связаны с ксилемой, а средние клетки каждого луча — проводят пластические вещества. Оба тока — восходящий и нисходящий — разделены и здесь.

Возьмем теперь тангентальный срез (рис. 80), т. е. срез продольный, но не проходящий через сердцевину. Теперь трахеиды даны в продольном разрезе, стенки их кажутся параллельно идущими двухконтурными линиями, и лишь изредка попадаются скошенные и заостренные концы. В стенках трахеид видны как бы вилочки, идущие одна навстречу другой, — это окаймленные поры в разрезе.

Сердцевинные лучи выглядят теперь как веретена с широкой серединой и суженными концами. У смоляных ходов полость может быть при разрезе вскрыта, и тогда виден только слой выстилающих ход смолоотделительных клеток.

Если хвойные деревья имеют такую структуру, то каково строение наших лиственных деревьев?

Возьмем поперечный разрез ветки липы (рис. 81) или другого дерева: ясно видно деление на луб, камбий, древесину и сердцевину, резко выступают годовичные кольца и сердцевинные лучи. В древесине высту-

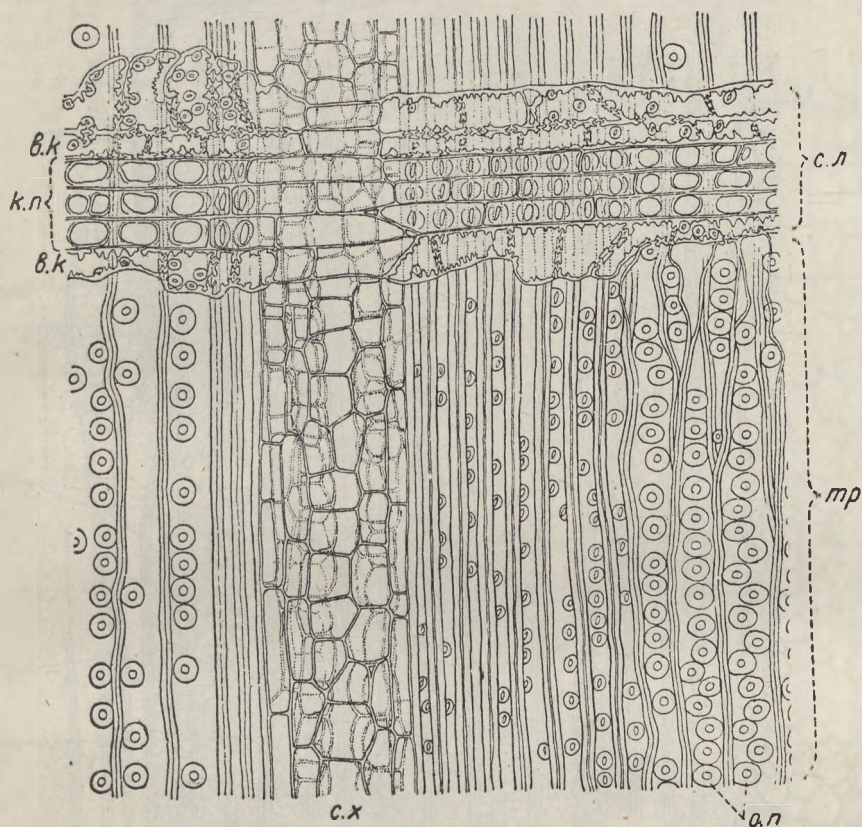


Рис. 79. Продольный радиальный срез через древесину сосны; *тр* — трахеиды с окаймленными порами (*о. п.*); *с. л* — сердцевинный луч; *в. к* — клетки сердцевинного луча, проводящие воду; *к. п* — клетки, проводящие пластические вещества; *с. х* — смоляной ход.

пают более крупные отверстия весенних сосудов — сквозных полых трубок, идущих от корней к листьям. Среди них более мелкие сосуды и трахеиды, наконец, совсем мелкие механические элементы либриформа. Особенно характерны крупные сосуды весенней древесины у дуба.

Камбий представлен очень узкой полоской клеток. Клетки его мелкие и никогда не вырастают более крупными, потому что при дальнейшем росте превращаются или в клетки древесины, или в клетки луба.

Если разрезана была молодая ветвь, на которой еще уцелел эпидермис, то можно проследить, как с ростом пробковой ткани закладываются под устьицами молодые чечевички. С ростом ветки эпидермис сбрасывается, и наружной частью коры становится перидерма, состоящая из пробковой ткани феллогена и феллодермы. За перидермой — узкая по-

лоса коровой паренхимы. В лубе яркие белые пятна соответствуют группам лубяных волокон или стереому луба, темные — участкам ситовидных трубок и их спутников. Промежутки между участками проводящих и механических элементов заняты лубяной паренхимой.

На поперечном срезе через древесину хорошо видно, что ширина годичных слоев в разные годы неодинакова. Лето у нас протекает различно: то бывает ранняя весна и поздняя осень, то поздняя весна и ранняя осень, все эти вариации отражаются на древесине. По любому распилу дерева, взятому в наших лесах, можно сказать, какой год был более благоприятным и какой менее благоприятным для роста дерева.

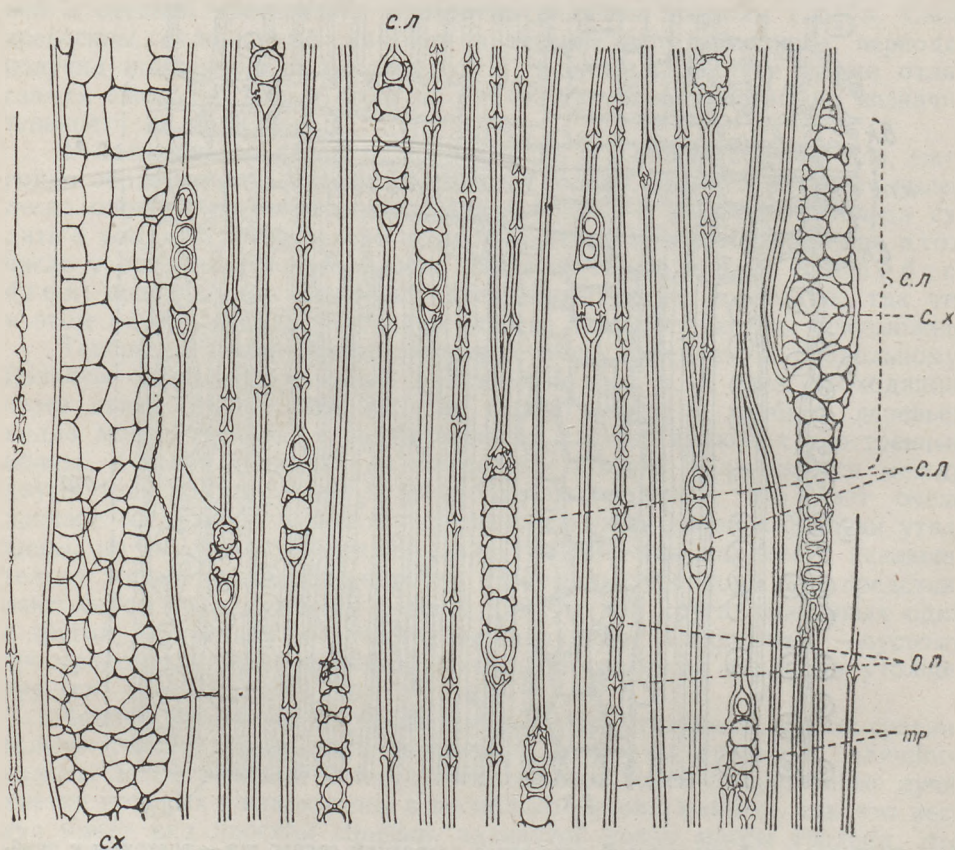


Рис. 80. Продольный тангентальный срез древесины сосны: *тр* — стенки трахеид с окаймленными порами в разрезе (*о. п.*); *с. х* — смоляной ход; *с. л* — сердцевинные лучи; *сх* — смоляной ход в сердцевинном луче.

По тому же разрезу ствола можно установить, когда дерево было стеснено соседними деревьями и крона его не могла правильно развиваться, ассимиляция была замедлена, листья работали вяло и посылали мало питательных веществ по ситовидным трубкам в ствол. Если затем соседние деревья были срублены, и затенение прекратилось, то работа листьев стала интенсивнее. В период затенения ствол такого дерева давал узкие годичные слои, в период же нормального освещения — широкие.

По ширине годичных колец мы восстанавливаем историю дерева. Древесина, как и всякая ткань, которая работает, с течением времени изменяется. У многих деревьев мы замечаем, что в стволе их образуется темная центральная часть — ядро. Оно очень хорошо видно на поперечных срезах акации, ольхи, на тропическом черном дереве. Эта

густо окрашенная внутренняя часть постепенно превращается из проводящей ткани в ткань частью механическую, частью выделительную, потому что сосуды и трахеиды закупориваются продуктами выделения, различными смолистыми, дубильнокислыми и прочими соединениями. Многие из них используются в красильном деле, например, кампешевое

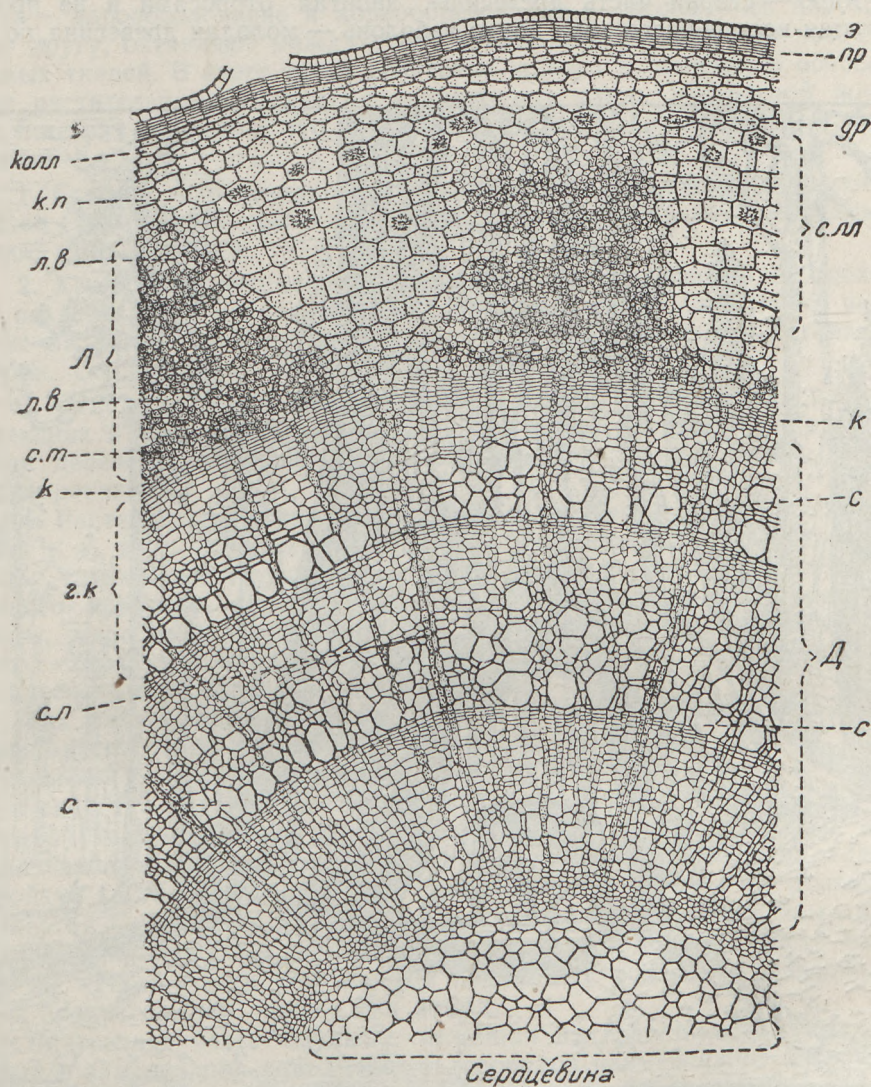


Рис. 81. Поперечный разрез через ветку липы (*Tilia cordata*): э — эпидермис; пр — пробка; колл — колленхима; к. п — клетки коровой паренхимы, в некоторых — друзы (др); л — луб; с. т — ситовидные трубки; л. в — лубяные волокна; с. л. л — сердцевинный луч луба; к — камбий; Д — древесина, в ней заметны три годичных кольца — з. к; с — сосуды весенней (ранней) древесины; с. л — сердцевинные лучи.

дерево. Другие годны для дубления кож; так, древесина каштана (*Castanea vesca*) дает большой процент дубильной кислоты.

Ядро — это темная внутренняя часть древесины, а заболонь — ее светлая наружная часть.

Ядро не работает активно, а только поддерживает стебель, в случае порчи ядра дерево физиологически страдает мало. Известны случаи, когда старое дерево совершенно теряло ядро, которое выгнивало, и все-таки дерево продолжало жить и снаружи не имело никаких по-

вреждений. В гор. Смирне долго показывали платан, в котором ядро совершенно выгнило и исчезло, ствол его лопнул, разбился на две подпорки, но заболонь уцелела и дерево продолжало покрываться густой листвой, хотя сквозь него, как в ворота, могли проезжать повозки и всадники.

Ядро — старая часть древесины, забитая отбросами и не пропускающая восходящего тока воды; заболонь — молодая древесина, по ко-



Рис. 82. Внешний вид мамонтового дерева (*Sequoja gigantea*).

торой и идет восходящий ток от корней в листья. Нисходящий ток от листьев в корни, идущий по лубу, питает и камбий ствола.

Какого возраста и размеров могут достигать стволы деревьев? Мамонтово дерево (*Sequoja gigantea*, рис. 82), хвойное из семейства таксодиевых, до 155 м высоты, — дало возможность насчитать на распилах до 6000 лет. Такое дерево пережило всю писанную историю человеческого рода.

Деревья тисса доживают до 3000 лет при высоте в 50 м, каштаны — до 700 лет, дубы и платаны — более 1000 лет, липы и оливковые деревья — до 700 лет. Во всех них большой процент отмершей древе-

сины в виде ядра, но имеются заболонь и луб. Работа камбия ежегодно обновляет проводящие ткани, что и поддерживает жизнь. Даже в тысячетлетнем дереве часть ткани является однолетней.

Итак, мы видим, что в процессе образования ядра закупориваются внутренние, отработавшие ткани, с другой стороны, развитие корки освобождает растение от его старых наружных элементов. Оба процесса — ядрообразование и коркообразование, — продвигаясь навстречу друг другу, оставляют между собой узкую полосу постоянно возобновляемых тканей. В итоге такое сочетание живого и отмершего обеспечивает растительному организму возможность столь длительной жизни.

Еще раз напомним, что перед нами четыре основных типа строения ствола:

1. Стволы папоротников, сложенные из отдельных проводящих пучков (стеблей), изолированных эндодермой от основной паренхимной ткани, их связующей.

2. Хвойные (голосеменные) растения, — вся древесина из трахеид, нет разделения на механические и проводящие ткани. Отчетливое разделение на кору и древесину. В лубе отсутствуют спутники ситовидных трубок. Сердцевинные лучи хвойных узкие, однорядные.

3. Стволы пальм и драцен, вообще стволы однодольных растений (имеющих в семенах одну семядолю), где пучки распределены одиночно среди деревенеющей паренхимы, или основной ткани, кора и камбий редуцированы.

4. Растения двудольные — ива, тополь, береза, бук, дуб, клен, липа, ясень и т. д., у которых мы находим дальнейшую дифференциацию стелы: ситовидные трубки имеют спутников, в древесине — сосуды различного диаметра, хорошо выражены специальные механические элементы, резко выделяются более или менее широкие сердцевинные лучи. Такой ствол мы считаем наиболее совершенным с точки зрения физиологического процесса.

Так как отношение между твердым либриформом и сосудами, степень одревеснения клеточных оболочек, толщина годовичных колец и удельный вес древесины весьма различны, то различны и ее физические свойства. Древесина лиственницы тонет в воде, береза отличается высокой калорийностью, дуб — твердостью и т. д. С отличиями этого рода связано и практическое использование древесины: одна идет на стройку, другая — на мебельное производство, третья — на целлюлозу, четвертая — на спички и пр. Самой жизненной частью древесины является заболонь, наиболее деятельной будет самая молодая часть ее, более же старые части тем меньше принимают участия в физиологических процессах, чем глубже они лежат.

Внутренняя часть заболони, лежащая на границе ядра, а у иных пород и заменяющая ядро, носит у лесоводов наименование спелой древесины. Она выделяется на свежих срезах, как более светлый участок, и отличается от заболони тем, что она беднее запасными питательными веществами, а также и водой. Спелая древесина имеет вид очень узкой полоски, опоясывающей ядро, например, у крушины или широкой полосы вокруг ядра, как у алычи, или, наконец, расположена сплошным массивом, занимающим центральную часть ствола, — у рябины и пихты. Боковые ветки отличаются от главного ствола тем, что в их древесине меньше либриформа и больше древесной паренхимы, которая нередко превращается в настоящую запасную крахмальную ткань.

Движение вообще возможно всюду, где механические ткани не препятствуют живым клеткам менять свою форму и свое положение.

Движения стебля связаны с его ростом. Стебель (у большинства растений) растет верхушкой, на которой находится состоящая из меристемы точка роста (рис. 83), в ней же закладываются и листья; кроме того,

в пазухах листьев сохраняются участки меристемы, из которой образуются боковые ветки. Проводящие пучки побега закладываются именно в этой точке контакта стебля, листа и ветки. Отсюда они распространяются вверх по листу, образуя сеть его жилок, и вниз по стеблю. Предполагается, что дифференциация проводящих пучков стебля стимулируется растущим листом, в котором вырабатываются гормоны. Пучок, идущий по стеблю вниз от листа, называют листовым следом. Впоследствии, с развитием пазушной ветки, в проводящую систему стебля входят и следы веточные.

В пределах почки листовые следы разных листьев еще коротки. Они изменяются вместе со стеблем по мере вытягивания его между

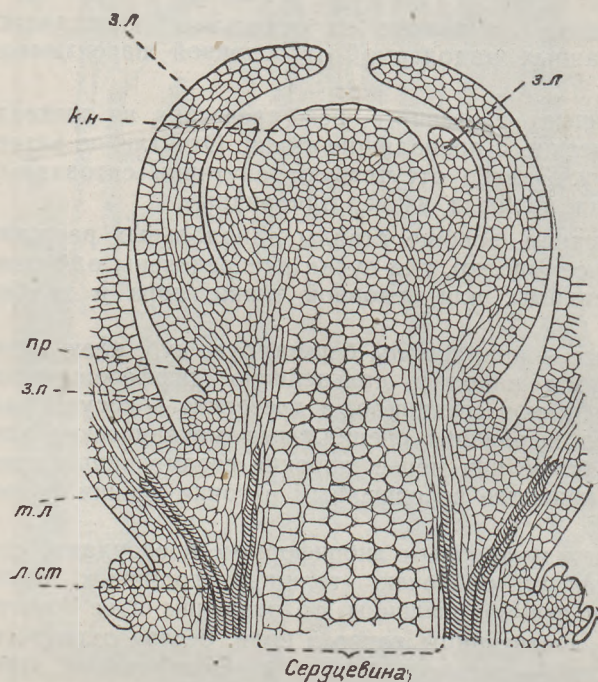


Рис. 83. Продольный разрез через верхушку стебля с точкой роста; *к. н.* — конус нарастания, прикрытый зачатками листьев — *з. л.*; *з. п.* — зачатки пазушных почек; *пр* — прокамбий; *т. л.* — спиральные трахеиды и сосуды развивающегося листа; *л. ст.* — примыкание листового пучка к лубу и древесине стебля.

узлушку стебля соломины книзу. Но вот пришло 2—3 дня и рожь снова поднялась, так как стебель в нижней своей части изогнулся, причем сгибы пришлись на нижние части междоузлий, как раз над узлами (рис. 84). Произведенные измерения покажут, что в местах изгиба растущие участки стебля удлинились с нижней стороны и не росли с верхней, что и подняло колос до его первоначального положения, несмотря на то, что горшок лежит горизонтально.

В чем дело? Рост зародышевых тканей идет неравномерно и при этом всегда под влиянием внешней среды. Во внешней среде будем мы искать такие силы, таких раздражителей, которые, действуя на клетки, усиливают их рост или замедляют. Первым таким влиянием будет влияние силы тяжести, она сообщает растению раздражение и вызывает накопление в нем особых веществ, которые называются гормонами, ауксинами или ростовыми веществами. Возьмите любое комнатное растение с прямым стеблем, положите его горизонтально, — через некоторое время стебель растения изогнется и поднимет свою верхушку верти-

узлий. У хвощей и злаков хорошо заметно, как растет участок ткани, находящейся под защитой окружающего стебель листового основания или листового влагалища. Если вырвать у одного из этих растений стебель из укрывающего его листового органа и скусить его, то ясно почувствуешь сладковатый вкус, — наличие в тканях сахара; кроме того, они почти белые и мягкие. Благодаря росту таких вставных поясов и развиваются междоузлия. Этот рост получил название интеркалярного, или промежуточного, вставочного.

Сделаем такой опыт. Вырастим рожь в горшке. Выросшее растение положим горизонтально. Колос своей тяжестью пригнет вер-

кально вверх. Если вы тщательно измерите при этом изогнувшуюся часть, то окажется, что нижняя сторона стебля удлинилась сравнительно с верхней. Иначе говоря, нижняя сторона растущей части стебля под влиянием силы тяжести выработала гормон роста — ауксин, который вызвал ускорение роста клеток и тканей, обращенных книзу. Такой неравномерный рост под влиянием силы тяжести назван был геотропизмом. Известен следующий опыт: если поместить молодое растение на равномерно вращающееся колесо и таким образом как бы освободить его от действия силы тяжести, то влияние последней на рост проявляться не будет.

Другая причина искривления растущего стебля — это одностороннее действие света. У комнатных растений часто можно видеть, как верхушка стоящего на окне растения наклоняется в сторону улицы, где светлее. Растение как бы ищет света, на самом же деле легко измерениями доказать, что свет задерживает рост и что обращенная к свету сторона стебля короче той, которая затенена со стороны комнаты. Здесь ауксин собирается в клетках затененной стороны и отсутствует на стороне освещенной.

Если одновременно действуют сила тяжести и свет, то изгибы верхушки стебля могут оказаться сложными. Действие силы тяжести на стебель вызывает реакцию отталкивания, стремление расти вверх, прочь от притягивающего влияния земли, поэтому мы говорим, что у стебля появляется отрицательный геотропизм.

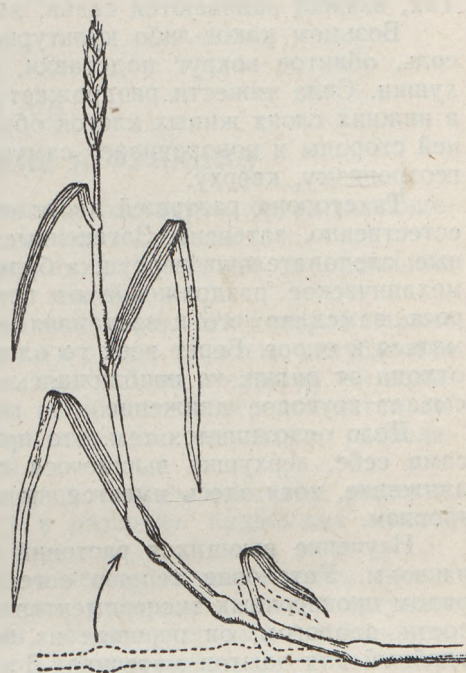


Рис. 84. Геотропический изгиб стебля злака

Наоборот, действие света как бы притягивает верхушку стебля, растение стремится к свету, следовательно, по отношению к свету проявляет положительный фототропизм. Фототропические изменения роста целесообразны, так как ставят листья в положение наиболее благоприятное для фотосинтеза.

Надо, однако, оговорить, что на самом деле растение ни к чему не «стремится», у него нет нервов и подавно нет центральной нервной системы. Живые клетки реагируют целесообразно на внешние раздражения выработкой гормонов и соответственным изменением осмотического процесса, растягивающего клетку и заставляющего ее расти. Объясняя целесообразность явлений неравномерного роста, мы, с одной стороны, исходим из данных физиологии, основанных на точных опытах; с другой стороны, должны обращаться к естественному отбору, к выживанию лишь тех растительных особей, которые имеют целесообразно сложившиеся наследственные свойства.

Большинство растений имеет прямостоящие стебли, но есть растения с лежащими стеблями, опирающимися на почву, или ползучими, у которых простертые на земле стебли в узлах укореняются, например, белый ползучий клевер; существуют растения со стеблями цепляющимися, которые цепляются за соседние растения с помощью усиков закручивающихся листовых черешков, как, на-

пример, ломонос, или шипов, как, например, ежевика. У всех этих растений слабое развитие механических тканей сочетается с большим развитием тканей активных, т. е. ассимиляционных, запасных и проводящих.

Особой чувствительностью к внешним раздражениям отличаются растения вьющиеся. Они не обладают достаточным развитием механических тканей, чтобы держаться прямо, поэтому они поднимаются вверх с помощью какой-либо опоры и обвиваются вокруг последней. Медленно поднимающейся спиралью охватывает стебель прямостоячую опору, причем большинство вьющихся растений охватывает опору слева, меньшинство — справа, что является свойством определенного вида. Так, вьюнки завиваются слева, хмель — справа.

Возьмем какое-либо культурное вьющееся растение, например, фасоль, обвитое вокруг подставки, и проследим за движением его верхушки. Сила тяжести раздражает растущую верхушку снизу, вызывает в нижних слоях живых клеток образование ауксина, ускоряет рост нижней стороны и поворачивает самую верхушку, согласно отрицательному геотропизму, вверх.

Та сторона растущей части стебля, которая прижата к подставке, естественно, затенена. Затененные части растут сильнее, чем освещенные, следовательно, верхушка будет отворачиваться от опоры. Наконец, механическое раздражение от прикосновения к ней также влияет на рост, замедляя его и заставляя верхушку вьющегося стебля прижиматься к опоре. Берет верх то одно, то другое влияние, и верхушка, то отходя от палки, то приближаясь к ней, и, все время поднимаясь, описывает круговое движение.

Дело осложняется тем, что при отсутствии опоры, предоставленная сама себе, верхушка вьющегося стебля все-таки производит круговое движение, хотя здесь имеется, повидимому, только отрицательный геотропизм.

Изучение вьющихся растений было поставлено впервые Ч. Дарвином. Установив теорию естественного отбора, он занялся целым рядом проверочных экспериментов. Будучи по своей основной специальности зоологом, он перешел на ботанические темы, дававшие более удобный для опытов материал. Дарвин доказал, что любое особо замечательное свойство, выраженное у немногих растений настолько полно, что возбуждает общее удивление, — выработалось так же, как и все остальные, путем естественного отбора из слабо выраженного, еле заметного, но зато широко распространенного в растительном мире свойства. Так и в нашем случае способность виться есть крайнее выражение общего свойства кончика стебля расти неравномерно, то одной, то другой стороной, почему этот кончик и описывает все время круговое движение, отклоняясь в сторону и выпрямляясь. Движение это называется н у т а ц и е й, — говорят, что верхушка стебля «нутирует».

Если вьющееся растение перевернуть корнями вверх, верхушкой книзу, то стебель в силу свойственного ему отрицательного геотропизма сделает своей растущей частью петлю и обернется верхушкой вверх, после чего снова начнет виться, но уже в обратном направлении. Вместо того чтобы пассивно расти в прежнем направлении или погибать, он рационально изменяет свой рост под влиянием новых условий.

Можно сделать еще и такой опыт: если через короткие промежутки времени касаться кончиком карандаша растущей верхушки, то стебель даст резкий изгиб. Такая реакция на внешнее механическое раздражение получила название т и г м о т р о п и з м а. Свойство это, широко распространенное у всех растений, резче проявляется у проростков, чем у взрослых растений.

ГЛАВА VII

КОРЕНЬ, ЕГО СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Корень — это орган всасывания водных растворов, орган поглощения воды и минеральных солей и подачи их в стебель.

Вторая функция корня — механическая, закрепление за растением наилучшего положения по отношению к земле.

С этими двумя функциями связана еще одна, без которой первые две не могли бы осуществляться. Корень роет землю, углубляется в почву по мере своего роста, при этом, так же как и стебель, он испытывает различные изгибы. Конец корня изгибается и передвигается соответственно с потребностями растения и в конечном результате располагается в наиболее влажном слое почвы.

Корень может также становиться вместилищем запасных веществ, которые потом расходуются на рост и развитие надземных частей растения.

Наконец, мы видим, что, находясь в земле, корни у очень многих растений являются органами, посредством которых растение вступает в тесную связь с другими организмами, создавая своими выделениями условия для так называемого симбиоза (сожительства), причем вступающие в симбиоз организмы совместно участвуют в процессах поглощения и переработки питательных веществ.

1. Корень как орган всасывания. Корни располагаются в почве, где почти всегда есть свободная или связанная частицами почвы вода. Дождевые воды или воды водоемов, проникая в почву, пропитывают ее, растворяют минеральные частицы и дают так называемый почвенный раствор. Этот-то почвенный раствор и всасывается корнями.

Как построен всасывающий аппарат корня? Если взять молодой корешок, то видно, что он имеет вид цилиндра, заканчивающегося закругленным конусом. В этом цилиндре легко заметить целый ряд анатомо-морфологических особенностей, которые объясняют нам механизм работы корня.

Прежде всего обратим внимание на то, что кончик корня защищен тканями чехлика, которые постоянно снаружи шелушатся.

Продольный разрез верхушки корня показывает (рис. 85), что она состоит из эмбриональной ткани — меристемы, клетки которой имеют тонкую оболочку, очень крупные ядра и густо наполнены протоплазмой. В центре выделяется группа клеток с еще более густым содержимым. Затем лежат рядами клетки, среди которых местами проходят черные полоски — это воздух в межклетниках. Далее бросается в глаза по периферии слой клеток, вытянутых перпендикулярно к длине корня, это будущая покровная ткань — эпидермис.

Таким образом, кончик корня делится как бы на три группы клеток. Главную массу составляют клетки, разделенные межклетными ходами, в которые проникает воздух. Намечается уже будущий эпидермис, а также будущий центральный цилиндр. Таким образом меристема дифференцирована на три слоя: наружный, из которого возникает эпидермис и клетки которого делятся исключительно перпендикулярно к поверхности, средний и внутренний. Наружный получил название *дерматогена*, т. е. производителя кожицы, средний — *перилемы*, из нее образуется коровая паренхима, и внутренний — *плеромы*. Из плеромы возникает проводящая система корня¹.

Книзу от меристемы лежит еще масса клеток, большей частью жи-

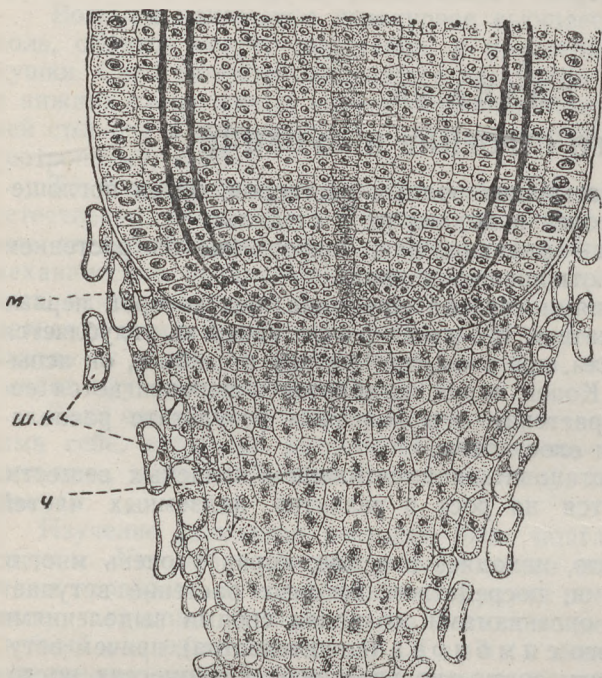


Рис. 85. Продольный разрез кончика корня: *м* — меристема (первичная образовательная ткань); *ч* — чехлик; *ш. к.* — шелушащиеся клетки чехлика.

вых (с ядрами и протоплазмой), но не одинаковых. Вблизи меристемы они мельче и в них мало вакуолей, по мере же удаления от меристемы они как бы разрастаются, в них появляются крупные вакуоли, а связь между ними становится все рыхлее, так что самые наружные уже отделяются от соседних с ними клеток и опадают. Все эти многочисленные клетки образуют в совокупности «чехлик» корня.

Объяснение этого нового для нас органа таково: меристема корня при движении его в почве часто соприкасается с острыми обломками камешков и другими предметами, которые могут причинить ей различные повреждения. Естественный отбор выработал приспособление, которое и за-

щищает кончик корня от разрушения — чехлик.

Чехлик все время растет, он образуется благодаря тому, что в кончике меристемы возникает группа быстро делящихся клеточек (так называемый калиптрогенный слой), из которых и образуется чехлик. Корень как бы жертвует частью своих клеток, защищаясь этим самым от механических повреждений. Совершенно ясно, что чехлик, будучи необходим при работе корня в твердой почве, будет менее развит там, где земля очень рыхлая, и совсем бесполезен там, где трения и опасности порезов нет, т. е. у корней, находящихся в воде. И действительно, у большинства водяных растений (у кувшинок и др.) мы или не находим чехлика вовсе, или, если корни роют ил, чехлик есть, но слабо развит. Говорят, что исключения подтверждают правила, — так ли это? Рассмотрим водное растение ряску (*Lemma minor*, рис. 86), сплошной зеленой пеленой одевающую многие пруды. Ряска состоит из плоского линзообразного лопастного стебелька и вертикально вниз направленных

¹ Подобное разграничение меристемы на три слоя наблюдается не всегда. *Ред.*

прямых неветвистых корешков. Смотришь на свет и ясно видишь на конце каждого корешка довольно длинный защитный слой, как бы палец, отрезанный от перчатки. Откуда же он взялся, ведь в воде чехлика не должно быть?

Дело в том, что корень ряски не главный корень, т. е. не корень, заложённый еще в семени, это — корень придаточный, возникающий позднее из толщи зеленого стебелька. Возникая в тканях стебля, корень ряски упирается по мере своего роста в эпидермис, начинает его растягивать, примерно как палец перчатки на нашем пальце. Получается образование, которое называется уже не чехликом, а колпачком (рис. 86).

Чем отличается колпачок от чехлика? Чехлик все время растет, у него своя эмбриональная ткань, тогда как у колпачка нет образовательной ткани, и клетки его, оторванные от эпидермиса стебля, медленно отмирают на поверхности корня; это клетки другой формы, другого содержания, их хлорофилльные зерна, зеленые вначале, буреют и более не восстанавливаются, никакого роста здесь нет. Таким образом, колпачок существенно отличается от чехлика и по происхождению и по форме своих элементов. Функции же у них сходные — защита кончика корня.

Выше чехлика, внутри молодого корня, начинает просвечивать сравнительно плотная, более темная масса клеток, которая еще выше складывается в плотный стержень. Этот стержень мы называем осевым цилиндром или стелой корня, это его проводящая часть.

В осевом цилиндре образуются постепенно сосуды и трахеиды, такие же, как и в стебле. Вода, всасываемая корнем, по этим сосудам пойдет в стебель и через стебель в листья. Осевой цилиндр окружен паренхимной корой.

Однако прежде чем изучать проведение воды в корне, пополним наши сведения о всасывании ее.

Там, где заметно начало образования осевого цилиндра, находится всасывающая зона корня; здесь клетки эпидермиса дают выросты, называемые корневыми волосками (рис. 87 и 88). Ниже они коротки, затем чем выше — тем длиннее, а самые верхние увядшие. Ясно, что они разного возраста, нижние — молодые, а самые верхние — самые старые. Отдельные клетки эпидермиса разрастаются так, что вытягиваются [в слепые трубочки, достигающие 2,5—3 мм в длину. Редко, например, у растений, вырастающих во влажном воздухе, они достигают 8—9 мм. Корневые волоски] часто изгибаются, встречая в почве препятствия. В таких волосках-трубках ядра всегда находятся на самом конце, погруженные в тонкий постенный слой протоплазмы.

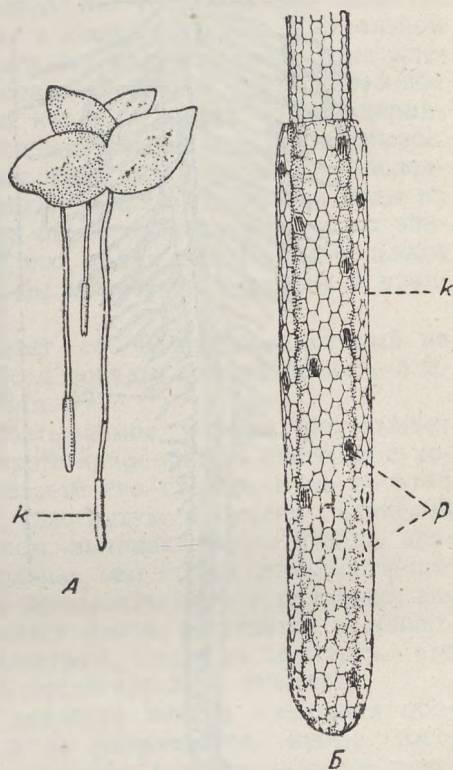


Рис. 86. Ряска (*Lemna minor*): А — общий вид; Б — кончик корня с колпачком (к); в колпачке видны клетки с рафидами (р).

Корневой волосок является выростом клетки эпидермиса (см. рис. 47). Он всегда одноклетен и представляет собой осмотический прибор, т. е. в нем всего важнее плазматическая перепонка, всасывающая растворы минеральных солей и выделяющая наружу органические растворы. Она обладает избирательной способностью, т. е. в зависимости от своего химического состава пропускает определенные вещества и не пропускает другие. Корневые волоски — это могучее орудие всасывания. Корневые волоски свойственны громадному большинству растений.

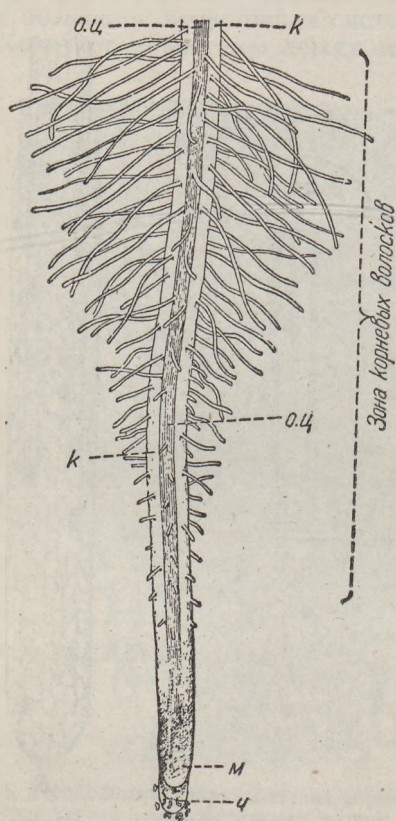


Рис. 87. Кончик молодого корня с зоной всасывания: *к* — кора корня; *о. ц* — осевой цилиндр; *м* — меристема (конус нарастания корня); *ч* — чехлик с шелушащимися клетками.

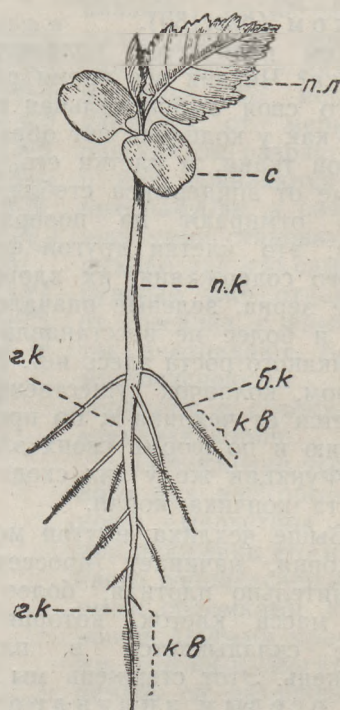


Рис. 88. Проросток граба (*Сagripus*). *г.к.* — главный корень; *б.к.* — боковые корни; *к. в.* — зоны корневых волосков; *с* — семядоли; *п.к.* — подсемядольное колено; *п. л.* — первые листья.

Там, где не хватает корневых волосков, всасывание идет просто через эпидермис, но поверхность эпидермиса, конечно, незначительна по сравнению с поверхностью корневых волосков. Если измерить общую длину волосков одного растения, то она будет исчисляться километрами, хотя они сами очень малы.

Корневой волосок — образование недолговечное; он вырастает, производит громадную работу по всасыванию почвенного раствора и затем отмирает, заменяясь новыми волосками на растущей части корня.

Как узнать, что всасывание производится именно этим участком корня, одетым корневыми волосками? Надо взять банку и налить в нее ртуть, воду и растительное масло. Жидкости эти, конечно, смешиваться не будут. Если затем взять вынутое из почвы растение и опустить в эту банку так, чтобы кончики корней были погружены в ртуть, зона корне-

вых волосков находилась в воде, а верхняя часть — в масле, то растение будет всасывать воду и не завянет. Стоит, однако, опустить растение так, чтобы корневые волоски погрузились в ртуть, или поднять его с тем, чтобы корневые волоски попали в масло, растение быстро завянет, хотя значительная часть корня все же будет в воде. Дело в том, что ни нижняя, ни верхняя часть корня воды не всасывают, всасывает только та часть, которая покрыта корневыми волосками.

Трубочки корневых волосков, находящиеся между частицами почвы, встречают там почвенный раствор, который циркулирует по капиллярам между этими частицами. Корневой волосок не что иное, как односторонне разросшаяся клетка эпидермиса, с одной крупной центральной вакуолью. Почвенный раствор, попадая в эту вакуоль, разжижает клеточный сок и, увеличивая его объем, создает сильное внутриклеточное давление. Одновременно в клетках коры корня, лежащих под эпидермисом, содержание сахара и органических кислот выше, чем в эпидермисе, благодаря чему создаются условия для вытягивания воды из последнего, а в клетках, лежащих глубже в коре, — для вытягивания воды из более наружных клеток. Получается как бы горизонтальный ток от эпидермиса к осевому цилиндру. Полагают, что, дойдя до него под большим внутриклеточным давлением, вода как бы врывается в сосуды и начинает подниматься вверх к стеблю.

Таким образом, корень представляет собой прибор, который не только всасывает воду, но и отдает ее в сосуды под давлением, благодаря чему вода поднимается к листьям.

Насколько сильно давление, вырабатываемое корнем, показывает опыт с так называемой пасокой. Вы берете какое-нибудь растение с хорошо развитой корневой системой, срезаете его стебель и на остаток стебля надеваете стеклянную трубку, изогнутую в форме латинской буквы S; она быстро переполнится соком, вытекающим из стебля, причем объем сока будет значительно больше, чем объем всего оставшегося растения. Если завязать верхушку срезанного стебля, например, виноградной лозы, пузырем, он переполнится соком, растянется и лопнет. Если заменить пузырь ртутным манометром, то легко заметить, что давление сока, вытекающего из раны, достигает 2—3 атмосфер.

Как же выдерживает подобное давление тонкая клеточная оболочка? Она упруга, растягивается, а не разрывается, кроме того, легко передает избыток сока соседним клеткам, поэтому развитые клетками коры корня давление и выражается в поднятии воды по сосудам стебля.

Перейдем теперь к веществам, поглощаемым растением с водой. Это будет минеральное, или зольное, питание растений. При полном сжигании растения мы получим выделение газообразной углекислоты, паров воды, азота и твердый остаток, известный под именем золы. Химический анализ подсказывает, что зола — это смесь минеральных веществ, входивших при жизни в состав растения, многие из которых ему необходимы. На вопрос, из чего состоят растения, мы отвечаем: из углерода, составляющего 45 проц. общего веса сухого растения, кислорода, составляющего 42 проц., водорода — 6,5 проц., азота, соответствующего 1,5 проц. и минеральных солей, в общем дающих 5 проц. сухого веса. Сухим весом мы называем тот вес, который получается при взвешивании частей растений, настолько тщательно высушенных в сушильном шкафу, что вес их остается неизменным после нескольких повторных просушиваний.

Состав золы непостоянен как для различных растений, так и для одного растения различного возраста, но все же калий, кальций, фосфор, сера, магний и железо присутствуют почти всегда. Кроме того, обнаружены хлор, марганец, алюминий, бор, кремний, а в отдельных случаях — цинк, медь, кобальт, никель, натрий, иод и др.

Когда ученые впервые обнаружили наличие всех этих элементов в золе растений, их заинтересовало как значение каждого элемента в жизни растений, так и источник его.

Мы уже ранее отметили, что углерод, кислород, водород и азот получили название органогенов, так как именно они-то и образуют органическое вещество, причем мы различаем более простые тройные безазотистые соединения, каковы углеводы и жиры, и более сложные четвертные азотсодержащие, каковы белки.

Количественно основным элементом всего состава растений является углерод. Как уже отмечено, углерод поглощается листьями в форме углекислого газа, кислород и водород поступают в растение в виде воды, — откуда же берутся остальные вещества?

Трудами многих ученых были выяснены источники каждого элемента золы. Все эти элементы присутствуют в почве, частью в виде минеральных образований, частью в виде сложных соединений, в которые входят также и органические вещества. Из почвы они всасываются корнями в виде почвенного раствора.

Какое значение имеют для растения отдельные минеральные вещества, вернее, отдельные элементы?

Для решения этого вопроса прибегают к методу водных культур. Проращивают семена, например, кукурузы, и культивируют их затем в дистиллированной воде (рис. 89), к которой прибавляют некоторое количество солей, находимых при анализе в их же золе. Один из таких растворов на 1 л воды содержит 1 г азотнокислого кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,25 хлористого калия (KCl); 0,25 сернокислого магния (MgSO_4) и 0,25 фосфорнокислого калия (K_2HPO_4) и несколько капель слабого раствора хлорного железа. В таком растворе растения проводят весь период вегетации, причем раствор возможно чаще меняется. Удавалось неоднократно получать зрелое плодоношение. Следовательно, азот, сера, фосфор, калий, магний, кальций и железо вполне обеспечивают рост и плодоношение¹.

Теперь поставим вопрос о значении каждого элемента (рис. 89).

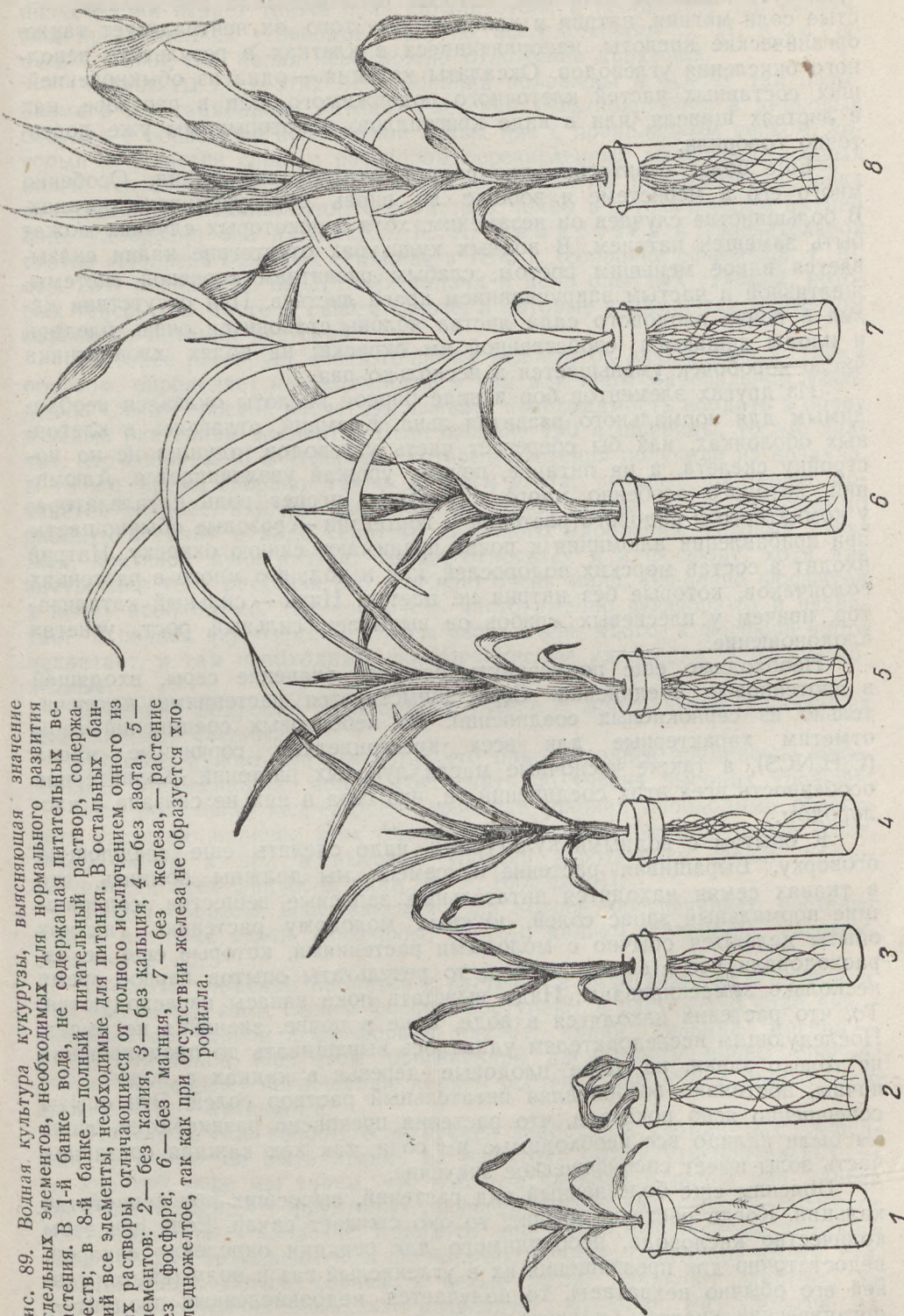
Если к указанному раствору не прибавлять железа, то растение будет первое время расти нормально, за исключением окраски. Оно совершенно не образует хлорофилла. Следовательно, по истощении запасных питательных веществ семени рост прекратится за невозможностью образования органического вещества вновь.

При отсутствии в растворе магния, который входит в состав хлорофилла, растение долго остается зеленым. Дело в том, что магния в семенах содержится процентно больше, чем в других частях растения, и он удовлетворительно перераспределяется в молодых листьях; позднее, однако, и здесь появляется желтое окрашивание вместо зеленого. Рост таких растений вообще сильно задерживается. Растение голодает без магния сильнее, чем без железа.

Фосфор входит в состав нуклеопротеидов ядра, поэтому отсутствие фосфора в растворе вызывает остановку ядерных делений и подавляет активность меристемы. Особенно резко сказывается отсутствие фосфора на росте корней, а в хозяйстве — на росте корнеплодов. Не мешает напомнить, что запас фосфора в семенах сохраняется, главным образом, в форме фитина (кислая кальциево-магнезиальная соль фосфорной кислоты). Фитин употребляется как лечебный препарат.

¹ Теперь доказано, что растения нуждаются также и в ряде других элементов (марганец, цинк, бор, алюминий, иод, хлор, кремний и некоторые другие), но в крайне незначительных количествах. Эти элементы называют микроэлементами. При постановке культур вносить их в питательный раствор не нужно, так как их следы обычно находятся в виде примесей в реактивах, а также вымываются из стеклянных стенок сосуда, в котором ведется опыт. *Ред.*

Рис. 89. Водная культура кукурузы, выясняющая значение отдельных элементов, необходимых для нормального развития растения. В 1-й банке вода, не содержащая питательных веществ; в 8-й банке — полный питательный раствор, содержащий все элементы, необходимые для питания. В остальных банках растворы, отличающиеся от полного исключением одного из элементов: 2 — без калия, 3 — без кальция; 4 — без азота, 5 — без фосфора; 6 — без магния, 7 — без железа, — растение бледножелтое, так как при отсутствии железа не образуется хлорофилла.



Отсутствие кальция приводит к резкому отравлению растения: оно мельче нормального, местами раздуто, листья очень узки. Кальций нейтрализует ядовитое действие, которое производят на протоплазму чистые соли магния, натрия и калия. Кроме того, он нейтрализует также органические кислоты, накапливающиеся в клетках в результате неполного окисления углеводов. Оксалаты кальция — одна из обыкновеннейших составных частей клеточного содержимого или в растворе, как в листьях щавеля, или в виде кристаллов, о которых мы уже достаточно говорили.

Еще более губительно для растений отсутствие калия. Особенно много его в меристеме и вообще во вновь образующихся органах. В большинстве случаев он незаменим, хотя в некоторых случаях может быть замещен натрием. В водных культурах отсутствие калия сказывается вдвое меньшим ростом, слабым развитием корневой системы, желтизной и частым закручиванием краев листьев. При отсутствии калия в почве плодового сада листва яблонь становится очень бледной и плоды лишаются свойственной им окраски; на полях хлопчатника число коробочек уменьшается в несколько раз.

Из других элементов бор в виде борной кислоты оказался необходимым для нормального развития льна. Кремний, отлагаясь в клеточных оболочках, как бы сберегает часть углеводов, идущих не на постройку скелета, а на питание, почему урожай увеличивается. Алюминий, которого особенно много в плаунах, играет роль катализатора; у комнатного и садового растения — гортензии — розовые обычно цветы при прибавлении алюминия к почве принимают синюю окраску. Натрий входит в состав морских водорослей, как и йод; его много в растениях солончаков, которые без натрия не цветут. Цинк — сильный катализатор, причем у плесневых грибов он вызывает сильный рост, угнетая плодоношение.

Необходимо еще подчеркнуть большое значение серы, входящей в протеиновые соединения. Сера заимствуется растениями исключительно из сернокислых соединений. Из небелковых соединений серы отметим характерные для всех крестоцветных горчичные масла (C_3H_5NCS), а также чесночные масла луковых растений. Характерная особенность всех этих соединений та, что сера в них не связана с кислородом.

К опытам с водными культурами надо сделать еще следующую оговорку. Выращивая растение из семян, мы должны помнить, что в тканях семян находятся питательные запасные вещества, содержащие нормальный запас солей, нужных молодому растению. Так как опыты делаются обычно с молодыми растениями, которые еще не израсходовали всего своего запаса, то результаты опытов первое время несколько замаскированы. Надо выждать пока запасы израсходуются. То, что растения находятся в воде, а не в почве, значения не имеет. Последующим исследователям удавалось выращивать до плодоношения не только злаки, но даже плодовые деревья в кадках с водой, без почвы, постоянно возобновляя питательный раствор солей. Эти опыты совершенно ясно показали, что растения прекрасно развиваются, лишь бы были налицо все необходимые им соли, так как каждая составная часть золы имеет специфическое значение.

Поясним еще болезненный вид растений, выросших при недостатке кальция. Когда растение дышит, то оно сжигает сахар. Если при этом количество кислорода, необходимого для реакции окисления сахаров, недостаточно для превращения их в углекислый газ и воду (внутри тканей его обычно нехватает), то получается недоокисленный продукт — органические кислоты, наличие которых в живых клетках парализует работу протоплазмы; рост приостанавливается, гармония роста отдельных тканей нарушается, и получается искривленное растение. То же

самое, но в еще большей степени относится и к калию, без которого ядовитые продукты обмена совершенно разрушают растительный организм. Калий играет также роль катализатора и необходим при различных превращениях углеводов; так, по исследованиям С. П. Костычева (1903), без калия невозможно оглощение крахмала.

Результаты всех этих исследований положены в основу так называемого вегетационного метода. Растения культивируются в цинковых сосудах с образцами испытуемой почвы или с прокаленным песком, который поливается слабым раствором перечисленных выше минеральных солей. По состоянию растений и по тому, как на них влияет добавка минерального питания, судят о свойствах почвы и о том, в каком именно виде удобрения она нуждается. К. А. Тимирязев в увлекательной статье «Полвека опытных станций» в 1885 г. (собрание сочинений. т. III, стр. 234) очень ясно представил задачи и цели опытных станций, которых теперь так много в нашем Союзе, и которые занимаются изучением корневого питания растений.

Растение реагирует очень точно на недостаток любой соли и, таким образом, определяет необходимость в том или ином минеральном удобрении. Самый простой расчет показывает необходимость вводить в почву нужные растениям элементы. Если собрано 100 ц пшеницы, то это значит, что собрано 45 ц углерода, который растения получили из воздуха. В то же время собрано также и 1,5 ц азота, который растению достается труднее, в виде азотнокислых солей почвы, и его необходимо вводить в почву в виде селитры, навозного удобрения, роговых стружек, костяной муки и т. д. То же относится и к фосфору, хотя для построения тела растения его и нужно очень мало. Введение фосфатов в почву необходимо, так как очень часто именно фосфора-то и не хватает. В почвах черноземной полосы азота очень много, а фосфора часто не хватает, и там необходимы фосфорнокислые удобрения, а не азотнокислые.

Особенно подробно разработано учение о минеральных удобрениях для сахарной свеклы.

[Однако нужно иметь в виду, что одностороннее применение минеральных удобрений не может обеспечить получения высоких урожаев.

Для получения непрерывной прибавки урожая необходимо обеспечить растению наличие всех факторов в достаточном количестве (свет, тепло, влага и др.) и высокий уровень агротехники (закон равнозначимости всех факторов акад. В. Р. Вильямса)].

Таким образом, всасывающая зона корней обеспечивает растение водой, а также серой, фосфором, азотом, калием, кальцием, магнием, железом и пр.

[Все эти элементы вводятся в растение в виде анионов и катионов. Так, например, азот, сера и фосфор поступают в растение в виде анионов азотной, серной и фосфорной кислот; калий, кальций, магний — в виде катионов. При этом повышенная кислотность почвы способствует усиленному поглощению корнем растения анионов, а повышенная щелочность — катионов].

Поставим еще вопрос: если вреден недостаток упомянутых элементов, то может ли быть вреден их избыток? Ответ утвердительный, — по крайней мере мы знаем, что избыток кальция в почве для многих растений вреден, а у фруктовых деревьев нашего юга нередко вызывает особую болезнь — хлорозис. Каким-то, еще плохо выясненным, способом соли кальция связывают в почве железо, которое, благодаря этому, становится недоступным корням, и целые ветви начинают желтеть, не будучи в состоянии нормально развивать хлорофилл. Раз хлорозис начался, он понемногу распространяется на все дерево и губит его.

Вредным является присутствие в почве в больших количествах хлористого натрия и других натровых и хлористых солей. Засоленные

почвы, как правило, бесплодны и нуждаются в большой работе по их улучшению.

До сих пор мы имели в виду мелкие корешки, часто называемые корневыми мочками; возьмем теперь общую массу молодых и старых корней, известную под именем *корневой системы*.

Размеры корневой системы зависят от внешних условий. У водяных растений обычно корневая система невелика. Наоборот, у растений засушливых местностей, у растений пустынь и степей корни обычно развиваются очень сильно, достигая часто значительной глубины.

Акад. Б. А. Келлер, будучи в Средней Азии, обратил внимание на вышеупомянутую верблюжью колючку (*Alhagi camelogum*) из семейства бобовых (рис. 90), растущую целыми зарослями в плотной глинистой, а часто и на засоленной почве. Это растение имеет разветвленный зеленый стебель вышиной до полуметра, с мелкими листочками и яркими цветами; оно служит, несмотря на свои колючки, пищей для верблюдов. Верхний слой почвы под ним пропитан солями, которые по своей растворимости должны легко всасываться корнями. Между тем клеточный сок верблюжьей колючки оказался совершенно пресным. Был сделан разрез почвы, чтобы обнаружить корневую систему растения, причем оказалось, что, при невысоком стебле, верблюжью колючку имеет корни в 5—6, а то и в 10—15 м длиной и развивает свою всасывающую ткань на корневых мочках лишь на такой глубине, где почва уже влажна от близости грунтовых вод. В солончаках и солонцах обычно особенно богат солями поверхностный слой почвы, так как вода, испаряясь с поверхности, оставляет растворенные в ней соли у поверхности, поэтому чем ближе к поверхности, тем солей больше, а на глубине их мало и вода пресная. Естественный отбор выработал у этого растения способность пронизывать мощные слои почвы и развивать свои мочки лишь на большой глубине.

Мы видели, что самый конец корня состоит из чехлика и меристемы, выше идет всасывающая зона с корневыми волосками, еще выше, где корневые волоски отмерли, корень даст на поперечном разрезе эпидермис, кору и осевой цилиндр или стелу, еще

выше эпидермис заменяется пробкой. В зоне корневых волосков мы можем проследить зачатки и развитие боковых корней.

Когда растение начинает свое развитие из семени, корень находится уже в зародыше, заключенном внутри семени. Это основной или главный корень растения. Главный корень, пробивая оболочку семени, первый появляется наружу (см. рис. 232, дурман) и, вонзаясь в почву, начинает подавать воду, которая мобилизует ферменты, растворяет запасные питательные вещества семени, наконец, способствует разверты-

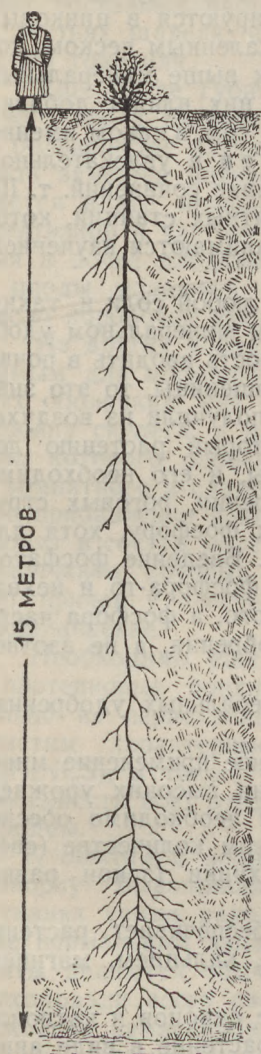


Рис. 90. Корневая система верблюжьей колючки (*Alhagi camelogum*).

ванию почки, ее первых листьев и росту стебелька. Затем главный корень, углубившись в почву, начинает ветвиться, дает боковые корни, которые в свою очередь тоже ветвятся, что и создает корневую систему.

Если главный корень продолжает расти в течение долгого времени, получается стержневая корневая система (см. рис. 99, С), в которой можно отличить главный корень или стержень с боковыми его ветвями. Если главный корень теряется среди параллельно с ним развивающихся боковых, или он рано отмирает и взамен его развиваются корни, возникшие из корневой шейки, т. е. из той зоны, где стебель переходит в корень, то образуется мочковатая корневая система (см. рис. 99, М), характерная для однодольных растений, в частности злаков. Кроме того, мы еще отличаем придаточные корни, не имеющие никакого отношения к тому зачатку главного корня, который был заложен в семенах. Придаточные корни могут возникать в узлах подземных стеблей, в узлах нижней части стеблей обыкновенных, и вообще на любой точке стебля, даже на листьях.

Очень характерны возникающие нередко высоко над землей воздушные корни. Они встречаются преимущественно в тропических лесах, во влажном и теплом климате. У ароидного растения филодендрона (*Monstera deliciosa*), которое часто воспитывается в комнатах, воздушные корни достигают особо сильного развития. Плоды этого растения, собранные в початки, содержат сахар и привлекают птиц. Птицы, поедая мякоть плодов, роняют семена на ветви деревьев, где они попадают в трещины коры или в мох, растущий на ветвях. Семена прорастают, и филодендрон начинает свое развитие высоко на дереве, причем первые его корни используют дождевую воду, попадающую в трещины коры, или в мох, затем появляются воздушные корни, которые спускаются прямо вниз. На своем конце такой корень имеет мощную зону роста, выше он прикрыт тонкой, но твердой пробковой тканью. Дойдя до земли, он заггибается и начинает расти горизонтально, образуя массу боковых корешков, которые вонзаются в землю, и развивает мощную всасывающую ткань из корневых волосков. Сильное корневое давление сказывается в том, что, будучи перерезан, такой корень дает обильное истечение сока. Выяснилось, что каждому крупному листу филодендрона соответствуют два воздушных корня, причем их сосудам свойственны особо широкие просветы.

Другая группа тропических растений, развивающих обильные воздушные корни, — это орхидеи, которые растут во мху на ветвях, в трещинах их коры, высоко над землей. Такие растения, которые ютятся на других, не будучи паразитами, называются эпифитами. Эпифитные орхидеи дают целые пучки воздушных корней, которые висят прямо в воздухе (рис. 91, А). Они одеты серебристо-серой всасывающей тканью, рыхлой, сильно поглощающей капли росы и дождевую воду, падающую на ее поверхность. Среди ее клеток выделяются спирально утолщенные одревесневшие клетки, в сухом состоянии пустые (рис. 91, Б).

Кора выросшего уже корня (рис. 92) часто дифференцируется на внешнюю и внутреннюю. Самый внешний слой коры называют экзодермой, он заменяет кожу там, где эпидермис с отжившими уже корневыми волосками сброшен. Клетки экзодермы имеют опробковевшие оболочки. Позднее экзодерма заменяется вторичной покровной тканью — перидермой, развивается настоящая пробка.

Внутренняя кора — рыхлая, клетки ее часто расположены радиальными рядами и тем мельче, чем ближе к центру. Самый внутренний слой коры — эндодерма, защитное влагалище — имеет клетки с оболочкой, сильно утолщенной на внутренней и на радиальной сторонах, и среди них особые пропускные клетки с неутолщенными стен-

ками: через пропускные клетки совершается обмен веществ между корой и тканями осевого цилиндра.

Осевой цилиндр или стела корня (рис. 93) сосредоточивает в себе проводящие ткани. Самый наружный его слой состоит из тонкостенных клеток перицикла, за которыми лежат флоэма и ксилема. Ксилема расположена радиально или звездообразно, причем нередко в самом центре лежит крупный сосуд, у других растений в центре поперечного разреза корня находится группа сосудов, или же сердцевина. Необходимо уметь отличать первичные сосуды или протоксилему (первичную древесину) как первичную ткань, происшедшую из меристемы корня, — от вторичных сосудов, возникающих позднее из камбия (рис. 94). В перицикле происходит заложение меристемы, дающей начало боковым корешкам (рис. 95).

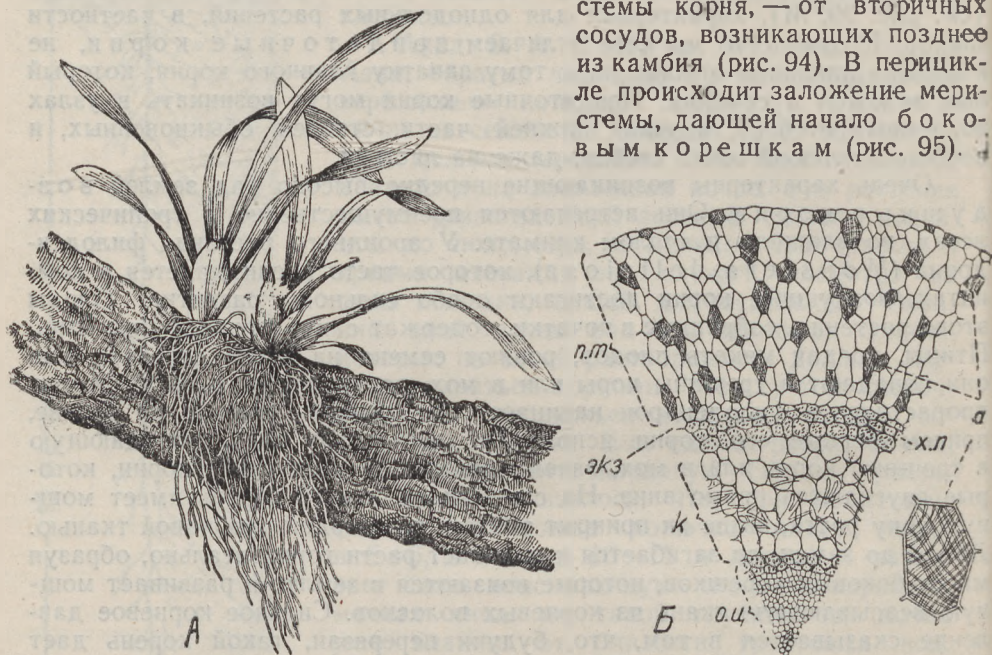


Рис. 91. А — эпифитная орхидея с воздушными корнями; Б — поперечный срез воздушного корня орхидеи; п. т — поглощательная (всасывающая) ткань (покрывало); экз — экзодермис; к — кора корня; х. л — слой клеток с хлорофильными зернами; о. ц — осевой цилиндр; а — клетка из покрывала с волокнистыми утолщениями стенок.

По числу радиусов ксилемы различают осевой цилиндр с 4 лучами, например у русских бобов (*Vicia Faba*, рис. 94, А и Б), с пятью лучами, например у лютика, и с многими лучами, например, у многих лилейных. Первичные сосуды (протоксилема) лежат ближе к центру в виде лучей более мелких сосудов, вторичные же залагаются не над ними, а между ними, в противоположность тому, что имеет место у стебля.

[Первичные флоэмные пучки лежат в корне между ксилемными пучками (см. рис. 93, л), т. е. на разных радиусах с ними. Переход ко вторичному строению корня осуществляется с возникновением и деятельностью камбия, который здесь, в отличие от стебля, не имеет формы цилиндра, а имеет вид извилистой полоски, огибающей лучи первичной ксилемы сверху и располагающейся под флоэмными пучками (см. рис. 94). Камбий возникает из обычных паренхимных клеток. Он начинает откладывать вторичную ксилему вовнутрь, вторичную флоэму наружу. Постепенно кольцо камбия и обложенные им слои ксилемы и флоэмы приобретают округлые очертания. Благодаря этому во взрослом состоянии внутреннее строение корня очень сходно со строением стебля. Однако их всегда можно отличить, рассмотрев строение на поперечном

разрезе. В центре корня сохраняются следы его первичного строения — в виде лучей первичной ксилемы. В стебле же — внутренняя часть среза представлена кольцом ксилемы].

Так как корень находится не на воздухе, а в почве, то на него не влияют порывы ветра, и он не испытывает ни растяжения, ни сжатия. Он не гнется, и потому в корне нет тех близких к коре стереомных пучков, которые обеспечивают стеблю возможность постоянно выпрямляться, как бы ни гнул его ветер. Корень, наоборот, подвергается постоянному и притом довольно равномерному давлению со стороны окружающей его почвы, такое давление распространяется внутрь корня радиально, как бы уплотняет центральную часть корня, почему и вся система его ксилемных пучков располагается в центре.

В остальном анатомическое строение корня мало отличается от анатомического строения стебля, особенно от подземного стебля или корневища; важно отметить, что листьев, а следовательно, и узлов, на корне не бывает никогда.

Ветви у стебля возникают из почек в пазухах листьев, — у корня его разветвления, и боковые корни возникают в любой точке, где в перичикле возникают деятельные клетки, образующие участок вторичной меристемы. Боковой корень всегда образуется внутри осевого цилиндра, поднимает эндодерму, из которой образуется его чехлик, и прорывает кору и эпидермис (рис. 95). Старые корни, одетые перидермой, снаружи не отличимы от подземного стебля, и только анатомическое строение, как мы видели выше, положение протоксилемы у основания сердцевинных лучей выдает их истинную природу.

Перейдем теперь ко второй важнейшей функции корня, которую мы кратко обозначаем фразой: корень роет землю. Если бы корень, раз образовавшись, оставался неподвижным, то, находясь в ограниченном участке почвы, он быстро поглотив бы питательные вещества, которые имелись в прилегающем слое почвы, и начал бы голодать. Корень растет, и тот его участок, на котором растут корневые волоски, удлиняясь, переходит из одного слоя почвы в другой. Надо сказать, что молодой корень никогда не остается пассивным, и активность его состоит не в одном только удлинении. Прежде всего, он активен химически, потому что он выделяет органические кислоты, которые растворяют минеральные вещества почвы, а полученные растворы всасывает.

Корневое давление и тургор тканей позволяют корню в процессе роста проявлять значительную силу. Мне случалось наблюдать такую картину. На морских берегах Камчатки растет морской горох (*Lathyrus maritimus*). Однажды я нашел его на сланцевых скалах, прямо на камне без всякой почвы. Когда я расколол сланец, то оказалось, что корни гороха, идя по простиранию сланца, глубоко проникли между пластами камня, как бы расслаивая его. Сила роста корней, проникших

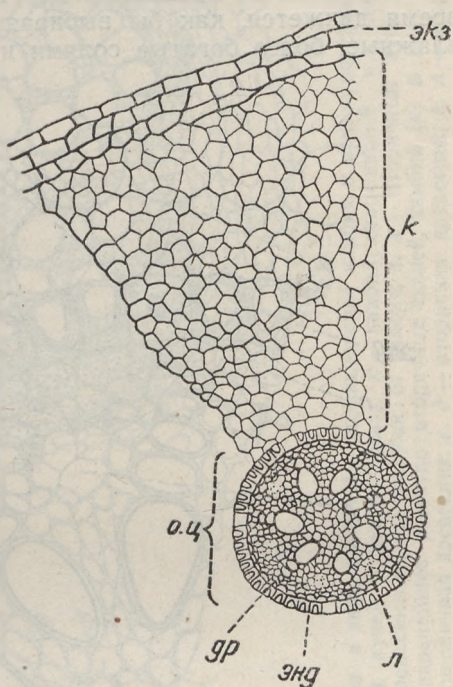


Рис. 92. Поперечный срез корня ириса (*Iris*): экз — экзодермис; к — кора корня; о. ц — осевой цилиндр; энд — эндодерма; др — лучи древесины, между ними более светлые участки — луб (л).

сначала в ничтожные трещины, оказалась настолько велика, что они преодолели сопротивление породы и проникли далеко вглубь. Понятно отсюда, что корни могут продвигаться в самой плотной почве.

Строители асфальтированных и гудронированных дорог описывают случаи, когда новая дорога настолько уже затвердела, что ее не пробить кайлой, и вдруг какое-нибудь растение прорастает насквозь. Это делает стебель, но корень обладает еще большей силой, чем стебель.

В чем же дело? Можно ли ограничиться механическим объяснением? Оказывается, нет. Корень не просто удлиняется, его верхушка чувствительна ко всевозможным влияниям извне, благодаря чему все время движется, как бы выбирая и отыскивая лучшие участки, более влажные, более богатые солями и воздухом. Уже лет 100 назад было

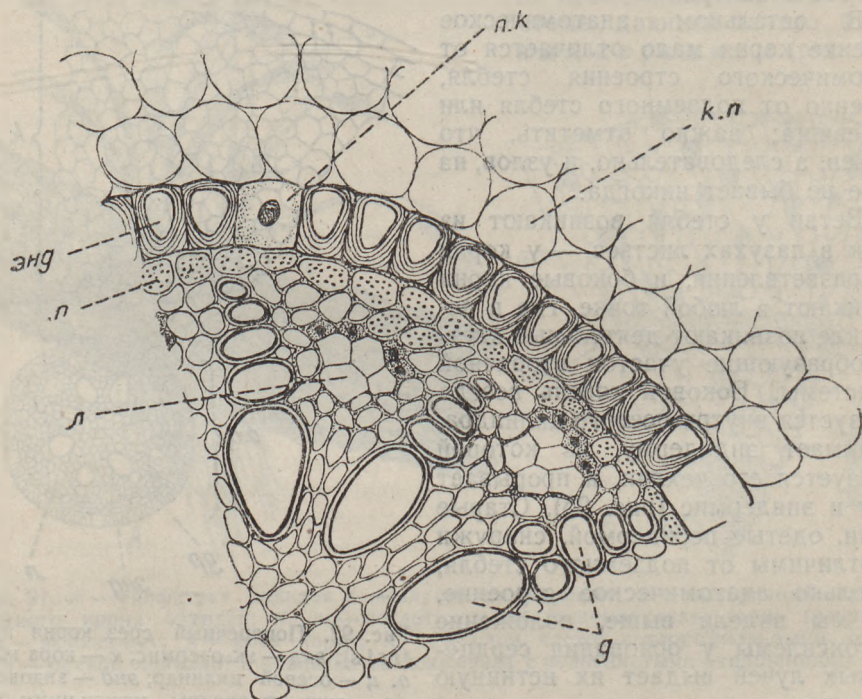


Рис. 93. Часть осевого цилиндра корня ириса: *к. п* — корсовая паренхима; *энд* — эндо дерма, в ней *п. к* — пропускная клетка; *п* — перичикл; *д* — радиально расположенные участки древесины, между ними луб (*л*) — участки ситовидных трубок с лубяной паренхимой.

в результате многочисленных опытов установлено, что направление роста корня подчиняется геотропизму, фототропизму, аэротропизму, хемотропизму и тигмотропизму, а также подчинено закону нутации.

Прорастим два семени русских бобов. Вечером тщательно по линейке разграфим тушью их корни на строго одинаковые участки, нанеся деления тушью через каждый миллиметр (рис. 96). На следующее утро окажется, что корень удлинился и при повторении измерений дает совершенно новые цифры. В верхней части корня, где уже сложился осевой цилиндр, где есть уже элементы с одревесневшими клеточными оболочками, отмеренные вечером участки почти не увеличились, самый кончик корня, где находится образовательная ткань, вырос примерно в 2,5 раза, следующий же за ним участок — в 5 раз и более. Следовательно, рост идет неравномерно. Легко убедиться также, что участок, растущий сильнее других, наиболее восприимчив одновременно к внешним влияниям.

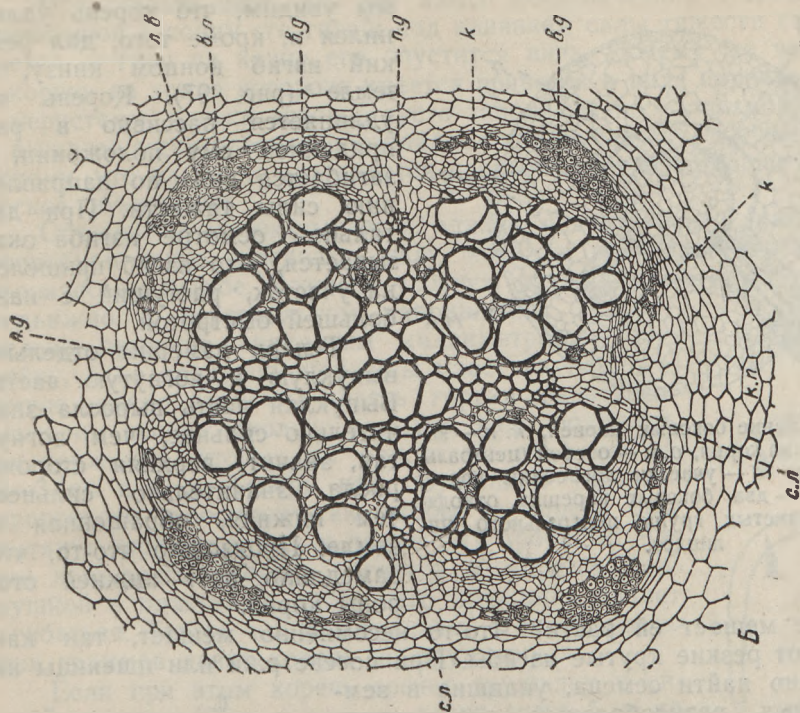
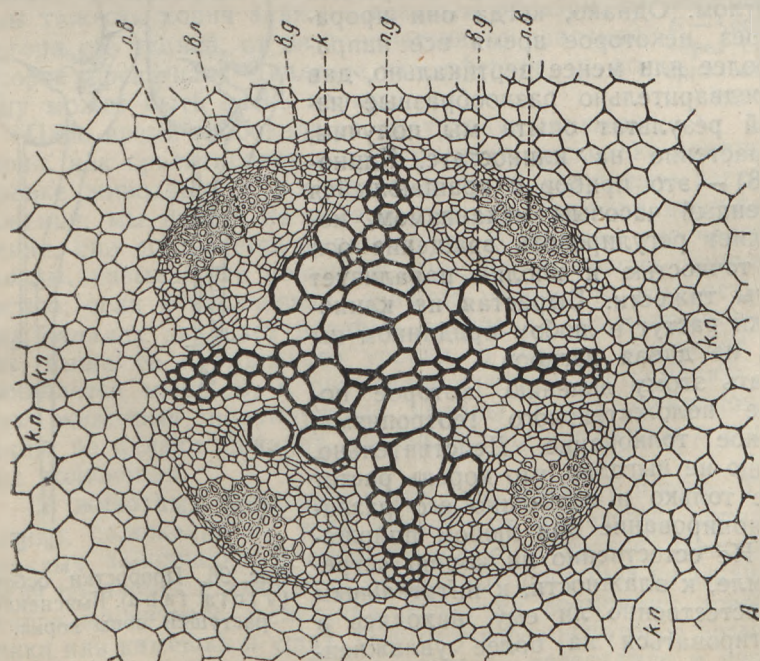


Рис. 94. Поперечный срез средней части корня бобов в двух фазах: А — возникновении камбия и начале образования вторичной древесины; В — первичная древесина (в виде четырех лучей в центре среза); К — камбий, отложившийся в центре среза; К.п. — камбий, отложившийся в центре среза; л.д. — первичная древесина (в виде четырех лучей в центре среза); л.в. — вторичная древесина (в виде узкой полоски окруженной первичной древесиной); к.п. — коровая паренхима корня; в.д. — дальнейшее развитие вторичных тканей; камбий (к) в виде узкой полоски окружает древесину почти сплошными кольцами; л.д. — первичная древесина; в.д. — вторичная древесина; л.в. — вторичный луб с участками лубяных волокон (л.в.); с.л. — сердцевинные лучи.

Второй опыт. Укрепим с помощью булавок на куске пробки или дерева проросшую горошину. Разграфим корень в нижней его части тушью и оставим во влажной атмосфере под колпаком на ночь. Утром

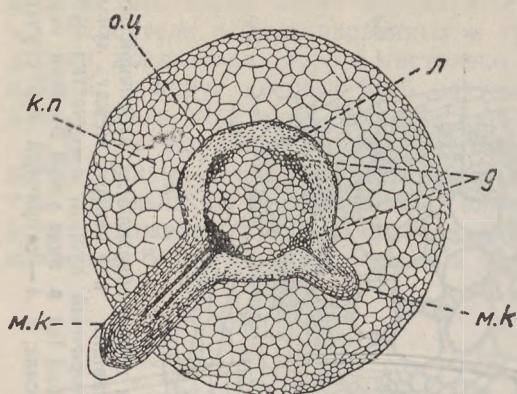


Рис. 95. Заложение боковых корней; *к. п* — коровая паренхима корня; *о. ц* — о-евой (центральный) цилиндр; *д* — участки древесины корня; *л* — луб; *м. к* — два боковых корешка, отходящих от сосудистых групп центрального цилиндра.

Что же мешает ей расти? Что-то несомненно мешает, так как корни делают резкие крутые изгибы. При посеве ржи или пшеницы на пашне можно найти семена, упавшие в землю в самых разнообразных положениях: корешок то направлен вертикально вниз, то под углом книзу, то лег горизонтально, то направлен кверху, то, наконец, направлен вверх под углом. Однако, когда они прорастут, то через некоторое время все направятся вниз более или менее вертикально, дав при этом предвременно разнообразные изгибы. Другой результат опыта мы получим, выращивая растение на клиностате. Клиностат (рис. 98) — это прибор с вращающейся осью, снабженный часовым механизмом, который позволяет регулировать вращение оси с большой точностью и вполне парализует действие силы тяжести. Вырастая на клиностате, корешки растут в любом приданном им направлении, не давая изгибов.

Легко дать этому явлению, которое носит название положительного геотропизма, идеалистическое толкование. Действительно, разве растению не выгодно, что корень растет в землю, где только и возможно его развитие и функционирование при любом положении семени? Не естественно ли корню «стремиться» к земле, к влажности, к питательным солям? Не естественно ли ему, находясь в почве, ориентироваться на более увлажненные ее участки, на участки, где больше воздуха, необходимого его живым тканям для дыхания, и тому подобные соображения.

Конечно, на самом деле растение ничего не «знает», ничего «не

мы увидим, что корень удлинился и, кроме того, дал резкий изгиб концом книзу, к земле (рис. 97). Корень не удлиняется пассивно в раз приданном ему положении, а загибается вниз по направлению силы тяжести. При детальном осмотре изгиба оказывается, что изгиб пришелся на участок, растущий с наибольшей быстротой.

Теперь измерим отдельно выпуклую и вогнутую часть. Выпуклая часть выросла значительно сильнее, чем вогнутая, значит, верхняя сторона росла значительно сильнее, чем нижняя, обращенная к земле. Произошло что-то, что замедлило рост нижней стороны корня.

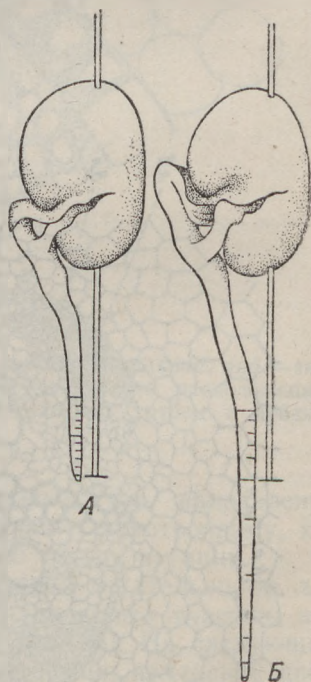


Рис. 96. Проростки бобов (*Vicia faba*). Выяснение растущей зоны корня.

желает» и ни к чему не стремится. Были в науке попытки механистического объяснения. Корень своей верхушкой обращается книзу и врастает в почву потому, что его сгибает сила тяжести.

Представьте себе, что мы взяли металлический стержень с прикрепленной к концу его гирей; под влиянием силы тяжести стержень согнется, и гиря на конце его опустится вниз. Почему же не согнуться и корню, на конце которого имеется привесок в виде корневого чехлика и меристемы, клетки которой густо заполнены протоплазмой, тогда как в вышележащих клетках преобладает клеточный сок? Корень сгибается потому, что на конце его имеется привесок. Вот простейшее механистическое объяснение.

Объяснение это оказывается, однако, недостаточным, как только мы попробуем точно определить силу, которую проявляет корень при геотропическом изгибе. Возьмем упругую пружинку, которую укрепим неподвижно в вертикальном направлении. Параллельно пружине прикрепим миллиметровую линейку, а на верхушку пружины пластинку, на которую можно было бы класть гири разновеса. Измерим теперь, сколько граммов надо положить на пружинку, чтобы она опустилась на 1 мм, на 2—3 мм и т. д. Теперь над пружинкой укрепим проросшую горошинку так, чтобы ее корень был вытянут горизонтально, и дадим ему прорасти. Через день-другой корень согнется и упрется верхушкой в пластинку, после чего пружинка начнет сгибаться. Теперь мы легко узнаем, с силой скольких граммов давит корень на пружинку.

Если при этом корень согнет пружинку с силой, скажем, 10 г, а сам он весит всего 5 г, то ясно, что движение его не есть простая реакция на силу тяжести. Дальнейшее исследование показывает, что давление сгибающегося в направлении силы тяжести корня зависит, главным образом, от тургора его тканей, от внутриклеточного давления, которое превышает давление атмосферное, и поэтому может быть очень велико.

Одно время пробовали рассматривать движение корня, как ориентировку в пространстве, несколько аналогичную ориентировке животных. У последних имеется ощущение вертикального положения: мы ничего не делаем для поддержания вертикального положения, оно достигается механически. В костном ухе человека имеются каналы, называемые полукружными, до половины наполненные жидкостью; если я наклоняюсь, скажем, налево, то жидкость в полукружных каналах заливаает нервные окончания, расположенные в их стенках, выше ее нормального уровня, в нервах возникает ток, который сообщается мышцам, и они автоматически выпрямляют тело. У высших животных полукружные каналы также функционируют, и они также не делают никаких усилий, чтобы держаться в нормальном для них положении.

У животных беспозвоночных дело обстоит проще. Так, у ракообразных положение их тела зависит от камешков, которые они сами лапками запихивают в свои слуховые отверстия. Несколько креветок были посажены в аквариум, на дно которого был насыпан песок из толченого магнитного железняка. Креветки временами возобновляют песчинки или камешки в ушах. Поэтому через некоторое время камешки эти оказались магнитными. Тогда креветок пересадили в чистую воду без песка на дне и «уши» им с помощью магнита вычистили. Наконец, чтобы они не могли ориентироваться по зрительным восприятиям, их

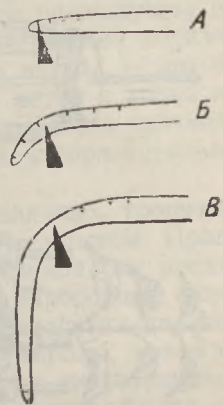


Рис. 97. Геотропический изгиб корешка: А — исходное горизонтальное положение корешка; В — через 7 часов; С — через сутки. Изгиб (искривление) произошел в зоне роста корня.

ослепили. Обычно креветки плавают головой вверх, хвостом книзу и назад. Оказалось, что без камешков, которые получили название отолитов, креветки ориентироваться в пространстве не могут и двигаются вперед в том положении, в котором их бросили в воду; если вниз головой, то вниз головой, боком — так боком.

Стали искать, нет ли подобного же аппарата и у растений. Оказалось, что в корне, около меристемы, в так называемых калиптрогенных клетках, т. е. клетках, от которых идет нарастание чехлика, есть подвижные зерна крахмала, которые при изменении положения корня сдвигаются в самую глубину клетки и в связи с этим играют роль отолитов. Эти крахмальные зерна называли статолитами, а клетки, их содержащие, — статолитами. Однако и это объяснение, как недоказанное и притом чисто механистическое, отпало.

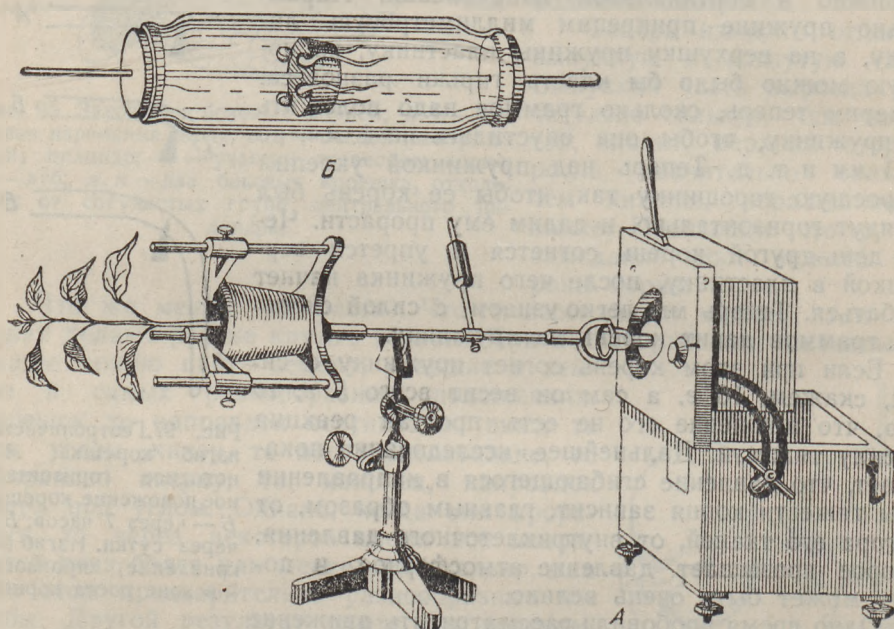


Рис. 98. А — клиностат. Направо в ящике — часовой механизм, приводящий в движение горизонтальную ось с растением в горшке; Б — для опытов с проростками употребляют стеклянный цилиндр. Выросшие на клиностате корешки растут в любом приданном им направлении, не давая изгибов.

В настоящее время тропизмы растений объясняются неравномерным ростом при неравномерном раздражении растущего органа, что вызывает в удлиняющейся стороне накопление гормона роста — ауксина.

Еще Ч. Дарвин указал, что если отрезать у корня верхушку, то такой декапитированный (обезглавленный) корень теряет ориентировку в пространстве и более геотропизма не проявляет. При дальнейшем изучении оказалось, что, если обезглавленный корень смазан соком геотропически раздраженного другого корня, то он снова приобретает способность изгибаться. Ауксин ускоряет рост раздраженной части, какой бы фактор ни действовал: сила тяжести, свет, кислород воздуха, химически активные растворы или что другое.

Если сравнивать корень со стеблем, то оказывается, что они по своей ориентации противоположны. Стебель отрицательно геотропичен и положительно фототропичен, т. е. растет по направлению к свету и прочь от земли. Корень положительно геотропичен и часто отрицательно

фототропичен, т. е. растет вниз, тянется к земле и прочь от света. К воздуху оба они относятся одинаково положительно.

Корень чувствителен к различным концентрациям одного и того же вещества. От раствора очень крепкой концентрации корень уходит к растворам меньшей концентрации, но если последняя слишком слаба, то он поворачивает к более содержательным растворам. В почве корень все время меняет направление по равнодействующей всех благоприятных влияний и как бы отыскивает наилучшие для своей деятельности участки.

Нельзя не обратить внимание еще и на то, что в корне имеется зона восприятия раздражения в кончике, передача раздражения на расстояние и зона проявления раздражения в месте наиболее интенсивного роста.

Корень, как и стебель, может быть прямо растущим или ортотропным. К такому именно корню и относились все предыдущие наблюдения и опыт. Но орган может также расти совершенно горизонтально, не давая никаких признаков геотропического изгиба, — это боковые ветви у стебля, боковые корни у корня. Такие ветви и корни носят название *плагиотропных*. В них различные тропизмы уравниваются так, что дают возможность прямого роста в горизонтальной плоскости.

Уравнивание единовременного действия различных тропизмов на один и тот же корень демонстрируется следующим опытом. Проволочную корзинку набивают влажными отрубями, перемешав их предварительно с зернами пшеницы или семенами гороха. Проросшие корни под влиянием геотропизма потянутся книзу и сквозь отверстия дна выйдут наружу. Теперь, однако, сухой воздух, с одной стороны, и мокрые отруби — с другой, создадут условия для проявления гидротропизма, и корни изогнутся по направлению к источнику влажности. Когда они попадут в достаточно влажную атмосферу, положительный гидротропизм действовать перестанет, снова перетянет положительный геотропизм, и корень снова изогнется вертикально вниз. Явление это повторится несколько раз, так что корень даст несколько изгибов. В природе это приводит к тому, что корень попадает в тот слой почвы, где влага, тепло, кислород воздуха, концентрация солей и сила тяжести дадут наиболее благоприятное сочетание.

Мы уже знаем, что корни бывают стержневые (рис. 99 С) и мочковатые (рис. 99 М), главные и придаточные и, наконец, воздушные.

Обратимся теперь к некоторым специальным видоизменениям корней. Большое значение для нас имеет способность корней некоторых растений запасать на зиму значительные количества углеводов. Так, все двухлетние корни растений в первое лето развивают прямой главный корень и розетку прикорневых листьев. Листья в течение лета вырабатывают избыток углеводов, которые по ситовидным трубкам их жилок переходят в корень и там в форме дисахаридов (тростниковый сахар), крахмала, инулина и пр. сохраняются в течение зимы с тем, чтобы следующим летом обеспечить развитие стебля и цветение.

Эти корни по функции называются *запасными*, а по форме бывают *веретеновидными* (рис. 99, В) или *реповидными* (рис. 99, Р).

Из культурных растений так развиваются редька, репа, хрен, цикорий, морковь, свекла. Корни у них всегда сильно утолщенные, причем утолщение достигается разрастанием — то вторичной древесины и сердцевинных лучей, как у редьки (рис. 100, А), то коровой паренхимы, как, например, у моркови (рис. 100, Б). Особенно сложное строение имеют сахароносные корни свеклы, так как у них из перицикла возникает несколько колец проводящих пучков (рис. 101). Пучки эти напоминают своим строением типичные открытые пучки стеблей и состоят из зна-

чительного участка древесины, обращенного внутрь, и из участка ситовидных трубок, обращенных наружу. Почти белые полосы среди ярко-красной ткани свекольного корня соответствуют как раз деятельным камбиальным кольцам. В клетках запасной паренхимы находятся как раствор сахарозы, так и нитраты.

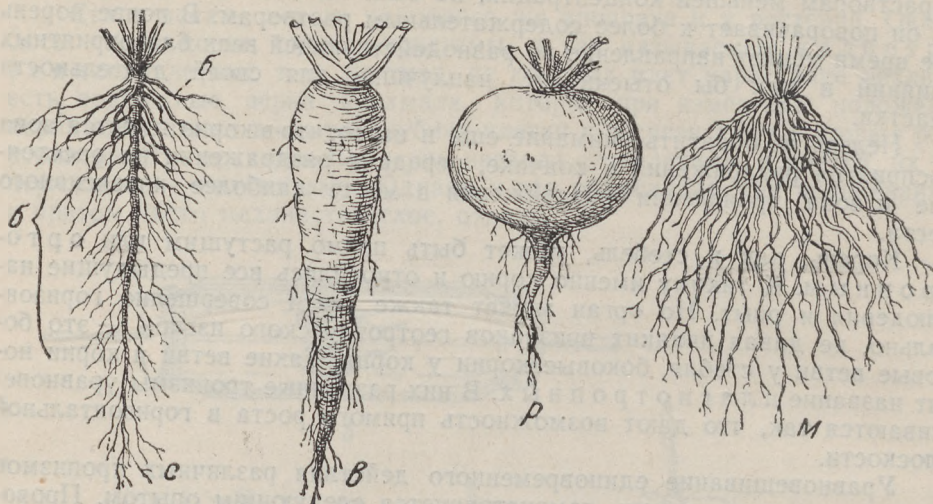


Рис. 99. Формы корней; С — стержневой с боковыми корнями (б); В — веретеновидный; Р — реповидный; М — мочковатый.

В ряде других случаев у растений многолетних запасные корни становятся клубневидными, в их осевом цилиндре развивается паренхима с запасными веществами. Таковы, например, корневые

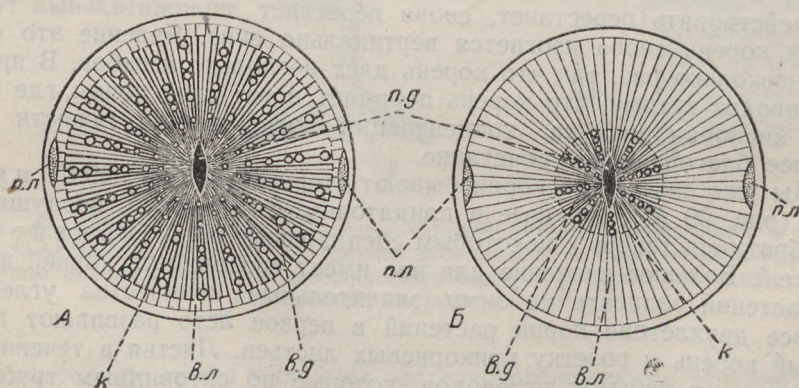


Рис. 100. Схема поперечных разрезов корней редьки и моркови. А — поперечный разрез корня редьки (*Raphanus sativus*): п. д — первичная древесина; в. д — вторичная древесина с широкими сердцевинными лучами; к — камбий; в. л — вторичный луб; п. л — первичный луб. Б — поперечный разрез корня моркови (*Daucus carota*). Обозначения те же, что и для редьки.

клубни наших луговых орхидей (см. рис. 110); сильно утолщенные корни, переходящие в клубни, мы имеем у некоторых лютиков, у георгин (см. рис. 156) и др.

Обратимся теперь к возможной замене корня другими органами. У тех цветковых растений, которые являются паразитами, корни заменяются гаусториями, или присосками. Так, у повилики (*Cuscuta*, см. рис. 16), причиняющей иногда опустошения на полях клевера и льна, всасывающие органы возникают путем разрастания клеток эпи-

дермиса (рис. 102) и никакого отношения к корню не имеют. Повилика своим стеблем плотно обвивает стебель растения-хозяина, в местах более плотного касания клетки эпидермиса повилки разрастаются, удли-

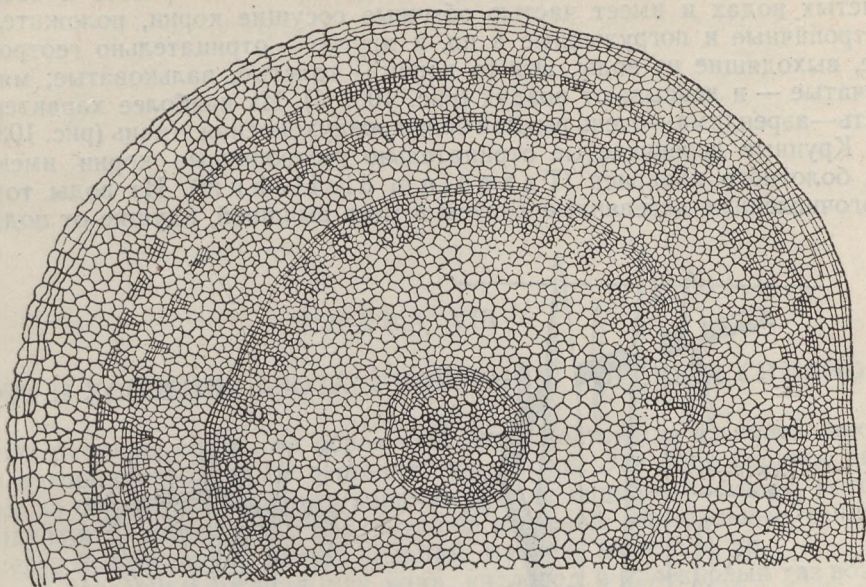


Рис. 101. Поперечный срез свеклы (*Beta*) с тремя concentrically расположенными кольцами образовательной ткани.

няются, своими выделениями растворяют кутикулу хозяина и врастают в его кору вплоть до ситовидных трубок и древесины.

Омела (*Viscum album*, см. рис. 18) развивает под корой того дерева, на котором живет, настоящие корни, которые дают присоски, вонзающиеся в проводящие ткани растения-хозяина. Корни омелы стелются под корой горизонтально, они зеленого цвета и легко образуют почки, развивающие один куст омелы за другим.

Закончим наше повествование о строении и формах корня указанием на так называемые дыхательные корни болотных растений.

Самый простой случай — это корни наших ив, например, ивы ломкой (*Salix fragilis*). Если они растут у речки, прорезывающей болото, то в берегах речки нередко можно видеть целую щетку корней красного цвета, торчащих вверх. Здесь аэротропизм проявляется сильнее геотропизма, корни растут вверх и вырабатывают, хотя и не сплошь, окраску антоцианом. Впитывая воздух, они передают его по коре тем частям корневой системы, которые погружены в ил, или в стоячую воду. Там идет брожение, воздух вытесняется метаном и другими газами, и корневая система не

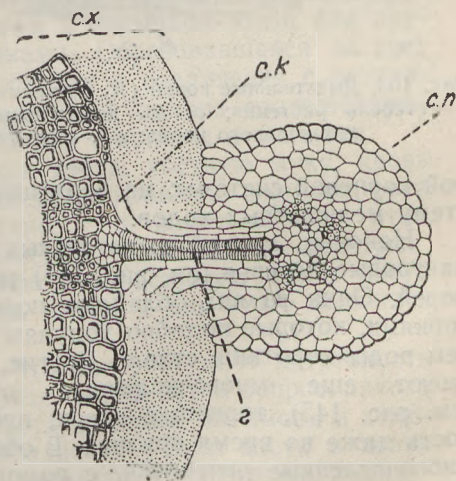


Рис. 102. Разрез через стебель паразитного растения повилки (*Cuscuta*) и стебель растения-хозяина; с. п — стебель повилки с присоском — гаусторием (г) и его сосущими клетками — с. к; с. х — часть стебля растения-хозяина.

могла бы развиваться, если бы дыхательные корни не снабжали ее кислородом.

Классическим примером дыхательных корней являются корни жюссиен (Jussieu) из семейства кипрейных. Оно растет в стоячих илистых водах и имеет частью обычные сосущие корни, положительно геотропичные и погруженные в ил, и другие — отрицательно геотропичные, выходящие из воды. Эти-то корни — толстые, вальковатые, мягкогубчатые — и всасывают воздух (рис. 103, А). Их наиболее характерная часть — аэренхима — очень рыхлая белая воздухоносная ткань (рис. 103, Б).

Крупные деревянистые отрицательно геотропичные корни имеются и у болотного кипариса (*Taxodium distichum*). Из воды торчат многочисленные деревянные конусы в метр вышиной, идущие от подзем-

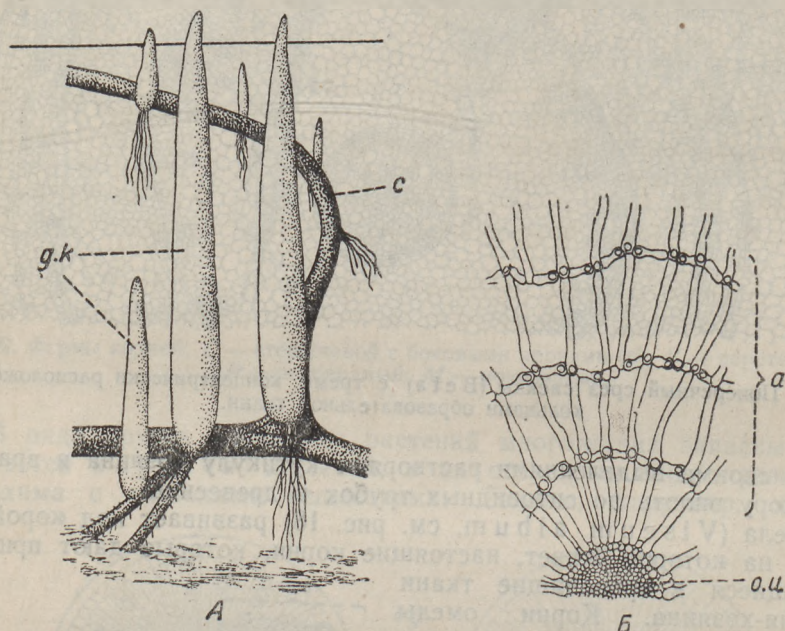


Рис. 103. Дыхательные корни (А) растения жюссиен (Jussieu), выходящие из воды; с — стебель растения; d. к — дыхательные корни. Б — часть поперечного разреза дыхательного корня: а — аэренхима корня; о. ц — осевой цилиндр.

ной корневой системы; на верхушке их есть углубления, ведущие в систему межклетных ходов.

Наконец, массой дыхательных корней обладают так называемые мангровые деревья (см. рис. 145) тихих заливов и проливов тропических морей. Одни из них обладают положительно геотропичными мощными корнями, которые подобно ходулям поддерживают на воздухе над уровнем воды короткий ствол. Другие, кроме корней, погруженных в ил, имеют еще многочисленные отрицательно геотропичные корни (см. рис. 145), торчащие вверх, причем концы их выходят на поверхность даже во время прилива. В обоих случаях корни мангровых имеют многочисленные чечевички, с помощью которых и поддерживают нормальный доступ воздуха в систему межклетников.

Итак, корень всасывает почвенный раствор, развивает корневое давление, подает воду в стебель и листья; корень дышит и растет, корень отвечает на внешние раздражения, двигается и как бы разыскивает источники воды и минерального питания; корень роет землю и укрепляет растение в определенном положении.

ГЛАВА VIII

КОРЕНЬ И УСВОЕНИЕ АЗОТА. УДОБРЕНИЯ. КОРЕНЬ И СИМБИОЗ

Если растение сжечь, то образуется зола, состоящая из солей, многие из которых необходимы растению при жизни. Эти соли берутся растением из почвы, всасываются корнями в виде водного раствора, который содержит необходимые для питания растений минеральные вещества: серу, фосфор, азот, калий, кальций, магний, железо и др.

Такие источники питания, как вода, кислород и углекислый газ воздуха, обычно находятся в распоряжении растения в достаточном количестве. Однако нельзя сказать того же об азоте.

Вопрос об азоте являлся большим вопросом для сельского хозяйства уже в XVIII в. С трудом покрывалась нехватка азота в почве. Старого источника азота на полях — навозного удобрения — нехватало.

Стали прибавлять азот в почву в виде селитры. Она добывалась так: слои навоза переслаивались с землей, эти крупные кучи накрывались дерном, чтобы дождь не вымывал образующейся в них селитры. В других случаях навоз переслаивали хворостом и посыпали золой или другими щелочными и известковыми остатками. Образовавшаяся за счет азота органических остатков кислота, вступая в соединение с основаниями (калий, натрий, кальций или аммоний), и давала соответствующую селитру, которую смывали с прутьев или с соломы и очищали.

Затем стали применять, как источник азота, костную муку, кровь с боев, которая свертывается и превращается в кровяной порошок, рога и копыта, наконец, стали привозить гуано, т. е. помет морских птиц с отдаленных островов, и разрабатывать естественные залежи селитры.

Все это, однако, с трудом покрывало все растущую убыль азота на полях. Надо было покрыть эту убыль азота, а для этого выяснить возможные его источники.

В середине XIX столетия казалось, что все растущую потребность сельского хозяйства в азоте покрыть нельзя. Тогда встал вопрос: какого происхождения азот почвы? Тот океан азота, который мы имеем в атмосфере, — принимает ли он участие в пополнении убыли азота в почве полей или нет? Опыты с достоверностью показали, что растение, замкнутое под колоколом, газообразный азот использовать не может: при отсутствии азота в почве растение голодает, почти не растет, а количество его в воздухе остается неизменным. Тогда возникло учение о различии свойств свободного азота атмосферы и связанного азота организмов и почвы. Дело в том, что азот, находящийся в почве, по этой теории, весь органического происхождения. Исследуя минеральные составные части почвы, мы там вовсе не находим минералов, которые могли бы, разлагаясь, образовать соли азотной кислоты. Наблюдаем же мы

следующее: попадающие в почву остатки организмов гниют, т. е. белковые вещества, входящие в состав данного организма, подвергаются распаду под влиянием деятельности бактерий, — происходит белковое брожение.

В почве живет ряд бактерий, строящих свой обмен на распаде белков; таковы *Bacterium termo*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus thymoides* и др. Протекая при доступе воздуха, этот процесс приводит к образованию аммиака и его солей, преимущественно углеаммонийной соли.

Соединения аммиака, хотя и могут усваиваться корнями, но, имея щелочную реакцию, они разъедают корни и, если их много, губят растения. Зато в почве находится группа бактерий, вызывающих процесс нитрификации, т. е. окисление азота аммонийных солей в азотную кислоту.

[Вопрос о том, что нитрификация является не чисто химическим процессом, а вызывается деятельностью специфических микроорганизмов, был решен] в 1889 г. классическими работами С. Н. Виноградского, открывшего особый способ культуры почвенных бактерий на минеральных растворах, содержащих аммонийные и другие нужные для питания соли.

С. Н. Виноградский доказал, что процесс нитрификации распадается на две фазы и осуществляется двумя группами бактерий. Первая фаза нитрификации состоит в окислении аммонийных солей в соли азотистой кислоты: этот процесс вызывается нитрозными бактериями из рода *Nitrosomonas*.

Энергию для своего жизненного процесса нитрозный микроб черпает из процесса окисления аммиака в азотистую кислоту, причем белок своей протоплазмы он строит из минеральных соединений в отсутствии света и хлорофилла, тщательно избегая встречающихся в почве углеводов. Это организм хемотронный.

Вторая фаза нитрификации состоит в окислении азота азотистой кислоты и ее солей в азотную кислоту. Работу эту проводят нитратные бактерии *Nitrobacter*.

Совместная работа трех микробов: гнилостного, разлагающего белки с образованием аммиака, нитрозного, дающего соли азотистой кислоты, и нитратного, — дает полное окисление органического азота. В пашне этому процессу благоприятствуют частое перепахивание, улучшающее доступ воздуха, дренаж и прибавление извести или мергеля. Введение навоза способствует образованию аммонийных солей, т. е. создает исходную базу для нитрификации.

Все это объясняет нам только источники нахождения в почвах связанного азота, т. е. азота белков, аммонийных, азотистых и азотнокислых соединений, и потому порождает убеждение в том, что перед нами замкнутый круг превращений. Одно и то же количество азота — величина постоянная — обслуживает живые организмы и переходит в соли почвы, меняя только свои химические связи и место своего пребывания — в организмах или в почве.

Оставался таинственным лишь следующий вопрос. У нас в Сибири почву, которая начинала давать пониженные урожаи, забрасывали, несколько лет она отдыхала, после чего вновь становилась плодородной; «отдохнула» — говорили про нее люди.

Однако термин «отдохнула» в применении к почве, несмотря на всю его хозяйственную реальность в местах многоземелья, совершенно непонятен. В почве накопился азот. Правда, с нее не увозили урожая, на ней пасся скот, оставляя свои испражнения, которые гнили и удобряли почву; все это давало некоторое количество азота, но далеко не достаточное для обеспечения урожая, тем более, что навоз пасущегося скота состоит из съеденной этим скотом травы, выросшей тут же.

П. А. Костычев объяснил повышение на залежи плодородия почвы улучшением ее структуры. Под влиянием корней многолетних трав в почве создается мелкокомковатая структура, способствующая поступлению в почву воды осадков и аэрации почвы. Учение о роли структуры почвы для ее плодородия было затем развито акад. В. Р. Вильямсом.

К вопросу о том, чем объяснить увеличение плодородия отдыхающей пашни, прибавился вскоре вопрос о роли клевера и люцерны, вопрос о севообороте. Уже в XVIII столетии было замечено, что если чередовать посевы пшеницы и овса с посевами клевера или других бобовых растений, как то: бобов, гороха, люцерны, вики, эспарцета, чечевицы и пр., то урожай увеличивается; урожай злаков, посеянных после того, как убран урожай бобовых, больше, чем урожай тех же злаков с поля, которое в прошлом году гуляло. Словом, посев бобовых увеличивает количество азота в почве.

Опыты, поставленные над сравнительными культурами злаков и бобовых, показали, что удобрение селитрой сильно подымает рост и урожай овса, пшеницы, ячменя и других злаков, но очень мало заметно на культурах бобовых. Опыты, разумеется, ставились в вегетационных сосудах с точным учетом всего солевого и азотного баланса. Прибавка к культуре щепотки плодородной земли с пашни никак не отражалась на росте злаковых культур и, наоборот, резко подымала рост и урожай бобовых.

[Посмотрим теперь, чем отличаются корни бобовых растений, например] люпина (рис. 104) или клевера от корней злаков. Корни и корневые мочки овса или другого злака равномерно тонкие, тогда как корни бобовых растений, осторожно вынутые из почвы, оказываются обладателями характерных утолщений, называемых клубеньками.

Для каждого из бобовых растений существует своя форма клубеньков: они крупны и немногочисленны на корнях люпина и, наоборот, мелки, но обильны на корнях клевера; отдельные клубеньки то круглые, то продолговатые, то лопастные. Эти утолщения не что иное, как своеобразные галлы, т. е. разрастания ткани, вызванные внутренним раздражением паразитарного происхождения. На разрезе клубенька (рис. 105, А) видны осевой цилиндр корня, асимметрично разросшаяся ткань коры и в ней среди массы клеток с крупными вакуолями, что нормально свойственно коровой паренхиме, расположены участки клеток с более темным густым содержимым. Клетки эти густо набиты протоплазмой, имеют крупные клеточные ядра, а в протоплазме микроскоп позволяет различить многочисленные бактерии (рис. 105, Б), которые живут там, питаясь главным образом углеводами, в избытке вырабатанными листьями бобовых.

Если выращивать бобовое растение в прокаленной почве, то ника-

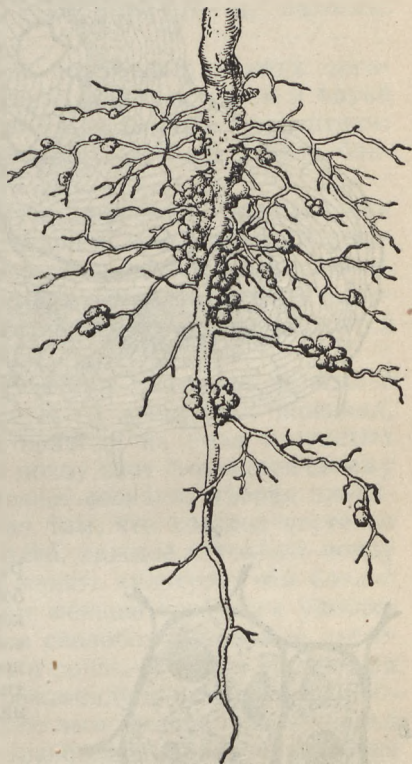


Рис. 104. Корневая система с клубеньками бобового растения люпина.

кой разницы в отношении усвоения азота между ним и овсом и пшеницей не будет. Все они будут явно голодать. Прибавление азотнокислых солей в поливных водах также одинаково отзовется улучшением питания. Но если вместо этого полить культуры непрокипяченным почвенным раствором или прибавить к прокаленной почве щепотку обычной земли с поля, где росло данное бобовое растение, то овес или пшеница не испытывают от этого никакого улучшения, а бобовое растение оправится.

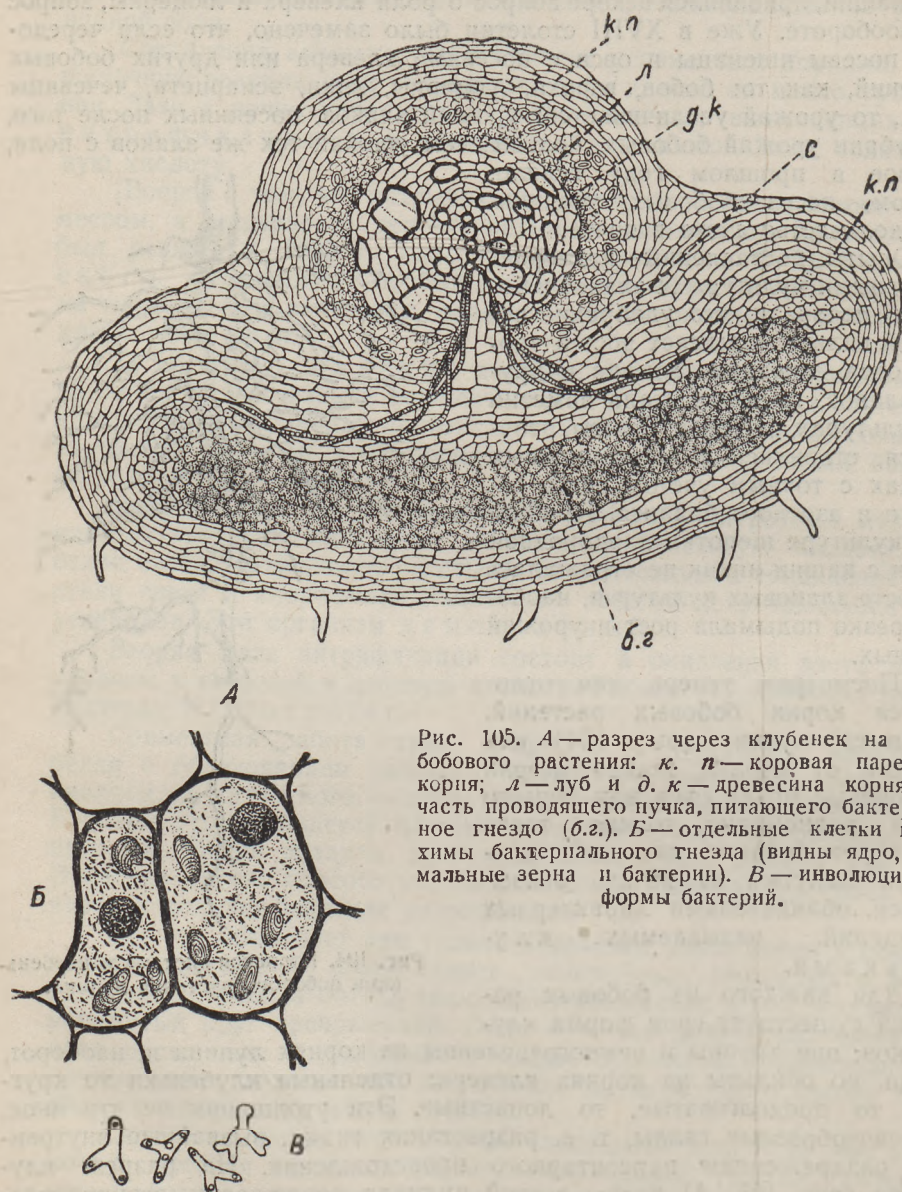


Рис. 105. А — разрез через клубенек на корне бобового растения: к. п — коровая паренхима корня; л — луб и д. к — древесина корня; с — часть проводящего пучка, питающего бактериальное гнездо (б.г.). Б — отдельные клетки паренхимы бактериального гнезда (видны ядро, крахмальные зерна и бактерии). В — инволюционные формы бактерий.

Предполагается, что бактерии клубеньков обладают способностью в своей протоплазме вырабатывать ферменты-катализаторы, вызывающие окисление свободного азота атмосферы кислородом в азотную кислоту. Сами эти бактерии — *Bacterium radicicola* — живут в почве, причем для их развития требуются: свободный доступ воздуха, наличие углеводов и присутствие оснований, могущих нейтрализовать производимый ими избыток азотной кислоты.

Давая в почве подвижные формы, корневые бактерии легко проникают через корневые волоски в кору корней и там поселяются, вызывая одновременно ненормальное разрастание тканей бобового растения. В природе они обычно приурочены к определенным видам бобовых, корни которых они способны заражать. [Например, бактерии бобов легко заражают вику, но не заражают люцерну. Поэтому при культуре бобовых растений, особенно новых в данном районе, полезно в почву внести клубеньковые бактерии, свойственные этим растениям. Такое «бактериальное удобрение» — нитрагин — значительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур]. По акад. В. Л. Омелянскому, бактерии развивают вокруг себя обильное слизистое вещество, богатое азотом, которое и усваивается протоплазмой бобового. К концу развития клубенька бактерии начинают вырождаться: они дают крупные лопастные (инволюционные) формы (рис. 105, В) и, наконец, отмирают.

Здесь перед нами случай симбиоза, или сожительства двух организмов. Симбиоз бобовых с клубеньковой бактерией трактуется в науке различно; вероятнее всего, здесь имеет место взаимный паразитизм: бактерии берут у бобовых углеводы, а бобовые потребляют азот бактерий.

Когда урожай убран, в пашне остаются корневые системы, они гниют, содержимое их переходит в почву; впрочем, избыток азота передается почве и при жизни клубеньков и несущих их корневых систем. Необходимо еще, как уже указано выше, чтобы почва содержала основания, дающие с азотной кислотой соли. Чаще всего таковыми являются соли кальция.

Все это говорит за то, что бобовые культуры занимают в нашей системе культур совершенно особое место. В то время как пшеница, кукуруза, рис истощают почву и требуют привода на поля азотистых удобрений, бобовые растения сами вносят в почву азот благодаря своему симбиозу со специальными бактериями. Отсюда возникла теория плодосмена или севооборота, которая основана на том, что каждое растение всасывает из почвы определенный состав солей, каждое истощает почву на свой лад, почему надо как можно чаще менять культуру; чем богаче подбор сменяющих друг друга культур, тем меньше требуется удобрений. При этом чрезвычайно важно вводить в севооборот бобовые растения, которые увеличивают количество азота в почве. В целях улучшения плодородия почвы акад. В. Р. Вильямс рекомендует высевать бобово-злаковые травосмеси, например, клевер плюс тимopheевка или люцерна плюс житняк. При посеве злако-бобовой травосмеси бобовое растение обеспечивает обогащение почвы азотом, а многолетний злак своей густой корневой системой улучшает структуру почвы. Корни тимopheевки и житняка разбивают пахотный горизонт на мелкие комки и после своего разложения пропитывают их перегноем, благодаря чему комки приобретают прочность.

Естественно, что теперь время спросить, — насколько обособлено в мире окисление атмосферного азота и нет ли других процессов, к нему близких. Конечно, бактерии клубенька были только первым открытием в общей цепи тех явлений, с помощью которых свободный азот атмосферы связывается и вступает в круговорот жизни. Так, благодаря работам С. Н. Виноградского выяснилось, что в почве, кроме клубеньковых, живут и другие бактерии, окисляющие атмосферный азот. Первый опыт был произведен следующим образом: питательная среда, совершенно лишенная азота, была заражена небольшой навеской почв, вызвавшей в ней энергичное маслянокислое брожение. Из этой бродящей жидкости и был выделен затем анаэробный микроб *Clostridium Pasteurianum*, который способен развиваться лишь при полном отсутствии кислорода, но нуждается в наличии сахаров.

Другой микроб, требующий свободного доступа воздуха, — это сравнительно крупный *Azotobacter chroococcum*, очень распространенный в почвах нашего юга, и некоторые другие¹.

Азотобактер лучше развивается в подщелоченной почве. Поэтому его особенно много в черноземе и более южных почвах, плодородие которых он и обеспечивает. Известно, что чернозем развился на лессе, и в нем много углекислого кальция; ранее плодородие чернозема объяснялось запасом органического вещества, образовавшегося вследствие того, что в прежние времена степь не пахалась, вся пыльная травяная ее растительность, ежегодно возобновлявшаяся, перегнивала, и органические вещества, ею накопленные, переходили в почву. Но растения вводят в почву вновь выработанные ими углеводы, азот же своих белков они только возвращают почве, из которой он всосан корнями; значит, степные растения не могли увеличивать количество азота в почве; это сделали азотобактер и другие фиксирующие атмосферный азот бактерии, которые, действительно, веками пополняли запас почвенного азота за счет азота атмосферы, количество которого безгранично.

Почему почва, истощенная снятыми с нее урожаями, будучи представлена сама себе, может отдохнуть и снова давать урожай? Почва истощается потому, что мы берем с урожаями азот быстрее, чем бактерии почвы могут его фиксировать. Поэтому, если мы данный участок земли временно предоставляем самому себе, то бактерии с помощью углеводов, переходящих в почву из зеленых растений, развивают громадную деятельность по накоплению азота. Через несколько лет его уже столько, что мы, снимая урожай, увозим его в значительном количестве с поля и потребляем в виде пищевых продуктов, после чего надо или снова дать почве отдохнуть, или ввести в нее запас азота в виде удобрений. Чем гуще население, тем труднее давать почве отдых и тем внимательнее приходится присматриваться к круговороту азота и, по возможности, обеспечивать почве деятельность бактерий. [При недостатке воздуха в почве, что имеет место, например, при заболачивании, происходит противоположный процесс, вредный для зеленых растений и называемый денитрификацией.

При воздействии особых денитрифицирующих бактерий соли азотной кислоты в присутствии органических веществ претерпевают различные химические изменения, в результате которых выделяется свободный газообразный азот, улетающий в атмосферу. Денитрифицирующие бактерии анаэробны и развиваются в почвах с плохой аэрацией, при наличии большого количества органического вещества].

Каков же круговорот свободного азота? В воздухе его неограниченное количество, как и всякий газ, он диффундирует всюду, а, следовательно, и в рыхлую почву, по крайней мере до глубины 6 м. Вся работа корневых систем и круговорот воздуха совершаются в поверхностном слое почвы, где живут и бактерии. [Использованный одними организмами азот в иной форме используется другими организмами и рано или поздно возвращается к исходной форме. Проследим этот процесс подробнее. Зеленое растение поглощает своей корневой системой азотнокислые соли из почвенного раствора. Из формы минерального соединения он переходит в форму органическую: растение синтезирует органическое вещество — белок. После отмирания растения, при воздействии бактерий гниения белковый азот переходит в аммиак. Аммиак при воздействии нитрифицирующих бактерий переводится в форму солей азотной кислоты, которые и используются снова растением. Вместе с этим бобовые растения переводят поглощенный ими атмосферный азот в белок своего тела, а затем он используется и зеле-

¹ По данным некоторых авторов, многие плесневые грибки (например, *Penicillium glaucum*, *Aspergillus niger*) тоже способны усваивать свободный азот. *Ред.*

ным растением. Этот азот также включается в общий круговорот. Свободно живущие в почве азотособирающие бактерии со своей стороны вводят в этот круговорот молекулярный азот атмосферы.]

Сколько же бактерий имеется в почве? Метод подсчета был предложен С. Н. Виноградским еще в 1923 г.; в него входят центрифугирование и окраска эритрозином, краской кислой, пригодной для протоплазмы. Пользуясь этим методом, акад. А. А. Рихтер дал для саратовских почв следующие данные: на один грамм лесной почвы приходится около трех миллиардов особей, для каштановой — около полутора миллиардов и для песчаной — около одного миллиарда. Оказалось также, что микробы располагаются в почве в виде групп или колоний, состоящих из массы особей и связанных с коллоидальными частицами почвы. В почвенном растворе растут преимущественно бациллы: азотобактеров вообще значительно меньше, чем кокков и бацилл. Тем не менее акад. С. П. Костычев в почвах табачных плантаций Крыма обнаружил [очень большое количество азотобактеров.]

[Удобрения.] Ежегодно вместе с урожаем с поля увозится огромное количество органических и минеральных веществ, которые должны быть возвращены в почву. При восполнении утраченных почвой веществ мы должны заботиться об удобрении растения, вносить в почву такие вещества, которые наиболее хорошо и быстро будут использованы растением. Различают удобрения минеральные и органические.

Основными минеральными удобрениями являются соли, содержащие азот, фосфор и калий.

Азотистые удобрения применяются в виде селитры. Селитра добывается пропусканием атмосферного воздуха через электрические печи. При этом молекулярный азот соединяется с кислородом, который в присутствии воды дает азотную кислоту. Азотная кислота нейтрализует CaCO_3 , образуя азотнокальциевую селитру. Селитру вносят в почву перед посевом, ввиду того, что она легко вымывается и уходит в глубину почвы, где корни растения не могут ее достать. Кроме селитры, соединение азота воздуха, в виде аммиака, осуществляется при нагревании под большим давлением азота и водорода в присутствии катализаторов. Обогащение почвы азотом осуществляется также специальной культурой бобовых растений, например, люпина, которые запахиваются в землю обычно в период их цветения, в виде так называемого зеленого удобрения. Этот прием, называемый сидерацией, применяется до сих пор и неизменно увеличивает запас азота в почве.] Пока, однако, работа бактерий — как азотособирающих, так и клубеньковых — все еще является основным естественным фактором обогащения почвы азотом.

По вычислениям акад. Д. Н. Прянишников в 100 тысяч га люцерны дадут столько связанного азота, сколько крупный химический комбинат.

Фосфорные удобрения обычно вносятся в почву в виде суперфосфатов, которые получают из фосфоритов при обработке их кислотами, что повышает их растворимость. Употребляются также костяная мука и томасов шлак, получаемый в виде отбросов при чугунном производстве.

Калийные удобрения применяются в виде золы, в виде комплексных соединений — каленита, карналита и др. Урожай растения, однако, зависит не только от удобрения. Для жизни растения имеют значение все факторы, воздействующие на него в течение его жизни.

Органическим полным удобрением является навоз. При разложении, минерализации навоза освобождаются все необходимые для растения вещества. Органические вещества сами по себе не могут быть использованы растением. Они должны быть минерализованы, доведены до минеральных солей азота, калия, фосфора, что и осуществляется гнилыми, а затем нитрифицирующими бактериями.

Кроме того, навоз чрезвычайно благоприятно сказывается на структуре почвы. Образующиеся при его разложении органические соединения склеивают почву, образуя мелкокомковатую структуру, что улучшает ее аэрацию, водопроницаемость и приводит к увеличению урожая. Наилучший результат, наибольший урожай получится, если мы дадим растению весь комплекс необходимых условий. Ограничиться одним удобрением нельзя. Замечательным является осуществляемое в настоящее время грандиозное изменение природы степных и лесостепных районов Европейской части СССР — комплексы Докучаева—Костычева—Вильямса. Оберегая растение от засухи посадкой лесных полос, вводя травопольную систему земледелия с посевом злаков, улучшающих структуру почвы, бобовых, обогащающих почву азотом, создавая искусственные водоемы, мы добьемся огромных урожаев сельскохозяйственных растений.]

Мы натолкнулись только что на очень интересную вещь, на то, что в жизни корневых систем, всасывающих почвенный раствор, наряду с самими корнями, играют большую роль еще и микроорганизмы почвы.

Возьмите растение аристиду — злак, растущий в Туркмении на сыпучих песках и образующий солидные дерновины. Песок сыплется, сдуваемый ветром, но корень его сдерживает, так как выделяет коллоидные вещества, которые склеивают песок и образуют вокруг длинных корней аристиды плотные футляры или трубочки.

Уже то, что корень выделяет органическое вещество, — фактор громадной важности. У каждого растения погруженные в почву корни выделяют или сахара, или органические кислоты, или вещества гораздо более сложные, близкие к белковым. Вокруг корня образуется зона, пропитанная его выделениями. В ней мы находим бактериальные колонии, питающиеся этими выделениями. Микроскоп открывает, что в почве, непосредственно примыкающей к корню, всегда кипит жизнь за счет выделений корня. Такой участок почвы, окружающий корень, мы называем *ризосферой* (сферой корня). Мы видим, что как ни велика роль бобовых, все же у других растений мы имеем некоторую совместную работу корней и бактерий. Благодаря этой работе происходит разложение находящихся в почве органических, а иногда и неорганических веществ и вовлечение связанного азота, калия, кальция, магния и железа в круговорот жизни растения.

Корни не только дают приют азотсобирающим бактериям, известны и более сложные комбинации. Так, на корнях саговника *Succisa repens* (см. рис. 188), нередко кораллоподобные короткие веточки. Разрез этих «кораллоидов» показывает, что в клетках саговника живут: колонии сине-зеленой водоросли *Nostoc punctiforme*, грибок и бактерии. Водоросли ассимилируют, вырабатывают углеводы, бактерии связывают атмосферный азот, а грибок вырабатывает ферменты, необходимые при внутриклеточном пищеварении.

Таким образом, в кораллоидах цикаса в одной и той же корневой ткани сочетаются 4 самостоятельных организма: высшее растение — саговник, водоросль, грибок и бактерия. Самое трудное — это выяснить значение здесь грибка, так как легко показать, что водоросль вырабатывает в избытке углеводы, а бактерии — нитраты.

Под словом гриб или грибок мы подразумеваем здесь не плодonoшения высших грибов, известных всем, а их молодую стадию — грибницу, которая называется *мицелием*. Это — клетки трубчатой формы, связанные в нити, иногда ветвистые.

В наших лесах имеются характерные растения: гнездовка (*Neottia nidus avis*, рис. 106, Б), ладьян (*Corallorhiza trifida*, рис. 106, А) и надбородник (*Epipogon aphyllum*). Если рассматривать их цветы, то можно заметить, что у всех трех сильно развит нижний лепесток, а верхние лепестки сложены шапочкой. Такие цветы ха-

рактены для большого семейства орхидей, тогда как отсутствие хлорофилла, отсутствие развитых листьев и коралловидная или гнездовидная корневая система характерны для избранных нами трех его представителей, но не для всего семейства. Все три лишены способности ассимилировать, все три не являются паразитами; как же они питаются?

Орхидеи особенно разнообразны и пышно развиты в жарких странах, в Европе их стали разводить в оранжереях.

Долгое время орхидеи культивировали, размножая их только частями корневищ. Экспериментальные исследования показали, что семена орхидей очень мелкие и легкие, в них нет ни семядолей, ни эндосперма, обычно составляющих наиболее объемистую часть семян; зародыш состоит из нескольких десятков клеток, почти одинаковых и окруженных однослойным полупрозрачным покровом (рис. 107, А). Семена прорастают только в присутствии грибка, живущего обычно у орхидей в коре корня. Если разрезать корень на мелкие части и бросить их на питательную желатину, разлитую по дну колбы и застывшую, то грибок разрастется на желатине. Приготовив культуру грибка, засевают ее семенами и убеждаются, что грибок проникает в семена, осаживает находящуюся в них целлюлозу и этим придает семенам способность впитывать воду и набухать. Результатом является появление проростков (рис. 107, Б).

Но что делает грибок, живущий в коре корня? Прежде всего отметить, что самое явление сожительства, или симбиоза, корней с грибами получило наименование микоризы. Различают два типа микориз: микоризу экзотрофную (внешнюю) и микоризу эндотрофную (внутреннюю).

Если микориза эндотрофная встречается, главным образом, у орхидей, то экзотрофная микориза свойственна, главным образом, хвойным



Рис. 106. А — ладьян (*Corallorhiza*) — микотрофные орхидеи, лишенные хлорофилла; Б — гнездовка (*Neottia nidus avis*).

и лиственным деревьям, как то: ели, сосне, можжевельнику, березе, грабу, осине, буку, дубу и пр.

Можно нередко найти сеянцы березы на очень рыхлой почве, песчаюй или известняковой. Если очень осторожно вынуть их из почвы, то на темных корнях хорошо выделяются на тонких мочках белые чехлы микоризы: корень как бы одет в муфту, состоящую из нитей гриба (рис. 108). На продольном разрезе корневой мочки сосны хорошо видны чехлик, конус нарастания корня, начало осевого цилиндра, кора и под эпидермисом во многих клетках коры пронизывающие их желтоватые нити гриба; наконец, снаружи от эпидермиса — густое сплетение таких же нитей, называемых в ботанике гифами. Гриб растет частично внутри клеточек, частично снаружи.

На более детальных рисунках, взятых при больших увеличениях, обычно изображены крупные клетки коровой паренхимы, в которые про-

никают отдельные нити гриба, сильно разрастающиеся и нередко образующие густые клубни закрученных нитей. В таких клетках ядра обычно очень крупные. Клетки, находящиеся глубже, лишены гриба: гриб глубже известного слоя не растет, что-то его не пускает. Слой ткани, заселенный грибом, — это совершенно определенный слой.

Здесь дело можно как будто бы объяснить легко. У корней данного дерева плохо развиты корневые волоски, мала всасывающая поверхность. Гриб, прилегающий к корню, образует снаружи мощный всасывающий покров, который, энергично поглощая почвенный раствор, отдает его корню через те свои нити, которые врастают внутрь коры корня. Таким образом, корневые волоски могут быть заменены наружной микоризой, при которой гриб получает от дерева углеводы, а дерево, посредством гриба — почвенный раствор. Экзотрофная микориза — необходимая при-

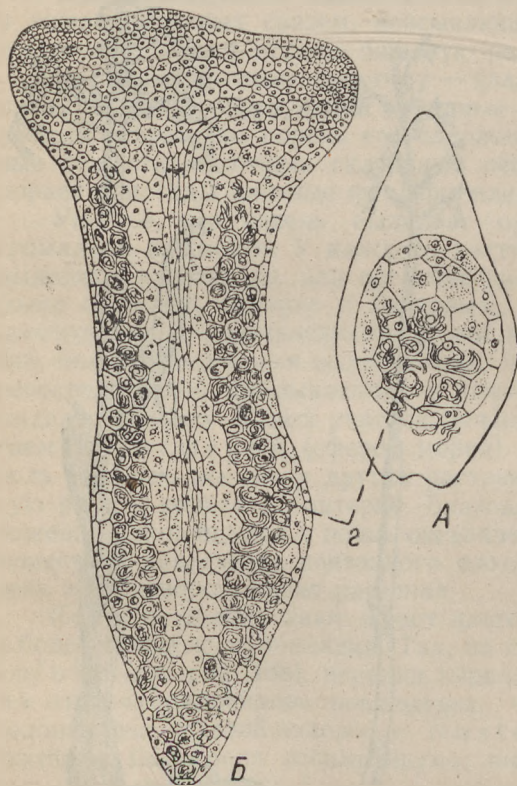


Рис. 107. Семя (А) и проросток (Б) орхидного; 2 — клетки с гифами гриба.

надлежность многих деревьев, она обеспечивает их водоснабжение.

Что же это за грибы на корнях деревьев? Точный ответ на это дать можно далеко не всегда, но известно всякому, что шляпные грибы носят название одни — подосиновиков, другие — подберезовиков и пр. Название гриба тесно связано с названием определенного дерева. В степной местности, под Рязанью, была насажена еловая роща. Долгое время никаких лесных грибов в ней не было, но через 30—40 лет появились рыжики, связанные с елью. Теперь эта связь грибов с деревьями уже изучена, и стало ясно, что грибы, обычно употребляемые в пищу, — не что иное, как плодоношения тех грибов, молодые стадии которых образуют микоризы на корнях деревьев. Если срубить лес, то исчезнут деревья, а вскоре исчезнут и грибы. Они не могут расти там,

где нет привычной им среды, дающей необходимое питание. Грибы тесно связаны с корнями деревьев. Вот почему культура шампиньонов — грибов, гифы которых живут в навозе и не образуют микоризы, очень легка, а искусственная культура белых грибов или подберезовиков — задача, еще не разрешенная.

[Грибы выделяют различные вещества, стимулирующие рост корней. В последнее время установлено, что таким веществом является витамин В₁ — тиамин. В настоящее время, при степном лесоразведении, изучение микоризы имеет огромное значение. При посадке основной породы насаждений — дуба — широко применяется заражение почвы грибом.]

Вернемся еще раз к орхидеям; если экзотрофную микоризу деревьев легко понять, как и подобную же экзотрофную микоризу вересковых (например, брусника, клюква, вереск), то эндотрофную микоризу понять трудно, так как она не имеет никаких гиф снаружи от эпидермиса, ничего из почвы не всасывает и своему хозяину — орхидее — как будто бы ничего не дает. Но проще ли эту эндотрофную микоризу рассматривать просто как паразита, который получает от орхидеи все, а ей не дает в обмен решительно ничего.

Если изучать поперечный разрез орхидеи, то увидим, что снаружи тянется однослойный эпидермис, в котором никакого гриба нет. Затем идет слой коровой паренхимы, в котором видны отдельные гифы, а иногда и их скопления. Гифы, повидимому, вполне здоровые, далее — слой клеток, в которых гриб хотя и разрастается, но в то же время заметно переваривается, и, наконец, третий слой, в котором грибов нет вовсе и который прилегает к эндодермису.

Особенно замечательны клубеньки переваривания. В отдельных клетках коровой паренхимы (рис. 109)

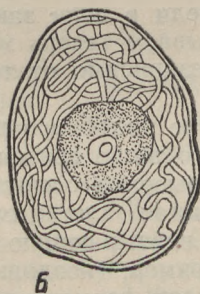
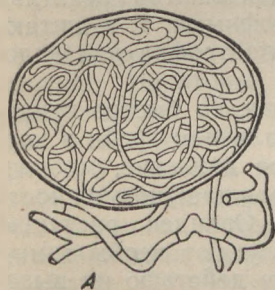


Рис. 109. Отдельные клетки коровой паренхимы корня орхидных с эндотрофной микоризой.

гифы гриба разрастаются настолько обильно, что переполняют клетку хозяина. В позднейшей стадии ядро клетки хозяина увеличивается и приобретает неправильные очертания, а прилегающие к нему грибные нити (гифы) теряют свою обособленность и понемногу сливаются в комок.

Можно сказать, что орхидеи, имея избыток углеводов, выкармливают грибок в толще своих тканей, но как только он чрезмерно разрастается, съедают его нацело, причем в этом процессе весьма активную роль играют ядра переваривающих грибок клеток. Таким образом, орхидеи являются растениями микотрофными, т. е. питающимися грибами. Как будто бы на их стороне все выгоды, так как грибок всецело находится в их тканях, и там нацело переваривается. На самом деле грибок микоризы питается углеводами тканей корня и постоянно нахо-

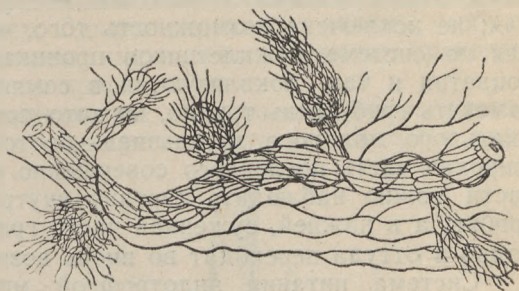


Рис. 108. Экзотрофная микориза на корне березы.

дится во влажной питательной среде. Тем не менее известно, что грибки периодически оставляют корни и перекечевывают в почву.

Фенологически, т. е. по временам года, явление микоризы имеет также свои закономерности. Так, у большинства наших луговых орхидей в период цветения грибков или нет, или очень мало. К началу осени количество их в коровой паренхиме корня сильно возрастает, и гриб зимует внутри корня.

Все еще не выяснено, каким именно путем проникает грибок в семяна. Мне приходилось находить его у гнездовки (*Neottia*) в сосудах; не исключена возможность того, что отдельные гифы по сосудам или по системе межклетников проникают вверх по стеблю в область соцветия и там локализируются в семяпочках. При этом в последних заметить гриб очень трудно, но зато при развитии семян и образовании овального молодого зародыша — протокорма (см. рис. 107) — верхняя широкая часть последнего совершенно свободна от грибков, в средней части можно наблюдать картину внутриклеточного переваривания гиф грибка, а в нижней, суженной части грибок в клетках развивается свободно и оттуда переходит во вновь возникающие корни.

Система питания эндотрофной микоризы довольно своеобразна. Почвенный раствор всасывается эпидермисом и корневыми волосками корня, как бы независимо от роли, которую играет гриб; но гриб отличается более богатым набором ферментов и энзимов, чем растение, в тканях которого он живет. Поэтому, входя в состав клеток корня, грибы способствуют мобилизации запасных питательных веществ. Как углеводы клеточных оболочек, так и запасный крахмал в клетках превращаются в сахар. Энзимы передаются из тканей корня по всему растению; развивается «сахарофилия», листья приобретают несколько мясистую консистенцию, они снаружи блестящие, в их клетках отсутствует крахмал и можно обнаружить сахар. Если его не так много, чтобы он чувствовался на вкус, то все же достаточно для реакции на восстановление солей окиси меди в соли закиси (феллингов реактив). Растения с микоризой мы называем теперь микотрофными, т. е. питающимися с помощью грибов, независимо от того, экзотрофна или эндотрофна данная микориза.

Когда наблюдаешь развитие подобного растения, то быстро приходишь к выводу, что питание его тесно связано с наличием гриба в корнях. Гриб развивает в корне высокое осмотическое давление, мобилизует питательные запасы, обогащает клетки сахаром и дает возможность растению развить громадную всасывающую силу. Орхидеи, растущие на опавших листьях, как, например, гнездовка, получают необходимые им азотистые вещества благодаря ферментативному действию их выделений на гнилые листья, причем азотистые вещества переходят в почвенный раствор, как и углеводы. Гриб является как бы сотрудником, который вырабатывает необходимые вещества, отсутствующие в обычном корне. Смысл явлений совершенно определенный.

Вернемся ненадолго к вопросу о проращивании семян орхидей. Выше уже указано на необходимость для культуры орхидей сеять одновременно с семенами и гриб корней. Гриб из почвы проникает в ткань семян, мобилизует то ничтожное количество углеводов, которое имеется даже в этих семенах, и создает симбиоз гриба и семени.

Многие культиваторы орхидей воспользовались указаниями ученых. Они запасаются большим числом склянок специальной формы, в них до половины наливают раствор желатины или агара с питательными солями, дают ему остыть в наклонном положении, чтобы получить для посева большую поверхность, затем засевают ее кусочками корней. Находящиеся в клетках коры корней гифы грибков разрастаются на поверхности желатины или агара, и тогда сюда высевают семена орхидей, которую желают культивировать.

Позднее было экспериментально доказано, что если семена орхидей искусственно пропитать сахаром, то необходимость в симбиозе с грибом отпадает, и семена получают способность впитывать воду и набухать без помощи гиф.

Таким образом, трудами нескольких поколений ученых была решена хитрая загадка, почему у орхидей микориза эндотрофна. Будучи заключена внутри тканей и клеток и отрезана эпидермисом от внешнего мира, микориза все получает от орхидей: и сахар, и азотистые вещества, и соли, и, казалось бы, ничего нового внести в физиологическое хозяйство орхидей не может. Однако она вносит энзимы, мобилизующие даже столь скудные запасы, имеющиеся в семенах орхидных, и дает сахар, необходимый для их прорастания.

Еще одно интересное обстоятельство: если рассматривать различные орхидеи одну за другой, то оказывается, что у некоторых часть корней их утолщена клубневидно (рис. 110), имеет утолщенную кору; листья их несколько утолщены, мясисты. Благодаря сахарофилии, на которую мы указывали выше, растение обладает способностью удерживать в своих тканях значительный запас воды. Но у орхидей сахарофилия вызвана микоризой; спрашивается, может ли и у других растений микориза также вызвать сахарофилию и мясистость листьев, а также образование клубневидных корней?

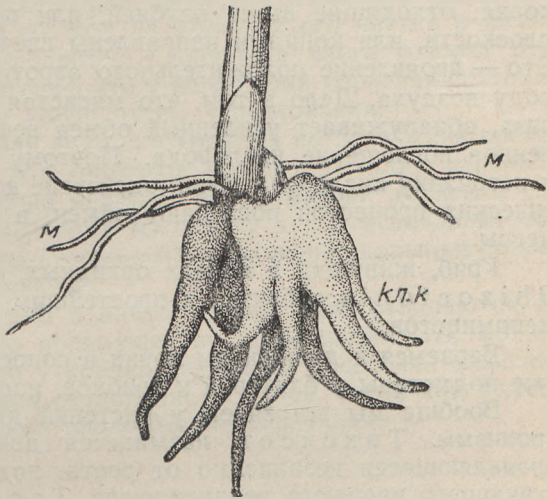


Рис. 110. Клубневидные корни орхидей.

Картофель образует клубни. Некоторые ученые высказывали предположение, что будто бы и у картофеля клубни произошли благодаря микоризе. Указывали на наличие микоризы в корнях родственного картофеля сладко-горького паслена (*Solanum dulcamara*) и на то, что когда во Франции появился первый картофель, то возделывавшие его граждане были разочарованы: картофель вырос, а клубни не образовались. С течением времени и во Франции картофель стал приносить обильные клубни, не потому ли, однако, что в почве появились грибки, вызвавшие образование клубней. Микроскопическое исследование никакой микоризы у картофеля не обнаружило; решили, что микориза была, дала толчок к образованию мясистых клубней и затем исчезла. Все это не так, и подобные гипотезы ни на чем не основаны.

Зависимость заложения клубней картофеля от внешних условий тем не менее вскрыта. Новые сорта, вывезенные из американской родины картофеля — в горах Перу, часто клубней не дают, они нуждаются в определенной продолжительности дня и ночи, такой продолжительности, которая наиболее благоприятствует отложению питательных веществ, вырабатываемых листьями, в клубнях. Оказывается, что не всякая мясистость образуется благодаря микоризе, но мясистость у орхидей связана все-таки с микоризой.

Почва, в которой расположены корни, никоим образом не является мертвой средой. В почве чрезвычайно многочисленны бактерии, мицелии грибов, т. е. подземные части последних, некоторые водоросли и пр. Корни, располагающиеся в этой среде, постоянно вносят в нее часть

вырабатываемого зелеными листьями органического вещества. Источник жизни, вырабатывающий органическое вещество и питающий корни, — это листья, или, еще точнее, хлорофилльные зерна в клетках ассимиляционной паренхимы листа, но и корень активен.

Корень движется и в результате всего круга своих движений роет землю. У большинства растений корень прежде всего направляет свои движения на основе свойственного ему положительного геотропизма (см. выше). При посеве пшеницы, в каком бы направлении по отношению к плоскости горизонта не находилось семя, кончик корня всегда повернется, вернее, согнется книзу и будет вращать в землю. Между тем у растений с микоризой это часто не так. Рассматривая корневую систему орхидей-гнездовки *Neottia* (см. рис. 106), мы сразу видим, что все ее корни приподняты концом кверху. У нашей обыкновенной белой «ночной фиалки», орхидей-любки (*Platanthera bifolia*) корни, отходящие выше клубней, или простираются в горизонтальной плоскости, или концами направлены вверх. То же и у других орхидей. Это — проявление положительного аэротропизма — стремления к кислороду воздуха. Дело в том, что мясистая ткань, в которой живет микориза, обнаруживает усиленный обмен веществ, в который входит и усиленное поглощение кислорода. Поэтому корень и направляется вверх к источнику кислорода; взаимодействие корня и гриба, усиление энзиматических процессов повышают обмен, в частности окислительные процессы.

Гриб, живущий в корнях орхидных, отнесен специалистами к роду *Rhizoctonia* и близок к простейшим из наших шляпных грибов гименомицетов.

Вернемся к движениям корня и сопоставим их с движениями, которые подмечены у бактерий и грибов, населяющих почву.

Вообще мы встречаем у растений два типа движений: таксисы и тропизмы. Таксисом называется движение свободного организма, проявляющееся независимо от роста, под влиянием одностороннего действующего внешнего раздражителя. Тропизм — движение организма, по большей части прикрепленного неподвижно и растущего неравномерно под влиянием внешних факторов. Рост по направлению к источнику раздражения — положительный тропизм, рост от источника раздражения — отрицательный тропизм.

Бактерии обладают таксисом благодаря тому, что обладают жгутиками или ресничками. Они могут свободно передвигаться между частицами почвы в каплях почвенного раствора или тонких пленках грунтовой воды. Они могут проявлять геотаксис, фототаксис и хемотаксис, благодаря чему могут ориентироваться на выделения, скажем, корней гороха и собираться около них. Корни гороха благодаря экзосмосу выделяют органические кислоты и углеводы, которые диффундируют в водный раствор, пропитывающий почву; около корня будет максимальная концентрация, бактерии обладают положительным хемотаксисом по отношению к этим веществам; они собираются у поверхности корня и сквозь оболочки корневых волосков проникают внутрь клеток корня.

Что касается грибных мицелиев, то они, как и сами корни, проявляют тропизмы, потому что они связаны в длинные нити клеток, и, следовательно, передвигаться как отдельные клетки не могут.

Совпадение во времени явлений хемотаксиса, гидротаксиса, отрицательного фототаксиса и геотаксиса определяет равнодействующую движения бактерий так, что они направляются к поверхности молодого корня, а совпадение явлений геотропизма, отрицательного фототропизма, гидротропизма и хемотропизма регулирует движения корня так, что он в результате роста неизменно попадает в слой почвы, наиболее богатый воздухом и питательными веществами.

Все это вместе взятое и является причиной того, что корень легко находит в почве те бактерии, или тот гриб, который вступает с ним в симбиоз, а гриб или бактерия также легко находят свой корень, именно на основании своих активных движений.

Мы ограничимся этими указаниями, хотя еще далеко не исчерпали здесь всех движений корня и всех случаев его симбиоза.

Заканчивая эту главу, напомним, что основное назначение корня заключается во всасывании водных растворов, обеспечивающих азотное и солевое питание сосудистых растений. Основной физической работой при этом является работа осмоса, а наиболее типичной тканью — эпидермис с корневыми волосками. Мы видели также, что корень не только всасывает растворы, но и подает их в сосуды под давлением. Мы видели также, какую важную роль при всасывании растворов играют ферменты или энзимы, а также явления симбиоза двух или более организмов, обеспечивающих всасывание лишь соединенными усилиями.

Всасывающая часть корня состоит из молодых его частей и по необходимости постоянно возобновляется. Садовники часто говорят про какое-либо плохо растущее растение, что у него плоха корневая система, и что ему следует дать новые корни путем черенкования.

У многих растений дождевая вода скатывается по периферии кроны и увлажняет землю как раз под окраиной кроны. У таких деревьев молодые корешки будут особенно обильны по периферии корневой системы. Там же, где вода скатывается по стволу к его основанию, общий характер корневой системы стержневой, и молодые корешки сосредоточены в более глубоком участке.

Старые корни функционально и анатомически мало отличаются от ствола и являются органом по преимуществу проводящим. Их можно отличить от стебля потому, что у корней первичная древесина залегает накрест к вторичной у основания сердцевинных лучей, тогда как у стебля вторичная древесина — прямое продолжение первичной.

ГЛАВА IX

ЛИСТ, ЕГО СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Лист является важнейшим органом растительной жизни. Физиологически лист есть орган фотосинтеза и его транспирации, орган обмена газообразных и парообразных веществ. Корень поглощает воду, стебель ее проводит, лист использует ее в процессе фотосинтеза, избытки же выделяет в атмосферу в парообразном состоянии.

Морфологически лист представляет боковой орган ограниченного роста, т. е. лишенный постоянной меристемы, несущий в пазухе своей одну или несколько почек. Как и другие органы, лист может как функционально, так и морфологически превращаться в различные специальные органы.

Трудно дать листу общую характеристику, не расчленив его на части. Частей этих можно насчитать у разных листьев разное число, от одной до четырех. Самая существенная составная часть листа — пластинка (рис. 111). Она развивается плагитропно, т. е. перпендику-

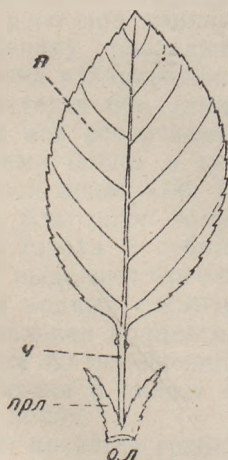


Рис. 111. Лист и его части: *п* — пластинка; *ч* — черешок; *прл* — прилистники; *о. л.* — основание листа.

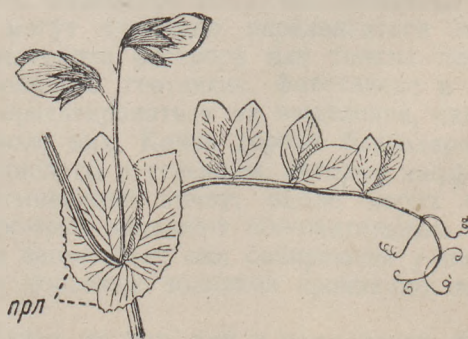


Рис. 112. Лист гороха с прилистниками (*прл*).

лярно к силе тяжести и растет основанием. Пластинка прикрепляется к несущей ее ветви или стеблю при помощи суженной части — черешка и связана со стеблем листовым основанием. При основании черешка часто можно видеть еще добавочные листочки, называемые прилистниками.

Лист, несущий все составные части, является полным листом. Чаше, однако, лист состоит из меньшего числа частей. Если развита только пластинка, то лист является сидячим и состоит из одной только, но зато самой существенной части. Если развит только один черешок, то лист превращается в филлодий — листовидный черешок (см. рис. 114 и 115); иногда развито листовое основание, тогда оно получает название влагалища (см. рис. 118); у некоторых растений сильно развиваются прилистники, в той или иной мере заменяющие пластинку листа, например, у гороха (*Pisum sativum*, рис. 112) или у чины (*Lathyrus aphaca*, см. рис. 117).

Листья бывают простые и сложные. Простыми назы-

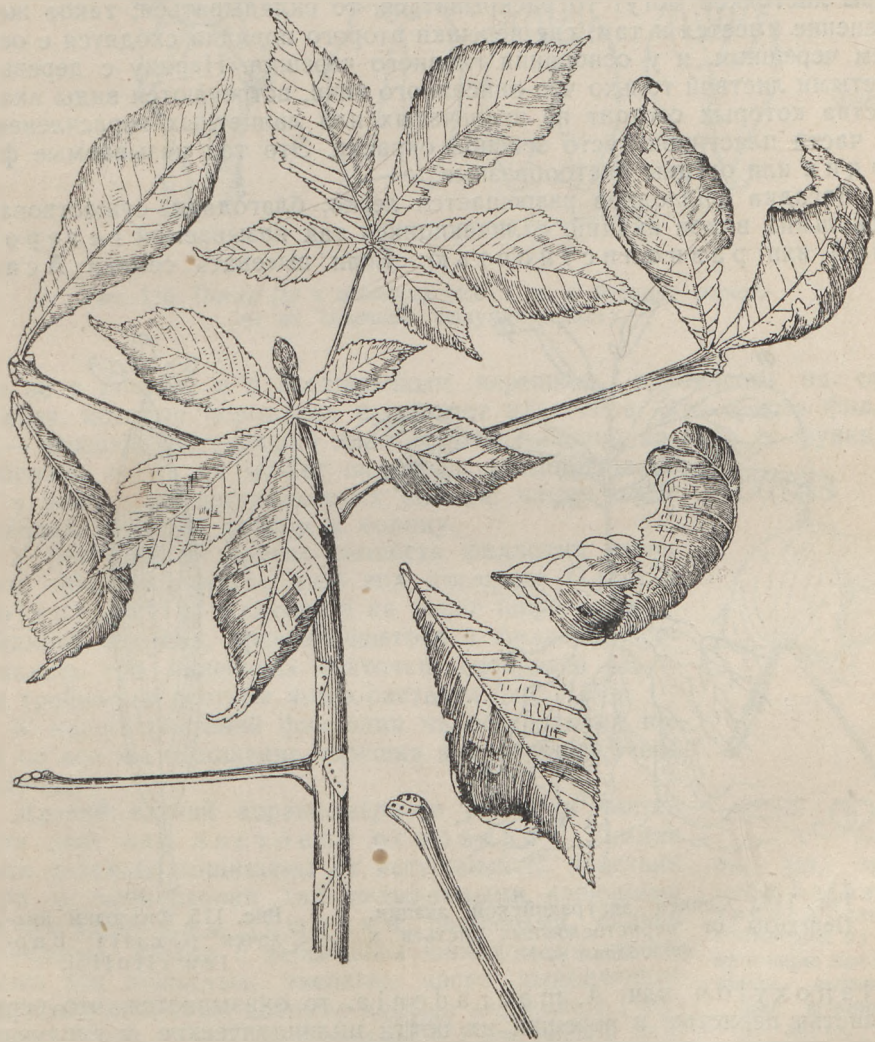


Рис. 113. Сложные листья конского каштана (*Aesculus hippocastanum*) осенью при листопаде.

ваются листья, у которых пластинка, черешок и основание не разделены сочленениями. Сюда относятся не только листья простые по форме, как, например, листья ив или крапивы, но листья весьма причудливо расчлененные, как, например, листья многих зонтичных (укроп, тмин). Сложными листьями называются листья, имеющие сочленения между отдельными слагающими их частями. Сюда мы относим не только листья

сильно расчлененные, как, например, листья акаций, но и простые по форме листья лимона или апельсина, так как здесь между пластинкой и черешком имеется подвижное сочленение. При листопаде осенью листья простые отваливаются вместе с черешками, как единое целое, а листья сложные, как, например, у конского каштана (рис. 113), распадаются на части, причем листочки падают отдельно, черешки отдельно. Понятие сложного и простого листа здесь не геометрическое, а функциональное.

Как пример преимущественного развития лишь одной из частей листа мы возьмем филлодии австралийских акаций. У типичных акаций листья двоякоперистосложные, с многопарными листочками. Каждый листочек сочленен с общим черешком подвижным сочленением, почему пары листочков могут то раскрываться, то складываться; такое же сочленение имеется и там, где черешки второго порядка сходятся с основным черешком, и у основания главного черешка. Наряду с деревьями, одетыми листвою только что описанного типа, встречаются виды акаций, листья которых состоят из игольчатых или ланцетных нерасчлененных на части пластинок густо зеленой окраски. Это так называемые филлодии или органы листообразные.

Загадка филлодиев разрешается легко, благодаря существованию нескольких видов акаций, отличающихся так называемой гетерофиллией или разнолистностью. Если высевать семена *Acacia*



Рис. 114. Сеянец австралийской акации. Переходы от перистосложных листьев к филлодиям (Ф)



Рис. 115. Филлодий кислички (*Oxalis burleuifolia*).

melanophylon или *A. macleodensis*, то оказывается, что первые ее листья перистые и черешки их почти цилиндрические, у следующих затем листьев — плоские черешки, имеющие на конце по паре листочков, в свою очередь несущих по 8—9 пар листочков 2-го порядка (рис. 114). При этом первый такой лист имеет узкий линейный черешок без боковых жилок, тогда как более поздние листья имеют расширенные плоские черешки с боковыми жилками. Наконец, еще выше, на том же дереве густо сидят типичные филлодии, на которых нельзя найти уже никакого следа листовых пластинок. Впрочем, на затененных экземплярах встречаются отдельные веточки с перистыми листьями и среди кроны взрослых особей.

Если рассматривать взрослые деревья акации (*Acacia melanoxylon*), то в большинстве случаев на них совершенно нельзя найти перистых листьев, все листья кажутся простыми, кожистыми, не разделенными на доли и их легко принять за нормальные листья. Только сравнительно морфологическое изучение показывает, что мы имеем здесь

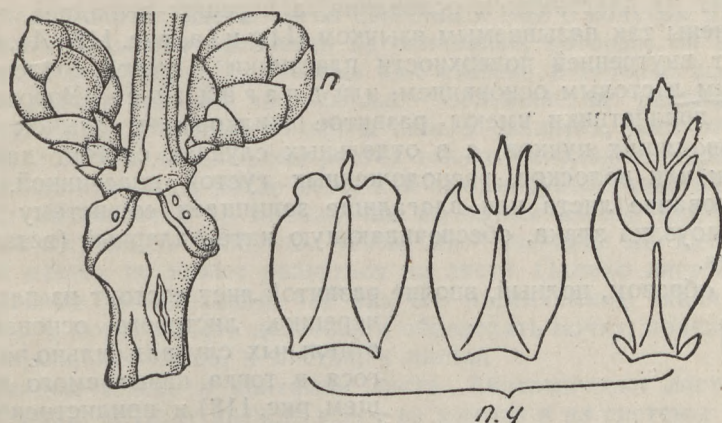


Рис. 116. Почки (п) и почечные чешуи (п. ч) бузины; переходы от почечной чешуйки к листу.

дело не с листом, а с расширенным черешком, принявшим на себя функции, которые нормально выполняет пластинка. Это и есть филлодий — черешок, потерявший пластинку и взявший на себя ее функции. Сообразно этому он может оказаться расширенным, как у некоторых австралийских акаций; часто такой филлодий обращен ребром к солнцу.

У растений из других семейств филлодии очень редки. Можно указать еще вид кислички *Oxalis bupleurifolia*, у которого на конце широколанцетовидного черешка, превратившегося в филлодий, сохранились три маленьких листочка, сообразно обычным тройчатым листьям этого растения (рис. 115).

У наших растений филлодии не встречаются вообще, но все же отношение черешка к пластинке очень различно.

Другой случай неравномерного развития частей листа дает нам листовое основание. Зимние почки деревьев защищены от иссушающего действия ветра и промерзания так называемыми кроющими или почечными чешуями, сильно выпуклыми, иногда с небольшим шипиком на конце. Чешуи эти кожистые, твердые, часто выделяющие смолистые вещества, которые хорошо защищают [внутренние части почки] от высыхания. Если весной присмотреться к тому, как распускаются почки черной смородины, бузины (рис. 116), конского каштана и многих других растений, то легко убедиться, что чем глубже в почке лежит изучаемая кроющая чешуя, тем больший зачаток черешка и пластинки появляется на ней в период разворачивания. Однако даже у внутренних чешуй основание много развитее, чем у нормального листа.

Прилистники также могут сильно развиться, подавляя развитие остальных частей листа. Так, у одного из видов чины, имеющей, как правило, парноперистые листья, именно *Lathyrus aphaca*

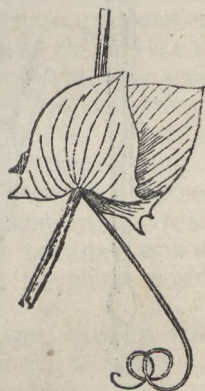


Рис. 117. Часть стебля *Lathyrus aphaca* с листом, состоящим из усика и пары прилистников, выполняющих функцию листа.

(рис. 117), листовой аппарат сводится к паре листообразных прилистников, между которыми помещается усик. Ассимилирующая площадь прилистников в данном случае достаточно велика, чтобы обеспечить фотосинтез этого некрупного растения.

Прилистники развиваются обычно у основания черешка, чаще всего по бокам его. У однодольных растений (например, у злаков), лист которых состоит из пластинки и основания, а черешок выпадает, прилистники заменены так называемым язычком (*Ligula*, рис. 118, А), который отходит от внутренней поверхности пластинки у места сочленения ее с трубчатым листовым основанием, или в лагалицем. Впрочем, в то время как прилистники имеют развитое жилкование, язычок обычно лишен проводящих пучков, а в отдельных случаях состоит даже весь из щетинок или волосков, расположенных густой пластинкой. В этом случае основание листа или влагалище защищает меристему нижней части междоузлия злака, обеспечивающую интеркалярный (вставочный) рост стебля.

Таким образом, полный, вполне развитый лист состоит из пластинки, черешка, листового основания (в отдельных случаях сильно разросшегося и тогда называемого влагалищем, рис. 118) и прилистников, в отдельных группах растений мы находим лист, состоящий из трех компо-

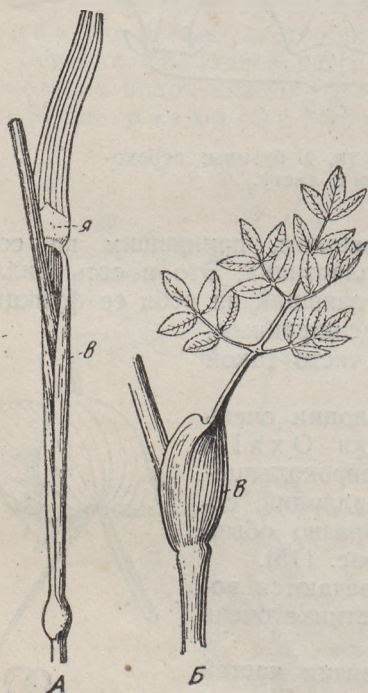


Рис. 118. А — часть стебля злака: лист с влагалищем (в) и язычком (я). Б — лист с влагалищем (в) зонтичного растения.

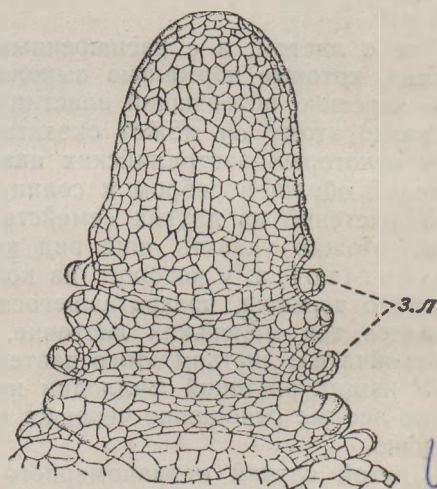


Рис. 119. Конус нарастания стебля: з. л — зачатки листьев (листовые бугры).

нентов: пластинка, черешок и листовое основание, или же: пластинка, влагалище и язычок (злаки), или лист из двух компонентов, например лист, состоящий из пластинки и основания. Наконец, известны листья, состоящие из одного компонента, например, сидячие листья многих сложноцветных.

Перейдем к вопросу о том, как лист развивается.

Верхушка стебля увенчана конусом нарастания, состоящим из эмбриональной ткани — первичной меристемы. Рассматривая конус нарастания (рис. 119), мы видим несколько симметрично расположенных боковых выпуклостей, ниже переходящих в бугорки, которые могут развиться в листья, а их пазушные бугорки — в боковые ветви. Здесь видно,

как тесно лист связан со стеблем общим происхождением в конусе нарастания. Тем не менее, среди ботаников имеются два направления, из которых одно утверждает, что лист есть не что иное, как простой вырост стебля, другое, что лист с его сосудистоволокнистым продолжением в стебле есть слагаемое стебля, и последний является как бы суммою листовых следов.

Вначале зачаток листа, тесно связанный еще с конусом нарастания, может быть мысленно расчленен на основание, которым он прикреплен к стеблю, и верхушку. В то время как стебель в течение всего своего развития растет верхней частью, лист большинства растений растет верхушкой лишь в первые моменты своего развития, рост этот быстро прекращается, и в дальнейшем растет только основание. Черешок начинает развиваться лишь после того, как сформируется пластинка.

Лист развивается на стебле, или на одном из его видоизменений; ни одного случая не известно, чтобы лист развился на другом листе. Также и цветок не может развиваться на листе. Однако лист сам может стать органом размножения, так как его паренхимные ткани в некоторых случаях могут начать делиться и образовать почку, почка же может дать и корни, и стебель, и листья, и цветы.

Перейдем теперь к анатомии листа. Анатомически лист, особенно его пластинка, состоит прежде всего из мякоти и из системы жилок или проводящих пучков. [С верхней и нижней стороны лист покрыт эпидермисом.] Начнем с мякоти или мезофилла.

Лист — орган дорзивентральный, у него есть верхняя и нижняя стороны. Верхняя обращена к источнику света, нижняя сравнительно затенена. У многих растений верхняя сторона блестит от покрывающей ее ровным слоем кутикулы, она как бы смазана маслом, нижняя сторона матовая, ее кутикула бывает тоньше. Если сравнивать эпидермис нижней и верхней стороны, то оказывается, что снизу на единицу поверхности устьиц гораздо больше. Так, по некоторым данным (В. Заленский, 1904 г.), у осокоря на 1 мм^2 на 20 устьиц верхней стороны приходится 115 на нижней; у картофеля устьица на верхней стороне могут и вовсе отсутствовать при 263 на 1 мм^2 нижней поверхности, у сосны, где дорзивентральность неполная, на 50 устьиц верхней стороны приходится 71 на нижней. Кроме того, клетки эпидермиса нижней стороны листа гораздо чаще разрастаются в волоски, и она становится поэтому то волосистой, то бархатистой, то войлочной, тогда как верхняя может оставаться гладкой. Впрочем, у многих растений обе стороны почти одинаково опушены или одинаково гладки.

На поперечном срезе листа камелии (рис. 120) видно, что за эпидермисом идет мякоть в собственном смысле этого слова; к верхнему эпидермису обращена палисадная или столбчатая ассимиляционная паренхима, ткань, наиболее тесно связанная с функцией фотосинтеза. Клетки ее лежат плотно сомкнутыми рядами, почти без межклетников, причем узкая их сторона обращена к эпидермису, а длинные стороны примыкают одна к другой. Клетки эти густо заполнены хлорофилльными зернами, лежащими в постенном слое протоплазмы, сами они расположены в 2—3 слоя, одна над другой. В паренхиме листа у многих растений расположены отдельные каменные клетки — склереиды, иногда с параллельными стенками и на концах расширенные, как, например, в листе чайного куста (рис. 121).

[У некоторых растений] палисадные клетки своими нижними концами упираются нередко в так называемые собирающие клетки, имеющие несколько воронкообразную форму. Более широкая верхняя их сторона прикасается к 2—3 палисадным клеткам, более узкая, нижняя, примыкает к одной из нижележащих почти бесцветных клеток, прилегающих к проводящему пучку.

Образующиеся в клетках палисадной паренхимы растворимые угле-

воды, в силу установившихся в живых клетках листа осмотических отношений, кратчайшим путем переходят в ситовидные трубки флоэмы листа и уходят в стебель, в почки или в корень, где и потребляются.

Нижняя часть мякоти представляет собою рыхлую и притом более бедную хлорофилльными зернами ткань, именуемую губчатой паренхимой. Ткань эта отличается неправильными формами слагающих ее клеток, что обеспечивает крупные межклетники. Если палисадная паренхима является по преимуществу тканью фотосинтеза, то паренхима губчатая по преимуществу есть ткань транспирации. В ее широких межклетниках входящий через устьица воздух омывает стенки клеток и проникает в них. К губчатой паренхиме примыкает эпидермис нижней поверхности, с его многочисленными устьицами, причем у расте-

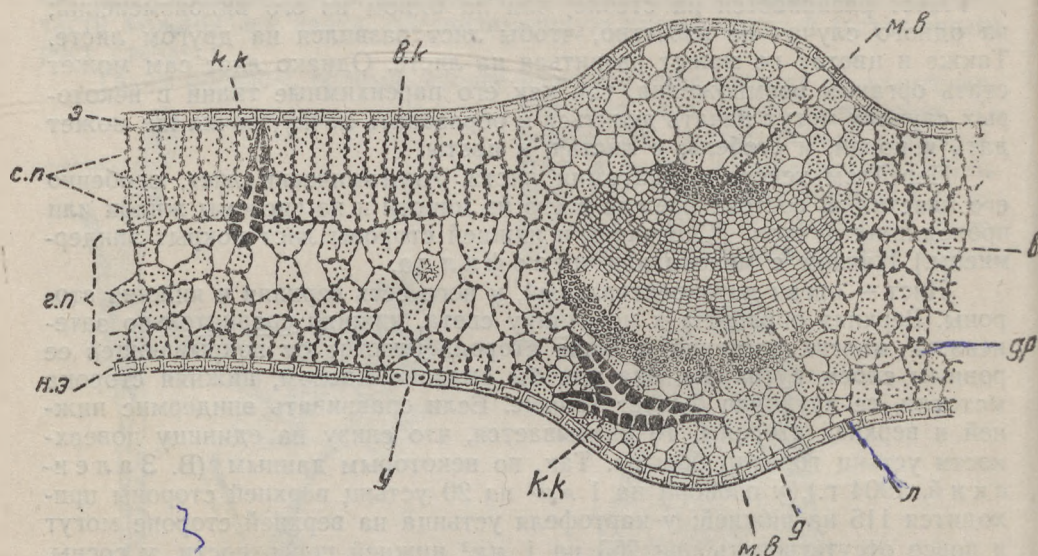


Рис. 120. Поперечный срез листа камелии: э — эпидермис; с. п — столбчатая паренхима; в. к — воронковидные клетки; д — клетки с друзами; г. п — губчатая паренхима; к. к — каменные клетки; н. э — эпидермис с устьицами (у) нижней поверхности листа. Строение жилки: д — древесина, л — луб; сверху и снизу участки механических волокон (м. в.).

ний двудольных на 1 мм^2 , по акад. С. П. Костычеву, приходится от 100 до 300 устьиц.)

Большое значение имеет выход водяного пара через межклетники и устьица. Конечно, растение теряет воду всей поверхностью, и мы имеем перед собой также кутикулярное испарение, но испарение устьичное во много раз превосходит кутикулярное. Поверхность клеток, прилегающих к межклетникам, очень велика, и водяной пар переполняет межклетники, причем при сильном испарении он находится под давлением. Известно, что если в перепонке, находящейся на пути диффузии водяного пара, имеется столько мелких пор, что сумма их диаметров равна диаметру всей перепонки, то через перепонку проходит столько же пара, сколько проходило бы при полном отсутствии какой-либо перепонки. Это достигается вполне по отношению к эпидермису с открытыми устьицами, достигается настолько, что известны случаи, когда скорость испарения воды листом была равна испарению с поверхности воды, равной листу по площади (акад. С. П. Костычев, 1933 г.).

Перейдем теперь к строению жилок. Если удалить мякоть выгниванием или выбиванием с помощью щетки, то можно получить полностью всю систему жилок, и видно, что сеть эта соответствует общей форме

листа, а каждый участок мякоти примыкает к одной из мелких жилок. Жилки — не что иное, как проводящие пучки, окруженные слоем проводящей паренхимы, очень часто они укреплены стереомным пучком (по крайней мере в главной жилке). Принципиального различия между пучками стебля и пучками листа нет, но совершенно своеобразными являются окончания пучков среди паренхимы.

По мере того, как мы переходим от главной жилки к боковым, а затем к более и более тонким ответвлениям, упрощается и анатомия пучков. Пучки листьев большей частью закрытые, без камбия, однако

крупные, долго растущие листья, а также листья зимующие, многолетние обладают вторичным ростом. При утончении жилок [первыми исчезают ситовидные трубки,] а затем пропадают и сосуды, остаются лишь трахеиды, сначала довольно длинные, затем короткие, примыкающие непосредственно к клеткам мякоти (рис. 122). Жилки снабжают мякоть водой, пришедшей по стеблю из корней. Водород и кислород воды идут на образование углеводов, накопление которых обнаруживается благодаря появлению в хлоропластах крахмальных зерен. Это — первичный крахмал. Под влиянием фермента диастаза или амилазы он превращается в растворимый углевод — мальтозу, которая переходит в проводящую паренхиму пучка, попадает в ситовидные трубки и увлекает нисходящим током в луб стебля и в корни растения.

Напомним еще, что окончания пучков, а также губчатая паренхима создают сильную отдачу воды и водяного пара в атмосферу и образуют верхний концевой двигатель восходящего тока. Восходящий ток — движение воды по сосудам из корня в листья через стебель — имеет, та-

ким образом, три двигателя: корневое давление, испарение воды листьями и силу сцепления частиц воды, движущейся по капиллярам трубки — сосудам.

Далеко не все разветвления сосудисто-волокнистой сети листа заканчиваются среди мякоти. Многие из них, как и главная жилка, доходят до краев листа и заканчиваются или в концах зубчиков листового края, или в выемках между ними. Окончания пучков этого типа очень сложны и получили наименование гидатод, или водоотделительных желез.

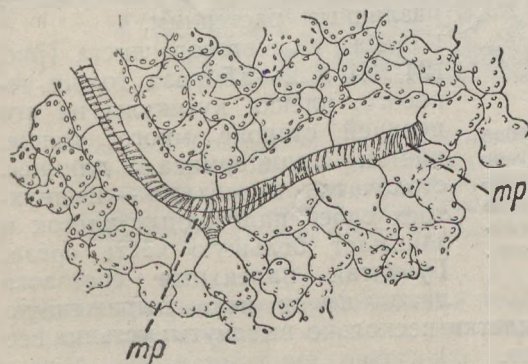


Рис. 122. Окончание проводящего пучка в мякоти листа: *тр* — трахеиды.

Гидатода, по большей части видимая снаружи как кончик краевого зубчика листа, состоит из трех частей (рис. 123, А): водяной щели на самом конце зубчика, участка мелких бесцветных тонкостенных паренхимных клеток, образующего эпитему гидатоды, и, наконец, группы прямых трахеид со спиральными утолщениями, заканчивающей собою ксилемный пучок.

Гидатоды представляют собою специальный аппарат, выделяю-

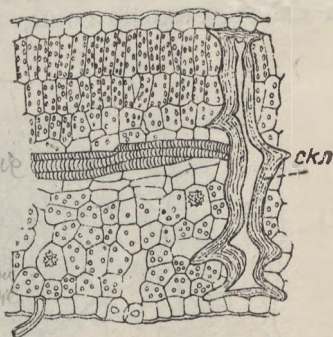


Рис. 121. Часть листа чайного куста (*Thea*): *скл* — склереида — каменистая клетка.

ший капельножидкую воду. Значение его тем больше, чем менее выделяется водяного пара. Так, у растений подводных — морской травы (*Zostera*), большинства рдестов (*Potamogeton*) и пр. выделение воды происходит, главным образом, через концевые гидатоды. Широкая водяная щель здесь, как и у многих злаков, находится на самой верхушке линейного их листа. У молодых листьев, губчатая паренхима и воздушные устьица которых еще не вполне развиты, верхний концевой двигатель восходящего тока представлен именно гидатодами. У обыкновенной нашей травы манжетки (*Alchimilla*) по утрам, когда воздух влажный и испарение еще не идет, гидатоды выделяют капля за каплей столько воды, что она скопляется в середине листа, как

небольшой водяной бассейн. Днем он испаряется бесследно. Хорошо видна гуттация (выделение капельножидкой воды) на листьях настурции (рис. 123, Б). В комнате или в лаборатории стоит накрыть молодые сеянцы злаков колпаком и создать этим влажный воздух, как на концах или на зубчиках листьев появляются крупные капли выделенной гидатодами воды.

Теперь обратимся к различию между световыми и теневыми листьями. У деревьев, имеющих густую крону, часть листьев находится на солнце, а часть в глубине кроны на нижних ветках в тени. Поперечные разрезы теневого и светового листа под микроскопом совершенно различны и легко могут быть соотнесены за принадлежащие совершенно различным растениям.

Разрез светового листа (рис. 124, А) в 2—2,5 раза толще теневого, пленка кутикулы на его верхней стороне много толще, клетки эпидермиса длиннее, столбчатая паренхима — из двух-трех слоев палисадных клеток и занимает большую часть среза. Губчатая паренхима светового листа имеет ясно выраженную систему крупных межклетников, клетки несколько вытянуты; устьица все

или почти все на нижней стороне.

У теневого листа (рис. 124, Б) палисадная паренхима или отсутствует, или состоит из единственного слоя мало разросшихся в вертикальном направлении палисадных клеток, остальная же часть среза состоит из овальных или эллиптических клеток, с неправильными межклетниками между ними. По отношению к световому листу теневой является недоразвитым.

В тех случаях, когда лист повернут ребром к свету, он из листа билатерального — с резко различными нижней и верхней сторонами — становится изолатеральным, или равносторонним (см. рис. 49). Обе стороны такого листа освещены более или менее равномерно, почему и столбчатая паренхима прилегает одинаково к обеим

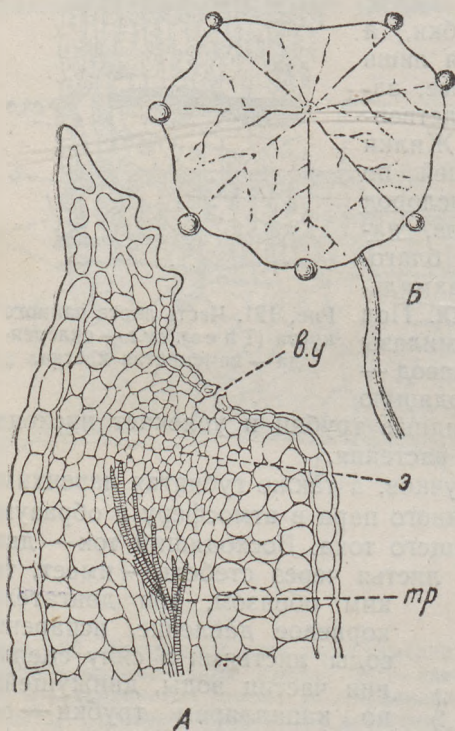


Рис 123. А — строение гидатоды в зубце листа *Saxifraga aizoon*: *тр* — пучок трахид, которыми оканчивается жилка, подводящая воду; *э* — эпитема; *в. у* — водяное устьице. Б — лист настурции: гуттация (выделение капельножидкой воды гидатодами).

сторонам, а губчатая или отсутствует, или имеется около средней жилки в центре разреза. Наиболее ярко такое строение отражено в листьях австралийских растений миртовых (например, эвкалиптов), протейных и бобовых, однако и у нас, например среди гвоздичных, встречается изолатеральный лист. Характерен он и для растений пустыни, где яркий свет отражается снизу.

Совершенно иное изменение встречаем мы у чешуевидных листьев на подземных стеблях или корневищах кислички (*Oxalis acetosella*, см. рис. 222), лесной звездочки (*Stellaria nemorum*) и пр., состоящих из мясистой запасной ткани с крахмальными зёрнами. Здесь, следовательно, развита крахмалоносная ткань, составляющая зимний

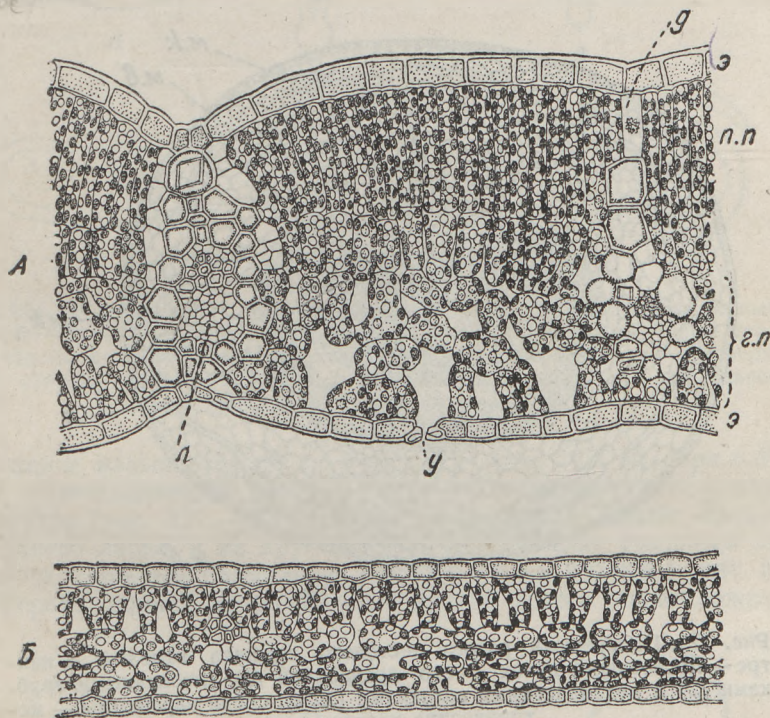


Рис. 124. Поперечные срезы листьев бука (*Fagus*): А — световой лист: э — эпидермис; п. п. — палисадная (столбчатая) паренхима из двух рядов клеток; г. п. — губчатая паренхима; л — луб, над ним — древесина проводящего пучка (жилки); у — устьице. Б — теневой лист: палисадная паренхима только из одного слоя рыхло расположенных клеток.

запас этих растений; у семейства толстянковых листья также мясисты, но состоят, главным образом, из водоносной запасной ткани. В часы после дождя растения энергично всасывают воду, за счёт которой и поддерживают свойственную им насыщенность тканей листа водой и продолжительное время. При сильной засухе они тем не менее также иссыхают (например, *очиток Sedum acre*) и при механическом давлении рассыпаются в пыль.

Перейдем теперь к черешку. Его главная функция — обеспечить за пластинкой нормальное положение к направлению солнечных лучей, наиболее благоприятное для фотосинтеза. Так как солнце, описывая круг по небу, освещает лист с разных сторон, а, кроме того, часто оказывается за ширмой облаков, то и лист должен быть все время подвижен. Это достигается, главным образом, закручиванием и раскручиванием или наклоном, или общим изменением тургора в тканях черешка.

Анатомически черешок — продолжение главной жилки или нескольких основных жилок пластинки, окруженных паренхимной тканью и одетых эпидермисом. Черешок может быть цилиндрический, желобчатый, плоский, частью цилиндрический, частью плоский (осина), наконец, крылатый.

Типичный поперечный разрез черешка, например, камелии (рис. 125) показывает один крупный пучок, имеющий более или менее веерообразную или подковообразную форму. Широкая округлая сторона его обращена книзу, самую верхнюю часть составляет ксилема (древесина), под ним флоэма и еще ниже — механические клетки. Паренхимная наружная часть или совершенно однообразна, или включает в себе рассеянные среди паренхимы отдельные механические клетки — склереиды, как

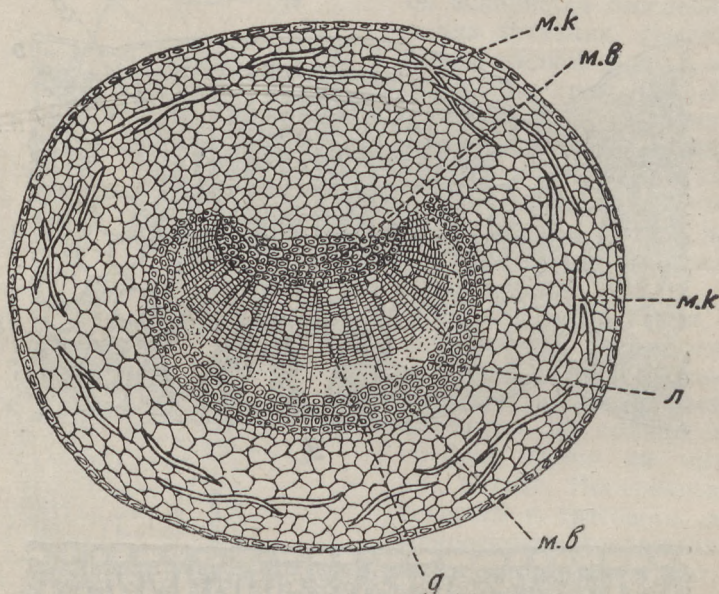


Рис. 125. Поперечный разрез листового черешка камелии: в центре — проводящий пучок с его древесиной (*д*), ситовидными трубками (*л*) и механическими волокнами (*м. в*); среди паренхимы — механические клетки (*м. к*).

это имеет место у чайных листьев. Основание листа чаще всего представлено слегка расширенной нижней частью черешка. Здесь происходит некоторая перегруппировка пучков, входящих далее в кору стебля. Поэтому их здесь часто больше, чем в черешке. Если отломать лист с ветки, то и на изломе черешка или листового основания, и на рубце, только что возникшем на коре, можно в лупу, а то и простым глазом сосчитать точно, сколькими пучками листовая система жилок входит в кору. Рубцы листовых пучков на коре первое время по снятии листа вполне отчетливы (см. рис. 149).

Пока молодой лист находится в почке, он должен занимать минимум места. Это достигается различным листосложением (рис. 126), которое проще всего у ошмы (*Viscum album*) или у сосны, где в почке два листа не сложены вовсе, но лежат плотно прижатые один к другому. Далее идут такие листья, как липы, дуба, которые сложены в почке вдоль главной жилки пополам; листья ивы и первоцвета (*Primula officinalis*), у которых оба края листьев закручены в середине вниз, и листья тополей и фиалок (*Viola*), оба края которых закручены в почке вверх спирально. Далее идет пятый тип листосложения, когда весь лист образует единую спираль, как это имеет

место у сливы, злаков и др. Шестой тип — складчатое листосложение, гармоникой, как у манжетки (*Alchimilla*), земляники (*Fragaria*), у ревеня (*Rheum*) — листья в почке смятые или сморщенные.

Листья в почке могут различным образом касаться или прикрывать друг друга. Это взаимное положение листьев в почке называют почкосложением (рис. 127). Если листья только соприкасаются краями,

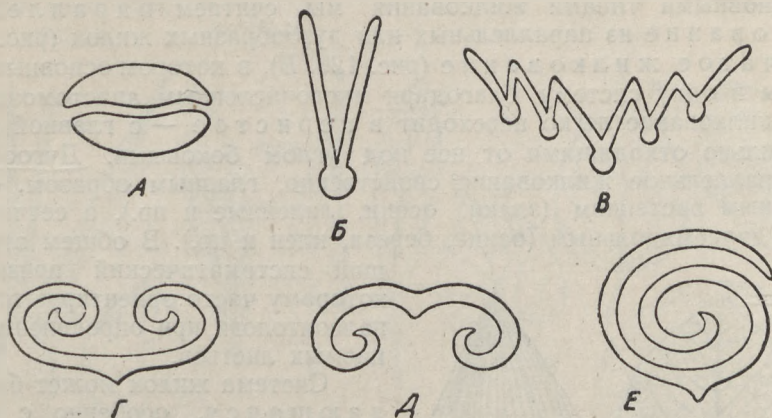


Рис. 126. Листосложение. А — плоское; лист не сложен вовсе (хвоя сосны). В и Е — складчатое: В — лист сложен вдоль средней жилки (липа, дуб), Е — так же и по боковым (вяз, клен). Г, Д, Е — свернутые: Г — на верхнюю сторону листа (тополь), Д — на нижнюю (ивы), Е — спиральное (например, у папоротников).

почкосложение называется створчатым (рис. 127, А). При объемлющем почкосложении каждый лист обхватывает все следующие за ним внутрь (рис. 127, В). Если же лист одним краем прикрывает край соседнего листа, и на другом краю сам прикрыт смежным листом, то такое почкосложение называется полуобъемлющим (рис. 127, В). Помимо перечисленных, встречаются и другие формы почкосложения.

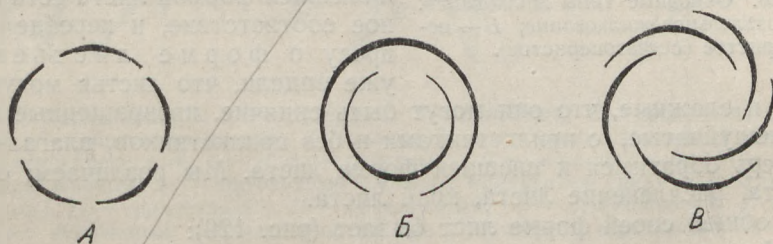


Рис. 127. Почкосложение (взаимное положение листьев в почке): А — створчатое; листочки только соприкасаются краями. В — объемлющее: каждый лист обхватывает все следующие за ним внутрь. В — полуобъемлющее, когда листья одним краем прикрывают край соседнего листа, а на другом краю сами прикрыты смежным листом.

Листосложение и почкосложение — очень постоянная и не менее характерная особенность определенных растений. Одно и то же листосложение, особенно складчатое или спиральное, характерно бывает не только для данного рода, но часто и для целого семейства, и может служить надежным путем при филогенетических изысканиях.

Перейдем теперь к жилкованию листа. Совокупность жилок всегда имеет определенное расположение, выработавшееся филогенетически и потому очень постоянное. Нередко говорят о «нерватуре» и о «нервах» листа. Необходимо всячески бороться с той путаницей,

которая создается употреблением одного и того же термина в совершенно различных смыслах. Нервы у животных как проводники раздражений и жилки у растений между собой совершенно несходны. Жилки растений соответствуют отчасти костям, поскольку содержат стереомные пучки, отчасти кровеносным сосудам, поскольку соответствуют проводящей системе. Мы их так жилками называть и будем.

Основными типами жилкования мы считаем параллельное жилкование из параллельных или дугообразных жилок (рис. 128, А) и сетчатое жилкование (рис. 128, Б), в котором основные жилки связаны в одну систему благодаря многочисленным анастомозам: сетчатое жилкование легко переходит в перистое — с главной жилкой и правильно отходящими от нее под углом боковыми. Дугообразное или параллельное жилкование свойственно, главным образом, односемядольным растениям (злаки, осоки, лилейные и пр.), а сетчатоперистое — двусемядольным (осина, береза, клен и пр.). В общем это хоро-

ший систематический признак, по которому часто ориентируются фито-палеонтологи при определении ископаемых листьев.

Система жилок может быть выдающаяся, особенно с нижней стороны, когда главные жилки значительно выдаются над мезофиллом; врезанная, когда, особенно с верхней стороны, поверхность главных жилок несколько ниже мезофилла, и погруженная, если жилки совсем не просвечивают через мякоть листа, как это нередко бывает у толстянковых.

Отметим еще, что жилкование может быть пальчатым, или перистым, что между жилкованием и внешней формой листа есть известное соответствие, и перейдем к вопросу о форме листьев. Мы уже видели, что листья могут быть

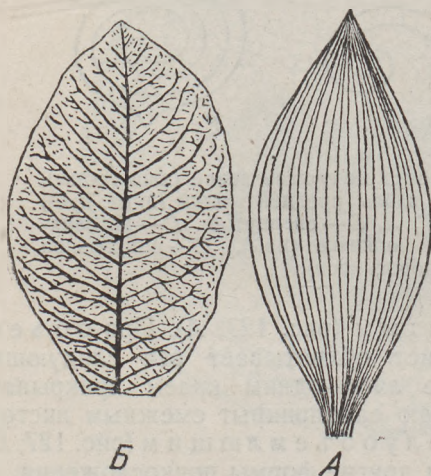


Рис. 128. Основные типы жилкования: А — параллельное жилкование; Б — перистое (сетчатоперистое).

простые и сложные, что они могут быть сидячие, превращенные в филлодии, чешуйчатые, с прилистниками и без прилистников, влагалищные.

Теперь обратимся к внешней форме листа. Мы различаем: очертание листа, расчленение листа, край листа.

По общей своей форме лист бывает (рис. 129):

1. Игловидный — например, листья (хвоя) сосны и ели (рис. 129, 1).

2. Шиловидный — очень узкий, кверху переходящий в колючее острие (например, *Scleranthus* и некоторые другие гвоздичные).

3. Щетиновидный — тонкий и жесткий в форме щетинки (некоторые злаки).

4. Линейный — с параллельными краями, когда длина много превышает ширину (злаки и осоки) (рис. 129, 2).

5. Мечевидный — более широкий и жесткий, кверху сужающийся, острый лист (*Iris*, *Asorus*).

6. Продолговатый — длина превышает ширину в 3—4 раза, причем наибольшая ширина посредине листа (рис. 129, 3).

6а. Ланцетный — то же соотношение длины к ширине, но наибольшая ширина ближе к основанию пластинки, суживается постепенно к острой верхушке (рис. 129, 4).

66. Обратнoланцетный — наибольшая ширина ближе к вершукe листа (рис. 129, 5).

7. Эллиптический, или овальный — длина превышает ширину в $1\frac{1}{2}$ —2 раза, наибольшая ширина посредине листа (рис. 129, 6).

7а. Яйцевидный — соотношение длины и ширины как у предыдущего, но наибольшая ширина ближе к основанию (например, лист черники) (рис. 129, 7).



Рис. 129. Форма листьев: 1 — игловидный, 2 — линейный, 3 — продолговатый, 4 — ланцетный, 5 — обратнoланцетный, 6 — овальный, 7 — яйцевидный, 8 — обратнoяйцевидный, 9 и 13 — округлый, 10 — лопатовидный, 11 — ромбический, 12 — дельтовидный, 14 — сердцевидный, 15 — почковидный (черешок прикреплен снизу к центру округлой пластинки), 16 — стреловидный, 17 — копьевидный, 18 — лировидный (непарноперистый лист, у которого верхушечная доля крупнее боковых).

76. Обратнoяйцевидный — наибольшая ширина ближе к вершукe листа (лист голубики, черной ольхи) (рис. 129, 8).

8. Округлый, или почти округлый — с более или менее одинаковым поперечником, длина пластинки почти равна ее ширине (рис. 129, 9 и 13); например, у мальвы, некоторых видов манжеток (*Alchemilla*).

9. Лопатовидный — кверху расширенный и притупленный, или пологоокруглый, например, у обыкновенной маргаритки, у нивяника (*Leucanthemum vulgare*) (рис. 129, 10).

10. Ромбический — общее начертание ромба, например, у некоторых форм белой березы (*Betula verrucosa* — березы бородавчатой) (рис. 129, 11).

11. Треугольный или дельтовидный — с плоско обруб-

ленным основанием и прямолинейно сходящимися к вершине боковыми сторонами (например, у осокоря, рис. 129, 12).

Эти типы листьев легко расположить в ряд с убывающей поверхностью испарения при равной длине листа. Если же для более широких листьев принять во внимание еще и форму основания пластинки, то получится еще: щитовидный, т. е. округлый лист с прикреплением черешка снизу, около середины пластинки — у настурции (*Тгораеолит*, рис. 129, 13), клещевины (*Ricinus*); сердцевидный (рис. 129, 14), с глубокой острой выемкой у основания и округлыми лопастями (липа, сирень); почковидный (рис. 129, 15), с тупой выемкой у основания, более широкий, чем длинный и округлый на верхушке (например, копытень, калужница, будра); стреловидный (рис. 129, 16), удлинненный острый, с двумя острыми же лопастями, обращенными к основанию листа (например, у стреллиста, щавеля — *Rumex acetosa*); копьевидный, еще более приостренный и с лопастями, у основания расходящимися в стороны (щавелек — *Rumex acetosella*, рис. 129, 17); наконец, клиновидный, с краями, сходящимися к основанию под острым углом (рис. 129, 5).



Рис. 130. Формы верхушки листа: А — тупая, Б — острая, В — заостренная, Г — остроконечная, Д — выемчатая.

пиком или острым зубчиком на верхушке), Д — выемчатая.

Рис. 131 иллюстрирует край пластинки листа, ее расчленение.

Если пластинка листа цельная и по краю не имеет никаких надре-

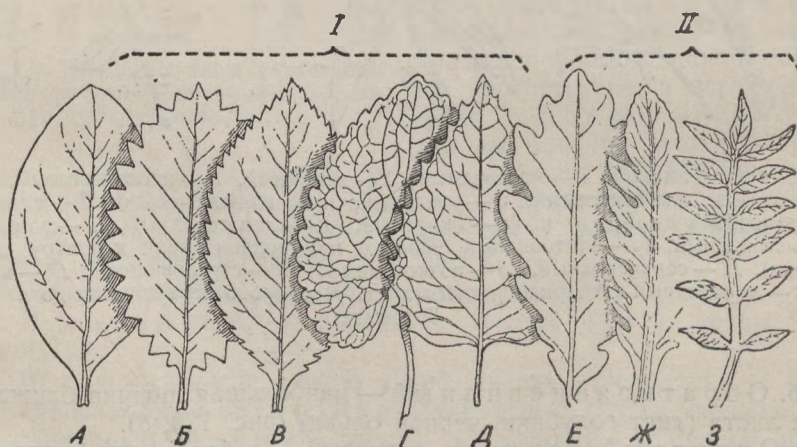


Рис. 131. Край листа и расчленение пластинки листа. I. А — цельнокрайный, Б — зубчатый, В — пильчатый, Г — городчатый, Д — выемчатый край листа. II. Расчленение пластинки: Е — надрезная, Ж — рассеченная, З — раздельная.

зов, то лист называется цельнокрайным. При наличии острых прямых зубчиков край листа так и называется — зубчатым. Если острые зубчики обращены к верхушке листа, край называется пильчатым. В том случае, когда край листа имеет острые выемки и тупые выступы, очертание края листа называется городчатым; в обрат-

ном случае, когда имеются тупые выемки и острые зубчики, — край листа называется **выемчатым**.

Далее пойдут уже листья, расчлененные на лопасти, доли и дольки. У пальм лист — будь то перистый или веерный — одинаково залагается в почке, как простой продолговатый лист, с параллельным или перистым жилкованием. При росте листа пальмы появляются разрывы от верхушки к основанию, причем отдельные сосудистоволокнистые пучки выпадают из ткани и висят тонкими сухими нитями между лопастями листа.

Другие расчлененные на части листья уже в почке представляют собою систему более или менее самостоятельных частей данной пластинки, соединенных сужениями, крылатыми или даже тонкими черешочками. Очень сильное расчленение единого листа мы наблюдаем у папоротников, некоторых лютиковых (например, василистник *Thalictrum*), зонтичных (тмин, укроп) и пр. У лютиковых при отдельных листовых дольках имеются также черешочки и прилистнички.

Далее идут сложные листья — тройчатые, перистые, пальчатые и пр., отдельные листочки которых соединены между собой особыми подушечками, которые, меняя свой тургор, могут производить движения, ставящие доли пластинки листа в определенное положение к солнечным лучам. У нашей обычной вики (*Vicia*) в яркие солнечные дни, где-нибудь на открытом косогоре, можно наблюдать движение отдельных листочков, вызванное изменениями в тургоре черешочков. Если свет чересчур силен, то листочки складываются попарно плотно нижними сторонами кнаружи, и общая поверхность их уменьшается вдвое.

Отметим еще, что первые листья, с которых начинается рост растения, — зародышевые листья или семядоли (см. рис. 230 и 231) отличаются наибольшей простотой контуров и наиболее сходны у всех растений; затем развиваются листья низовые или листья нижних ярусов, также простые по форме, а по анатомии своей близкие к теневым, затем наиболее крупные и наиболее развитые по форме и расчленению листья средних ярусов и, наконец, листья верхних ярусов или верхушечные, опять-таки более простые по очертанию, но световые по строению.

Остановимся на значении листопада. Когда мы видим осенью массовое опадание листьев, то первое впечатление, что причина этого — повторные заморозки, и, лишь внимательно присмотревшись, мы убеждаемся в том, что это не так. Например, у нашего дуба завядшие листья часто висят на ветках всю зиму и опадают только весной следующего года. Ясно, что причина здесь не та, что у березы, листья которой начинают опадать осенью очень рано и падают неравномерно: один-два заморозка объяснение листопаду не дают.

Листопад объясняется в настоящее время образованием осенью особого **отделительного** слоя клеток (рис. 132). Этот отделительный слой захватывает и кожицу, и паренхиму, в клетках которых накапливается много протоплазмы и крахмальных зерен; он приходит в деятельное состояние и образует путем деления несколько слоев тонкостенных паренхимных клеток. Посредине этого молодого слоя клетки закругляются и разъединяются, сосуды и либриформ разрываются, и лист опадает. На месте разрыва быстро образуется слой перидермы (пробки), что может случиться и ранее опадения листа.

Польза массового листопада в том, что охлаждение почвы осенью вызывает прекращение всасывания почвенных вод, и в этих условиях громадная испаряющая поверхность, какую представляет листва дерева, могла бы стать опасной для жизни растения.

Брусника, грушанка, плауны, хвойные деревья теряют листья лишь постепенно, и растения эти кажутся нам вечнозелеными. Дело в том, что продолжительность жизни листа различна у разных растений: [у сосны

лист живет 2 года, у пихты 2—5 лет, у ели 5—7—12 лет, у лавра 4 года, у араукарии до 15 лет,] а в пустыне Африки есть голосеменное *Welwitschia mirabilis*, единственная пара листьев которого доживает до столетнего возраста.

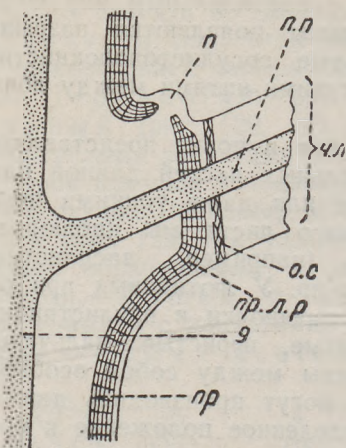


Рис. 132. Схема продольного разреза стебля при основании листа во время осеннего листопада: д — древесина стебля; пр — пробка стебля; п. л. р — пробка листового рубца; ч. л — черешок листа; п. п — проводящий пучок листа; о. с — отделяющий слой; п — почка.

Ежегодно на конце ветви вечнозеленых деревьев развивается несколько молодых листьев и несколько старых опадает, так что смена протекает незаметно. Листопад общий или частичный имеет, кроме указанной уже борьбы с засухой, еще и значение борьбы с массовым оседанием снега, ломающего облиственные ветви, а также и удаления отживших тканей, богатых кристаллическими отбросами, так как под осень в листовой паренхиме накапливается очень много кристаллов щавелевокислого кальция.

У каждого растения листья расположены на облиственных частях стебля в определенном, часто строго выдержанном порядке. Прежде всего отметим, что листья располагаются в узлах. В каждом узле может быть или всего один лист, что дает очередное или спиральное листорасположение (ивы, рис. 133, А); или два листа, противостоящих один другому (клен, хмель) — супротивные листья; часто супротивные превращаются в перекрестно-парные, если каждые две соседних пары располагаются

в крест одна другой [шалфей, глухая крапива, вероника (рис. 133, Б), мята, сирень, калина]. Наконец, каждый узел может дать помногу листьев, располагающихся по кругу и образующих кольцо или мутовку, почему подобное листорасположение и получило наименование мутовчатого (рис. 133, В), как, например, у вербейника (*Lysimachia*), олеандра (*Nerium oleander*), водяной сосенки (*Hippuris*) и многих других.

Наиболее частым случаем листорасположения является спиральное. Листья сидят по одному в узле, обходя весь стебель по спирали, лист не затенен вышележащим листом, так как он расположен не под ним, а вкось от него.

Для характеристики различных форм спирального листорасположения проводят мысленно две линии: вертикальную, идущую от листа вверх до листа, лежащего на одной с ним прямой, и [по спирали подсчитывают] все листья между верхним и нижним листом. [Совокупность листьев по этой спирали от нижнего листа до верхнего называют листовым циклом.] Понятно, что эта спиральная линия охватит стебель в один или в несколько оборотов в зависимости от числа листьев цикла (рис. 134). Это отношение выражается дробью, где числитель обозначает число оборотов спирали, а знаменатель — число листьев, ею охваченных.

Наиболее часты у растений, имеющих спиральное листорасположение, следующие листовые циклы или расхождения угла между двумя смежными листьями: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{13}$, $\frac{8}{21}$, $\frac{13}{34}$, $\frac{21}{55}$ и так далее, что легко запоминается, так как сумма числителей и знаменателей двух соседних дробей всегда дает следующую за ним дробь. Число $\frac{8}{21}$, например, означает реально, что в одном цикле, например, у чешуй шишки, приходится 21 лист или чешуя листового происхождения, при этом спи-

раль, соединяющая основания всех этих чешуй, восемь раз опоясывает стебель.

Для объяснения этих соотношений предложены различные теории. Идеалистическая теория выводит строение растений из этих арифметических построений, как будто им изначально свойственных. [По этим теориям] у каждого вида растений распределение мельчайших частиц протоплазмы, группировка клеток и расположение листьев совершаются по тем же законам симметрии и по одному и тому же архитектурному плану.

Механическая теория утверждает, что положение боковых органов вообще и листьев в частности обуславливается тем давлением, которое оказывают друг на друга зачатки боковых органов вблизи точки роста. Давление вызывает смещение. [При этом принимается,] что все зачатки

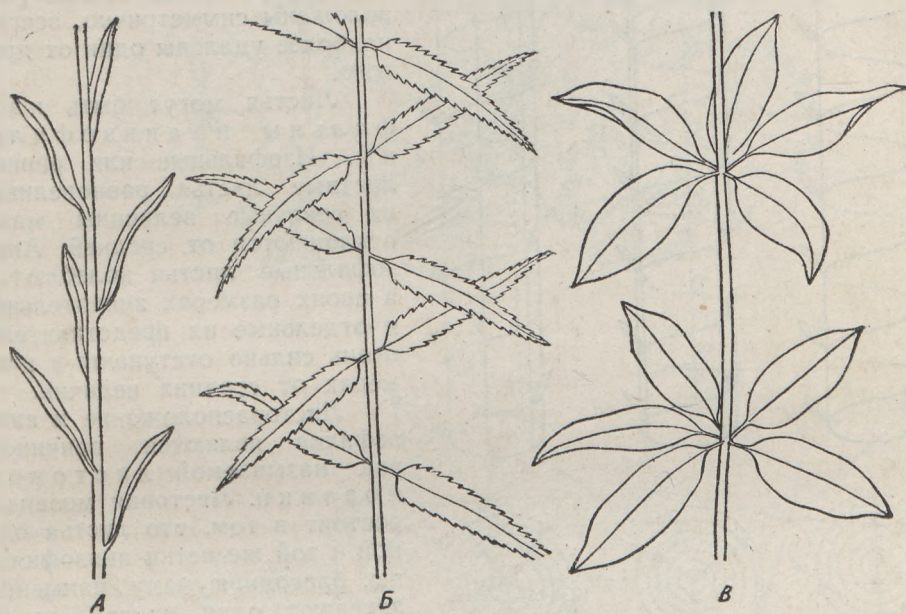


Рис. 133. Типы листорасположения: А — очередное или спиральное, Б — супротивное (перекрестно-парное), В — мутовчатое.

остаются в течение всего процесса давления и смещения постоянными и по величине и по форме, а в разрезе остаются кружками. Была построена также и механическая модель, в виде прямоугольного открытого ящика, который ставится наклонно и в который насыпаются шарики. Давление верхних шариков на нижние заставляет их располагаться в определенном порядке, причем можно ясно установить и спираль, и угол расхождения.

Однако ясно, что если данная ось быстро утончается, то расположение находящихся на ней зачатков должно меняться с диаметром оси, и листорасположение также меняется. Зачатки листьев чаще всего имеют форму полусферовидных бугорков, реже форму вытянутого валика; для того, чтобы надавливать один на другой, они должны были бы соприкасаться и сдвигаться с первоначальной точки, однако этого-то и нет и, если молодые листья давят друг на друга, то это может отразиться на их форме, может также запечатлеть рисунок листового края на поверхности соседнего листа, но никогда не передвигает листового основания на поверхности стебля.

Третье направление пытается объяснить листорасположение физио-

логически. Для этого пока данных немного, но все же есть принципы, могущие навести на след правильного решения.

Основной принцип листорасположения — это принцип наибольшего удаления развивающихся зачатков один от другого. При спиральном листорасположении каждый зачаток максимально удален от другого, так как на одном горизонтальном участке коры он единственный, и все вещества, имеющиеся в этом участке и могущие быть переданы горизонтально, — в его распоряжении. Если подобных зачатков два, то они супротивны, т. е. отделены один от другого на 180° , если три, то они

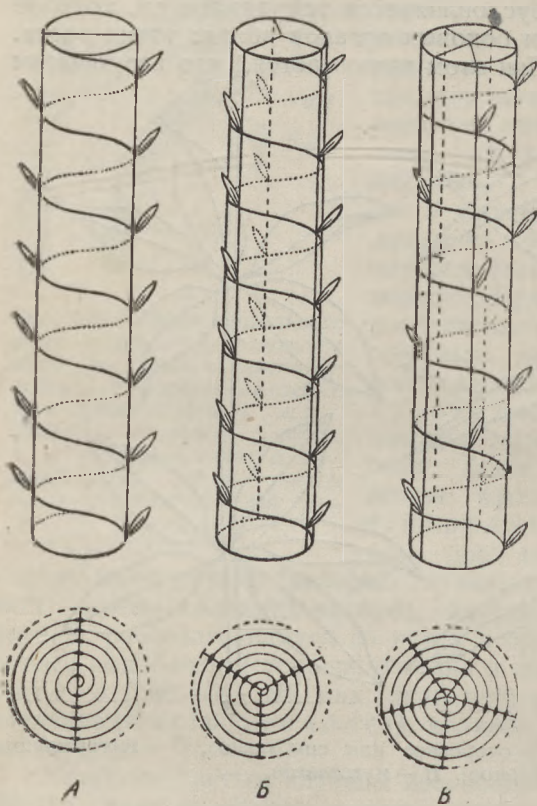


Рис. 134. Схемы спирального листорасположения: А — $\frac{1}{2}$, Б — $\frac{1}{3}$, В — $\frac{1}{5}$.

отделены один от другого расстоянием в 120° . Неизвестны вовсе растения, у которых сидели бы, скажем, два листа рядом на одной стороне стебля и ни одного на другой, они всегда расположены симметрично, всегда наиболее удалены один от другого.

Листья могут быть изофильны и анизотильны. Изофильные или равнолистные листья равновелики, их реальные величины мало отклоняются от средней. Анизотильные листья колеблются в своих размерах значительно, и отдельные их представители очень сильно отступают в размерах от средних величин.

Листорасположение и анизотильность являются причиной так называемой листовой мозаики. Листовая мозаика состоит в том, что листья одной и той же ветки анизотильны, благодаря чему наименее затеняют один другой, везде они расположены так, что свет проходит между пластинками вышележащих листьев и освещает нижележащие. Даже и форма листовых пластинок нередко соответствует требованиям листовой мозаики, важ-

но, однако, и в этом случае значение длины черешков. Последние всегда наиболее коротки у верхних листьев и длиннее у нижних. Там, где листья очень сближены и образуют прикорневые розетки, например, у герани (*Geranium rupestris*, рис. 135, А), черешки короче к центру розетки и все длиннее по мере удаления от центра и приближения к периферии. Поэтому, если нижние части листьев и закрыты от солнца верхними листьями, все же значительная часть листа открыта и свободно ассимилирует. В естественных условиях свет является важнейшим фактором расположения листа в пространстве.

Прекрасные случаи листовой мозаики дают ветви деревьев липы, клена (рис. 135, Б), дуба и пр., а также плавающие на поверхности воды листья водяных растений, например, водяного ореха (*Trapa*, рис. 136).

Перейдем к вопросу о функциях листа.

[Основным, важнейшим процессом, происходящим в зеленом расте-

нии, является процесс фотосинтеза. Накопление органического вещества — основная задача сельского хозяйства. В этом процессе фотосинтез и обуславливает в конечном итоге эффективность урожая. В противоположность водному режиму, минеральному питанию, прямо регулировать освещенность растения в полевой обстановке очень трудно. Однако мы можем косвенно воздействовать на энергию фотосинтеза. Ориентируя посевы с севера на юг, производя крестообразные посевы,

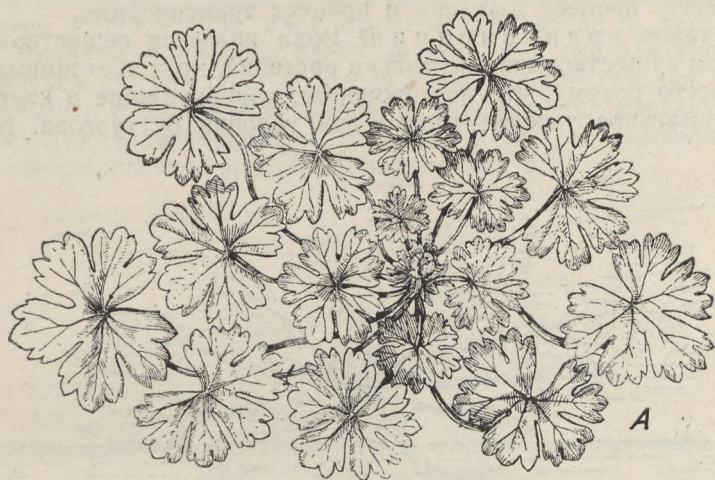


Рис. 135. Листовая мозаика: А — розетка листьев герани (*Geranium rupestris*); Б — ветка клена.

можно добиться лучшего освещения и более полного использования света растением. Подкармливая растение углекислотой (CO_2), добиваются мощного увеличения органической массы, так как при повышенном содержании ее фотосинтез протекает значительно интенсивнее. Эта подкормка может осуществляться внесением навоза, при разложении которого освобождается большое количество углекислоты, сжига-

нием различных древесных отходов в специальных печах и т. д. Используя ранние сроки посева так, чтобы почва ни на час не оставалась без зеленого растения, мы добиваемся наилучшего использования энергии солнца, падающей на землю. К. А. Тимирязев говорил, что каждый солнечный луч, упавший не на зеленое растение, пропал для нас бесследно.]

Наряду [с процессом фотосинтеза в листе] совершаются два других процесса: процесс дыхания и процесс транспирации.

Что такое транспирация? Вода является веществом, необходимым для существования не только растений, но и всех живых существ, прежде всего потому, что все процессы, происходящие в клетке, могут иметь нормальное течение только при условии ее тургора. Нормально



Рис. 136. А — листовая розетка водяного ореха (*Trapa natans*); Б — проросший водяной орех.

живая клетка находится в состоянии напряжения, а при потере воды, после известного предела, наступает съеживание протоплазмы, нарушаются нормальные процессы жизнедеятельности клетки. В ежедневной практике можно наблюдать подсыхающее растение: сморщенные листья, повисший стебель достаточно ясно показывают, что недостаток влаги чрезвычайно резко отражается на состоянии растения.

Кроме того, вода входит в те продукты фотосинтеза, которые вырабатываются в листе. Таким образом, вода является необходимым веществом, без которого процесс фотосинтеза идти не может.

Затем вместе с водой растение поглощает из почвы необходимые минеральные вещества, которые опять-таки идут и на выработку органических веществ и необходимы для построения тела растения.

Процесс транспирации, происходящий в растении, целиком связан с основными органами газообмена, с устьицами.

Под транспирацией мы будем понимать выделение через устьица в окружающую атмосферу воды в парообразном состоянии. Именно потому, что этот процесс происходит в живом организме, его нельзя считать вполне равнозначным простому испарению, которое происходит в поверхности воды, находящейся в сосуде или водоеме.

Процесс транспирации идет сложнее, он связан с деятельностью живого организма и, следовательно, может им в той или иной степени регулироваться. Регулировка процесса транспирации связана с деятельностью устьиц и с состоянием тургора в окружающих клетках.

Фотосинтез, транспирация и дыхание — вот те основные задачи, которые обеспечиваются работой зеленого листа.

ГЛАВА X

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ К СРЕДЕ ОБИТАНИЯ

Изучая живые клетки и образованные ими ткани и органы — корень, стебель, лист, мы отмечаем согласованность внутреннего строения растения с его внешней формой.

[Находясь в постоянном взаимодействии с внешней средой как в своем онтогенезе, так и в процессе всего филогенетического развития той группы живых существ, к которым они принадлежат, растения вырабатывают структуры, отвечающие обстановке, в которой они произрастают. При изменении привычных для растения условий существования происходит изменение растительных форм, из которых в процессе естественного отбора закрепляются наиболее приспособленные.]

Что означает «влияние среды»? Растение строится путем процессов роста. Рост зависит от температуры, от влажности, от освещения, от механических условий, от состава воздуха, от состава солей в почвенном растворе — все эти факторы действуют одновременно, из всего этого вытекает какая-то равнодействующая, определяющая способности растения. Однако сразу рассматривать весь комплекс факторов, значит ввести в одну и ту же задачу много неизвестных, — поэтому мы обычно рассматриваем каждый фактор отдельно и затем уже учитываем их совместное действие. При этом мы убеждаемся, что сходные условия жизни часто приводят к сходству в строении растений. Но здесь перед нами встает затруднение: дело в том, что органы одного растения могут быть сходны с органами другого или потому, что они общего происхождения, так как их история одинакова, или потому, что, будучи совершенно различными по своему происхождению, они подвергались последнее время одинаковым влияниям среды, что и обусловило их сходное строение.

Известно, что для американского материка характерны своеобразные группы растений и среди них — кактусы. Они имеют стебли обычно толстые, мясистые и зеленые, покрытые колючками разнообразной формы. Ассимиляция совершается поверхностью зеленых стеблей, так как листья редуцированы и превращены в колючки; иногда они появляются на цветущих побегах в виде чешуек или щетинок.

Формы и размеры кактусов чрезвычайно разнообразны (рис. 137). Одни из них, например, опунция (*Opuntia*), имеют плоские, как бы сплюснутые зеленые стебли, которые ветвятся и могут достигать 2—3 м высоты. Несмотря на отсутствие листьев, они все же имеют достаточную поверхность для ассимиляции.

У других кактусов (*Cereus*) — цилиндрические колоннообразные стволы — ветвящиеся, и иногда по форме напоминающие канделябры.



Эти древовидные формы могут достигать 20 м высоты, имея диаметр до 1 м. Нередко встречаются кактусы, имеющие ребристые стволы шаровидной формы (например, *Echinocactus*) до 1 м в поперечнике при 1½ м высоты.

Кактусы растут обычно в пустыне, на почве каменистой, плотной, богатой минеральными солями, но очень бедной водой. Дожди здесь выпадают только несколько раз в году на очень короткое время, а все

пустыня

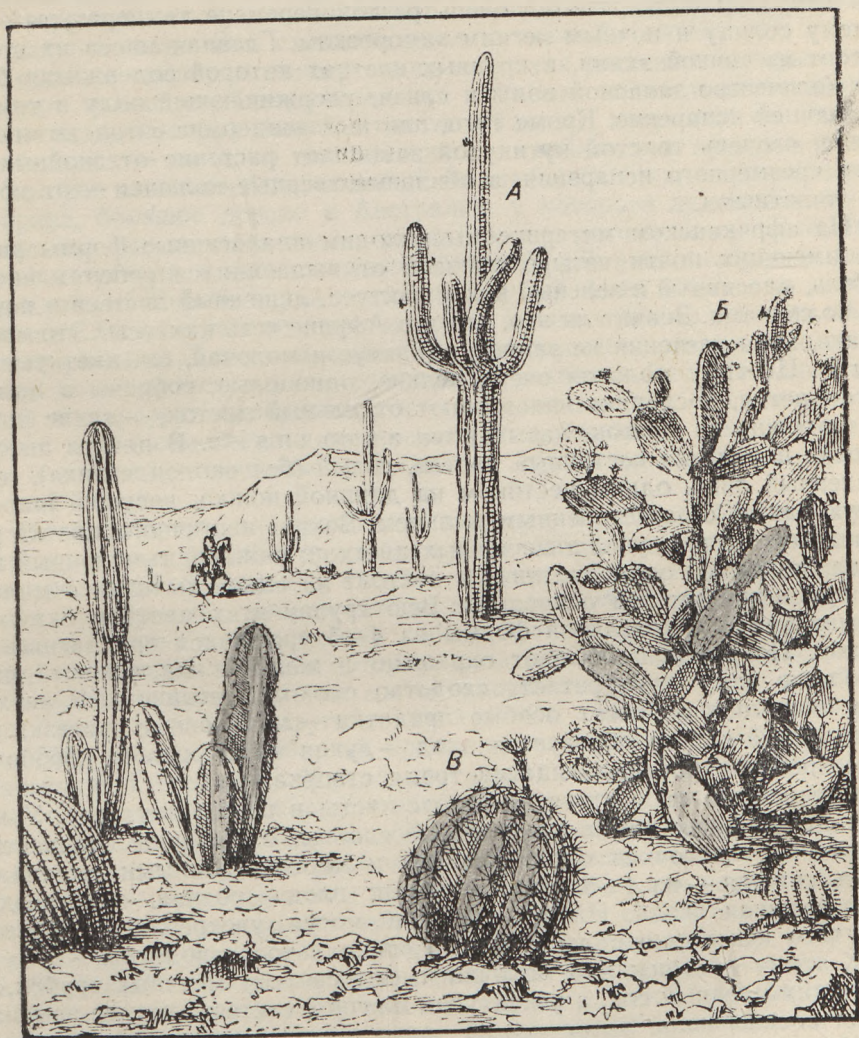


Рис. 137. Формы кактусов: А — древовидные цереусы; Б — опунция; В — шарообразные эхинокактусы.

остальное время растения подвергаются засухе и палящим лучам солнца. Чем ближе к шарообразной форме, тем отношение поверхности к объему будет благоприятнее, так как при большом объеме получается наименьшая поверхность испарения. Кактусы с плоским стеблем, как у видов рода опунция, имеют довольно крупную испаряющую поверхность: можно сказать, что на каждые 10 г живой ткани приходится 1—2 мм² поверхности, тогда как у шарообразного кактуса на каждые 10 г живой ткани будет приходиться совсем ничтожная поверхность. В этом легко убедиться, отрезав кусок тела кактуса, взвесив его, изме-

рив поверхность и произведя соответствующие вычисления. Однако чрезмерное уменьшение испаряющей поверхности невыгодно для растения в отношении фотосинтеза, — этим вероятно объясняется появление на поверхности стеблей кактусов выростов в виде выпуклых бугорков (*Mamillaria*) или в виде продольно идущих ребер (у *Cereus*, *Echinocactus* и др.).

Кактусы хорошо приспособлены к климату с периодическим выпадением осадков, в котором растения периодически запасаются водой на весь год. Они подвергаются очень резкой перемене температуры — палящему солнцу и ночным легким заморозкам. Главная масса их стебля состоит из сочной ткани, в крупных клетках которой содержится большое количество запасной воды и слизи, удерживающей воду и тем замедляющей испарение. Кроме того, плотный эпидермис с толстыми стенками и с очень толстой кутикулой защищает растение от знойных лучей и чрезмерного испарения, а обильные твердые колючки — от поедания животными.

На африканском материке мы находим аналогичные формы растений, имеющих почти четырехгранный от выдающихся ребер мясистый стебель, массивный и зеленый как у кактуса, лишенный листьев и покрытый колючками. Значит ли это, что и в Африке есть кактусы? Это можно думать, пока растения не зацветут (кактус и молочай, см. цветную таблицу I). Цветы у молочая очень мелкие, однополые, собраны в маленькие соцветия, последние напоминают отдельный цветок, — такие соцветия, похожие на цветок, называются антодиями. В центре антодия молочая находится пестичный цветок, голый (без околоцветника), представленный лишь одним пестиком на длинной ножке, несущей шарообразную завязь с разветвленным рыльцем. Вокруг пестичного цветка располагается целая группа тычиночных цветков; каждый тычиночный цветок также лишен околоцветника и состоит из одной тычинки с маленьким прицветником при основании. Всю группу этих цветков окружает покрывальце колокольчатой формы из 4—5 сросшихся прицветных листочков. Покрывальце бывает окрашено в желтый или красный цвет, благодаря чему приобретает сходство с околоцветником. В верхней части покрывальце несет особые придатки — медоносные железки. Из трехгнездной завязи образуется плод — сухая трехсемянная коробочка, при созревании раскрывающаяся тремя створками.

Совершенно иное строение имеют цветы и плоды кактусов. У кактусов цветы часто очень крупные, обоеполые, с большим количеством окрашенных листочков околоцветника и многочисленными тычинками. Завязь нижняя — из 4—8 плодолистиков; плод — сочная, одногнездная многосемянная ягода. Плоды кактусов могут употребляться в пищу, ради чего некоторые виды кактусов специально разводятся.

К этому добавим, что молочай имеет систему млечных трубок, содержащих млечный сок, а у кактусов млечной системы нет, ее заменяют клетки со слизью.

Итак, сравнение цветов и плодов кактусов и молочаев доказывает, что эти растения принадлежат к различным семействам, не имеющим близкого родства, и тем не менее эти две группы растений из разных семейств оказываются внешне сходными до такой степени, что трудно их различить, если не знаешь их генеративных органов и внутреннего (анатомического) строения.

Как это произошло? Если сравнить условия обитания американского кактуса с условиями обитания африканских молочаев, мы увидим в них много сходного, что обусловлено сходным климатом: и там и тут палящие лучи солнца, редкие дожди, резкие колебания температуры дня и ночи, сухая каменистая почва — все эти условия более или менее одинаковы. Как среди кактусов Америки, так и среди молочаев Африки имеются виды, которые, происходя от различных растительных форм,

приобрели сходные формы под влиянием однородных климатических условий. Такого рода аналогия — сходство в облике — различных по происхождению групп называется конвергенцией. Возникает внешнее сходство, но внутренняя суть растения — его способность создавать определенные химические вещества, определенную форму цветов и плодов — эта суть сохраняется, несмотря на изменение органов вегетативной жизни.

Итак, сходство растений может зависеть от их родства — это сходство систематическое, но оно может создаваться и совпадением условий существования. Это сходство экологическое¹.

Хорошим примером конвергенции являются растения, которые ассимилируют только стеблем, растения с тонкими, ветвистыми стеблями, зеленая ткань которых заменяет листья. Таковы, например, из папоротникообразных — хвощ, из голосеменных — хвойник или ефедра — растение, которое имеет стебель, похожий на стебель хвоща, из цветковых — казуарина, большое дерево в Австралии, у которого видны только поникшие зеленые ветки, а листья очень малы и потому почти незаметны. К этой категории относится много бобовых растений, например, спарциум в южной Европе и ряд растений Средней Азии, у которых ассимилирующих листьев нет, но имеется масса зеленых веток, которые обслуживают растение вместо листьев. Все эти растения весьма сходны по облику, но их происхождение совершенно различно. Растения, принадлежащие к папоротникообразным, к голосеменным и к весьма далекому друг от друга семействам цветковых (ветроопыляемое дерево — казуарина и насекомоопыляемые растения из семейства бобовых), приняли сходный облик.

Одной из форм конвергенции является и метаморфоз различных органов, происходящий в одном и том же направлении. Приспосабливаясь к определенной функции, разные органы в процессе естественного отбора приобретают конвергентное сходство. Мы говорим, что такие органы аналогичны между собой: это аналогия. Шиповник колется, есть виды акации, которые колются, боярышник колется: все они колючи, а вместе с тем мы отличаем очень строго, с одной стороны, шипы и с другой — колючки разного происхождения (рис. 138): из листа (барбарис), прилистников (белая акация) или стебля (боярышник и гледичия). Что между ними сходного? Это — органы, которые одревеснели и которые вонзаются в руки и одежду как будто бы одинаково, но, если всмотреться, как они возникают на растениях, то вы увидите, что эти органы различны. У шиповника образуются выросты коры, которые одревесневают; вместо характерных для коры мягких клеточек, богатых содержимым, получаются клетки с толстыми одревеснелыми стенками, их рост в нижней части сильнее, поэтому получается как бы тонкая коническая игла с широким основанием — шип.

У гледичии, растущей у нас на юге, часть веток превращена в колючки, листья развиваются в такое время, когда воды мало, а солнце ярко светит. Солнце вызывает в клетке превращения веществ и вместо того, чтобы вырабатывать цветы и листья, эти ветки начинают одревесневать и превращаются в крепкое, как бы скелетное, образование, которое мы называем колючкой (см. рис. 141, Б).

В колючке гледичии и боярышника (*Crataegus*) сохраняется строение ветки, т. е. кольцо проводящих пучков, — сильно развитая механическая ткань; одревесневают и сердцевина. У шипа, напротив, ткань однообразная, клетки вытянуты, утолщены, проводящих элементов в шипе нет.

Так, по их внутреннему строению, можно отличить аналогичные органы разного происхождения — шипы и колючки. Понятно, почему шипы

¹ Экология — наука о взаимодействии растения со средой.

легко ломаются и обрываются: у них нет специальной механической ткани, они — образование поверхностное. Колючку сломать труднее: это сложно построенный орган, сохранивший древесину и пучки механических волокон. Мы видим здесь внешнее и функциональное сходство, но их происхождение разное.

С другой стороны, часто можно наблюдать растения родственные, совершенно друг на друга не похожие. Таких примеров сколько угодно. То, что виды одного и того же рода друг на друга непохожи — явление обычное. Так, различные виды лютика, растущие в воде, на опушке

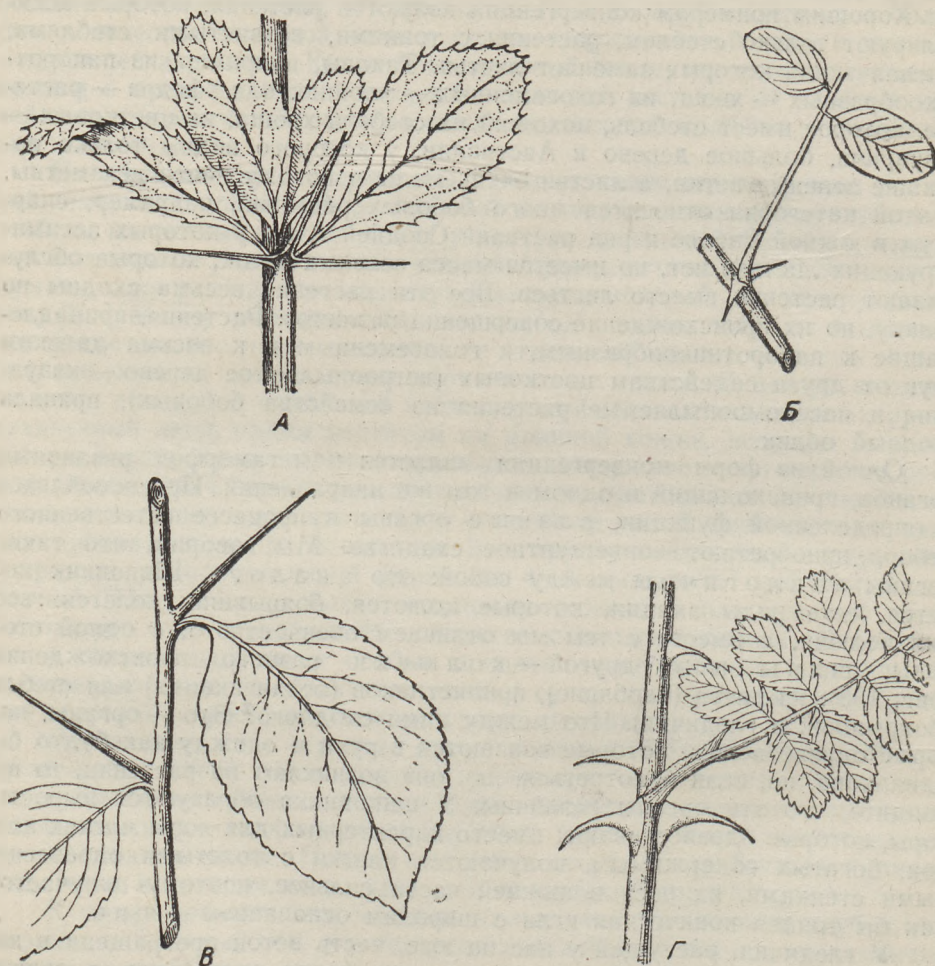


Рис. 138. Примеры органов-аналогов; колючки разного происхождения: А — из листа у барбариса; Б — из прилистников — у белой акации; Б — стеблевого происхождения — у боярышника; Г — шипы у шиповника (*Rosa Beggeriana*).

леса и в степи вовсе не сходны. Водный вид имеет листья, изрезанные на мельчайшие узкие дольки, его погруженные в воду листья похожи на кисточку (рис. 139). Лютик же, растущий у опушки леса, имеет широкие прикорневые листья, совершенно неразрезанные. Лютик, растущий в степи, имеет слабо разрезанные сильно опушенные листья. Установить их родство можно только по цветку, внешне же они не похожи. Здесь мы имеем явление дивергенции, т. е. расхождение признаков вследствие приспособления к разным условиям. Расхождение признаков может выражаться и в различном развитии одного и того же органа.

Путем метаморфоза данный орган может приспособиться к различным функциям, так, например, стебель с редуцированными или мелкими листьями метаморфизуется таким образом, что внешне становится похожим на лист, — такие плоские, зеленые листовидные стебли, выполняющие функцию листьев, называются филлокладами или кладодиями (рис. 140). Некоторые авторы кладодиями называют безлистные зеленые стебли, иногда сплюснутые, но не имеющие внешней формы листа (рис. 140, В). Все формы метаморфоза побега — колючка боярышника и гледичии (рис. 141, Б), луковица, корневище, клубень, усик винограда (рис. 141, А), филлоклады, кладодии — резко различны по своему облику вследствие различных функций, выполняемых ими, но все они имеют общее происхождение — из побега. Они — гомологи.



Рис. 139. Водный лютик (*Batrachium divaricatus*).

Лист, превращенный в усик (см. рис. 117) или в колючку (см. рис. 138, А), гомологичен обыкновенному листу, он возникает в почке по тому же типу.

Чтобы понимать жизнь растения, необходимо разбираться в явлениях аналогии и гомологии. Аналогия — это сходство в облике при различном происхождении; гомология — это родство по происхождению, независимо от того, имеется или отсутствует внешнее сходство. Таким образом, конвергенция и дивергенция — два противоположных процесса эволюции видов. Однородность условий среды определяет конвергенцию, разнородность — дивергенцию видов.

Отпечаток среды имеется на каждом растении. Переселяя полезные растения, мы выбираем для них соответствующие климатические условия или создаем им подходящие условия путем агротехнических приемов: искусственного орошения и т. п.

Перейдем к разбору отдельных факторов среды.

Свет. Каково действие света? Как известно, свет вызывает ассимиляцию растений, он является необходимым условием образования хлорофилла и усвоения углекислоты. Известно также, что свет действует на растение не всем пучком своих лучей, а отдельными лучами спектра: самое яркое поглощение, наибольший эффект дают красные лучи; желтые, оранжевые лучи также дают некоторое поглощение, идет оно и в фиолетовых лучах (см. рис. 27). Сумма этих поглощений и дает ту

энергию, за счет которой строится тело растений. Но свет очень разнообразен в разных местах земного шара: пыль, туман и другие факторы изменяют поглощение, изменяют свойства света, и растение иначе ассимилирует. Характерны уже разобранные нами (стр. 183) различия между световым и теневым листом (см. рис. 124): мы отмечали мощность кутикулы и многочисленные устьица светового листа, тогда как у темного листа кутикула тоньше, устьиц мало. В световом листе резко выражена палисадная ткань; пластинка его толще, темной лист тоньше, так как в нем почти не развивается палисадная ткань, в нем больше губчатой



Рис. 140. Филлокладии — листовидные зеленые стебли. А — иглицы (*Ruscus*) из лилейных и Б — филантус (*Phyllanthus*) из молочайных, В — кладодии (плоские зеленые ветви кармизелии (*Carmichaelia*) из бобовых.

паренхимы. Они различны в своем строении, а между тем это листья одного и того же растения.

Сравним два разных папоротника: венерин волос и японский полиподиум (*Polypodium*). Первый растет в тени. Его лист тонкий, сильно расчлененный. Пластинка листа состоит из одного или двух слоев клеток хлоренхимы и эпидермиса с очень тонкой кутикулой. Японский полиподиум — папоротник, растущий в трещинах скал на солнце, под палящими лучами. Лист его плотный, кожистый, с эпидермисом, выделяющим толстую кутикулу, но и эпидермис сильно развит. Световой лист делается грубым и плотным, нередко глянцевитым, благодаря сильно развитой кутикуле.

Тип листа у темного и солнечного растения совершенно различен потому, что солнечный свет меняет не только условия роста: в глубо-

кой тени ассимиляция происходит не особенно сильно, количество веществ создается небольшое, они пойдут на рост, частично будут откладываться в подземных частях растения и затем расходоваться на образование новых побегов.

Что будет на свету? Рост будет слабее: сахар, который выработан клетками, пойдет на дальнейшие превращения, он даст жировые вещества, которые выделятся в кутикуле, затем он пойдет на отложение лигнина в оболочке. Вещества, которые образуются в тени и на свету, различны. Это очень важное обстоятельство, которое нужно учитывать; в особенности при работе с культурными растениями чрезвычайно важно принимать это во внимание. В зависимости от условий освещения в процессе естественного отбора развились теневыносливые и световые растения.

Часто говорят, что бывают растения «светолюбивые» и растения «тенелюбивые», т. е. что растение растет на свету потому, что «любит»



Рис. 141. Примеры органов-гомологов: А — усики винограда, Б — колючки гледичии, — те и другие стеблевого происхождения.

свет, и растение растет в тени потому, что «любит» тень. Это идеалистические термины. Растение, конечно, ничего не «любит», но оно растет в определенных условиях. Нарушение этих условий должно заставить его пережить длинный период времени приспособления: пока оно не приспособится к новым условиям и не переродится под влиянием этих новых условий, до тех пор оно будет болеть. Правильнее говорить — растение «теневыносливое», растение выносит тень, но это не значит, что оно «любит» тень.

Рассмотрим действие воды. Часть растений является засухоустойчивыми, а часть растений может приспосабливаться к избыточной влажности и даже к жизни под водой. Я особенно выделяю термин — засухоустойчивые, ибо опять-таки нельзя говорить, что растения «любят» засуху. А между тем существуют термины: «ксерофильные» растения, т. е. «любящие» засуху, и «гидрофильные» растения, т. е. «любящие» воду, тогда как все растения «любят» воду.

Посмотрим, какие изменения испытывает растение в разных условиях влажности.

Растение, которое растет при малом количестве воды, ведет борьбу за воду. Весь его облик складывается вокруг задачи добыть воду и сохранить воду на время засухи. Растение, растущее в воде, конечно, не будет бороться за воду, но ему нехватает воздуха: если растение погружено в воду хотя бы частично, оно начинает страдать от того, что мало кислорода, и его жизнь определяется борьбой за воздух.

Отношение растений к воде мы выражаем различными терминами: ксерофиты — засухоустойчивы, они живут под знаком борьбы за воду; гидрофиты — водные растения, они ведут борьбу за воздух. Но большинство растений находится в средних условиях: они имеют воду и воздух в достаточном количестве. Это — мезофиты, но и они могут испытывать колебания влажности в различное время года, некоторая борьба за воду свойственна и мезофитам.

По вопросам водного режима и засухоустойчивости растений в течение многих лет работал акад. Н. А. Максимов с его сотрудниками; он пришел к заключению, что «засухоустойчивость растений обуславливается, главным образом, их способностью переносить длительное и глубокое обезвоживание своих клеток и тканей с наименьшим ущербом для роста и для приносимого им урожая».

[Засухоустойчивые растения очень разнообразны, они по-разному приспособляются к недостатку влаги.

Многим из них свойственно повышенное осмотическое давление, т. е. у них в корнях на одну часть воды приходится максимум растворенных веществ (сахар, кислоты, соли). Сюда относятся, например, растения солончаков — галофиты (солевыносливые растения), которые могут всасывать соленую воду благодаря тому, что имеют высокое осмотическое давление в корневых волосках, превышающее осмотическое давление почвенного раствора.] На каменистых почвах, где растворенных солей мало, растения отличаются мелкой листвой и характерным химизмом; у них наблюдается сильное развитие кутикулы или сильное развитие пробки, уменьшающих потерю воды, а во внутренних частях стебля сильное одревеснение. Это — растения, у которых падает процент живых клеток, увеличивается процент твердых элементов, укрепляется эпидермис с кутикулой. В то же время и корни усиливают свое развитие: чем суще климат, тем в общем длиннее корни растения, чем климат влажнее, тем корни короче.

[Некоторые растения засушливых областей развивают глубокоидущую корневую систему, достигающую грунтовых вод. Эти растения внешне не имеют признаков приспособления к засухе, у них нет покрова из волосков, мощной кутикулы, листья их тонкие. Используя грунтовые воды, они не завядают даже при самой сильной засухе (см. рис. 90).]

Многие засухоустойчивые растения имеют мясистые листья или стебли — резервуары воды. Они называются суккулентами (от латинского «суккус» — сок). Сюда относятся кактусы и молочаи.

Корни суккулентов поверхностные, осмотическое давление у них низкое, но они могут всасывать большое количество воды сразу после дождя, а затем эта вода сохраняется в сочных листьях или в мясистом безлистном стебле. Поверхность растения часто бывает покрыта воском, мешающим испарению, эпидермис и кутикула сильно утолщены; клеточный сок насыщен пектиновыми веществами; это уменьшает потерю воды. Часто имеются слизи, служащие для той же цели. Такое растение может обходиться без воды очень долго, оставаясь в совершенно сухом воздухе, под палящими лучами солнца, сохраняя жизнь до следующего дождя.

Чрезвычайно ярко выявлена зависимость строения от влажности среды у злаков различных местообитаний. В наших березовых лесах растет бор развесистый — *Milium effusum*. Его раскидистая ме-

телка вытянута, а листья широкие и плоские. Иначе построен растущий у нас на сухих склонах холмов белоус — *Nardus stricta*. Форма листьев у него совершенно другая: они узкие, щетиновидные, так как скручены в трубку. Эти два растения — одно, растущее в тени, на влажной почве, другое — на солнце на сухой почве, — обнаруживают резкую разницу в строении листьев.

Весьма характерно строение степных злаков, например, ковыля (*Stipa*). Листья его жесткие, узкие от того, что они скручиваются в трубочку. На поперечном разрезе (рис. 142) можно в эпидермисе листа рассмотреть группы тонкостенных клеток, которые расположены на верхней поверхности в бороздках между выступами пластинки листа. Это — моторные клетки: под действием испарения они начинают терять часть воды, сжимаются, благодаря этому выступы сближаются, и лист свертывается таким образом, что края его почти сходятся. Устьица помещены в ямках, по бокам выступов, водяной пар не выхо-

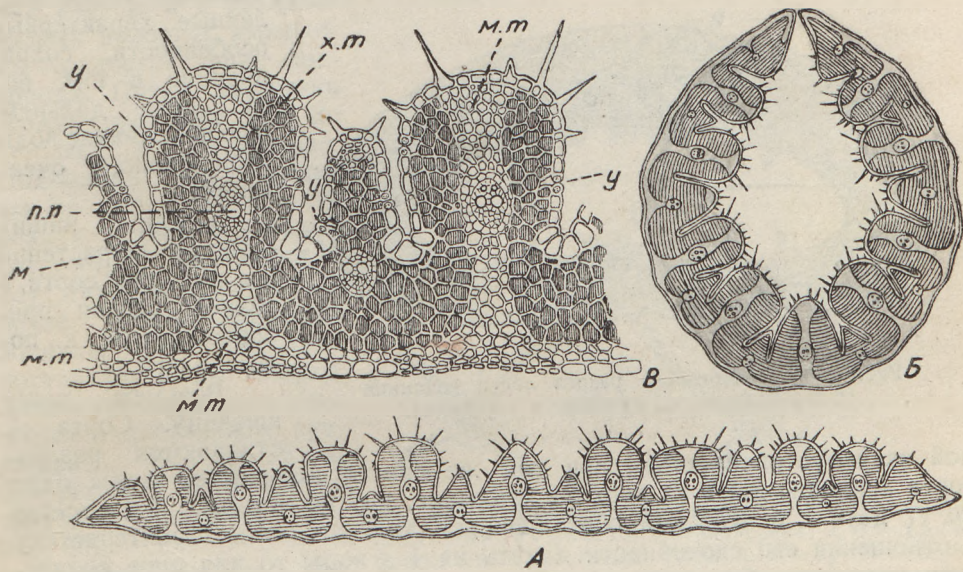


Рис. 142. Поперечный разрез листа ковыля (*Stipa*). А — развернутый; Б — скрученный; В — часть листа при сильном увеличении; х. т — хлорофиллоносная ткань; м. т — механическая ткань; м — моторные клетки; у — устьица; п. п — проводящий пучок.

дит наружу, он остается в трубке. Эта особенность — скручивание листа в трубочку, свойственная чрезвычайно многим нашим растениям из рода ковылей и овсяниц (*Festuca*), делает их пригодными для жизни в сухой степи, в пустыне, где они могут выдерживать самые знойные дни. Борьба за воду выражается у них в своеобразной форме, в биологическом приспособлении к сохранению некоторого количества водяных паров: некоторое подвядание, некоторая потеря воды прекращает ее дальнейшую потерю. Подвядание несет уже не гибель, а спасение: сворачивание в трубку предохраняет листья от дальнейшей потери влаги.

На берегу моря у Финского залива растет дикий злак — колосняк или волоснец (*Elymus giganteus*). Листья у него широкие, жесткие, но они тоже свертываются. В чем здесь дело? На песках морского берега мы имеем полную потерю воды в сухую погоду, поэтому колосняк сворачивает листья так же, как и ковыль: его листья свертываются при подсыхании. Если бы можно было искусственно высушить колосняк с раскрытыми в мокрую погоду листьями, они остались бы плоскими и было бы видно, что они имеют выступы и бороздки, в которых расположены моторные клетки.

Водяника (*Empetrum nigrum*), ягодное растение северных болот, — кустарничек с деревянистыми стеблями и с очень мелкими узкими листьями. Конечно, чем лист меньше, тем меньше поверхность испарения. Кроме того, он свернут в трубочку: его края загибаются и почти сходятся (рис. 143); вход вовнутрь закрыт, испарение совершается во внутреннюю полость, водяные пары в ней задерживаются, и в самую палящую жару в листьях имеется влага. Водяника растет [на болотах, на торфяниках, образованных, главным образом, мхами.] Корни ее свешиваются в мох, а мох очень легко высыхает, и в сухую погоду это растение отрезано от источника воды. Ясно, что если оно будет терять воду, то новой воды корень ему не доставит, и оно погибнет. Скручивание листьев в трубочку предохраняет растение от испарения.

В процессе естественного отбора у засухоустойчивого растения выработываются определенные особенности, которые сохраняют ему жизнь в условиях, смертельных для мезофита. Растений, которые имеют различные характерные особенности, сохраняющие в них воду, если дальнейшее всасывание воды прекращено, очень много.

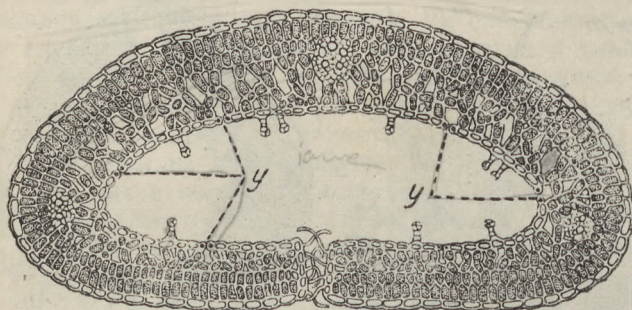


Рис. 143. Поперечный разрез листа водяники (*Empetrum nigrum*); у — устьица.

Среди наших культурных растений мы находим сорта, в разной степени приспособленные к потере влаги.

Возьмем нашу пшеницу. Сорта ее отличаются различ-

ной засухоустойчивостью: при том же самом количестве воды одни сорта пшеницы дают на лист 5 г крахмала, другие — только 1 г, а третьи могут дать 7 г. Каждый сорт пшеницы должен иметь характеристику в отношении его способности давать на 1 г воды то или иное количество крахмала. Это зависит от того или иного отличия в строении листьев, при помощи которых растение использует солнечный свет и сберегает воду и т. п. Чем больше в листьях механической ткани, чем сильнее развита кутикула, чем меньше поверхность листьев, тем растение устойчивее в борьбе с засухой. Поэтому и внешние признаки растения могут до известной степени дать указания на его способность бороться с потерей воды, и мы можем делать выбор из различных сортов. Во всяком случае, чем листья более плотные и узкие, тем растение засухоустойчивее. Растение надо понимать не как образование, раз навсегда вылившееся в определенную форму, а как существо живое, которое может изменяться сообразно с переменной обстановки. Пользуясь этим свойством растения, человек сумеет заставить растение работать гораздо лучше, продуктивнее.

[Свет и влагу нельзя рассматривать в отрыве друг от друга:] свет способствует испарению воды. Физиолог акад. Фомин нашел, что красная часть спектра идет полностью на ассимиляцию углерода, а фиолетовая часть — на испарение, так что весь свет утилизируется растением, но на разные функции. Это не вполне подтвердилось впоследствии, однако несомненно, что свет усиливает испарение, а в темноте испарение уменьшается. Таким образом, не только влажность воздуха, но и степень освещения [имеет значение в водном режиме растения.] Поэтому

многие растения становятся теневыми, т. е. живут хорошо только под защитой дерева — в тени, где света не так много и где испарение слабее.

Воздух [как экологический фактор] создает свои специальные особенности, свойственные, например, водным растениям.

Возьмем озерный камыш (*Scirpus lacustris*), который в озерах образует большие заросли. Безлистный зеленый стебель камыша выполняет функцию ассимиляции. В нем нет ничего похожего на обычное строение стебля: на поперечном разрезе (рис. 144) видно, что основная его масса занята особой воздухоносной тканью из сети узких клеточек, соединенных в правильные цепочки. Между ними остаются громадные пространства — воздухоносные ходы. Проводящие пучки помещаются в точках, где сходится несколько цепочек. Эта ткань называется аэренхимой, — в ее пустых пространствах всегда находится воздух. По периферии под эпидермисом расположен слой палисадной хлорофиллоносной ткани. В процессе фотосинтеза кислород выделяется из ее зеленых клеток, и в воздухоносных полостях аэренхимы создается запас кислорода. Путем диффузии воздух проходит вниз по стеблю, в корневище. Подводная часть камыша не может поглощать воздух: устьиц под водой нет, корни находятся в илу, тяжелой болотистой почве, почти лишенной воздуха, запас воздуха доставляется им сверху. Типичную аэренхиму мы видим в цветоножке кувшинки (*Nymphaea*, см. рис. 61) и в стебле ситника (*Juncus*, см. рис. 60).

Очень интересны так называемые мангровые растения тропических болот. Во время отлива видно, что из земли торчат особые конусы (рис. 145); на верху

такого конуса имеется маленькая ямка с мельчайшими дырочками, ведущими вовнутрь, где имеется воздухоносная ткань, которая сообщается с корневой системой. Во время прилива все корни находятся под водой, и только кончики этих столбов торчат из воды. Таким образом, часть корней мангровых деревьев идет вглубь, на дно, часть же корней разрастается вверх и образует особые дыхательные корни, так называемые пневматофоры (носители дыхания). Мы знаем, что ни одна живая клетка не может жить без кислорода. Хотя дыхательные корни во время прилива и заливаются водой, но это не так опасно, как постоянное погружение корней в воду.

Итак, борьба за воздух выражается в том, что под влиянием недостатка воздуха изменяется строение растения. У него образуются вместилища для воздуха или специальные органы, которые вбирают воздух и передают его всему растению.

Весьма важным фактором является температура. Крайности тепла и холода одинаково останавливают жизнь. Растение ведет борьбу за сохранение жизни при замерзании. В чем оно состоит? Когда начали исследовать изменения в растениях при замерзании, то увидели, что мо-

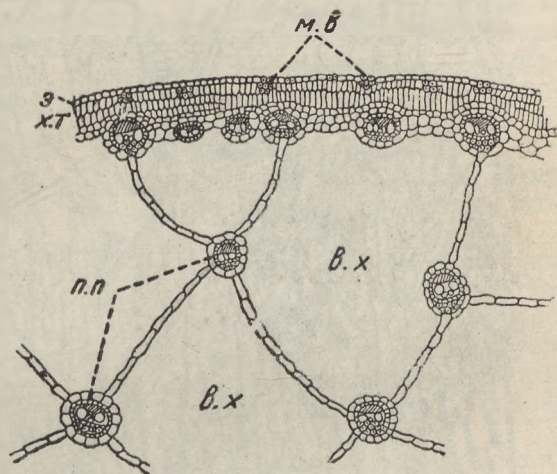


Рис. 144. Поперечный срез стебля озерного камыша (*Scirpus lacustris*): э — эпидермис; х.т. — хлорофиллоносная палисадная ткань; м.в. — пучки механических волокон; п.п. — проводящие пучки; в.х. — воздухоносные ходы.

роз, в сущности, рвет ткань растения: вода, замерзая, расширяется в растении и вызывает разрывы. Иногда на стволах деревьев видны крупные щели, «морозобойные трещины», — это результат разрывов тканей при замерзании. Такие трещины очень опасны для деревьев, в них заводятся вредители, дерево начинает гнить и в результате погибает.

Однако в Верхоянске, где температура падает ниже 60° и доходит до 70° , деревья все же могут расти. Дело в том, что мороз наступает в конце осени, а в течение осени запас воды в почве уже невелик, и дерево путем испарения успевает отдать избыток воды. Травянистые растения замерзают на наших глазах, у них сохраняются только семена. Семена не замерзают, когда все остальные ткани замерзли, потому что



Рис. 145. Мангровое дерево (*Sonneratia alba*) во время отлива; видны выходящие из земли дыхательные корни — пневматофоры.

в них нет свободной воды, а если нет свободной воды, то нет и разрывов.

Растения борются с морозом путем процесса, который их обезвоживает. Но следует иметь в виду, что вода замерзает при 0° , а для замерзания растворов сахара необходима более низкая температура, чем для чистой воды. Растение борется с холодом не только путем подсыхания, но и путем накопления питательных веществ, которые растворяются в клеточном соку и этим задерживают замораживание. В течение лета в растении отлагается крахмал, низкая температура (еще не мороз, а 5° и ниже) часто вызывает осахаривание этого крахмала, получается сахар: при подготовке к зиме растение накапливает свободный сахар, который в известной мере предохраняет его от замерзания.

Акад. Н. А. Максимов, который много работал по вопросам морозоустойчивости растений, обратил внимание на то, что протоплазма — наиболее активная и наиболее ответственная часть растения — изме-

няется под влиянием температуры: белковые вещества свертываются при низкой температуре. Прежнее представление о том, что смерть от мороза наступает вследствие непосредственного действия холода на протоплазму, оказалось неверным. На самом деле растение гибнет от чрезмерного обезвоживания протоплазмы вследствие вымораживания воды. При этом прежде всего замерзает вода, пропитывающая клеточные стенки. В межклетниках появляются кристаллики льда, которые начинают расти, оттягивая воду из клеток и тем самым повышая концентрацию клеточного сока. Таким образом, происходит потеря воды клеткой подобно тому, как это наблюдается при плазмолизе. Кроме того, растущие кристаллики льда оказывают механическое давление на поверхностные слои протоплазмы. Все это и приводит к необратимому свертыванию белков протоплазмы, — и она гибнет. Отсюда понятна защитная роль сахара в клетках при низкой температуре: сахар предохраняет белковые вещества от необратимых изменений (свертывания) при замерзании. Различные растения замерзают при разной температуре, так что мы можем сделать подбор растений, приспособленных к данной температуре. Некоторые тропические растения, взятые из тропических лесов, умирают при температуре $+10^{\circ}$, они покрываются пятнами, вода выходит между клетками и т. д., и растение погибает, так как при этой температуре его протоплазма изменяется. Но есть растения, которые при температуре 5° сперва прекрасно себя чувствуют, но затем начинают увядать. Если достаточно быстро вернуть им их нормальную температуру — выше 5° , они могут снова жить. Есть растения, которые могут замерзать и оттаивать, снова замерзать и оттаивать и остаются живыми.

[У нас на Севере, в тундре, имеются растения, которые зимой выдерживают морозы до 45° и ниже, а весной продолжают свое развитие.] Оказалось, что эти растения ночью замерзают, а днем оттаивают и при этом продолжают цвести. Однажды я наблюдал в Сибири, как в августе, когда вдруг ударил мороз, луг на моих глазах покрылся ледяной корой. На нем было много цветов, и все они оказались в ледяных чехлах. К полудню они оттаяли и все оказались совершенно живыми.

Существует целый ряд растений, у которых протоплазма выносит заморозание. Следовательно, первое, что мы должны сделать при продвижении культур на север, это выбрать такие породы растений, протоплазма которых выносит заморозание свободно, т. е. не изменяется под влиянием данной температуры. Затем могут быть такие агротехнические приемы, которые увеличивают количество растворимых веществ в растениях, это также предохраняет их. И здесь изменения строения растений могут быть очень значительны.

Как, однако, объяснить, почему у сосны и у елки листья зимой остаются зелеными, не погибая от холода?

У листа сосны — много особенностей, которых нет у обычных листьев (рис. 146): имеется мощная кутикула, эпидермис сильно утолщен и деревенеет; под эпидермисом особый слой клеток, они имеют живое содержимое, но очень толстые стенки, это субэпидермальный слой механических волокон. Устьица — погруженные, т. е. расположены очень глубоко и защищены выступами эпидермиса. В листьях — смоляные ходы; смола пронизывает лист, она непроницаема для воды, затрудняет испарение и защищает хвою от низкой температуры.

Эти обстоятельства позволяют нам понять, почему зимой иглы хвойных не засыхают. Их протоплазма не разрушается при низкой температуре. Зимой воздух содержит меньше влаги. Мы имеем крепкие морозы там, где воздух суше, потому что при морозах влага оседает на почву, и воздух уже не содержит влаги. Когда полярники вывешивают на воздух мокрую ткань, она успевает высохнуть на ветру раньше, чем замерзнуть. Сухой, холодный ветер сушит, — это главное бедствие, которое испытывают растения полярных стран.

Жизнь диалектически объединила и переплела все факторы среды — свет, влажность, тепло тесно связаны друг с другом. Когда приходится изучать отдельные факторы, надо всегда принимать во внимание, что они действуют совместно.

Итак, растение, как живое существо, изменяет свое строение под влиянием внешних условий.

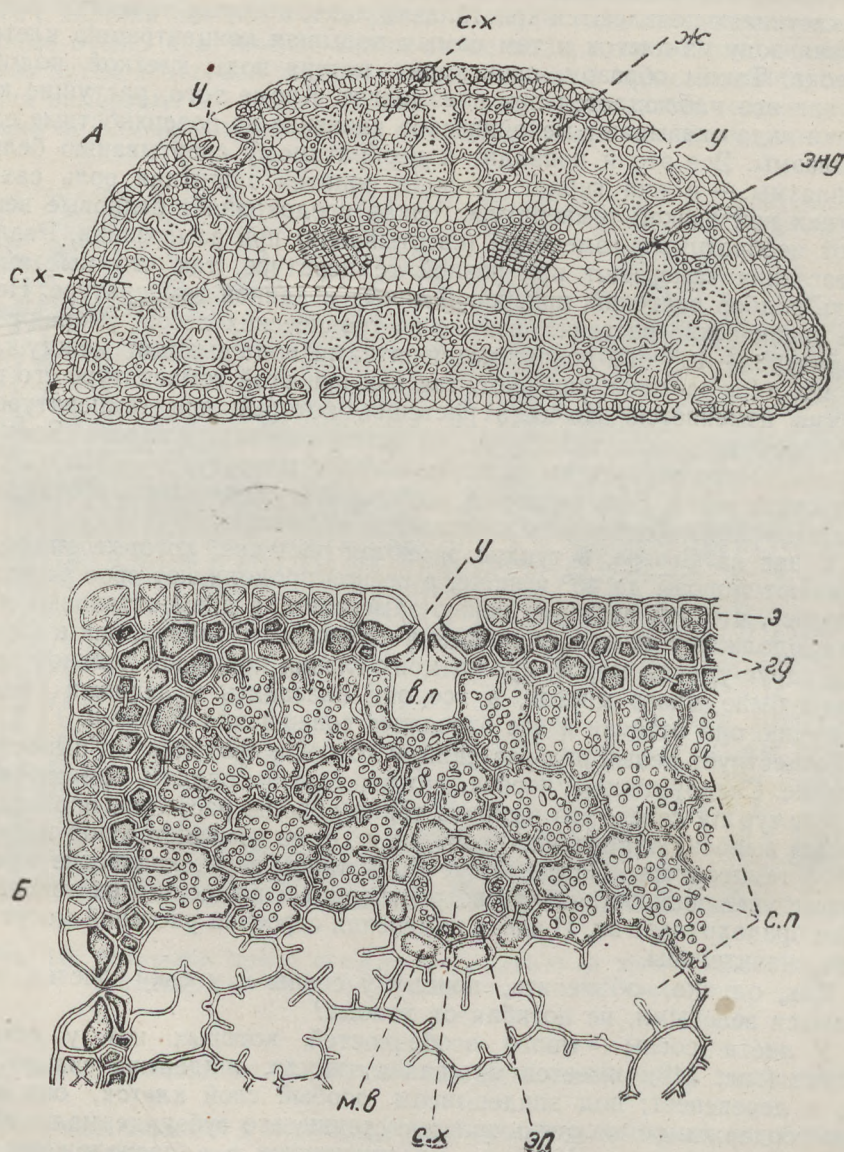


Рис. 146. Поперечный разрез листа сосны (*Pinus silvestris*). А — при малом увеличении: в середине видна жилка (ж), окруженная эндодермой (энд) — однослойным кольцом механических волокон; внутри — два проводящих пучка. Б — часть листа при большем увеличении: э — эпидермис с кутикулой; у — устьице, под ним воздухоносное увеличение: в. п. — складчатая (хлорофиллоносная) паренхима; с. х — смоляной ход; м. в — механические волокна, окружающие смоляной ход; эл — эпителий смоляного хода.

Постоянное воздействие изменяющейся среды на изменчивый организм, а также взаимодействие между ними, составляли и составляют сущность развития всего мира живых существ — от возникновения

жизни на земле до наших дней. Каждый вид растений отражает в своей структуре ту среду, в которой он развивался в прежние времена. А так как среда, в которой он развивался, изменялась в разнообразных направлениях, то и особенности каждого вида растений можно понять только став на историческую точку зрения. [Изменение среды оказывает влияние на внутренние процессы жизнедеятельности растения, изменяя коренным образом процесс обмена веществ, вызывает к жизни новые растительные формы, более приспособленные к изменившейся обстановке, закрепляющиеся наследственно.]

Вместе с тем, способность растений изменяться под влиянием внешних условий дает человеку возможность управлять жизнью и строением растения и таким путем создавать новые, более совершенные в хозяйственном отношении организмы. [Методы управления природой растительных организмов, направленное изменение их природы были впервые разработаны И. В. Мичуриным. Созданная акад. Т. Д. Лысенко теория стадийного развития, развившая идеи И. В. Мичурина, дает нам в руки могучее средство управления растительным организмом, его развитием в нужном нам направлении. Вооруженные этим методом, мы предвидим] в близком будущем решительное господство культурных растений, созданных уже не слепыми силами природы, а работой человека.

ГЛАВА XI

ВЕГЕТАТИВНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ

Мы рассмотрели в предыдущих главах строение и функции вегетативных органов растения, обеспечивающих существование особи, индивидуума.

Переходим теперь к изучению органов не менее важного значения, так как они необходимы для увеличения числа особей, т. е. для сохранения вида. Изучение этих органов позволяет нам регулировать явления растительной жизни, использовать их для наших хозяйственных целей.

Мы переходим к большому отделу размножения растений. [Различают половое, бесполое и вегетативное размножение. При половом размножении для появления новой особи необходимо предварительное слияние двух половых клеток гамет, принадлежащих, как правило, двум различным организмам. Образовавшаяся от слияния двух гамет клетка носит название зиготы. При слиянии гамет происходит их взаимная ассимиляция. Каждая клетка строит свое тело из материала другой. В результате возникает третья новая клетка, зигота, развивающаяся особь, которая не повторяет точно особенностей материнского организма, и дает различные отклонения. Таким образом, в результате полового размножения происходит обновление организма. При бесполом размножении на растении или внутри его, в особых клетках или многоклеточных органах — спорангиях образуются специальные клетки (одна или несколько), называемых спорами. Они или неподвижны и пассивно распространяются ветром, водой, или, как у низших растений, особенно у водорослей — обладают подвижностью. Они имеют жгутики, при посредстве которых и происходит их активное передвижение и называются зооспорами.]

Отделяясь от материнского растения споры, попадая в благоприятные условия, развивают новые особи, не отличающиеся от материнских.

При вегетативном размножении от растущей особи отделяется часть тела растения, которая, разрастаясь, превращается в новую особь, подобную материнской. Таким образом, новые особи вырастают из различных органов вегетативной жизни, например из корневищ, клубней, луковиц, корней и т. д.]

Вегетативное размножение в основе своей имеет явления регенерации, или восстановления [утраченных органов.]

Существует маленькое животное — гидра. Гидру очень легко развести, если в банку с водой бросить несколько веток водяного растения. Если гидру разрезать на много частей, из каждой части вырастает це-

лое животное. Это явление называется регенерацией. С другой стороны, та же гидра, как и много других мелких животных, размножается почкованием: в различных местах ее тела залагается ряд клеток, которые дают выросты, они потом отделяются и становятся самостоятельными животными. Если у животных такие явления наблюдаются редко, то у растений это наблюдается как правило. Мы находим явления почкования, регенерации лишь у более низкоорганизованных представителей животного мира, затем эти явления становятся все более редкими. У раков, например, легко регенерируют оторванные клешни, у ящериц — оторванный хвост, но птицы и млекопитающие уже теряют эту способность. Растения стоят на ступени гораздо меньшей дифференцировки, растительный организм в своих отдельных частях всегда несет участки зародышевой ткани; вы видели, что в толще ствола заложен камбий, в кончиках корня и стебля — первичная меристема. Всюду, где в растении имеются паренхимные ткани не дифференцированные, способные делиться, — растение может залагать новые органы и давать новые виды. Этим широко пользуются растениеводы.

У низших растительных организмов [потенциально любая клетка их может развить новое растение. У одноклеточных организмов деление клетки на две является вегетативным их размножением. Многие водоросли, грибы, лишайники размножаются нередко в результате отламывания от их тела отдельных участков, в дальнейшем развивающих новую особь. То же самое характерно и для мхов. У мхов, папоротников, плаунов, хвощей материнский организм нередко отмирает в своих старых частях, молодые же его ветки, обособляясь, становятся самостоятельными организмами.

У многих мхов, у папоротников вегетативное размножение осуше-

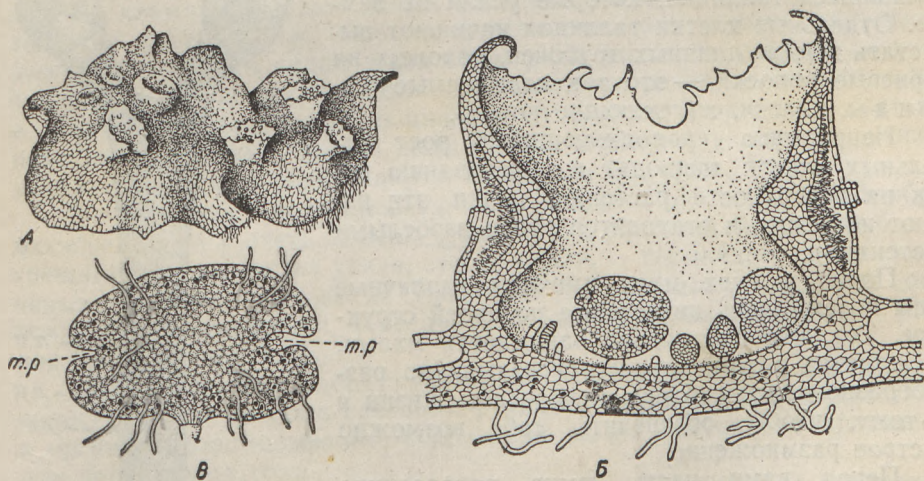


Рис. 147. Мох маршанция (*Marchantia*): А — часть слоевища мха с выростковыми корзиночками; Б — продольный разрез через выростковую корзиночку, на дне ее таллидии — выростковые почки на разных стадиях развития; В — отдельная таллидия с ризоидами; *т. р.* — точка роста.

свляется образованием специальных многоклеточных выводковых почек, возникающих чаще всего на листьях. Опадая, они развивают новые растения.]

Вы видите на рис. 147 очень распространенный мох маршанцию (*Marchantia polymorpha*), который встречается на сырой земле, на лесных пожарищах. Этот организм имеет на своей поверхности ори-

гинальные образования в виде корзиночек, а в этих так называемых «выводковых» корзиночках лежат как бы маленькие зеленые пластиночки.



Рис. 148. Часть листа «живородящего» папоротника с молодыми растениями.

иногда таллидиями (thallus или слоевище — это нерасчлененное растительное тело, такое, в котором нет разделения на листья, стебель и корень. «Таллидии» — это маленькие thallus'ы).

Затем вы видите на рис. 147, В уже отделившиеся таллидии, которые упали на землю. Отдельные клетки таллидия начинают вырастать в виде длинных трубочек, похожих на корневые волоски, — это так называемые ризоиды, клетки, заменяющие корень.

Непрерывно продолжающийся рост отдельных клеток приводит к образованию почек на поверхности растения, почки эти падают на землю и становятся затем взрослыми растениями.

Почти у всех мхов имеются различные типы почек, очень интересные по своей структуре. Тот, кто специально занимается мхами, убеждается в том, что мхи чрезвычайно разнообразно приспособлены к условиям жизни и к тому, чтобы обеспечить себе возможно быстрое размножение.

Перед вами часть листа папоротника *Asplenium viviparum* (рис. 148). Этот так называемый «живородящий» папоротник способен давать молодые растения из тканей листа. Около жилок возникают утолщения, которые постепенно разрастаются и дают затем листочки, стеблевую часть и корешки. Такие почки легко снимаются; если посадить их в сырой песок под стаканом, недели через две вы получите маленькие папоротники. В листьях папоротника отлично развиты специализированные ткани: проводящая и механическая системы, и тем не менее живые клетки листа сохраняют способность в хороших условиях многократно делиться и развивать на поверхности

На рисунке детально изображены эти органы. Вы видите разрез такой корзиночки и на дне ее выводковые почки в разные моменты их развития. Некоторые из них представлены одной—двумя клетками, другие представлены группой клеток, некоторые разрослись в довольно большой диск с перетяжкой посередине, причем диск всегда вырастает из одной клетки. Это и есть выводковые почки, называемые здесь

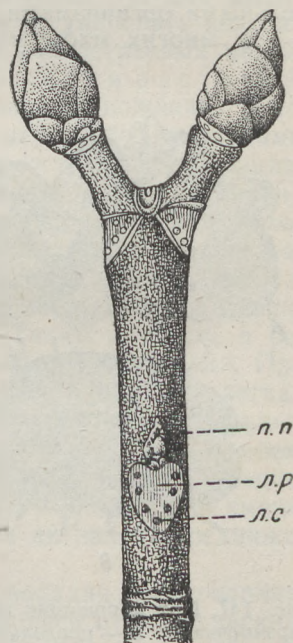


Рис. 149. Ветка конского каштана (*Aesculus hippocastanum*) с почками: л.р — листовый рубец; л.с — листовые следы; п.п — пазушная почка.

листа почки, которые разрастаются в молодые растения и падают на землю, так что вокруг папоротника возникает целая семья его потомков. В этом случае органом вегетативного размножения является придаточная почка, имеющая зачатки основных вегетативных органов: стебля, листьев и корней.

Почки, как орган размножения, превращаются очень часто у растений умеренных и холодных областей в орган перезимовывания. Почки, заложенные с осени, защищены от испарения и промерзания наружными листьями — почечными чешуями (см. рис. 116 и 149). Почки представляют собой плотные образования, часто с обильным выделением смолы, которая защищает все остальные клетки почки от промерзания. Почка заключает в себе зачаток стебля с конусом нарастания и зачаточные листья. Эти почки — только временное явление. Весной чешуи отпадают, зачаток стебля превращается в длинную ось, листья, его покрывающие, разворачиваются; часто в почках могут быть заключены и цветы. Если зимой вы посмотрите ветки, которые постояли дома несколько дней в воде, вы увидите, что у них сильно набухли почки. Если сделаете продольный разрез через более крупные из них, вы увидите там массу как бы мелких зернышек, — это цветочные почки: цветы в них также заложены с осени, в результате летней работы растения, а на зиму они спрятались под защитой почечных чешуй. Почки меньших размеров дают только листовые побеги.

Как видите, ветки несут зимующие почки, в которых скрыты частью листья, частью цветы. В данном случае почки являются не только органом размножения, но и органом защиты, органом перезимовывания. Они защищают молодые, заложенные летом побеги, развитие которых было прервано зимним периодом.

Вообще мы рассматриваем растение, как организм, возникший в беззимнем климате. Предки наших растений росли в такое время, когда зимы не существовало. Процесс перезимовывания переработал некоторые растения, и мы видим у них такой ритм жизни: летом идет развитие, закладываются новые органы, осень прерывает это развитие, но заложенные в почках органы хорошо защищены от мороза наружными листьями, почечными чешуями; весной, когда снова меняются условия к лучшему, почки лопаются, и распускаются ветки или соцветия.

Почки играют колоссальную роль в жизни растений. В сентябре — октябре, когда у очень многих травянистых растений жизнь как бы прекращается, — их листья увяли, стебли опали, — вы найдете среди прикорневых погибших листьев на уровне почвы зеленые почки. Это опять почки перезимовывания, — весной они начнут разворачиваться, и растение снова начнет жить.

Мы видим, что здесь произошло некоторое изменение — органы, происхождение которых связано с функцией размножения, превращаются в органы перезимовывания, сохранения жизни растения в критический для него период года.

Следует напомнить, что почки обычно закладываются в пазухах листьев. Здесь мы должны отметить еще одну функцию листа: лист вырабатывает массу питательных веществ, пересылает их в стебель, и там, где листовые проводящие пучки соприкасаются с сосудистой системой стебля, часть питательных веществ переходит в ткани паренхимы, в мякоть коры, а часть идет на развитие почек, которые закладываются в пазухах листьев еще в конусе нарастания (рис. 150). Листья опадают, но от них остаются рубцы (см. рис. 149). Под каждой почкой вы увидите листовую рубцу, на котором заметны следы сосудистоволокнистых пучков листа, — это как бы сломанные сосудистоволокнистые пучки листового черешка. Лист посылал питательные вещества, и над ним разрасталась почка. Почка всегда связана с листом, листья — это источник пи-

тания своей пазушной почки, пока она не развилась в ветку, в новый самостоятельно питающийся побег.

Не только в отношении высших, но и среди низших растений человек широко пользуется способностью растения размножаться вегетативно. Так, в больших масштабах поставлены культуры почкующегося дрожжевого грибка (рис. 151). Это дело доведено до высокой степени совершенства: на пивных заводах каждому сорту пива соответствуют определенные дрожжи. Вся масса дрожжей размножается вегетативно с чрезвычайной быстротой, и из одной клетки путем почкования получаются тысячи клеток.

У цветковых мы широко используем вегетативное размножение и способность к регенерации для того, чтобы получить те сорта плодовых, ягодных, огородных и некоторых полевых растений, которые нам нужны.

Искусство плодоводства и огородничества тесно связано с вегетативным размножением.

Я уже упоминал, что вегетативное размножение у высших растений следует сблизить с регенерацией, т. е. со способностью восстанавливать недостающие органы. Деревья каждую осень теряют листья и следующей весной восстанавливают их. Листья легко изнашиваются и легко заменяются новыми, которые

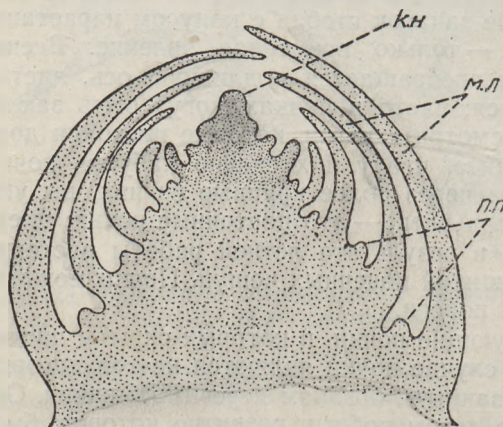


Рис. 150. Схема продольного разреза почки: к. н — конус нарастания; п. п — зачатки пазушных почек; м. л — молодые листья.

создаются в пазушных почках. В других частях растения дело обстоит несколько сложнее, но все же вы быстро убеждаетесь в том, что отдельные участки или отрезки могут восстанавливать целое растение или создавать новые органы. В этом и выражается явление регенерации, которое широко используется при черенковании, прививках и других формах искусственного вегетативного размножения.

Особенно важное значение имеет способность стебля создавать корни; корни, возникшие на стебле, мы называем придаточными в отличие от боковых, представляющих разветвления главного корня.

Если взять отрезок стебля ивы и поместить в воду, то у основания почек под коровой паренхимой возникают придаточные корни; они могут возникать из каждого узла, там, где раньше прикреплялись листья. Покрывая нижнюю часть отрезка, эти корни дают возможность при посадке черенка в песок или землю быстро получить из него новое растение. Черенком, следовательно, называется отрезок стебля или ветки, способный к укоренению.

Черенок может быстро образовать боковые побеги, цвести и дать семена.

Выгоды такого размножения ясны. Из семян вы получаете новое растение путем длительного и медленного развития, а из черенков, которые могут быть и крупными, при условии появления на них придаточных корней, получают новые растения очень быстро и при этом со всеми чертами и особенностями взрослого растения.

Способность деревьев, дающих придаточные корни, размножаться самостоятельно вегетативным путем очень велика. Поваленные бурей



Рис. 151. Почкующиеся дрожжевые клетки.

ствола деревьев часто пускают придаточные корни, каждая ветка становится новым стволом, затем основной ствол перегнивает, и из одного дерева получается целая роща.

В культуре размножение растений черенком применяется весьма часто. Возьмите, например, культуру табака; из семян вы получаете медленное развитие растений, но вы можете осенью нарезать черенки из стеблей, поместить их в парники; весной они пустят корни, и к лету вы получите взрослые растения, которые быстро дадут вам продукт.

Такой способ размножения растений применяется в семенных хозяйствах. Получение семян от сеянца требует много времени, тогда как при вегетативном размножении семена можно получить очень быстро.

Обычно при черенковании корни появляются на морфологически нижнем конце черенка, а побеги — на его верхнем конце. Это явление получило название полярности. Если в цилиндр с равномерно влажным воздухом подвесить вертикально два черенка: один — в нормальном положении верхним концом кверху, а второй — в перевернутом положении, т. е. верхним концом вниз, — то в обоих случаях корни образуются на морфологически нижнем конце черенка, а побеги — на морфологически верхнем (рис. 152).

Однако опыты показали, что полярность черенков подчиняется влиянию внешних воздействий. Был произведен следующий опыт. Черенок ивы был погружен в перевернутом положении, т. е. более тонким, морфологически верхним концом до половины в воду. Что получилось? Оказывается, что корни появились на конце черенка, погруженного в воду, а побеги — на противоположном конце, который является морфологически нижней частью растения. При этом под влиянием отрицательного геотропизма и отчасти положительного фототропизма каждая ветка изогнулась и поднялась кверху. Ясно, что внешние силы действуют более энергично, чем положение ветки: как вы ее ни положите, — все равно она будет превращаться в новое растение.

Можно размножать растения черенками, взятыми от стеблей, но можем ли мы размножать растения черенками от листьев? Оказывается, удается иногда и лист растения заставить черенковаться. К числу растений, черенкующихся листьями, относится бегония. Лист бегонии срезают, кладут на песок, накрывают колпаком для того, чтобы испарение было слабее; результат вы видите на рис. 153: черешок листа укоренился — дал корень и молодой лист; затем вы видите, что из самой пластинки листа на толстых жилках, где имеется мясистая ткань — парен-

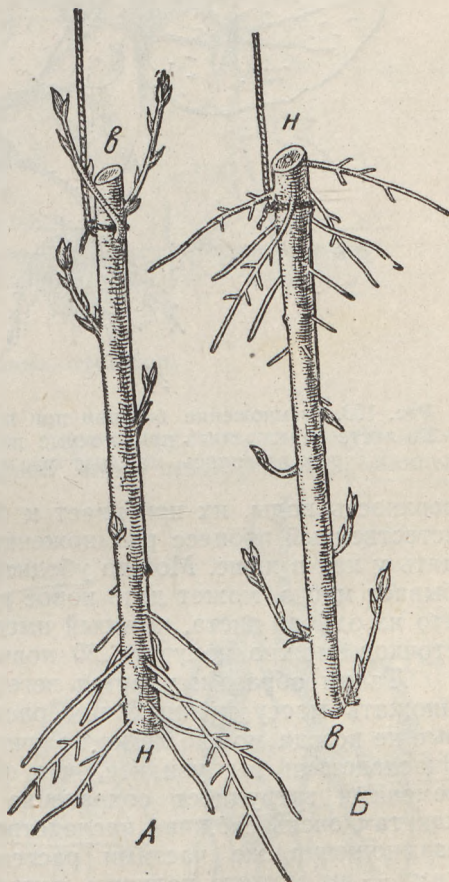


Рис. 152. Два черенка ивы в нормальном (А) и перевернутом (Б) положении, подвешенные на шнурах в пространстве, насыщенном водяными парами. Вследствие полярности, у обоих черенков корни развились на морфологически нижнем конце (н); в — верхний конец черенка.

хима, тоже образовались почки, и из ткани листа появляются молодые растения. Обычно при этом на листе делают надрезы, благодаря чему



Рис. 153. Размножение бегонии при помощи листа. На листе образовались придаточные почки, из которых развились молодые растения.

надрезанная ткань под-
вергается большой аэра-
ции, — больше воздуха
проникает в межклетники,
сильнее идет окислитель-
ный процесс, дыхание, и
легче происходит заложение
почек и их развитие.

Возьмите растение —
сердечник луговой (*Cardamine pratensis*)
или сердечник топяной
(*Cardamine uliginosa*, рис. 154), он дает у
основания листочка корни
и почки. Это растение
может размножаться ли-
стьями. Сердечник — это
травя, растущая на сы-
рых заливных лугах по
берегам рек, ручьев. Пред-
ставьте себе, что река
разлилась, листья сердеч-
ника оказались под во-
дой; почки отрываются
от них, всплывают на по-

верхность воды, их прибивает к берегам и там они укореняются. Этот
естественный процесс размножения лугового сердечника можно наблю-
дать у нас в июне. Можно убедиться в том, что каждый листочек, а их
бывает много, может дать новое растение, так
что из одного листа, который имеет до 20 ли-
сточков, можно получить 20 новых растений.

Таким образом, удастся вегетативно раз-
множить массу нужных нам растений, кото-
рые не всегда можно легко получить из семян.
Впоследствии вы увидите, что размножение
семенами затрудняет сохранение сорта, так
как там очень сложная наследственность; при
размножении же частями растений — черен-
ками — вы можете получить точное воспроиз-
ведение материнского растения в случаях, ко-
гда нужно получить какие-нибудь садовые
растения со своеобразными отклонениями, на-
пример, такие, у которых листья с белыми по-
лосами, или цветы с определенной окраской
лепестков, или плоды с определенными свой-
ствами, которые они могут утратить при се-
менном размножении.



Рис. 154. Лист сердечника
(*Cardamine uliginosa*) с почкой.

Кроме размножения черенками, в садо-
водстве практикуется иногда разведение от-
водками. При этом способе (рис. 155) ниж-
нюю ветку растения нагибают к земле и засы-
пают влажной почвой; верхний конец ветки
укрепляют в вертикальном положении. Засыпанная почвой часть ветки
образует придаточные корни, после чего ветку отрезают от материн-
ского растения и пересаживают. Так размножают некоторые наши яго-

ные кустарники, орешник (лещину), виноград, махровую гвоздику и др.

Еще более простой способ — размножение корнями.

Возьмите георгину; из одного растения вы можете получить

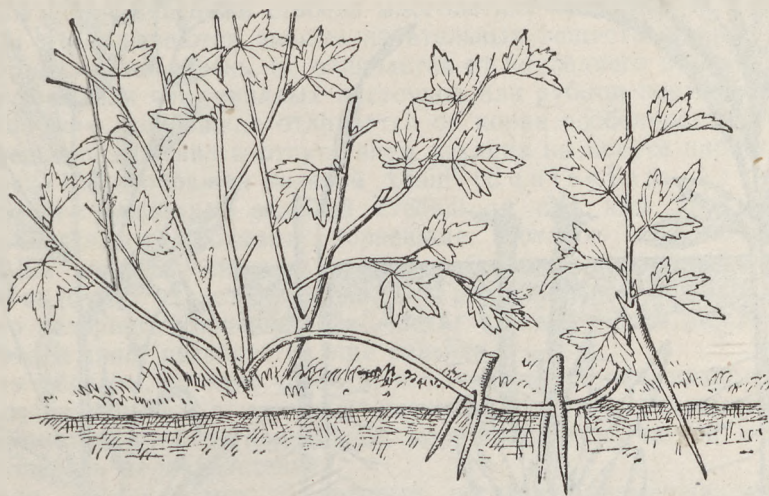


Рис. 155. Размножение отводками.

несколько: вам нужно только разрезать перемычку, соединяющую мясистые корни (рис. 156). Эти корни содержат много недифференцированных тканей, легко дают почки. Если корней целый пучок, вы, разделив его, получите часть корневой системы, которая дает почки на своем верхнем конце, и из них вырастают новые растения.

Еще интереснее размножение наших сорняков, размножающихся подземной своей частью.

Возьмите, например, осот розовый (или будяк полевой — *Cirsium arvense* Scop., рис. 157). Это — сорное растение, с которым мы усиленно боремся, так как оно растет на всех полях и является серьезным конкурентом наших полевых культур.

Будяк имеет мощную корневую систему; главный корень, идущий на глубину на 5—6 м, дает в разных направлениях боковые корни, залегающие горизонтально. Все эти корни обладают способностью давать придаточные почки, из которых развиваются новые надземные стебли. Если корень будяка поранить, дыхание тканей усилится, и почки станут появляться обильнее и расти быстрее. Установлено, что при делении корня будяка на части, даже маленький участок его длиной в 3 см уже может дать новое растение. Неправильная обработка поля, засоренного будяком, поведет к тому, что будет возникать все

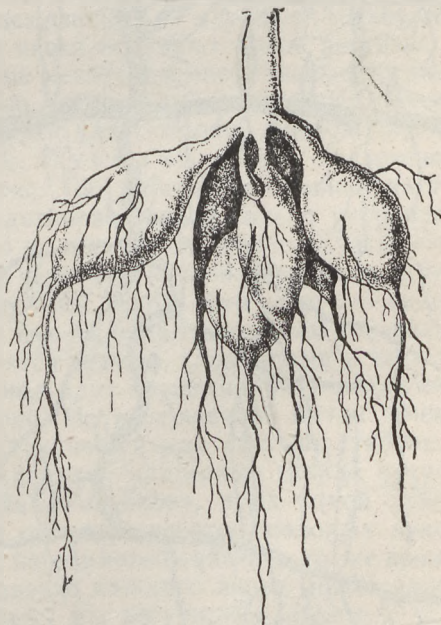


Рис. 156. Корневая система георгины (*Dahlia*); разделив ее, из каждого клубневидного корня можно получить новое растение.

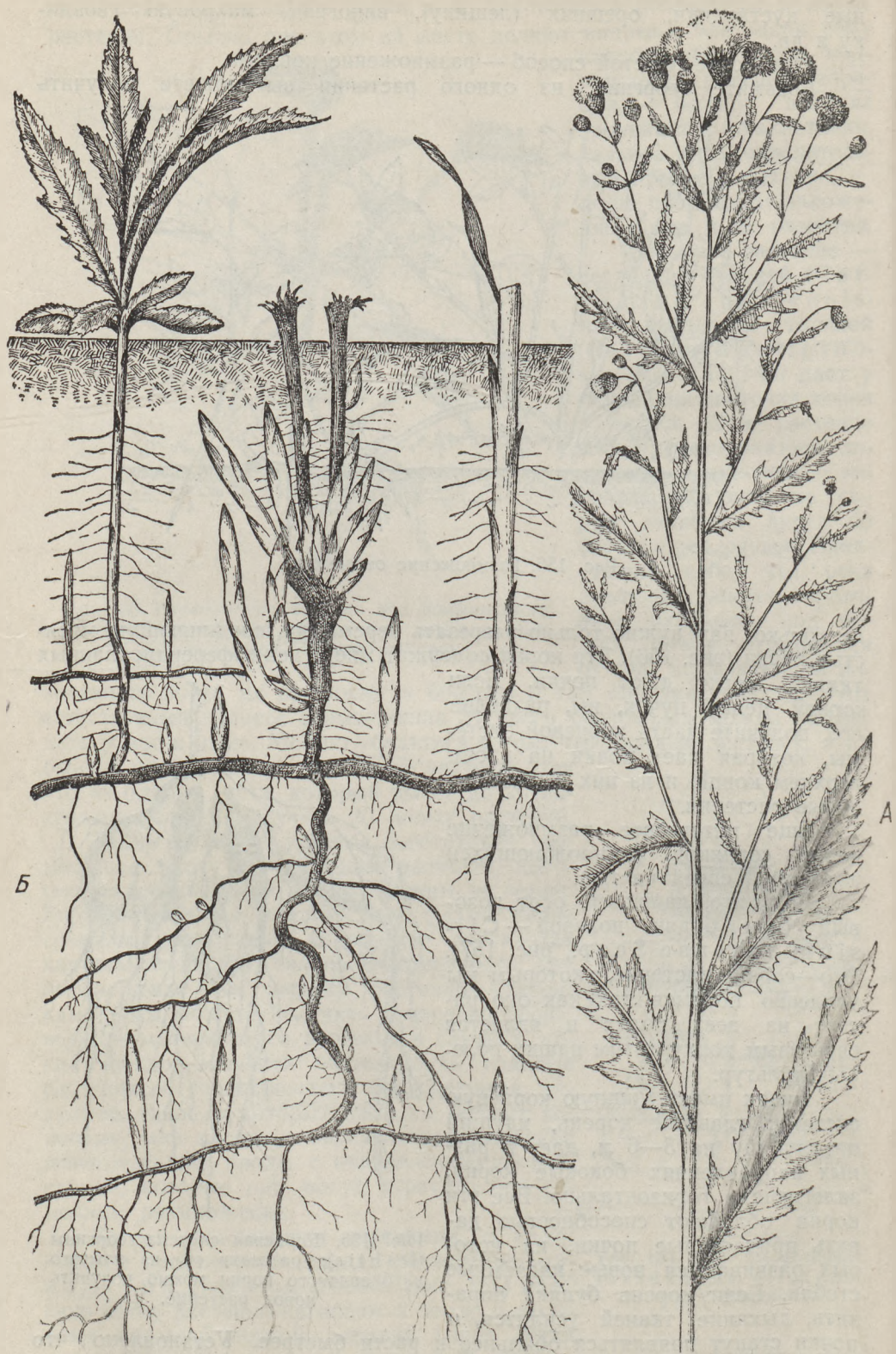


Рис. 157. Будяк полевой, или осот розовый (*Cirsium arvense*): внешний вид (А) и подземная часть растения (Б) с обильными придаточными почками на корневой системе.

больше и больше почек, и поле сплошь покрывается розетками листьев и стеблями будяка. Этот пример показывает, как нужно хорошо знать биологию растения для того, чтобы с ним успешно бороться.

Пример сорняка, размножающегося корневищем, является хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.). Корневищем мы называем подземный видоизмененный стебель многолетних травянистых растений, в котором откладываются запасы питательных веществ. По внешнему виду оно похоже на корень, но отличается от последнего наличием мелких пленчатых или чешуевидных листочков или рубцов после их опадения. Кроме того, корневище отличается от корня особенностями своего анатомического строения и отсутствием чехлика на конусе нарастания.

На рис. 158 изображен полевой хвощ (*Equisetum arvense*). Вы видите его надземный зеленый стебель, а под ним двухъярусное с многочисленными почками корневище, которое глубоко уходит в почву. Вы можете, сколько угодно, обрывать надземный стебель хвоща, — он будет отрастать снова. При неправильной вспашке земли вы только разорвете корневище на части, каждая часть даст почку, и после этого хвощ разрастет еще сильнее.

Таким образом, понятие черенка, т. е. части растения, дающей затем почку, развивающуюся в молодое растение, широко охватывает все органы — листья, стебли, корневища, корни. Из этих частей растения можно получить целое растение.

Можно добавить, что некоторые растения размножаются еще ползучими стеблями или усами, как, например, земляника, клубника (рис. 159). Усами называются тонкие ползучие гибкие стебли, образующие в узлах придаточные корни и почку, из которой развивается новое растение. Впоследствии междоузлия ползучих стеблей отмирают, и образовавшиеся таким путем молодые растения начинают самостоятельное существование. В культуре землянику и клубнику разводят усами, деля их на части, и из каждой части получают новое растение.

У высших растений существуют еще некоторые специальные органы вегетативного размножения, основанные на заложении обильных почек. Возьмите обыкновенный лук, чеснок, порей или тюльпан, лилию и другие растения, которые имеют луковицы. Луковица — это подземный видоизмененный укороченный побег (рис. 160). Нижняя основная часть луковицы называется донцем и представляет собой сильно укороченный стебель, от верхней части которого поднимаются плотно охватывающие друг друга (рис. 160, А, Б) или черепичато прикрывающие друг друга краями (рис. 160, В) мясистые сочные чешуи. Эти чешуи — видоизмененные листья, которые являются вместилищем запасных питательных веществ. Наружные чешуи становятся сухими, пленчатыми и выполняют лишь защитную роль. Вниз от донца идут корни, на зиму они отмирают, а весной появляются новые корни. Из верхушечной почки донца развивается надземный побег. В пазухах чешуй или листьев луковицы заложены пазушные почки («зубки», «детки»); надрезами можно искусственно вызывать образование отдельных «зубков», и из одной луковицы нередко можно получить, таким образом, десяток молодых луковиц — «деток». Луковица — это орган перезимовывания и в то же время орган вегетативного размножения. В пазухе каждого листа может заложиться почка и, регулируя этот процесс, мы регулируем вместе с тем размножение данного сорта.

Что такое картофель? Мы часто слышим, что это «корнеплод», но это понятие не точное, потому что картофельные клубни, находящиеся в земле, — это не плоды. Плоды у картофеля находятся не под землей, а на верхушках надземных стеблей (рис. 161, А). В нижней подземной части картофельного стебля (рис. 161, Б) возникают тонкие, гибкие ветви — столоны, похожие на усы многих растений; они растут в земле и обычно на их концах образуются утолщения — клубни,

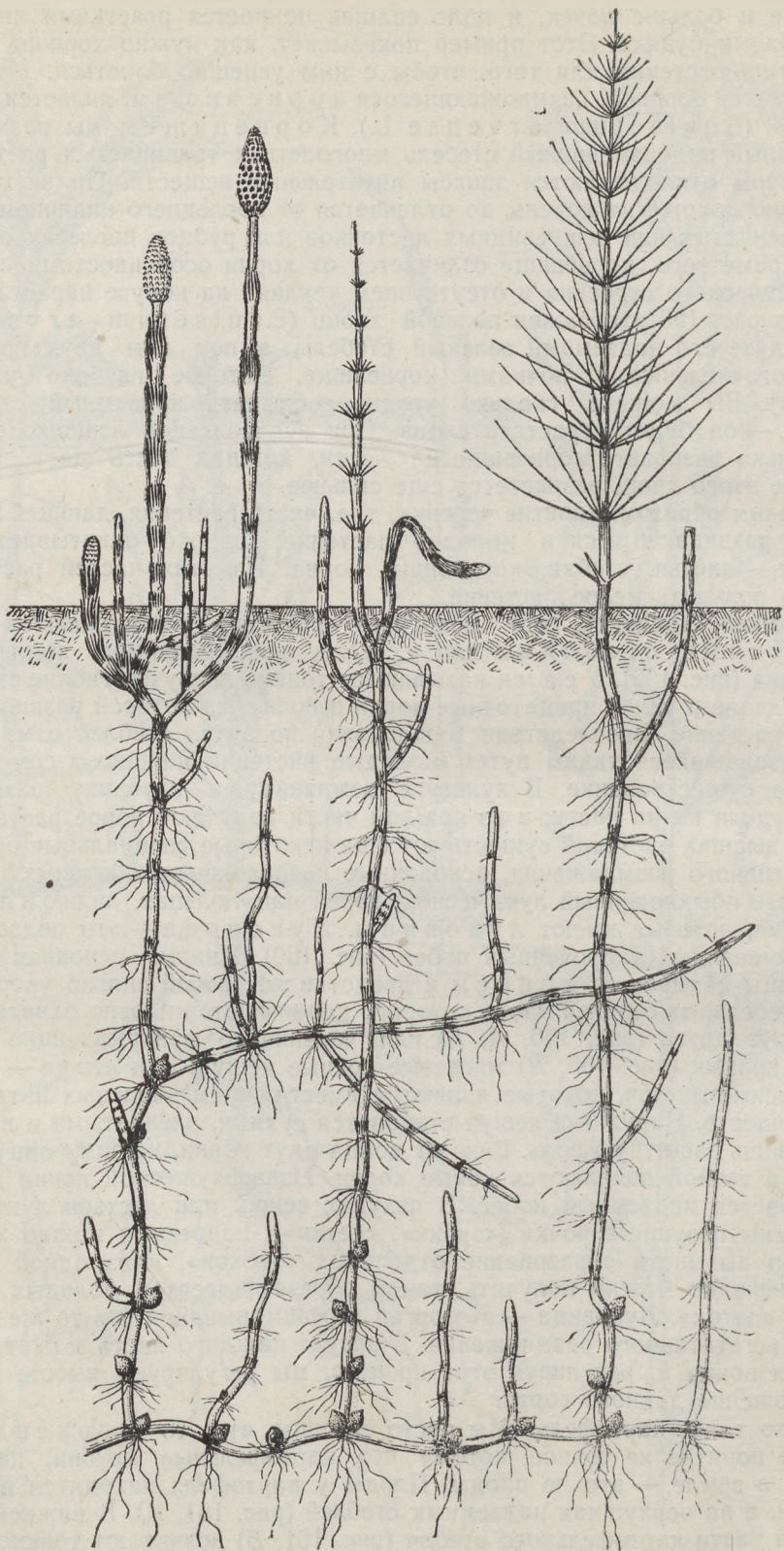


Рис. 158. Хвощ полевой (*Equisetum arvense*): внешний вид с подземной частью; на корневище видны обильные почки.

вследствие того, что сюда поступают из листьев питательные вещества, которые откладываются в виде крахмала. Таким образом, клубень является не чем иным, как видоизмененным подземным стеблем, наполненным запасными питательными веществами. На поверхности клубня имеются небольшие углубления, прикрытые чешуевидными листочками. Это — покоящиеся почки, или так называемые «глазки». Картофельные клубни осенью переходят в состояние покоя. Если сохранять картофель в холодном месте, он «спит», внешне он не изменяется в течение зимы,



Рис. 159. Вегетативное размножение земляники (*Fragaria*) ползучими стеблями, или «усами».

а весной из почек («глазков») вырастают молодые побеги. Можно разрезать картофельный клубень на несколько частей и каждая почка даст картофельное растение. На этом основана рекомендованная акад. Г. Д. Лысенко посадка картофеля верхушками, ныне широко применяемая в СССР. Для этого срезают верхушку клубня, обычно несущую наибольшее количество жизнедеятельных «глазков», весом 5—15 г. При посадке картофеля верхушками, срезанными с хороших крупных клубней, получается более высокий урожай по сравнению с посадкой целыми, но более мелкими клубнями; кроме того, благодаря использованию верхушек как посадочного материала, сохраняется большое количество картофеля для продовольственных целей.

Теперь мы должны перейти к очень важному отделу, к так называемым прививкам.

Уже на заре сельскохозяйственной деятельности человека было замечено, что можно сращивать между собой два растения, причем одно растение дает корень, а другое — цветущие ветки, приносящие плоды.

Обычно говорят, что прививки — это «облагораживание» растений, улучшение дикого растения.

К прививке прибегают прежде всего для размножения. Например, данный сорт груш, яблок отличается прекрасными свойствами, но вы не можете эти свойства воспроизвести путем посева. При размножении се-

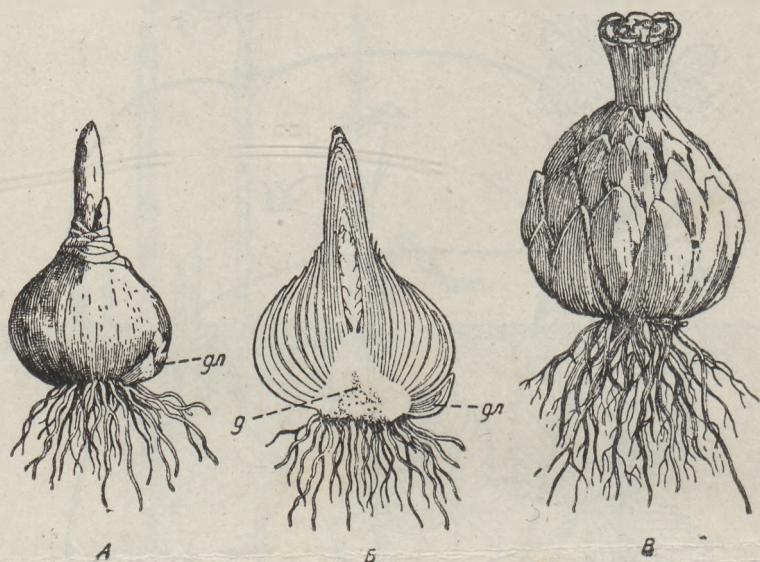


Рис. 160. Луковицы: А — внешний вид пленчатой луковицы; Б — ее продольный разрез; д — донце, стеблевая часть луковицы, несущая сочные чешуи — листья; справа у основания донца — дочерняя «детка» (дл); В — внешний вид черепичатой луковицы.

менами вырастает дерево, которое дает маленькие яблоки, лишенные того вкуса и запаха, который вам нужен. А при размножении черенками иногда, может быть, из тысячи черенков лишь один даст корень.

Грецкий орех разводят таким образом: сначала выращивают дичку путем посева орехов, затем срезают стебель, в надрез корневой шейки дичка прививают ветку высокосортного дерева. Оказывается, что такое соединение — ветки, имеющей на себе цветочные почки, и корневой системы дичка — дает необыкновенно быстрые результаты: через год вы имеете уже плоды; если же вы будете разводить ореховые деревья путем посева ореха, вам нужно в лучшем случае 10—11 лет для того, чтобы получить плоды.

В этом случае значение прививки сводится к вегетативному размножению высоких по качеству сортов культурных растений. Здесь, вместо того, чтобы вводить черенок в землю, вы вводите его в стебель дичка, обладающего хорошей корневой системой. Черенок, который прививают, называется привоем, а то растение, на которое прививают, называется подвоем.

Прививкой достигают различных целей: [повышения урожайности, повышения морозостойкости, обеспечения перекрестного опыления и т. д.]

1 Корневой шейкой называется место перехода корня в стебель.

Существует множество способов прививки, но имеется два основных метода: прививка черенком (под кору, копулировка, в расщеп) и прививка «глазком» или почкой (окулировка).

Как делается прививка под кору (рис. 162, В)? Вы имеете дичок, выведенный из семян, и веточку, которую нужно привить. Вы надрезаете кору дичка, косо обрезаете очень острым ножом черенок и прикладываете его таким образом к дичку, чтобы камбий привоя по возможности соприкасался с камбием дичка. Конечно, садовники, которые делают массовые прививки, могут ничего не знать о камбии, но опыт показал, как нужно соединять привой с дичком, чтобы получились хорошие результаты. Затем место соединения обвязывается мочалой и заливается садовым варом — смесью воска с жиром, смолой. Делается это для того, чтобы устранить потерю воды путем испарения с обнаженной поверхности.

Другой прием прививки: вы вставляете привой не под кору, а в расщеп. При этом раскалывают подвой (рис. 162, Б) и вставляют в щель заостренный клином привой так, чтобы соприкасались камбии сращиваемых растений. Делается еще прививка «с седлом» — черенок срезается уступами, в этом случае плотность соприкосновения камбиев еще увеличивается. При «копулировке» (рис. 162, А) привой и подвой имеют одинаковую толщину и их плотно соединяют косо срезанными поверхностями.

Окулировка или прививка «глазком» заключается в том, что с разводящего дерева срезается кусочек коры с почкой, причем срезается он так, чтобы почка не была повреждена внутри, т. е. те пучки, которые идут от почки в древесине, должны быть срезаны, а не вырваны. «Глазок» вставляют под кору дичка, плотно перевязывают, заливают варом (рис. 162, Г). Опытный человек совершает эту операцию очень быстро. Период прививок весной короткий, и хороший прививальщик, имея подготовленный материал, может привить за день очень много.

Можно указать еще один из способов прививки — это так называемая облактировка или прививка сближением (рис. 162, Д), когда сращивают привой и подвой, не срезая предварительно черенка.

При этом способе в вегетационный период на однолетнем или много-



Рис. 161. Картофель (*Solanum tuberosum*): А — надземная часть растения (цветы, плоды); Б — нижняя часть надземных стеблей и подземные стебли — столоны (с), несущие клубни.

летнем побеге привоя срезают с одной стороны на протяжении 4—6 см кору с участком древесины. То же делается и на подвое. Затем обнаженные места привоя и подвоя плотно прикладывают друг к другу, обматывают и оставляют до полного срастания (обычно до следующего

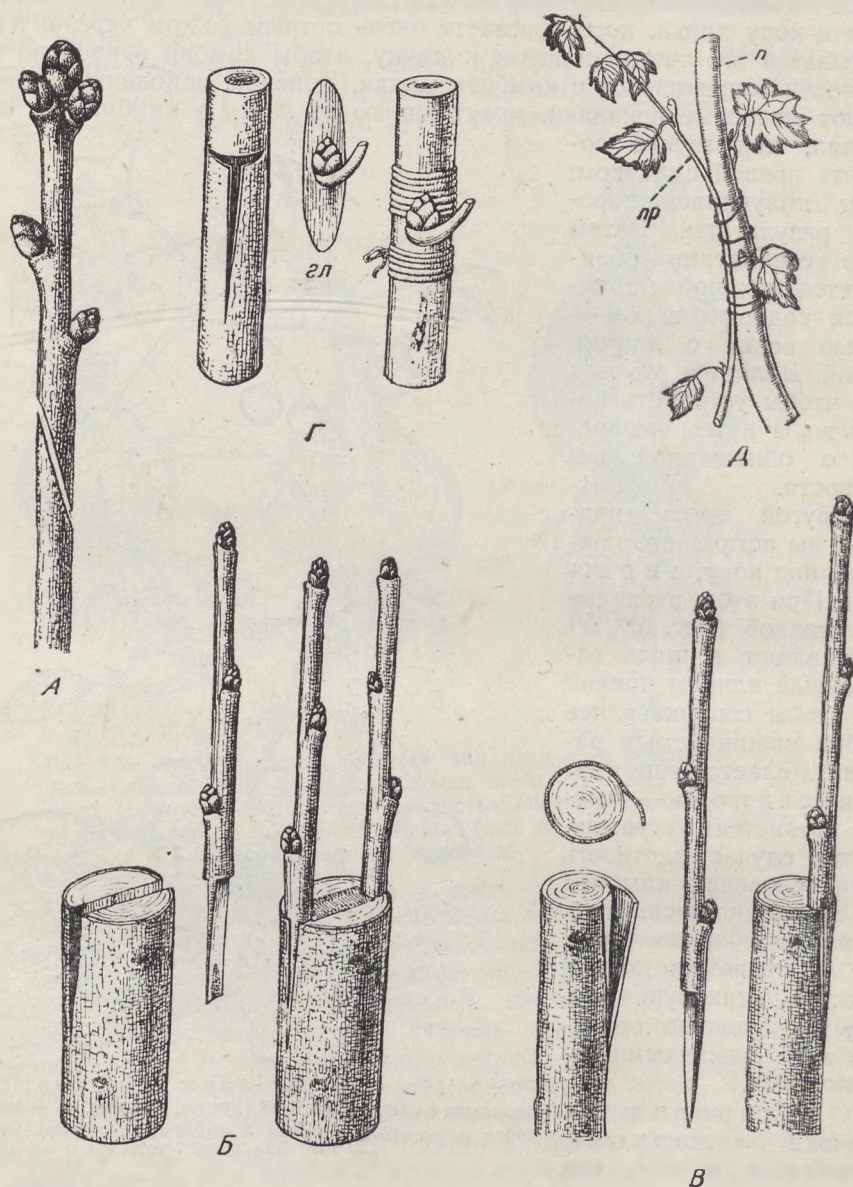


Рис. 162. Различные способы прививки: А — копулировка; Б — в расщеп; В' — под кору; Г — окулировка; гл — „глазок“ — почка с участком коры; Д — прививка сближением; п — подвой, пр — привой.

года). Когда они срастутся, побег привоя отрезают от материнского растения.

При удачной прививке камбиальная ткань двух растений, составленных вместе, начинает быстро делиться и расти, образуя между привоем и подвоем каллус, или наплыв. Из паренхимной ткани каллуса дифференцируются проводящие элементы, соединяющие соответствующие ткани привоя и подвоя.

В привите растений обе части обмениваются тем, что каждая из них вырабатывает. Крона яблони, привитая на мелкоплодную яблоню, посылает вырабатываемые ею питательные вещества в корневую систему, а корневая система мелкоплодной яблони посылает питательные вещества в листья привитой яблони. Благодаря тесной связи привоя и подвоя оба компонента оказывают друг на друга сильное влияние. Например, если ветку быстро растущей яблони привить на парадизку (райскую яблоню, имеющую слабо развитую корневую систему), то получится карликовое деревцо, но зато быстро зацветающее (через 3—5 лет вместо 10—12 лет) и обильно плодоносящее.

В настоящее время, в результате работ И. В. Мичурина, Т. Д. Лысенко и их учеников, мы знаем, что прививка является не только способом вегетативного размножения, а представляет собою более сложный процесс: в этих условиях, когда одно растение питается за счет другого, у растительных организмов могут возникать так же как и у половых гибридов новые черты, в той или иной степени передающиеся потомству. Иначе говоря, при прививках имеет место вегетативная гибридизация. Невольно возникает вопрос — можно ли привить любое растение на любое другое растение. Прививки легче всего удаются при близком родстве между подвоем и привоем, например между сортами одного вида. Возможны прививки разных видов одного рода. Труднее удаются прививки между представителями разных семейств. Большие достижения в области прививок между отдаленными по родству растениями получены И. В. Мичуриным, — с некоторыми из них мы познакомимся в главе XV.

На этом мы заканчиваем рассмотрение примеров вегетативного размножения; оно тесно связано с практикой, так как здесь мы можем управлять жизнью растения, заставляя его расти так, как это нам нужно.

Рассмотрим теперь несколько примеров бесполого размножения.

У самой обыкновенной в окрестностях Ленинграда нитчатой водоросли улотрикс (*Ulothrix*, рис. 163), которая массами растет, прикрепившись к камням набережных, отдельные клетки нити обособляют свое содержимое, оболочка разрывается, и протопласт клетки выходит наружу в виде организма грушевидной формы с четырьмя ресничками или жгутиками (рис. 163, з), посредством которых эта клетка может двигаться. Такая клетка имеет хроматофор — носитель хлорофилла, красный глазок, чувствительный к свету и тем самым управляющий движением ресничек. Эта зооспора (иногда в клетках нити — зооспорангиях — их образуется от 2 до 8 и больше) может довольно долго двигаться в воде, согласно явлениям хемотаксиса, особенно реагируя на свет, движение воды, силу тяжести. В конце концов она прикрепляется своим бесцветным концом к какому-нибудь твердому предмету — к камню, к берегу — и здесь начинает делиться, образуя новую молодую нить, быстро растущую. Благодаря этой способности рассылаться на отдельные подвижные клетки зооспоры *Ulothrix* заповывают громадные пространства водоемов и берегов. При хороших условиях температуры и освещения, при достаточном количестве питательных веществ в воде улотрикс может дать в короткое время миллион особей.

Существует грибок сапролегния (*Saprolegnia*) — бесцветный организм, который в виде белой ваты поселяется на мертвых рыбах, на икре, реже на живых водных животных, окутывая их со всех сторон, удушая их, если они слабы. Он дает в воде на концах своих нитей расширения, в которых клеточные ядра делятся многократно, так что все расширение заполняется массой клеточных ядер и окружающей их протоплазмой. Постепенно здесь образуются многочисленные клетки с очень тонкой оболочкой и длинными ресничками или жгутиками (рис. 164).

Затем вместилище этих клеток наверху ослизняется, в силу чего образуется отверстие, через которое они выходят наружу и плавают в воде. Проплавав некоторое время, они останавливаются, одеваются оболочкой и через некоторое время образуют новые зооспоры, обычно почковидной формы. Последние, привлекаемые продуктами гниения белков

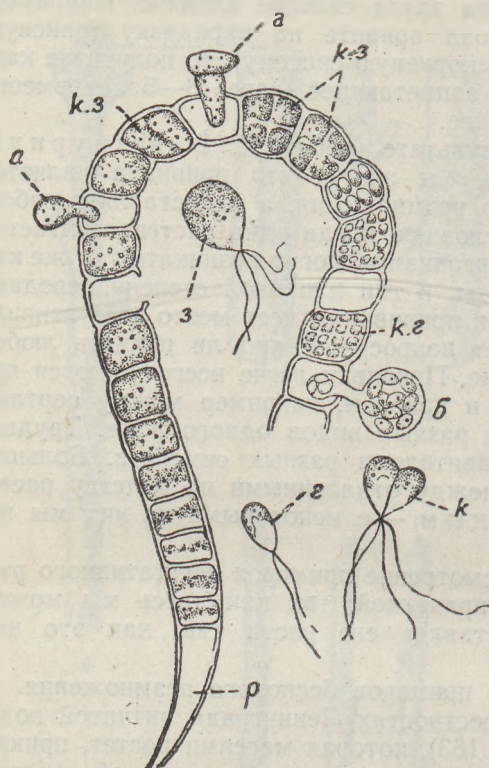


Рис. 163. Нитчатая водоросль улотрикс (*Ulothrix zonata*): *p* — ризоидальная клетка, посредством которой водоросль прикрепляется к субстрату; *к. з* — клетки с зооспорами; *а* — выход зооспор из нити; *з* — зооспора; *к. г* — клетки с гаметами; *г* — гамета; *б* — выход гамет; *к* — копуляция (слияние) гамет.

какого-либо животного, оседают на нем и прорастают в новые нити, сапролегии.]

Такие элементы размножения — в виде клеток, свободно движущихся в воде, носят название зооспор, а вместилища, в которых они образовались, называются зооспорангиями (рис. 164).

Слово «зоо» показывает на некоторое сходство их с животными.

Образование зооспор тесно связано с водным образом жизни растения; только в воде при достаточном освещении, при достаточной температуре возможны жизнь и функционирование этих оригинальных клеток. На суше движение зооспор с помощью ресничек становится невозможным, и зооспоры заменяются другим типом клеток уже неподвижных, но чрезвычайно многочисленных и способных размножать данный организм чрезвычайно быстро.

На рис. 165, Б — кусочек листа картофеля. Из его устьица выходят наружу нити картофельного грибка фитифтора (*Phytophthora infestans*), причиняющего иногда

большой ущерб урожаю картофеля. На своих концах гриб отпочковывает отдельные неподвижные клетки, довольно крупные, которые получили название конидий. Конидии падают на лист и лежат на нем до тех пор, пока роса или дождь не покроют их; в воде их содержимое делится, и таким путем образуются зооспоры, которые затем выходят из конидии в каплю воды. Иногда конидии, попав на лист, прорастают, не образуя зооспор, а дают проростковые трубочки. В этом случае движение совершается путем роста трубочек, отростков, наполненных протоплазмой и клеточными ядрами.

В обоих случаях гриб через устьица проникает в межклетники, где и разрастается в длинные трубочки и пускает в клетки питающего растения присоски, или гаустории — органы всасывания, заменяющие этому паразитическому растению корни. Аналогично размножается грибок плазмора (*Plasmogama*), паразитирующий на листьях винограда (рис. 165, А).

В этом семействе — переноспоровых грибов — произошла эволюция зооспорангия, превращение его в конидию.

Таким образом, сухопутные грибы выработали новый способ размно-

жения, стали отщеплять конидии — отдельные клетки, распространяющиеся в воздушной среде с помощью воздушных течений.

В любом жилом помещении мы найдем огромное население грибов. Это сапрофитные грибы, питающиеся всякими мертвыми органическими веществами, например, так называемый пенициллиум (*Penicillium*) — плесневый грибок, кистевик, или чернильная плесень (рис. 166). Многим он, наверное, хорошо известен, потому что способен селиться на чернилах: если чернила стоят долго, они покрываются зеленовато-серым



Рис. 164. Зооспорангий и зооспоры у сапролегнии (*Saprolegnia*).

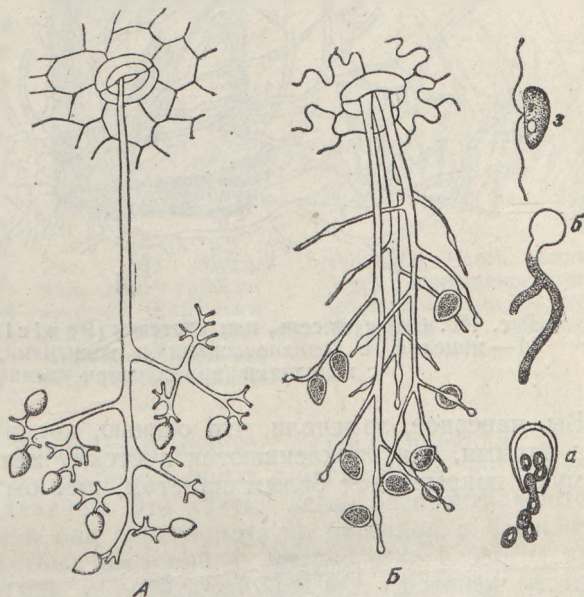


Рис. 165. Конидиеносцы с конидиями: А — на листе винограда, зараженного грибом плазмодарой (*Plasmopara*); Б — на листе картофеля, зараженного фитофторой (*Phytophthora infestans*); а — прорастание конидии и выход зооспор; 3 — зооспора; б — прорастание зооспоры.

порошком. Нити гриба дают многочисленные отростки, которые на концах делятся и образуют как бы кисточку из коротких веточек, которые и отпочковывают маленькие клетки — конидии. Эти клетки слабым движением воздуха в атмосфере и ветром разносятся всюду. Они могут массами погибать от недостатка питания, но если попадут на какой-нибудь влажный питательный субстрат, они быстро размножаются, покрывают его белыми хлопьями, а затем развивают новые конидии, которые меняют окраску гриба со снежнобелой на зеленовато-серую. Конидии — могучее средство размножения и рассеивания грибка; может быть именно поэтому кистевая плесень и принадлежит к наиболее часто встречающимся и наиболее распространенным организмам земного шара.

[Пеницилл и некоторые другие грибки (аспергилл и др.) выделяют вещества, убивающие или подавляющие развитие многих болезнетворных микробов. Вытяжки из этих веществ под названием пенициллина имеют сейчас громадное значение в лечении целого ряда заболеваний].

Или возьмем другой гриб — белую плесень (*Mucor*). Вы видите на рис. 167 этот гриб, разведенный в настое питательных веществ, видите и его шаровидный спорангий — мешок, содержимое которого (про-

топласт) делится на множество отдельных клеток. Из этих клеток и образуются многочисленные сухопутные споры. Мешок затем лопается, споры рассеиваются кругом на значительное расстояние. Такие сухопутные споры у грибов — явление самое обыкновенное.

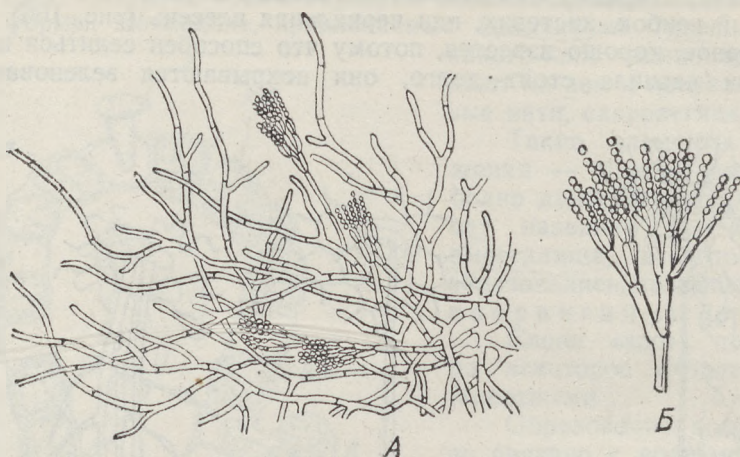


Рис. 166. Сизая плесень, или кистевик (*Penicillium glaucum*): А — мицелий с конидиеносцами и конидиями; Б — конидиеносец с конидиями (при большем увеличении).

Вы, наверное, замечали, что осенью, когда мухи в комнате становятся вялыми, они приклеиваются к стеклу или к растениям; при этом вся муха покрывается белым налетом, как бы обсыпана мукой. Если

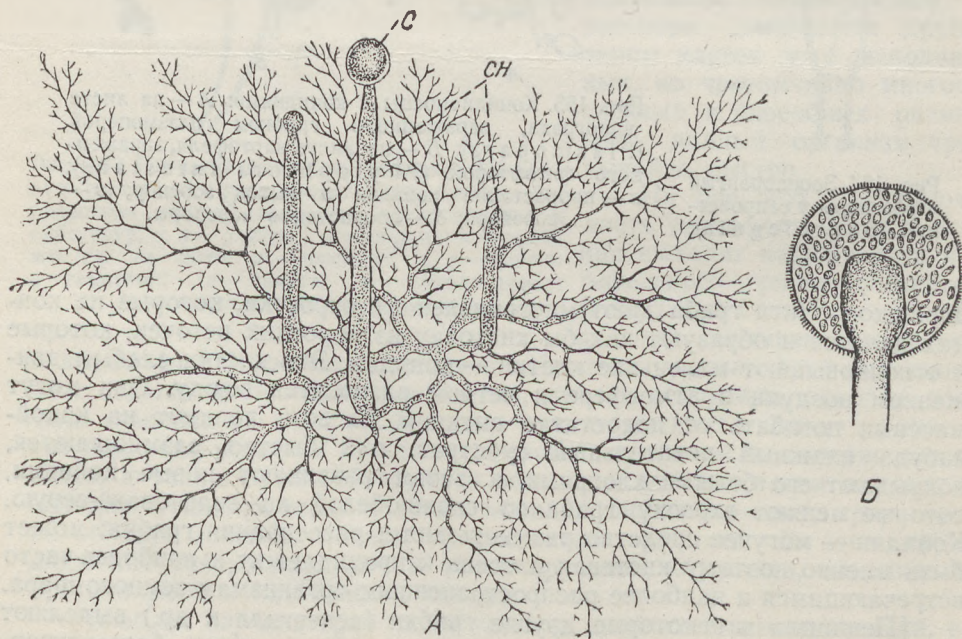


Рис. 167. Белая головчатая плесень (*Mucor*): А — мицелий; с — спорангий; сн — спорангиеносцы; Б — спорангий со спорами.

муха приклеилась к стеклу, вы видите, что этот налет разбрасывается и кругом мухи по стеклу на некотором расстоянии от нее (рис. 168). Это все конидии, отдельные клетки, отпочковавшиеся и с силой отбро-

шенные от грибка *Empusa muscae*, который вырос в этой мухе и убил ее. Конидии — очень мелкие, легко переносятся ветром и попадают пассивно на питательный субстрат, на котором могут размножаться дальше. В короткое время мы можем получить колоссальное количество — сотни тысяч особей.

У некоторых грибов (например, головневых) образуются споры с очень толстой оболочкой, благодаря чему они хорошо защищены от внешних вредных воздействий, — это так называемые хламидоспоры. Они более стойкие и сохраняют жизнь в течение долгого времени, часто в самых тяжелых условиях — при сильных засухах, при сильных морозах.

Зооспоры, споры, конидии и пр. — отдельные клетки, которые отпочковываются от организма, являются специальными элементами бесполого размножения.

Таким образом, в еще слабо дифференцированном

организме грибов и водорослей процесс деления приводит к образованию множества клеток, слабо спаянных с организмом, их вырвавшим, легко от него отпадающих. Эти клетки легко распространяются — у низших водных растений они переносятся из бассейна в бассейн посредством воды, у сухопутных растений их очень легко разносит ветер.

[У высших растений (мхи, папоротникообразные, семенные растения) также образуются споры. Они возникают здесь лишь в результате редукционного деления и при прорастании развивают растение, на котором возникают органы полового размножения. После оплодотворения развивается новое растение, на котором образуются снова спорангии со спорами. Здесь имеется правильная смена полового и бесполого поколений, точнее фаз развития растения (см. ниже). Это явление известно и у многих низших растений — водорослей и грибов.]



Рис. 168. Муха, пораженная грибом эмпузой (*Empusa muscae*). Вокруг мухи белый порошок отброшенных конидий.

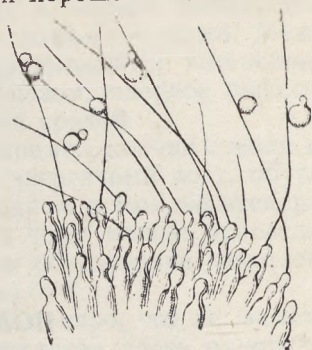


Рис. 169. Часть кожицы мухи с конидиеносцами и конидиями эмпузы, приставшими к волоскам мухи.

ГЛАВА XII

ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ

Глава о вегетативном размножении была органически связана с анализом органов растительной жизни. Прибавился еще один орган — почка, который мы и разобрали. Мы познакомились с тем, как идет умножение числа особей у растений, как существ мало дифференцированных, каждая часть которых может регенерировать целое.

Для того, чтобы идти дальше, нам нужно вернуться к клетке, нам нужно установить те основные противоречия, которые кроются в жизни клетки, для того, чтобы понять, почему кроме вегетативного размножения, вполне удовлетворяющего потребность в размножении, имеется еще и другой тип размножения — половое.

Клетка может делиться или прямым делением — амитотическим, или делением непрямым, которое называют митозом, или кариокинезом.

[Основные типы деления клеток были установлены и описаны русскими ботаниками И. Д. Чистяковым, В. И. Беляевым. В последнее время деление клеток подробно было изучено проф. П. В. Макаровым.]

Как можно демонстрировать прямое деление? Возьмите кожицу какого-нибудь растения, имеющую крупные клеточные ядра, например, кожицу листа гиацинта. Живую кожицу поместите над отверстием банки с хлороформом или с серным эфиром, подержите над банкой минуту — две, анестезируйте кожицу, затем поместите ее в воду, посмотрите в микроскоп и вы увидите, как ядра делятся перетяжкой на две или на три части.

Прямое деление ядра очень легко вызвать. Но что дальше? Прямое деление ядра не приводит к образованию нового клеточного организма, прямое деление ядра есть его разрушение¹.

Ядро состоит из кариоплазмы — ядерного вещества, хорошо окрашивающегося основными красками (кармин, гематоксилин) и называемого поэтому хроматином (хрома — краска).

Ядро располагается в цитоплазме — неокрашивающейся или слабо красящейся плазме клетки.

Ядро содержит ядрышко. Иногда их несколько.

Цитоплазма и кариоплазма не смешиваются, являясь как бы различными коллоидными фазами. Иногда наблюдается особая оболочка ядра.

¹ В настоящее время установлено, что для некоторых организмов прямое деление ядра является нормальным способом деления ядра, например, у *Chaga*. *Ред.*

В процессе эволюции, когда появились первые живые организмы в виде простых белковых комочков (см. выше — стр. 16), они не имели деления на цитоплазму и кариоплазму. (Последняя обособилась лишь со временем, в процессе длительной эволюции.) В состав кариоплазмы, ядерного вещества входят белки, протеиноподобные вещества — протамины, гистоны и тимонуклеиновая кислота — белковое вещество, богатое соединениями фосфора. Эти вещества, вступая в тесные взаимосвязи, образуют соединения типа нуклеопротейдов (nucleus — ядро). Между кариоплазмой и цитоплазмой происходит непрерывный и интенсивный обмен веществ и через цитоплазму, таким образом, ядерное вещество находится в постоянном обмене с окружающей средой.

Если взять делящуюся ткань растения, например, кончик стебля молодого растения или кончик корня, где идет энергичный рост, обусловленный делением клеток, можно увидеть на одном и том же препарате целый ряд моментов деления ядра, благодаря чему можно проследить все стадии этого процесса. Здесь мы замечаем образование множества новых клеток из сравнительно малого их числа.

Если мы будем рассматривать покоящееся ядро, то не заметим в нем никакой структуры. Масса ядерного вещества здесь однородна, оно гомогенно.

Вскоре в ядре наблюдается образование мельчайших зернышек, едва заметных в наиболее сильном микроскоп. Появляются зернистая структура. Зернышки увеличиваются в числе, начинают собираться по нескольку вместе и сливаться в глыбки. Глыбки в свою очередь сливаются, становясь похожими на капли, которые затем формируются в тельца сначала четковидные, а затем гладкоконтурные. Эти тельца получили название хромосом (от хрома — краска).

Тимонуклеиновая кислота в это время переходит нацело в состав хромосом. Оставшаяся неокрашивающаяся плазма ядра (ее можно называть ядерным соком) сливается с цитоплазмой. Хромосомы затем начинают расщепляться вдоль. Такие пары подобных хромосом остаются пока расположенными рядом. Ядерная оболочка и ядрышко исчезают. В это время мы не имеем ядра как такового, оно закончило цикл своего развития исчезновением, породив новые структуры — хромосомы. Эта стадия деления клетки получила название профазы (рис. 170). Затем хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки так, что каждая половинка направляется одним своим концом к тому или иному полюсу клетки. Хромосомы здесь становятся особенно хорошо заметными, их легко сосчитать (число их благодаря расщеплению стало вдвое большим). Эта стадия получила название метафазы или ядерной пластинки. В это время хорошо заметны тончайшие плазменные, бесцветные нити, сходящиеся у полюсов клетки и расходящиеся у экватора, где они прикрепляются к концам хромосом. Вся картина очень напоминает веретено, почему стадию эту иногда называют стадией веретена.

Половинки хромосом расходятся к полюсам, как бы в результате сокращения плазменных нитей — анафаза.

Далее собравшиеся вместе хромосомы сразу распадаются на мельчайшие зернышки. Эта стадия получила название телофазы. Тимонуклеиновая кислота вновь появляется между зернышками и все увеличивается, по мере распада хромосом. Затем исчезает и зернистость, обособляется ядерная оболочка, появляются ядрышки, веретено исчезает. Образовавшиеся два дочерних ядра снова становятся гомогенными.

В конце процесса в цитоплазме образуются утолщения в виде узелков, расположенных в области экватора. Постепенно сближаясь, благодаря нарастанию, они сливаются в экваториальную клеточную пластинку, разделяющую материнскую клетку на две дочерних. Здесь происходит деление цитоплазмы между двумя дочерними

клетками. Процесс этот получил название цитокинеза. Полного разъединения плазмы при этом не происходит. Между узелками остаются тонкие плазматические нити — плазмодесмы, пронизывающие клеточную оболочку. При посредстве их и осуществляется связь между клетками. Образовавшиеся клетки растут, увеличиваются в размерах и, достигнув известного возраста, снова делятся. В процессе деления клетки, таким образом, хромосомы возникают каждый раз заново, а не переходят от родителей к потомкам в готовом виде, как это утверждали

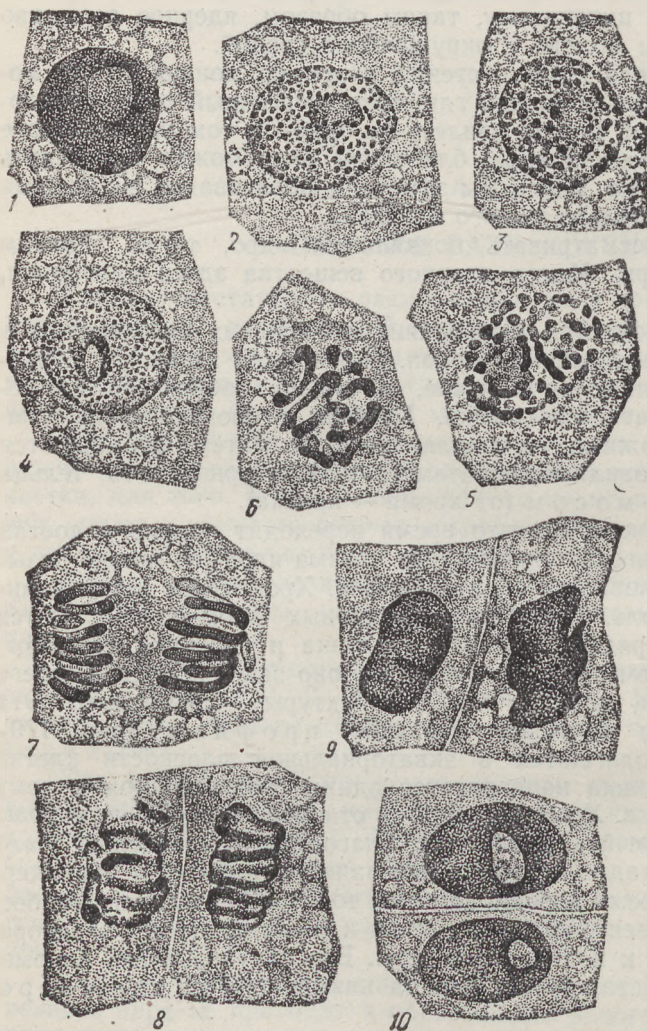


Рис. 170. Митоз (деление клетки) (по Макарову): 1 — покоееяе ядро; 2—6 — последовательные этапы профазы; 7 — анафаза; 8—9 — телофаза; 10 — две дочерние клетки.

формальные цитогенетики — вейсманисты — менделисты. По их представлениям, наследственное вещество, резко отграниченное от вещества остальной клетки (сомы) и независимое от него, входит в состав хромосом и вместе с ними передается от клетки к клетке. Они утверждали, что хромосомы непрерывны за все время существования организма и в неизменном виде переходят от родителей к детям, от поколения к поколению. Наследственное вещество, по их утверждению, неизменно и не зависит от внешней среды. Свои взгляды они обосновывали на картинах, которые наблюдаются в клетке при ее делении, когда в покоееяе ядре была видна структура. Эти представления были следствием применения грубых фиксаторов, которые нарушали гомогенность покоееяе ядра.

Разработанная

проф. П. В. Макаровым методика фиксации клетки четырехосмиевой кислотой, сохраняющей нормальное строение ядра, позволила установить описанную выше истинную картину строения и изменения ядра при делении клетки.

С установлением факта возникновения хромосом заново при каждом делении клетки отпадают и все утверждения о непрерывности хромосом и мифического наследственного вещества. [Число и форма хромосом являются видовыми признаками, так же как и многие другие.]

Хромосомы имеют различную длину и вид крючков, палочек, шпилек и т. д. Они имеют нередко спутников (спутниками называют маленькие шаровидные тельца, соединенные с хромосомой тонкой нитью).

[При изменении внешней среды, т. е. того, что воспринимается клеткой в момент формирования хромосом, — наблюдаются изменения и формы хромосом и их числа. Таким образом, хромосомы вовсе не являются монополярными носителями наследственности, а сами, как и любая другая часть клетки, как и другие признаки являются наследственными. В чем же тогда смысл сложного деления, именуемого кариокинезом?

Установлено, что нуклеиновые кислоты, и особенно тимонуклеиновая кислота, из которой состоит кариоплазма, имеют существенное значение при обменных реакциях, протекающих в клетке. Количеством ее в значительной мере обеспечивается интенсивность клеточного обмена.

При делении клетки важно равномерное распределение тимонуклеиновой кислоты между двумя дочерними клетками. В противном случае будет иметь место неравномерный рост клеток, что приводило бы к формированию уродливых организмов. Под влиянием отбора, очевидно сложилась такая форма деления клеток, при которой осуществляется равномерное разделение ядерного вещества — митоз.]

Описанное выше деление клетки получило название эквационного, или уравнительного (иначе кариокинез или митоз). Процесс кариокинеза впервые был изучен И. Д. Чистяковым, который дал его описание и рисунки (в 1871 г.).

Рост тканей и органов, все вегетативное размножение растений построено на эквационном делении ядра, естественно поэтому, что при вегетативном размножении повторяются особенности материнского организма, потому что здесь мы имеем не что иное, как суммирование клеточных делений, происходящих по эквационному принципу.

Но в жизни каждого растения наступает момент, когда возникает другой тип клеточного деления, связанный с половым или генеративным размножением и называемый редукционным делением, или мейозом.

Не останавливаясь на деталях этого сложного процесса, укажем, что редукционное деление складывается из двух делений, быстро следующих одно за другим: первого — гетеротипического и второго — гомеотипического.

Первое деление начинается со стадии профазы. Хромосомы, [возникающие здесь заново,] сперва рассеяны в массе цитоплазмы, а затем попарно сближаются. При этом они укорачиваются и утолщаются. Число таких парных хромосом будет, естественно, вдвое меньшим, чем число одиночных. Если в эквационном делении их было 10, то при начале редукционного деления, в профазе его, число хромосом уменьшается до 5.

Далее сближенные хромосомы (парные) располагаются в срединную пластинку (метафаза). Они при этом раскалываются каждая на две хромосомы, их составляющие. После этого хромосомы расходятся к полюсам клетки (анафаза).

На этом заканчивается первое собственно редукционное деление клетки, в результате которого число хромосом уменьшается вдвое (редукцию — уменьшаю). Таким образом, каждая пара хромосом при редукционном делении ведет себя как одна хромосома при кариокинезе.

Второе деление. Образовавшиеся две дочерние клетки, с половинным числом хромосом тотчас же приступают к обычному, кариокINETическому делению, которое фактически начинается с метафазы. Оболочки дочерних ядер исчезают. Хромосомы продольно расщепляются и половинки их расходятся к полюсам. В итоге из одной клетки, обла-

давшей, положим, 10 хромосомами, образуются 4 клетки (тетрада) с половинным числом их — с 5 хромосомами.

Такие клетки с половинным (ординарным) числом хромосом называются гаплоидными; организмы, вырастающие из них, имеют название гаплоидных организмов. При эквационном делении получают клетки с двойным числом хромосом — диплоидные клетки. Организм, состоящий из клеток с двойным числом хромосом, называется диплоидным.

[Описанный процесс редукционного деления был впервые описан русским ботаником, проф. Московского университета В. И. Беляевым в 1894 г. Он описал его сначала на материнских клетках пыльцы даурской лиственницы, а затем у ряда цветковых растений из семейства лилейных.]

[В настоящее время вопросы, связанные с делением клеток, внимательно исследуются и пересматриваются. Между кариокинезом и редукционным делением существуют глубокие качественные различия. Медленные количественные изменения в процессе кариокинеза (а у дерева, например, до редукционного деления, имеющего место во взрослом растении при образовании пыльцы или зародышевого мешка, проходят сотни миллионов кариокинетических делений) дают качественный результат — редукционное деление. Здесь происходят глубокие изменения вещества. Из споры, например, папоротника, возникает в результате редукционного деления заросток — растение, совсем не похожее на папоротник.]

У различных растений редукционное деление имеет место в различное время их развития, в связи с чем циклы развития их (от гаметы до гаметы) сильно разнятся.] Из гаплоидной клетки у некоторых растений возникает небольшой организм, имеющий специальное назначение — подготовку полового акта, или же непосредственно в результате редукционного деления возникают элементы оплодотворения — половые клетки — гаметы.

Гаметой, следовательно, называется половая клетка с гаплоидным числом хромосом. Сливаясь попарно, гаметы образуют диплоидную клетку зиготу. Этот процесс слияния гамет называется половым процессом или оплодотворением. Противоположность гамет и зиготы и определяет весь цикл развития организма.

Существуют три типа полового процесса, последовательно возникших в общем ходе эволюции. Наиболее примитивной формой полового процесса является изогамия: обе сливающиеся гаметы подвижны и внешне совершенно одинаковы. Первым шагом к усложнению этого процесса является некоторая дифференцировка гамет: одна из них меньше — микрогамета, другая крупнее — макрогамета, но обе обычно подвижны; слияние их называется гетерогамией. Наконец, высшей формой полового процесса является оогамия, — в этом случае гаметы специализированы и резко отличаются друг от друга: крупная, неподвижная клетка с большим количеством запасных питательных веществ называется яйцеклеткой (или макрогаметой), и маленькая, обычно подвижная клетка, которую называют сперматозоидом (антерозоидом, или микрогаметой). Все три типа полового процесса встречаются уже у водорослей.

ГЛАВА XIII

ЦИКЛ РАЗВИТИЯ И СМЕНА ПОКОЛЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Водоросли. Пример изогамии дает одноклеточная, снабженная парой ресничек, водоросль хламидомонада (например, *Chlamydomonas Steinii*, рис. 171), которая массами плавает в стоячих водах. В зависимости от внешних условий, хламидомонада дает или зооспоры — элементы бесполого размножения, — или гаметы — элементы полового размножения. При благоприятных для роста условиях, при обильном питании образуются зооспоры. При этом содержимое клетки делится на несколько (4—8) новых клеток — зооспор, которые выходят наружу, и из каждой образуется новая взрослая особь. При наступлении бедственных условий существования хламидомонада дает гаметы. Они возникают так же, как и зооспоры, путем деления протопласта материнской клетки, но их образуется большее количество (от 32 до 64) и соответственно этому они меньших размеров. Все гаметы внешне совершенно одинаковы, поэтому их называют «изогаметами» («изос» значит равный). По выходе из материнской клетки они попарно сливаются (к о п у л и р у ю т), образуя зиготу.

Зигота наполняется запасными питательными веществами, вырабатывает на своей поверхности новую защитную оболочку и вступает в период покоя. Она падает на дно водоема, где может лежать долгое время неподвижно. В зиготе происходит процесс взаимного освоения клеточного содержимого, а это обычно требует времени. Одета толстой оболочкой, наполненная запасными питательными веществами, зигота может выдерживать различные неблагоприятные воздействия: высыхание, низкую температуру и пр. При наступлении влажного и теплого времени зигота прорастает, при этом она делится редукционно на четыре гаплоидных зооспоры, развивающиеся в новые вегетативные особи хламидомонады. Хламидомонада дает нам пример так называемой зиготической редукции, когда первое же деление зиготы оказывается редукционным.

Вернемся к рис. 163, — перед вами снова нитчатая водоросль *Ulothrix zonata*, уже известная вам своей способностью в благоприятных условиях быстро размножаться бесполом путем — посредством зооспор. Осенью содержимое некоторых клеток нити делится на более мелкие клетки, которые выходят наружу в виде одинаковых, снабженных парой ресничек изогамет. Изогаметы, сталкиваясь носиками, сливаются попарно и образуют зиготу с 4 ресничками. Затем

зигота сбрасывает реснички, окружается толстой оболочкой и переходит на зиму в стадию покоя. Весной ядро зиготы делится редукционно, образуется [большей частью 4 клетки, лишенные подвижности;] каждая из них вырастает снова в нить. Здесь, как и у хламидомонады (*Ch. Steinii*), наблюдается зиготическая редукция.

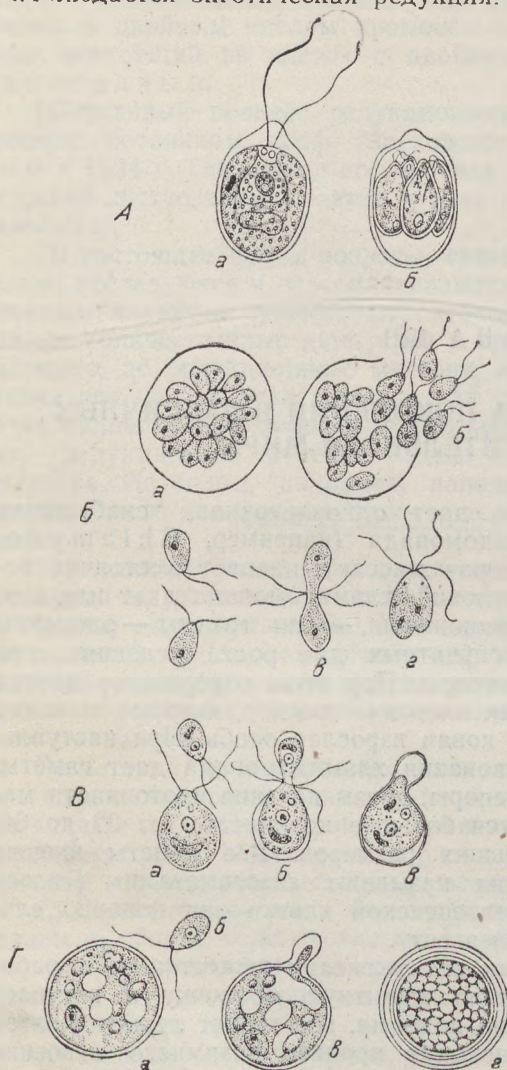


Рис. 171. Размножение у хламидомонад: А — отдельная особь хламидомонады; Б — образование зооспор внутри материнской клетки; В — образование изогамет и изогамия; Г — гетерогамия; Д — оогамия: а — макрогамета значительно крупнее микрогаметы (б) и неподвижна; е — слияние гамет; 1 — покоящаяся зигота.

Среди хламидомонад есть и такие (например, *Ch. Bgaupii*), у которых половой процесс происходит по типу гетерогамии (рис. 171, В): одни особи образуют микрогаметы, другие — макрогаметы, те и другие подвижны и отличаются лишь величиной. Микрогаметы подплывают к макрогаметам, и содержимое меньшей гаметы (или мужской половой клетки) переливается в полость большой макрогаметы (или женской половой клетки); протопласты их постепенно сливаются, образуя зиготу.

На рис. 172 изображен организм *Volvox* — волчок. Это — водоросль в виде шара величиною от 1,5—2 мм в диаметре; внутри шара находится слизь, а по его периферии расположены в один слой клетки, снабженные парой ресничек. Для вольвокса характерна оогамия; при половом размножении у него образуются специальные клетки, в которых развиваются половые элементы. Некоторые клетки шара теряют жгутики, увеличиваются в размерах, переполняются запасными питательными веществами, приобретают темнозеленую окраску. Содержимое этих клеток отстает от оболочки и превращается в женскую половую клетку — макрогамету или яйцеклетку (последний термин общий для растений и животных организмов). Клетки, в которых развиваются микрогаметы, носят название оогониев. В других специальных клетках,

называемых антеридиями, развиваются в большом количестве мужские половые клетки — микрогаметы или сперматозоиды (или антерозоиды). Каждый сперматозоид представляет мелкую узкую клетку желтого цвета (вследствие разрушения хлорофилла окрашенную каротином) и снабженную парой жгутиков. Они выходят из антеридиев и, подплывая к оогониям, оплодотворяют яйцеклетку (рис. 172, В). Продукт слияния яйцеклетки и сперматозоида — зигота — одевается очень

толстой защитной оболочкой и переходит в покоее состояние, в котором обычно и перезимовывает. Весной проросшая зигота делится редукционно и образует [большое число клеток, которые внутри материнской оболочки складываются в] новый шар вольвокса.

Оогамия свойственна также и некоторым видам хламидомонад (см. рис. 171, Г).

Разнообразные примеры зеленых водорослей показывают, что в течение своей вегетативной жизни (стадии питания и роста) они являются гаплоидными. В этот период активной жизни они могут неоднократно размножаться бесполом путем, образуя зооспоры, из которых возникают новые особи, подобные материнской. Часто это связывается с изменением внешних условий, со сменой времени года; жизнь этих организмов строится таким образом, что, согласно необходимости перезимовывания или перенесения засухи, у них образуются зиготы, способные переносить неблагоприятные условия. Прорастающая зигота, как мы видели на ряде разнообразных примеров, дает начало гаплоидным особям.

Но и среди зеленых водорослей есть редкие случаи, когда редукционное деление ядра происходит при образовании гамет.

В Черном море на большой глубине (около 10 м) растет в виде зеленых шнуров до 50 см длиною водоросль *Codium* (рис. 173). Это растение при половом размножении образует на своем талломе особые вместилища, так называемые гаметангии (рис. 173, Б и В), в которых развиваются половые элементы. На одних особях образуются микрогаметы, на других — макрогаметы. По выходе из гаметангиев гетерогаметы сливаются (рис. 173, Г), возникает зигота (рис. 173, Д). При про-

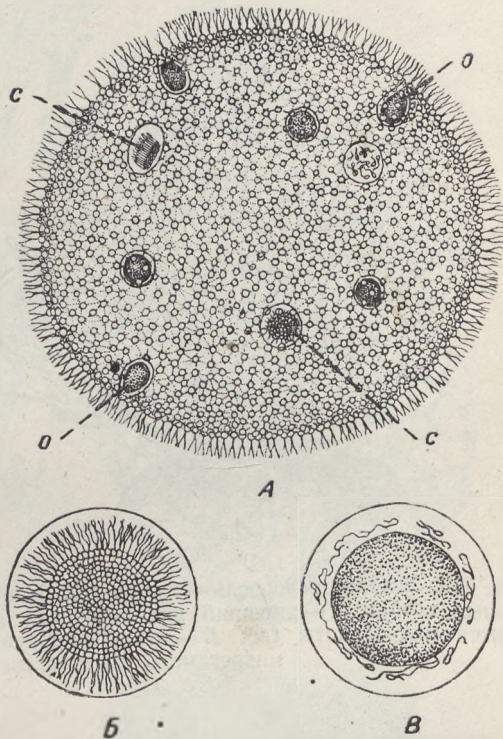


Рис. 172. Половое размножение у вольвокса (*Volvox*): А — внешний вид вольвокса; о — оогоний с яйцеклеткой; с — антеридии со сперматозоидами; Б — отдельный антеридий со сперматозоидами; В — яйцеклетка (макрогамета) в оогонии, окруженная сперматозоидами.

растании зигота делится не редукционно, благодаря чему, вырастающая из нее водоросль будет диплоидной; лишь при образовании гамет в гаметангиях происходит редукционное деление, — следовательно, здесь имеет место так называемая гаметическая редукция (при этом сама водоросль диплоидна, а гаплоидны только гаметы).

Рассмотрим, как происходит размножение у бурых водорослей. Диктиота (*Dictyota*, рис. 174) — водоросль с лентовидным дихотомически ветвящимся талломом, живущая в Средиземном или Черном морях, может размножаться половым путем и бесполом — посредством спор. При бесполом размножении на талломах диктиоты образуются так называемые тетраспорангии, — клетки, в которых возникают 4 гаплоидных [неподвижных] тетраспоры (рис. 174, Б). Тетраспоры [выпадают по разрушении оболочки] спорангия наружу и, прорастая, дают новые

особи диктиоты, внешне сходные с теми, на которых они образовывались; однако эти новые особи несут только органы полового размножения, на одних экземплярах — антеридии (рис. 174, В), на других — оогонии (рис. 174, Г). В антеридиях развиваются многочисленные одножгутиковые, очень мелкие сперматозоиды, в оогониях — по одной крупной, темноокрашенной яйцеклетке. Сперматозоиды и яйцеклетки по созревании выходят в воду, и здесь происходит оплодотворение — слияние яйцеклетки и сперматозоида (рис. 174, Д). Из зиготы вырастает таллом, несущий только тетраспорангии, в которых снова развиваются тетраспоры.

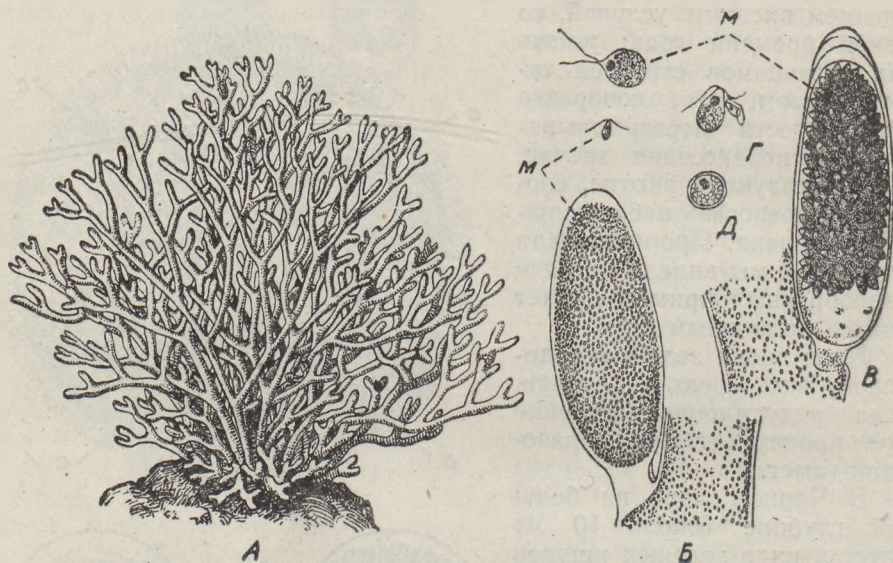


Рис. 173. Зеленая водоросль — кодיום (*Codium*) с гаметангиями, развивающимся на разных особях: А — внешний вид водоросли; Б — микрогаметангии, в которых развиваются микрогаметы (м); В — макрогаметангий с макрогаметами (м); Г — слияние микрогаметы с макрогаметой; Д — зигота.

Таким образом, мы видим, что в жизненном цикле диктиоты происходит последовательная смена фаз развития организма: из тетраспор вырастает гаплоидный организм, заканчивающий свою жизнь развитием гамет; после слияния яйцеклетки со сперматозоидом из зиготы возникает организм, дающий тетраспоры, при образовании которых происходит редукционное деление. Эти фазы следуют одна за другой. Это явление носит название смены поколений. Организм, дающий элементы полового размножения — гаметы, называют гаметофитом, или половым поколением; организм, развивающий элементы бесполого размножения — споры, называют спорофитом или бесполом поколением. У диктиоты оба поколения внешне не различимы. Они отличаются элементами размножения, образованием которых заканчивается жизнь каждого поколения¹.

Dictyota дает нам пример споровой редукции (уменьшение числа хромосом вдвое при образовании спор).

¹ Термин «смена поколений» является неудачным. Здесь происходит собственно не смена поколений (родительского — дочерним, дочернего — внучатым и т. д.), а смена фаз развития одного и того же организма, в данном случае — водоросли диктиота. Ред.

Иное соотношение поколений наблюдается в цикле развития водоросли ламинария (*Laminaria*). Эта бурая водоросль, распространенная в северных морях (у нас, например, на Мурманском побережье, в Белом море) порою достигает гигантских размеров (до 6—8 м). Лами-

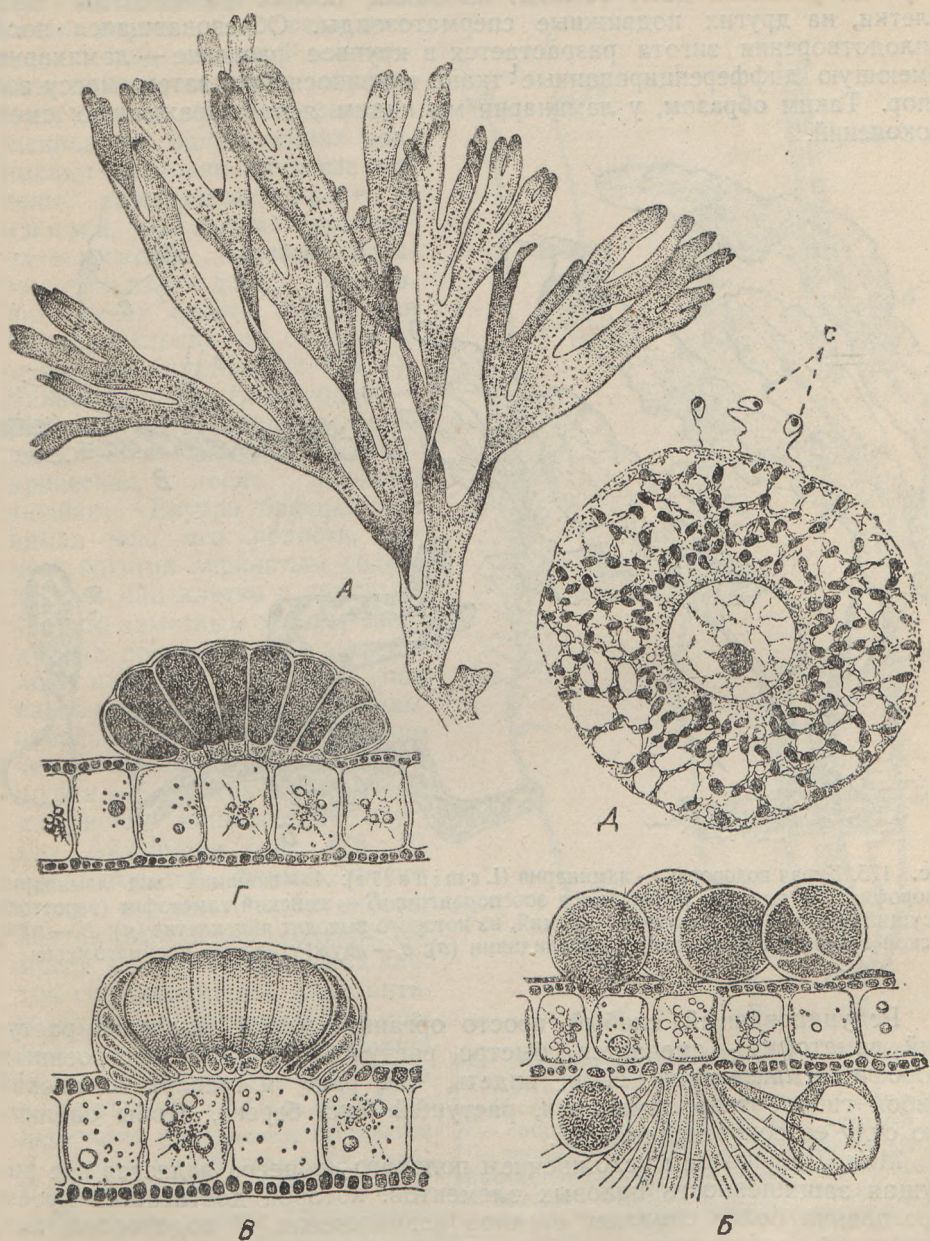


Рис. 174. Бурая водоросль — диктиота (*Dictyota*): А — общий вид; Б — тетраспорангии В — антеридии; Г — оогонии; Д — макрогамета и микрогаметы, сперматозоиды (с).

нария имеет мощный таллом в виде лентовидной (рис. 175, А) или пальчаторассеченной пластинки, книзу переходящей в ствол, который при помощи крепких корнеобразных отростков плотно прикрепляется к выступам камней. До 1915 г. ботаники считали, что ламинария размножается только бесполом путем, посредством зооспор, которые разви-

ваются в спорангиях на поверхности ее таллома. Однако удалось выяснить, что зооспоры ламинарии прикрепляются к камням и разрастаются в [микроскопические] нитевидные растеньица, [состоящие всего из нескольких клеток] (рис. 175, Б и В), которые после продолжительного периода развития дают гаметы: на одних особях развиваются яйцеклетки, на других подвижные сперматозоиды. Образовавшаяся после оплодотворения зигота разрастается в крупное растение — ламинарию, имеющую дифференцированные ткани и приносящую затем массу зооспор. Таким образом, у ламинарии мы видим ясно выраженную смену поколений.



Рис. 175. Бурая водоросль — ламинария (*Laminaria*): А — внешний вид ламинарии (спорофит), на котором развиваются зооспорангии; Б — женский гаметофит (заросток), несущий оогонии (о); направо — оогоний, из которого выходит яйцеклетка (я); В — мужской гаметофит (заросток) с антеридиями (а); с — двухгуттиковые сперматозоиды.

Редуцированный, слабый, просто организованный, медленно растущий гаметофит — сменяется быстро растущим, сложно построенным спорофитом ламинарии. Надо видеть, как рвет и треплет океанский прибой гибкое тело ламинарии, растущей близ берега, чтобы оценить всю силу ее сопротивления.

Мхи. Дальнейшим усложнением полового процесса является все растущая защищенность половых элементов, которая достигается путем образования более сложных органов размножения. У водорослей, как обитателей водной среды, вместилищем гамет являются одноклеточные оогонии и антеридии. Под влиянием условий существования на суше у древнейших наземных растений выработались многоклеточные половые [органы] внутри которых, защищенные от высыхания, развиваются гаметы.

Одним из ныне живущих типов наземных растений, происшедших из водорослей, является тип мхов. Посмотрим, как у них происходит размножение и смена поколений. Для примера возьмем мох, известный под названием кукушкина льна (*Polytrichum commune*, рис. 176). Из споры мха вырастает нитевидный организм с хлоропла-

стами, напоминающий нитчатую водоросль, — это так называемый **предросток** мха или его **протонема** (рис. 177). Путем разрастания отдельных клеток протонемы на ней образуются почки, из которых развивается взрослое растение мха, расчлененное на стебель и листья; нижняя часть стебля несет ризоиды — трубчатые клетки, заменяющие мхам корни. На верхушке

стебля, под защитой скупенных наверху листьев, образуются органы полового размножения: на одних особях возникают женские половые органы, называемые архегониями, на других растениях — мужские половые органы — антеридии. Архегоний имеет форму колбы или бутылки, стенка его состоит из одного слоя клеток (рис. 176, Г). Нижняя часть архегонии — «брюшко» — расширена; верхняя, более длинная, цилиндрическая, носит название «шейки». Внутри брюшка, занимая всю его полость, лежит богатая зернистым содержимым яйцеклетка с крупным, хорошо заметным ядром; сверху она прикрыта еще маленькой клеткой, известной под названием «брюшной канальцевой клетки», сверх того, еще четыре клетки занимают канал шейки — это так называемые «шейковые канальцевые клетки». Антеридии (рис. 176, Д) продолговатой формы имеют стенку из одного слоя клеток; внутри антеридия содержится масса мелких материнских клеток сперматозоидов (или антерозоидов). Оплодотворение возможно только при наличии

воды. Если дождь или роса заливают эти органы водой, то верхушки антеридиев лопаются и из них освобождаются сперматозоиды (рис. 176, Е). Зрелый сперматозоид нитевидной формы и имеет пару жгутов.

К этому времени созревает архегоний; канальцевые клетки шейки ослизняются, шейка архегония на верхушке открывается и, вероятно, выделяет какие-то вещества, которые хемотаксически привлекают сперматозоидов; последние подплывают к архегониям, проникают по каналу к яйцеклетке и сливаются с нею, образуя зиготу. Зигота, без периода покоя, тут же в архегонии прорастает, и начинается развитие зародыша, который, не теряя связи с материнским растением питается за его счет. В результате из зиготы на верхушке мха вырастает так называемый **спорогон** (рис. 178). Это — спорофит мха, его бесполое



Рис. 176. Листостебельный мох — кукушкин лен (*Polytrichum commune*): А — женская особь со спорогоном, на спорогоне — колпачок (к); Б — спорогон без колпачка; В — мужская особь; Г — зрелый архегоний: б — брюшко, внутри его — яйцеклетка (я); ш — шейка; Д — антеридий (а), из которого выходят сперматозоиды; п — парафизы; Е — сперматозоид.

поколение, существующее на половом поколении мха [и питающегося в значительной мере за его счет] (см. рис. 176, А). Он состоит из лопаты или сосущего органа, который вырастает в ткань стебелька мха, из ножки и из сложно построенной коробочки, на верхушке которой вначале сохраняется колпачок — остаток [брюшка] архегония. Под колпачком находится крышечка, закрывающая коробочку; несколько расширенное основание коробочки называется апофизой. На апофизе имеются устьица, построенные по тому же типу, что и у высших растений. Через середину коробочки проходит колонка, к которой на тонких нитях подвешен спорый мешок — спорангий, содержащий материнские клетки спор (археспорий). По верхнему краю коробочки располагаются зубчики, совокупность которых называется перистомом. [Они обнаруживаются после опадения крышечки.] Благодаря своей гигроскопичности [зубцы перистома] регулируют рассеивание спор. Все ткани, из которых состоит спорогон, диплоидны. Лишь при образовании спор про-

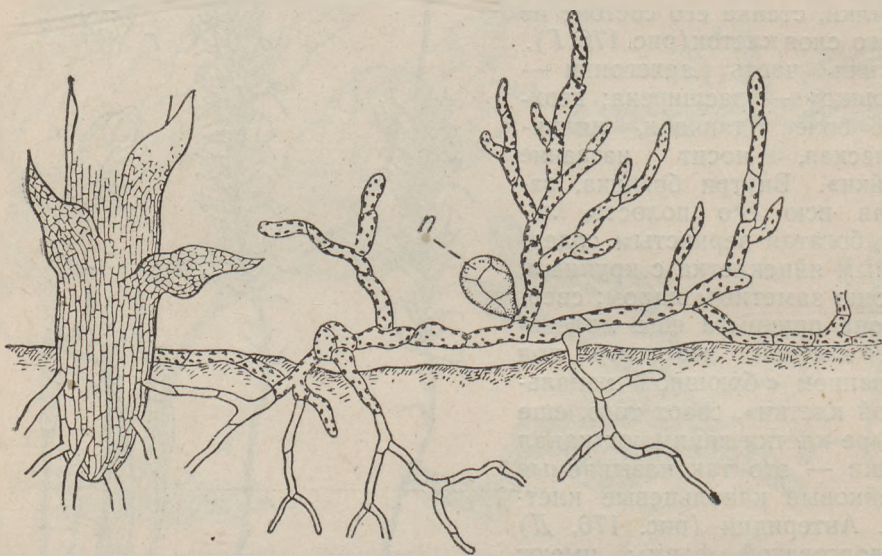


Рис. 177. Протонема мха; часть нитей ее, погруженных в субстрат, лишена хлорофильных зерен; *n* — почка.

исходит редукционное деление клеток археспория (материнских клеток спор), и, таким образом, споры являются снова гаплоидными.

Образованием спор заканчивается существование спорофита — бесполого поколения мха. Из споры вырастает половое поколение мха — протонема, дающая зеленый мох — гаметофит. Таким образом у мхов выражена чрезвычайно резко смена поколений. Жизнь гаметофита кончается образованием на нем гамет. Из зиготы развивается бесполое поколение — спорофит (спорогон), жизнь которого заканчивается образованием спор. Нормально гаметофит не воспроизводит гаметофита, а спорофит — спорофита, но каждый из них дает свою противоположность.

Заканчивая рассмотрение цикла развития мха, мы можем сказать, что мох — это [архегонияльное растение, у которого половое поколение (гаметофит) преобладает над бесполом (спорофитом).] Гаметофитом является сам мох, состоящий из стебля, листьев, ризоидов, благодаря которым он может существовать самостоятельно, в то время как спорогон существует на гаметофите — мхе. Однако гаметофит мха никогда не достигает крупных размеров и не способен к прогрессивной диффе-

ровке тканей. Мхи не имеют корней, поэтому почвенные воды им недоступны, они питаются лишь водой, омывающей их непосредственно, чаще всего дождевой. Капли росы или дождя им также совершенно необходимы для переноса сперматозоидов к архегониям. Словом, без свободной воды жизнь их невозможна. Спорогон, наоборот, не нуждается в свободной воде и очень мало испаряет, так что его потребности прекрасно обеспечиваются всасывающей работой пяты. Можно сказать, что спорогон мха — одна из первых попыток выработать тип чисто сухопутного растения. Попытка эта несовершенна, так как пята не может снабдить водой сильно испаряющее растение, и солнце быстро кладет предел его развитию, вызывая образование спор. Предросток мха (протонема) еще тесно связан с водой, он как бы повторяет жизнь предков в воде; зеленый мох гаметофит — амфибия, то мокнущая, то сохнущая, а спорогон или спорофит мха уже засухоустойчив. Можно сказать, что и самое строение мхов соответствует переходному моменту выхода растений на сушу: развитие их начинается с водорослевидного предростка и заканчивается засухоустойчивым спорогоном, являясь как бы эмблемой того процесса, который из водорослей выработал растения суши.

Появление архегония, вместо оогония водорослей, есть также прогрессивное явление в истории развития наземных растений. Оогоний представляет собой одну клетку, содержимое которой превращается в макрогамету, защищенную только оболочкой материнской клетки. Архегоний же мхов окружен покровной тканью из многих клеток, под защитой которых и развивается яйцеклетка. Оогоний, раз образовавшись, ничего не берет у материнского растения, архегоний же, наоборот, долгое время еще остается прикрепленным к материнскому растению, и развивающийся в нем зародыш питается соками материнского растения. Благодаря этому, время развития зародыша значительно удлиняется, и для него открыта возможность несравненно большей дифференцировки, чем для зародыша, возникшего в оогонии. Таким образом, возникновение архегония имело весьма важное значение в развитии той группы растений, которые объединяются под названием архегониант.

Равноспоровые папоротникообразные. К архегониям относятся и папоротникообразные растения — папоротники, хвощи и плауны. Перед нами на рис. 179 обычный папоротник (*Dryopteris filix mas*), все его клетки диплоидные. Во второй половине лета на нижней стороне листьев папоротника появляются темные точки — это спорангии (рис. 179, Г), собранные в кучки, так называемые сорусы (рис. 179, Б, В). Сорусы одеты обычно особым покрывальцем или индузием (рис. 179, В-и), под защитой которого идет развитие отдельных спорангиев, содержащих гаплоидные споры. При образовании спор происходит редукционное деление. Когда споры попадут на влажную почву и прорастут, из споры папоротника вырастает маленькая зеленая пластинка сердцевидной формы (рис. 180) величиною до 1 см². Эта зеленая пластинка назы-

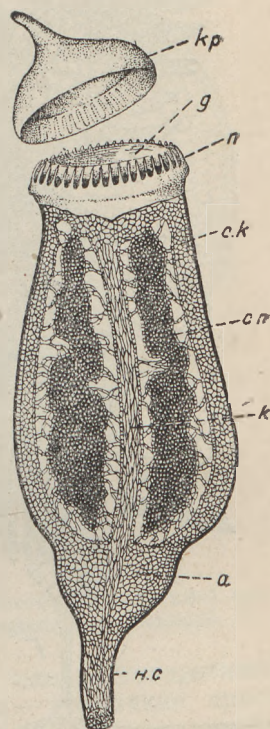


Рис. 178. Спорогон мха — кукушкин лен (*Polytrichum commune*): кр — крышечка; о — диафрагма; п — перистом; с.к — стенки коробочки спорогона; сп — споровый мешок (спorangий), подвешенный к стенке и колонке (к) коробочки на нитях; а — апофиза; н.с — ножка спорогона.

вается заростком. На нижней поверхности заростка имеются ризоиды; у выемки помещаются архегонии, несколько ниже, среди ризоидов — антеридии. Следовательно, заросток папоротника является его половым поколением — гаметофитом. Строение архегония папоротника проще, чем архегония мха: он имеет более короткую шейку, а та часть



Рис. 179. Папоротник (*Dryopteris filix mas*): А — внешний вид спорофита; Б — долька листа с нижней стороны, видны сорусы, одетые индузием (покрывальцем); В — разрез соруса: и — индузий; с — спорангии; Г — отдельный спорангий.

его, в которой находится яйцеклетка, погружена в ткань самого заростка; стенка брюшка почти сливается с тканью заростка (рис. 181, А). В молодом архегонии в канале шейки имеется шейковая канальцевая клетка, а над яйцеклеткой — брюшная канальцевая клетка. У зрелых архегониев ослизневшие канальцевые клетки, поглощая воду, развивают значительное давление, под влиянием которого конечные клетки шейки архегония разъединяются и открывают доступ сперматозоидам к яйцеклетке. Антеридии круглой формы, очень мелкие, стенки их из 5—7 клеток. Когда сперматозоиды созревают, они выходят из антеридия

через отверстие, образующееся на его верхушке (рис. 181, Б). Сперматозоиды папоротников, спирально изогнутые, на одном конце имеют пучок из большого числа ресничек (чем отличаются от сперматозоидов мха, у которых лишь по 2 реснички), а на другом конце несут часть протоплазмы в виде бесцветного пузыря (рис. 181, Г).

Процесс оплодотворения у папоротников возможен только при наличии воды. Это и понятно, так как папоротник, как и мох, является зооидогамным растением, т. е. таким, у которого в половом процессе принимает участие подвижный сперматозоид, снабженный ресничками, могущий двигаться только в воде.

Оплодотворенная яйцеклетка внутри архегония делится, дает зародыш, который, разрастаясь, образует взрослый папоротник, представляющий собою спорофит, т. е. растение, приносящее споры. Спорофит папоротника является высоко развитым растением. Для него характерно появление настоящих корней, листьев и стеблей со сложной анатомической дифференцировкой всех этих органов. В то время как у мхов спорофит [тесно связан с гаметофитом и питается главным образом за его счет], у папоротников спорофит ведет самостоятельное существование, а гаметофит редуцирован до слабо развитого, кратковременно существующего заростка.

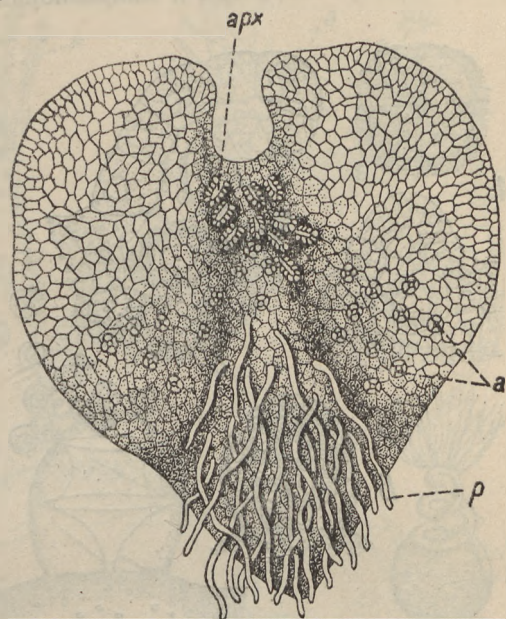


Рис. 180. Заросток — гаметофит папоротника: арх — архегонии; а — антеридии, р — ризоиды.

Таким образом, сопоставляя циклы развития мхов и папоротников, мы можем сделать заключение, что папоротники — это такие архегониатные организмы, у которых спорофит, бесполое поколение, преобладает над гаметофитом. Папоротники представляют собою уже типичные растения суши, хотя пышного развития достигают только во влажных климатах. Их корневая система все еще недостаточно совершенна, чтобы использовать грунтовые воды. В период же развития гаметофита — заростка — водная среда временно становится снова необходимой для папоротника, так как оплодотворение папоротника возможно только в том случае, если заросток частично, хотя бы нижняя его сторона, залируется водой. Следовательно, и у папоротников водным условиям жизни соответствует гаметофит, а сухопутным — спорофит.

Разноспоровые папоротникообразные. У большинства папоротникообразных растений споры, из которых развиваются заростки, совершенно одинаковы, и сперматозоиды и яйцеклетки образуются на одном и том же заростке. Но у некоторых групп папоротникообразных растений возникла разноспоровость, которая заключается в том, что у этих растений споры дифференцированы: одни — более крупные и более богатые питательными веществами, другие — более мелкие с незначительными запасами. Первые называются макроспорами, из них вырастают заростки более крупные и несущие только архегонии. Из мелких спор, называемых микроспорами, вырастают сильно редуцированные заростки, дающие антеридии. Сообразно этому и спорангии диффе-

ренцируются на макроспорангии с макроспорами и микроспорангии с микроспорами.

Представителем разноспоровых папоротникообразных является *Selaginella* (разноспоровый плаун, рис. 182). Это маленькое растение, преимущественно южных горных стран, встречается и у нас, например, в Карелии, на сырых лугах, среди трав и мелких папоротникообразных растений. Оно имеет ветвистый, обычно ползучий стебель, покрытый мелкими ланцетными листочками. На концах вертикально расположенных веточек в пазухах листочков, называемых спорофиллами, находятся макроспорангии и микроспорангии, по одному на спорофилле.

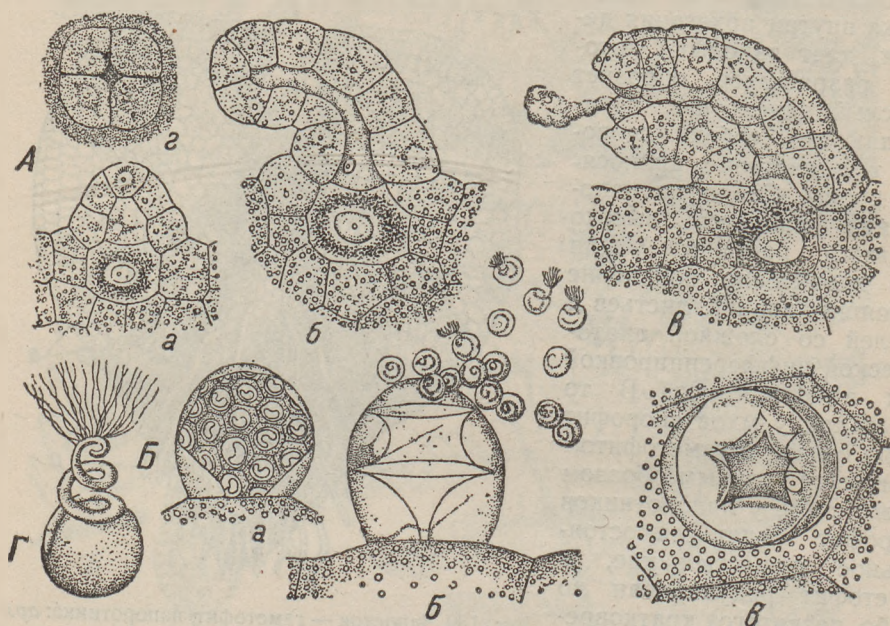


Рис. 181. Архегонии и антеридии папоротника. А: а, б, в — развитие архегония; г — вход в шейку архегония (вид сверху); Б: а — антеридий с материнскими клетками сперматозоидов; б — выход сперматозоидов; в — сплывший антеридий, вид сверху; Г — сперматозоид.

В каждом макроспорангии путем редукционного деления возникают 4 крупных макроспоры, в каждом микроспорангии, также в результате редукционного деления, образуется много (до 64) очень мелких микроспор. Из тех и других спор вырастают заростки настолько мелкие, что они не выходят из оболочки спор. Из макроспор вырастают архегониальные (женские) заростки с яйцеклетками (рис. 182, Д); из микроспор — мужские заростки, на которых развиваются антеридии со сперматозоидами. Мужские заростки здесь настолько редуцированы, что от них осталось лишь несколько клеток (рис. 182, Е и Ж).

Следует отметить, что у *Selaginella* развитие заростков начинается еще в спорангиях на материнском растении. Затем проросшие споры падают на землю, и здесь, при наличии воды, происходит процесс оплодотворения. После этого на женском заростке из образовавшейся зиготы начинает развиваться новое растение (молодой спорофит), а мужские заростки, давшие начало сперматозоидам, погибают.

Изучение цикла развития разноспоровых папоротникообразных растений показало, что разноспоровость (специализация спор) привела к появлению однополых мужских и женских заростков, еще более редуцированных, чем заростки равноспоровых папоротникообразных растений.

Однако у этой группы растений сохраняются черты, общие с остальными папоротникообразными: 1) обязательным условием для полового процесса является наличие воды и 2) развитие зародыша происходит отдельно от материнского растения (спорофита), без его участия.

Голосеменные растения. Проследим теперь цикл развития и смену поколений у семенных растений, к числу которых относятся голосеменные (например, наши хвойные породы — сосны, ели и др.) и цветковые или покрытосеменные растения.

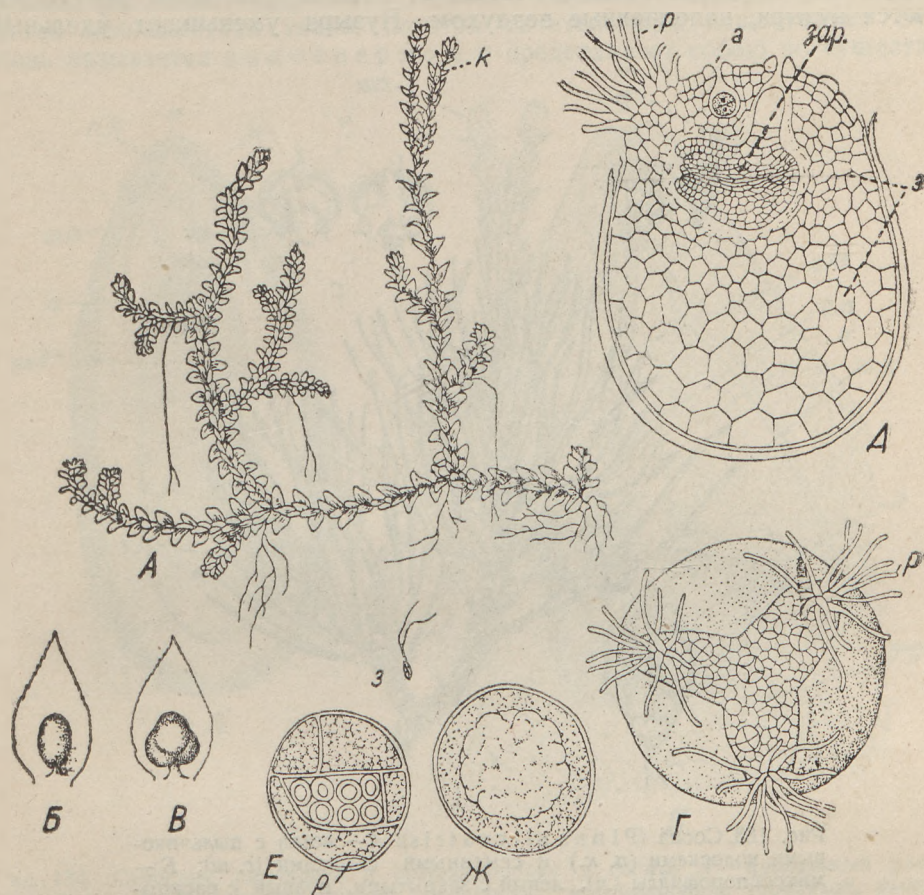


Рис. 182. Разноспоровое плауновое растение селлагинелла (*Selaginella*): А — общий вид; к — колоски со спорангиями; Б — спорофилл с микроспорангием; Б' — спорофилл с макроспорангием, через стенку которого просвечивают макропоры; Г — проросшая макроспора с ризоидами; Д — разрез через макроспору с заростком; а — архегоний; зар — зародыш; р — ризоиды; Е — проросшая микроспора; Ж — проросшая микроспора, по периферии несколько клеток мужского заростка, которые впоследствии (Ж) ослизняются и расплываются; в центре — один антеридий с материнскими клетками сперматозоидов; З — сперматозоид.

Прежде всего надо сказать, что прежнее деление всех растений на «споровые» и «цветковые» растения теперь не выдерживает критики, так как изучение их цикла развития показало, что по существу семенные (в том числе и цветковые) растения тоже являются разноспоровыми растениями, только в процессе приспособления к сухопутной жизни они приобрели ряд новых свойств и качеств.

На примере сосны познакомимся, где и как развиваются макро- и микроспоры у голосеменных растений.

Весною на сосне появляются мужские, или пыльниковые, и женские, или семенные, шишки (рис. 183). Пыльниковый колосок (или шишка) состоит из оси или стержня, к которому прикреплены желтоватые листочки, несущие по два микроспорангия, потому и называемые микроспорофиллами. В микроспорангиях находятся микроспоры или пыльца. Каждая пылинка представляет собой клетку, имеющую ядро, протоплазму с некоторым запасом питательных веществ и две оболочки: тонкая внутренняя называется интиной и наружная — экзиной. Экзина с двух сторон разрастается и отстает от интины, благодаря чему образуются пузыри, наполненные воздухом. Пузыри уменьшают удельный

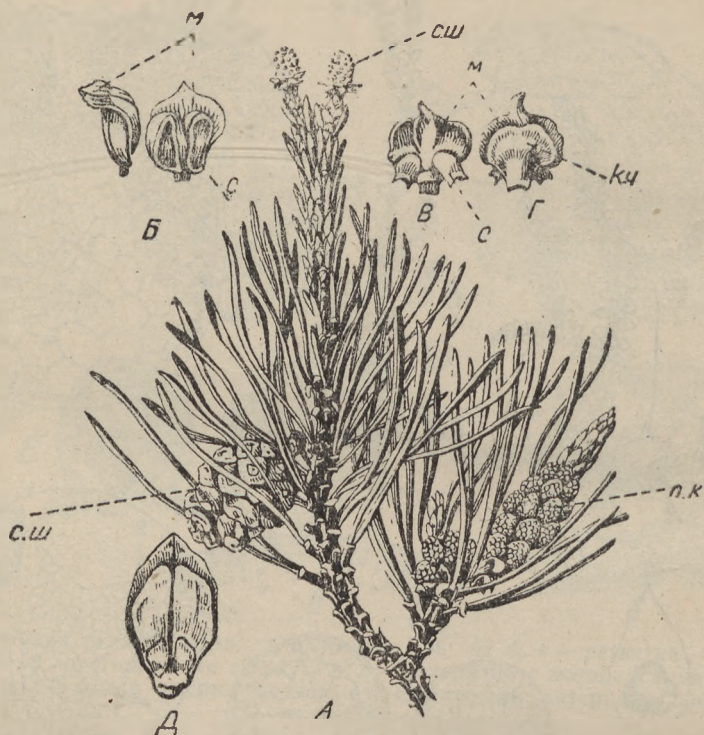


Рис. 183. Сосна (*Pinus silvestris*): А — ветка с пыльниковыми колосками (п. к.) и семенными шишками (с. ш); Б — микроспорофиллы (м), левый с закрытыми, правый с раскрытыми микроспорангиями; В — семенная чешуя (макроспорофилл — м) сверху с двумя семечками (макроспорангиями — с); Г — семенная чешуя снизу: видна крошечная чешуя (к. ч.); Д — семенная чешуя с двумя крылатыми семенами.

вес пылинки, что позволяет ей долго держаться в воздухе (см. рис. 185, А).

Женская или семенная шишка построена несколько сложнее; на оси ее имеются кроющие чешуи; в пазухе каждой кроющей чешуи находится по одной семенной чешуе или макроспорофиллу. На верхней поверхности семенной чешуи расположены две семечки (рис. 183, В, Г), которые представляют собой видоизмененные макроспорангии. Семечка (рис. 184) состоит из наружного слоя ткани, который называется интегументом или покровом семечки. Наверху покров имеет отверстие или короткий канал — микропиле (или семявход), который ведет в маленькую пыльцевую камеру. Под покровом находится н у ц е л л у с (или «ядро») семечки, представляющий собою мелкоклеточную ткань. Семечка принадлежит спорофиту.

Развитие женского полового поколения начинается с того, что одна из клеток нуцеллуса, в результате редукционного деления, образует макроспору. [Их образуется, как всегда, 4 (тетрада), но дальнейшее развитие получает лишь одна из них, остальные три — отмирают.] В отличие от папоротникообразных растений макроспора у голосеменных не покидает материнского растения: ее прорастание и дальнейшее развитие, процесс оплодотворения и образование зародыша нового спорофита после оплодотворения, — все это происходит на материнском растении. Макроспора усиленно делится, благодаря чему образуется многоклетная ткань, богатая питательными веществами. Эта ткань называется эндоспермом и представляет собою по существу

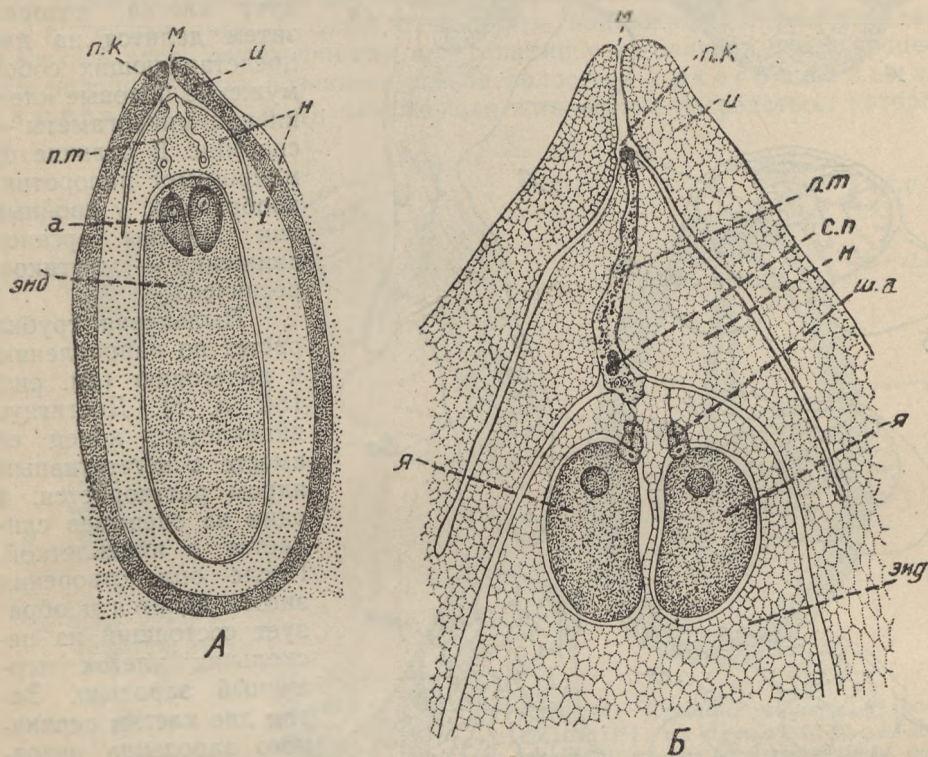


Рис. 184. Строение семечки и оплодотворение у сосны: А — продольный разрез семечки: и — интегумент (покров семечки); м — микропиле (семявход, пыльцевход); п. к — пыльцевая камера; н — нуцеллус („ядро“ семечки); а — два архегония; п. т — пыльцевые трубки; энд — первичный эндосперм; Б — верхняя часть семечки (большее увеличение); и, м, н — как и на предыдущем рисунке; в пыльцевой трубке (п. т) видны два спермия (сп); в эндосперме (энд) — заростке видны два архегония с очень короткими шейками (ш. а); я — яйцеклетка.

женский заросток. На верхней части заростка (против микропиле) залагаются два архегония, по сравнению с папоротниками еще более упрощенных. Здесь архегоний состоит из крупной яйцеклетки, на верхушке которой помещаются еще четыре маленьких клеточки, — одна пара над другой, сохранившиеся как рудимент шейки архегония.

Развитие мужского полового поколения начинается с возникновения микроспор — пыльцы (рис. 185). Прорастание пыльцы (микроспор) часто начинается внутри микроспорангия. При этом ядро микроспоры отчлсняет 2—3 маленькие клетки, быстро исчезающие и представляющие собой рудиментарный заросток. Затем ядро микроспоры опять делится и при этом образуются две клетки: вегетативная и [антеридиальная]. Созревшие микроспоры высыпаются из микроспорангия, разно-

сятся ветром и некоторые из них попадают в пыльцевые камеры семяпочек, где имеется сахаристая жидкость. Здесь микроспоры прорастают, при этом экзина разрывается, а интина вытягивается в виде трубки, в кончике которой находится вегетативное ядро микроспоры. Функция вегетативного ядра — обеспечение роста пыльцевой трубки, направляющейся через нуцеллус к зародышевому мешку. [Антеридиальная клетка делится на две, отчленивая так называемую сестринскую клетку (клетку —

ножку антеридия)] (рис. 185, Д, с). За вегетативным ядром по пыльцевой трубке следует клетка, которая затем делится на две представляющих собой мужские половые клетки или микрогаметы — спермии. В отличие от микрогамет папоротникообразных, у хвойных они лишены органов движения — жгутиков, ресничек.

Пыльцевая трубка растет по направлению к архегонию (см. рис. 184, п. т). Достигнув яйцеклетки, конец ее вместе с вегетативным ядром растворяется, и один из спермиев сливается с яйцеклеткой. После оплодотворения зигота делится и образует состоящий из нескольких клеток первичный зародыш. Затем две клетки первичного зародыша разрастаются в длинные трубчатые образования, так называемый подвесок (рис. 186, п), на конце которого и формируется затем истинный зародыш. Значение подвеска состоит в том, что он выносит зародыш с поверхности эндосперма в центральную полость последнего (рис. 187, п), что лучше обеспе-

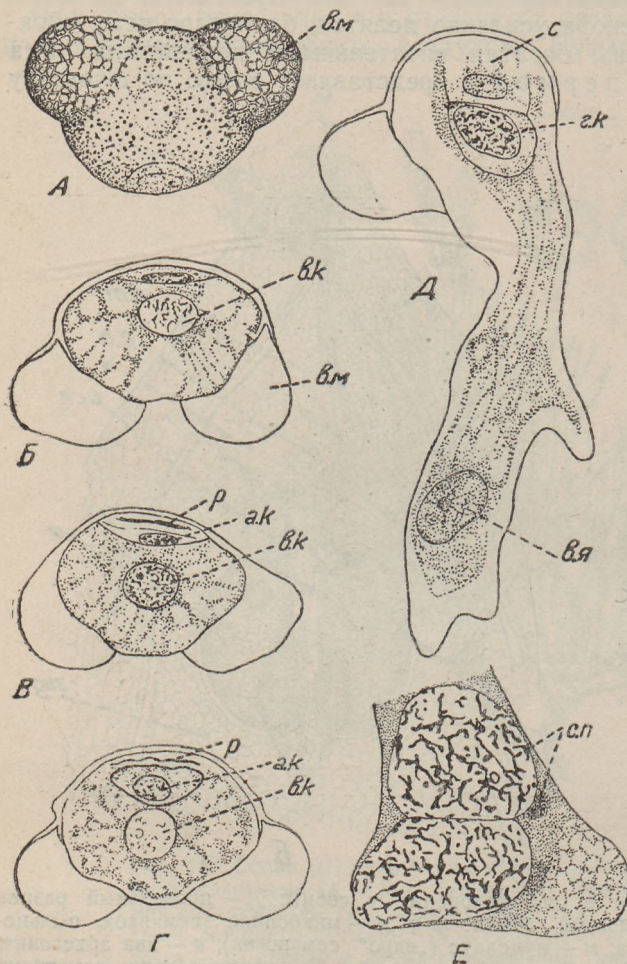


Рис. 185. Микроспора сосны и развитие пыльцевой трубки: А — микроспора (пыльцевое зерно) с двумя пузыревидными выростами (воздушные мешки — в. м); Б, В, Г, Д — последовательные стадии развития пыльцевой трубки: в. к — вегетативная клетка; р — редуцированные клетки заростка; а. к — антеридиальная клетка; с — стенная клетка; г. к — генеративная клетка; в. я — вегетативное ядро пыльцевой трубки; Е — конец пыльцевой трубки перед оплодотворением: сп — спермии.

чивает питание зародыша при формировании семени.

Таким образом, у голосеменных растений появляется ряд новых особенностей, отличающих их от папоротникообразных.

В связи с сухопутным образом жизни у этих растений вырабатывается иной способ доставки микрогамет к яйцеклетке — посредством пыльцевой трубки. Растения, у которых процесс оплодотворения совер-

шается в воздушной среде с помощью пылевой трубки (сифона), называются сифоногамными, в отличие от зоидогамных, у которых микрогаметы — сперматозоиды — имеют жгутики, и процесс оплодотворения возможен только при наличии жидкой среды.

Среди ныне живущих голосеменных исключение составляют саговники. Это — невысокие деревья с прямым неветвящимся стволом, несущим наверху крупные перистые листья (рис. 188). В настоящее время это вымирающая группа, немногочисленные представители которой имеют ограниченное распространение в субтропических и тропических странах, а в мезозое они имели широкое распространение. Они замечательны тем, что в пылевой трубке у них удалось обнаружить подвижные, с многочисленными ресничками сперматозоиды (рис. 189).

Интересно, что, в связи с наличием подвижных сперматозоидов, в верхней части семязпочки над архегониями у саговников перед процессом оплодотворения возникает особая полость — архегонияльная камера (рис. 190, а, к), наполненная жидкостью, посредством которой

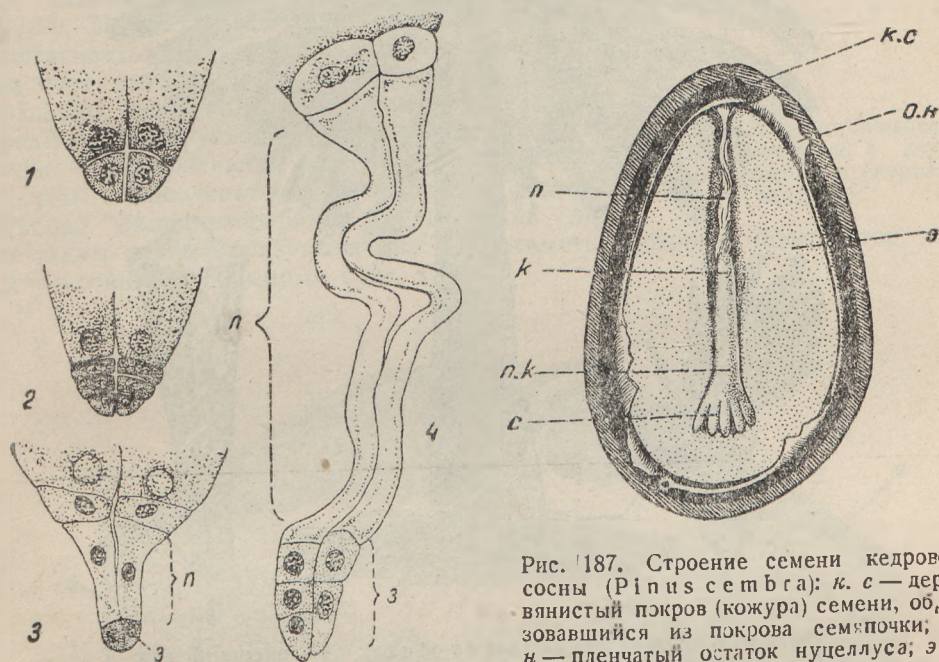


Рис. 186. Образование зародыша и подвеса у сосны (*Pinus silvestris*): п — подвесок; з — клетки зародыша.

Рис. 187. Строение семени кедровой сосны (*Pinus cembra*): к. с — деревянистый покров (кожура) семени, образовавшийся из покрова семязпочки; о. н — пленчатый остаток нуцеллуса; з — эндосperm, в середине которого находится зародыш; с — семядоли зародыша; п. к — подсемядольное колено; к — ко решок и п — подвесок.

сперматозоиды и попадают к яйцеклетке. Таким образом, саговники сохранили следы более древнего способа оплодотворения, что сближает голосеменные растения с разноспоровыми папоротникообразными. Такой же тип оплодотворения характерен для гинкговых, — вымирающих голосеменных, единственный представитель которых — *Ginkgo biloba* — сохранился до наших дней благодаря тому, что его с древнейших времен культивировали в Японии и Китае.

Второй особенностью семенных растений является то, что их заростки утратили способность к самостоятельному существованию. Макроспора, находящаяся в макроспорангии (семязпочке), не покидает спорофита, она развивается под защитой тканей спорофита и тесно связана физиологически с материнским растением, поэтому развивающийся после оплодотворения яйцеклетки зародыш поставлен в особо благоприятные

условия. Макроспорангий (или семяпочка) превращается в семя, которое содержит, кроме зародыша, питательную ткань — эндосперм.

Покрытосеменные растения. Проследим теперь образование микро-спора и макроспора, а также развитие полового поколения у цветковых растений.

Рассматривая цветок, мы заметим, что он в своем составе имеет тычинки, которые мы называем микро-спорофиллами, т. е. листочками, приносящими микроспоры или пыльцу (или пылинки цветени). Состоят тычинки (рис. 191) из нити [и двух пыльников. Пыльник содержит две полости — гнезда, являющихся] микро-спorangиями, внутри которых путем редукционного деления образуются микроспоры.



Рис. 188. Саговник (*Cycas revoluta*): А — внешний вид; Б — макроспорофилл с семяпочками; В — микро-спорофилл с микро-спorangиями.

Микроспоры, как и у голосеменных растений, имеют две оболочки — экзину и интину (рис. 192). Экзина сильно пропитана кутином — жировым веществом, не пропускающим воды и растворов. У разных видов растений пылинки построены различно и по своей форме, и по размерам, и по характеру экзины. Наружная поверхность экзины редко бывает гладкой, чаще на ней имеются различные выросты, утолщения, шипики, гребешки и пр. (см. рис. 207). Обычно в экзине есть одна или несколько проростковых пор — более тонкие места в оболочке, часто прикрытые пробочками из пектиновых веществ, растворяющихся в сахарных растворах. Внутри микроспоры образуются две клетки: вегетативная и генеративная. Сами пыльцевые зерна не представляют собой элементов оплодотворения, но они должны прорасти и дать половое поколение — пыльцевую трубку (см. рис. 192, В), образующую гаметы. Длина пыльцевидной трубки у разных растений различна, может достигать 20—30 см.

Пыльцевую трубку следует рассматривать, как мужское половое поколение, растение, которое питается, дышит, растет, показывает все явления жизни и в заключение вырабатывает оплодотворяющие элементы — микрогаметы. Гаметы же к самостоятельному существованию не способны.

Прорастание и развитие микроспоры можно наблюдать в лабораторных условиях. Для этого помещают живую пыльцу в раствор сахара с примесью азотистых веществ. Пылинки прорастают уже через 15—20 минут. Прорастание состоит в том, что пылинка всасывает раствор, набухает, пектиновые пробочки, закрывавшие проростковые поры, растворяются; содержимое начинает давить на интину, и сквозь пору или щель разорвавшейся экзины выпячивается участок интины наружу. Затем участок этот начинает расти и вытягиваться в трубочку, образуя клетчатку за счет сахара. Вскоре в трубочку выходит большая часть содержимого микроспоры, впереди более округлое — вегетативное ядро, и за ним — генеративная клетка продолговатой формы. Впоследствии генеративная клетка (перед оплодотворением) делится на две, и таким путем образуются две микрогаметы, которые называются, как и у хвойных, спермиями (рис. 192, Г).

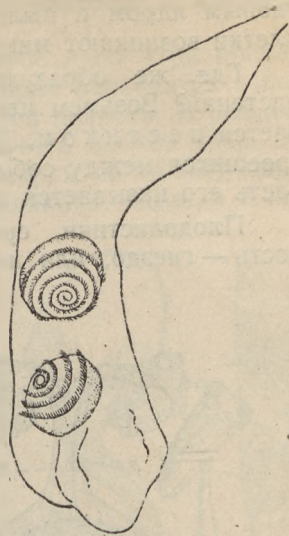


Рис. 189. Конец пыльцевой трубки саговника с двумя многожгутиковыми сперматозоидами.

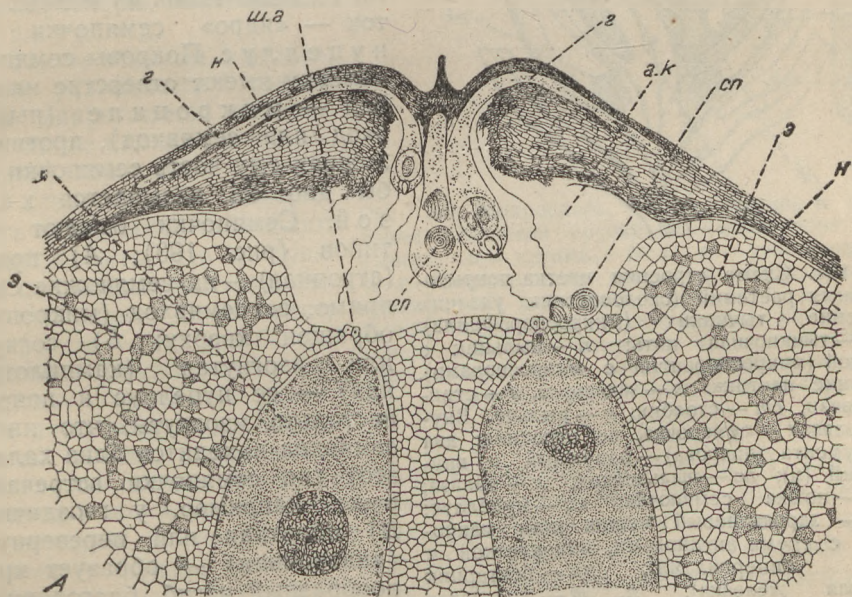


Рис. 190. Прольный разрез через верхнюю часть семяпочки саговника (покров семяпочки не изображен): н — нуцеллус; э — эндосперм (заросток), в нем два архегония; ш. а — шейка архегония; я — яйцеклетка; а. к — архегониальная камера; г — гаустории пыльцевых трубок; сп — сперматозоиды.

Таким образом, мужской гаметофит цветковых растений редуцирован в еще большей мере, чем гаметофит голосеменных растений. У последних микроспоры при прорастании вначале дают от одной до

нескольких вегетативных клеточек, заменяющих заросток, — гаметофит цветковых растений этих клеток не имеет, а представлен лишь вегетативным ядром и пыльцевой трубкой, внутри которой из генеративной клетки возникают микрогаметы.

Где же образуются макроспоры и макрогаметы у цветковых растений? Возьмем цветок; внутри его находим орган, который называется пестиком, [или плодником]. Этот орган образуется из сросшихся между собой плодолистиков или макроспорофиллов; нижняя часть его называется завязью, а верхняя — рыльцем.

Плодолистики, срастаясь, образуют внутри завязи или одну полость — гнездо, или несколько гнезд, обычно по числу плодолистиков.

На разрезе завязи вы замечаете внутри ее мелкие, беловатые зернышки, которые называются семечками — это зачатки будущих семян (см. рис. 200). Количество семечек в завязи у разных растений может быть различным — от одной до нескольких тысяч.

На рис. 190 — продольный разрез пестика, который позволяет познакомиться со строением семечки: она имеет ножку, два покрова — наружный и внутренний интегументы — под ними плотная ткань из мелких клеток — «ядро» семечки, или нуцеллус. Покровы семечки наверху имеют отверстие или канал — микропиле (пыльцевход или семявход), противоположная ему часть семечки, как бы дно ее, называется халазой. Семечки бывают трех типов (рис. 193): А) прямая (атропная) — на семяножке сидит прямо, ее семявход (микропиле) обращен кверху; Б) согнутая или изогнутая (камилотропная) — ее нуцеллус и покровы настолько изогнуты, что иногда семявход находится близ халазы; этот тип семечки встречается реже, например, у гвоздичных; В) обратная или перевернутая (анатропная) — образует крючкообразный изгиб, благодаря чему семявход обращен вниз, наиболее распространенный тип семечки.

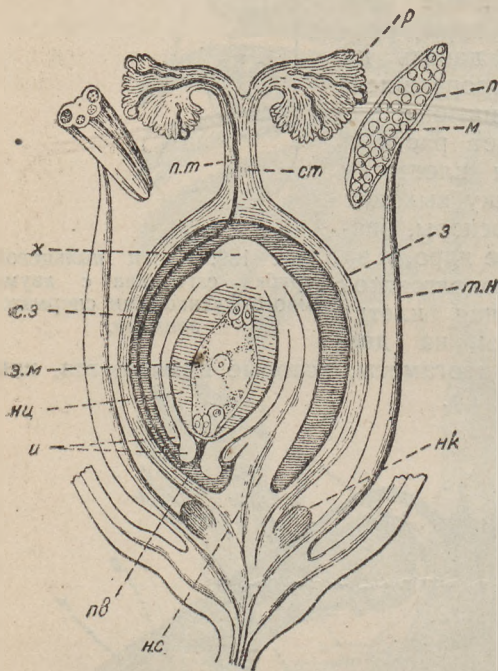


Рис. 191. Схема строения цветка покрытосеменных растений (околоцветник удален). Строение тычинки (микроспорофилла): т. н. — тычиночная нить; п. — пыльник с пыльцой (микроспорами). Строение пестика: з. — завязь, с. з. — стенка завязи, ст. — столбик, р. — рыльце. Внутри завязи — семяпочка, ее строение: два интегумента (покровы) — наружный и внутренний (и); п. в. — пыльцевход; х. — халаза; н. с. — ножка семечки; н. ц. — нуцеллус; з. м. — зародышевый мешок (или макроспора с тремя антиподами, яйцеклеткой и двумя синергидами); н. к. — нектарник (медовая железа); п. т. — пыльцевая трубка.

В нуцеллусе («ядре» семечки) находится макроспора. Возникает она следующим образом (рис. 194): сначала происходит редукционное деление одной из клеток нуцеллуса, получается тетрада — четыре гаплоидные клетки. Потом три из них рассасываются и только одна, развиваясь за счет материала трех соседних клеток, разрастается и достигает полного развития. Эта крупная клетка, находящаяся в за-

чатке будущего семени, вначале получила название «зародышевого мешка», так как в ней развивается зародыш; теперь ее называют макроспорой. Скрытая в недрах цветка, защищенная его тканями, макроспора никогда не отделяется от материнского растения и все свое дальнейшее развитие осуществляет на нем.

В центре макроспоры лежит крупное клеточное ядро. При прорастании макроспоры оно делится на два ядра, которые расходятся к полюсам макроспоры, и здесь каждое из ядер делится дважды. В результате в зародышевом мешке (макроспоре) образуется восемь ядер, по четыре у каждого полюса. Затем от каждой четверки по одному ядру отходит к центру макроспоры. Здесь эти ядра сливаются, образуя центральное или вторичное ядро зародышевого мешка. Ядра, находящиеся у полюсов макроспоры (против микропиле), окружаются протоплазмой, и таким образом из них формируются клетки с очень тонкими оболочками. Из трех верхних клеток (против микропиле) средняя несколько крупнее и представляет собой яйцеклетку, по бокам ее находятся клетки, получившие название синергид. Три клетки, которые отошли к нижнему концу макроспоры, носят название антипод.

Таким образом, в макроспоре развивается только одна макрогамета, которая дает после слияния с микрогаметой зародыш. Спутники же (синергиды), которые здесь возникают, позволяют предположить, что у предков цветковых растений было несколько макрогамет; синергиды — это как бы добавочные макрогаметы, потерявшие способность развивать зародыши (однако известны случаи, когда в зародышевом мешке возникает 2—3 зародыша, см. рис. 224). Наконец, антиподы можно рассматривать как рудимент заростка. Число антипод у некоторых растений может увеличиваться; так, у некоторых злаков их бывает больше шестидесяти и даже ста. Присутствие антипод напоминает, что у предков цветковых растений развивался заросток, как особое растение. Так как у цветковых все развитие макроспоры и женского гаметофита происходит внутри спорофита, никакого специального органа вегетативной жизни, который ассимилировал бы, давал бы питательные вещества, — не требуется, вся забота перешла на материнское растение, за счет которого развивается и макрогамета: в то время как у предков, например, у папоротников, гаметофит был самостоятельным растением, здесь он является только слабо выраженным рудиментом.

Итак, мы проследили развитие мужского и женского полового поко-

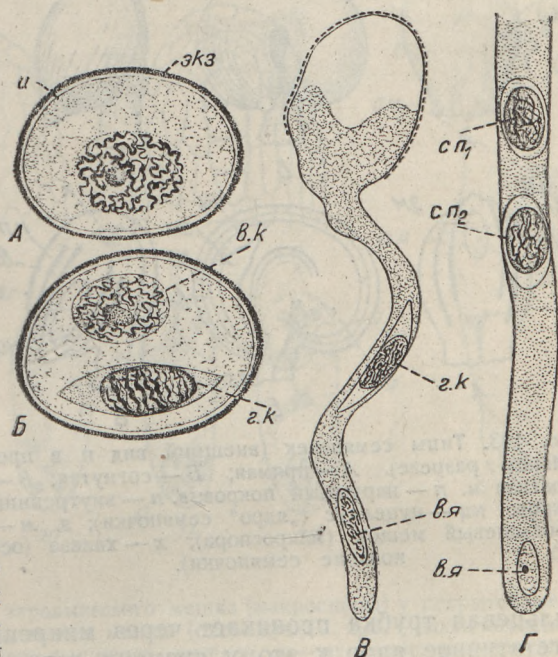


Рис. 192. Микроспора, ее прорастание и образование пыльцевой трубки. А — микроспора: экз — экзина, инт — интина. Б: в. я — вегетативное ядро; г. к — генеративная клетка. В — образование пыльцевой трубки: в. я — вегетативное ядро; г. к — генеративная клетка. Г — конец пыльцевой трубки: в. я — вегетативное ядро; генеративная клетка разделилась на два спермия (микрогаметы) — $сп_1$ и $сп_2$.

ления у цветковых растений, которое завершается образованием микро- и макрогамет. Как же происходит у них процесс оплодотворения?

Процессу оплодотворения предшествует процесс опыления. Нужно различать эти два явления. Опылением называется перенос пылинки цветени — микроспор — на рыльце пестика. В процессе эволюции у цветковых растений выработалось множество различных способов опыления, с которыми мы познакомимся в одной из следующих глав.

Оплодотворением же во всех случаях называется слияние двух половых клеток — гамет, после которого образуется зигота — первая клетка нового организма (спорофита).

Тем или иным способом пылинка цветени — микроспора — попадает на рыльце пестика, которое выделяет на своей поверхности раствор сахара с примесью азотистых веществ. Питаясь этим раствором, микроспора прорастает, образует пыльцевую трубку, которая растет по направлению к полости завязи и семязпочкам. Направление роста пыльцевой трубки может быть объяснено хемотропизмом, т. е. ростом по направлению к химическим веществам, имеющимся в завязи и, в частности, на семязпочке.

Подойдя к семязпочке,

пыльцевая трубка проникает через микропиле в зародышевой мешок; вегетативное ядро к этому времени разрушается, ибо его функция — обеспечение роста пыльцевой трубки — закончена. Два спермия продвигаются внутри зародышевого мешка медленными амебообразными движениями и затем сливаются: один спермий с яйцеклеткой, а другой — со вторичным (центральным) ядром зародышевого мешка (рис. 194, Б). Казалось бы, что должны получиться два близнеца, два зародыша, но, в силу неодинаковых свойств оплодотворяемых элементов, получается более сложная картина: из оплодотворенной яйцеклетки действительно получается зародыш, а из оплодотворенного центрального ядра зародышевого мешка возникает ткань, образующая так называемый внутрисеменник, или вторичный эндосперм. В этой ткани накапливаются запасные питательные вещества, идущие на питание зародыша (рис. 195).

Этот сложный половой процесс у цветковых (покрытосеменных) растений получил название двойного оплодотворения. Он был открыт и изучен акад. С. Г. Навашиным в 1898 г. в ботанической лаборатории Петербургского университета.

[В чем же заключается биологический смысл двойного оплодотворения? Эндосперм у покрытосеменных растений развивается раньше, чем зародыш. Только после того, как эндосперм в значительной мере сформирован, — начинается развитие зародыша. Если не произойдет оплодотворения — не будет развиваться и питательная ткань — эндосперм, на образование которой материнский организм затрачивает много энергии и питательного материала.]

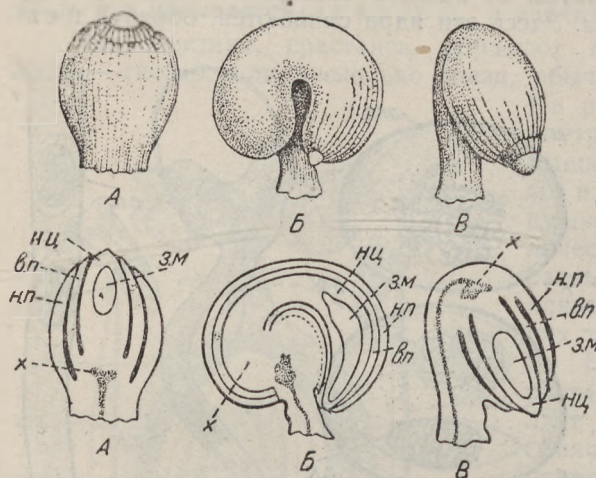


Рис. 193. Типы семязпочек (внешний вид и в продольном разрезе). А — прямая; Б — согнутая; В — обратная. н. п. — наружный покров; в. п. — внутренний покров; нц — нуцеллус («ядро» семязпочки); з. м. — зародышевый мешок (макроспора); х — халаза (основание семязпочки).

У голосеменных — эндосперм (женский заросток) — развивается до оплодотворения, и в случае, если не произойдет оплодотворения, пропадает задаром, так как семяпочки и шишки в целом, отмирая, сбрасываются с растения.

Отбор закрепил такие формы, у которых, как у покрытосеменных развивался эндосперм¹.]

Акад. С. Г. Навашин, изучая половой процесс у вяза, березы и некоторых других растений, открыл, что у них пыльцевая трубка

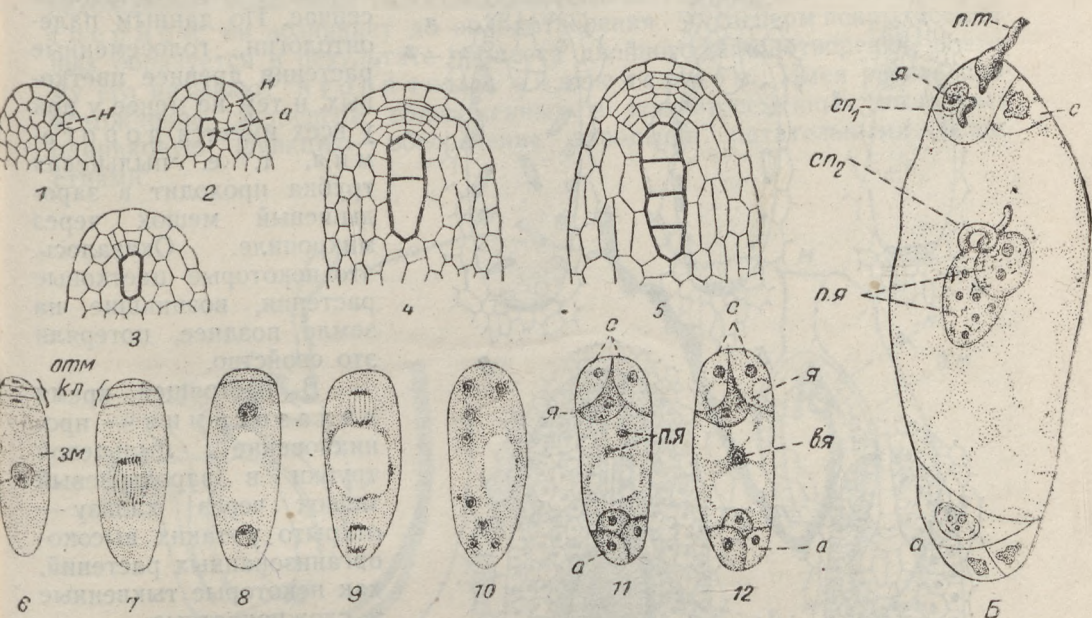


Рис. 194. Развитие и прорастание зародышевого мешка (макроспоры) у покрытосеменных растений. А — развитие зародышевого мешка (схематич.): 1, 2, 3, — возникновение археспория (материнской клетки) зародышевого мешка; н — нуцеллус; а — археспорий; 4, 5 — редукционное деление клетки археспория, приводящее к образованию тетрады — четырех клеток; 6 — нижняя клетка тетрады дает начало зародышевому мешку (з. м.), а три верхних отмирают; п. я — первичное ядро зародышевого мешка; 7—11 — прорастание зародышевого мешка (макроспоры) и образование яйцеклетки (макрсаметы): я — яйцеклетка, с — синергиды, п. я — полярные ядра, а — антиподы; 12 — в результате слияния полярных ядер образовалось вторичное или центральное ядро зародышевого мешка (в. я). Б — двойное оплодотворение у лилии (*Lilium*). Один спермий ($сп_1$) сливается с яйцеклеткой (я), второй ($сп_2$) — с обоими полярными ядрами (п. я); с — синергида; п. т — конец пыльцевой трубки; а — антиподы.

проникает в зародышевый мешок не через микропиле, а иначе: у вяза (рис. 196, А) прободает сбоку покров или интегумент семяпочки (апо-

¹ Но значительно более важным является следующее обстоятельство. При двойном оплодотворении у покрытосеменных образуется эндосперм, обогащенный наследственностью — материнской и отцовской, вследствие слияния зачатка эндосперма (вторичного ядра зародышевого мешка) с одним из спермиев. Таким образом пища для зародыша нового растения здесь значительно более разнообразна. Так как отцовский и материнский организмы развиваются в несколько различных условиях, новое растение, образующееся из зародыша, будет обладать большими возможностями приспособления к условиям существования. Мы знаем, что на начальных этапах своего развития молодой организм чрезвычайно податлив, легче воспринимает воздействие окружающих условий, как это показали исследования И. В. Мичурина и Т. Д. Лысенко. Обеспечение его соответствующей пищей имеет огромное значение. Удивительная приспособляемость покрытосеменных растений к условиям жизни, столь резко отличающая их от всех остальных организмов (голосеменных, папоротникообразных, мхов), вероятно, может быть в значительной мере объяснена этим их своеобразным свойством. *Ред.*

рогамия), а у березы (рис. 196, Б) проникает через халазу (халазогамия).

Так как это явление было открыто у целой группы таких растений, как береза, ольха, граб, то явилось предположение — не является ли эта группа растений более древней по сравнению с теми растениями, у которых микропиле выполняет уже совершенно определенную функцию — служит для проведения пыльцевой трубки.

Однако это предположение не подтверждается сейчас. По данным палеонтологии, голосеменные растения древнее цветковых, и тем не менее у них у всех имеется порогамия, т. е. пыльцевая трубка проходит в зародышевый мешок через микропиле. Оказалось, что некоторые цветковые растения, возникшие на земле позднее, потеряли это свойство.

В настоящее время халазогамия — проникновение пыльцевой трубки в зародышевый мешок через халазу — открыто у таких высокоорганизованных растений, как некоторые тыквенные и сложноцветные.

После оплодотворения семяпочка превращается в семя, а завязь разрастается и образует плод, стенка которого (перикарпий) защищает семена.

Резюмируем теперь то, что узнали о размножении голосеменных и покрытосеменных (цветковых) растений.

Те и другие являются разноспоровыми растениями, которым свойственна смена поколений. Однако редукция полового поколения пошла у них го-

Рис. 195. Развитие зародыша и эндосперма у двусемяльных покрытосеменных растений: п — подвесок, з — зародыш, э — вторичный эндосперм, а — антиподы, с — синергиды.

раздо дальше, чем у разноспоровых папоротникообразных растений. В то время как у водорослей, у мхов и папоротникообразных при их водном или земноводном существовании уместен был самостоятельно живущий гаметофит, дававший сперматозоиды, — у семенных растений при их сухопутной жизни на ветру и солнце, в связи с переходом от оплодотворения в водной среде к оплодотворению в воздушной среде, появилась пыльцевая трубка, развивающаяся на спорофите. Макроспора, крайне редуцированный женский гаметофит и яйцеклетка скрыты в семяпочке, в глубине тканей спорофита, и не покидают его; здесь же про-

исходит процесс оплодотворения. После процесса оплодотворения образуется зародыш, развивающийся за счет материнского организма, семязачаток же после оплодотворения превращается в семя, заключающее зачаток нового спорофита и запас питательных веществ, необходимых молодому растению в начале его самостоятельного существования. Запасы обычно сосредоточены в эндосперме, который в семенах голо-семенных и покрытосеменных (цветковых) растений имеет разное происхождение: эндосперм голосеменных называется первичным эндоспермом; он возникает до оплодотворения. Эндосперм покрытосеменных образуется в результате процесса двойного оплодотворения, поэтому его называют вторичным эндоспермом. Имея разное происхождение, эндосперм голосеменных и покрытосеменных выполняет одинаковую функцию — обеспечение зародыша питательными веществами.

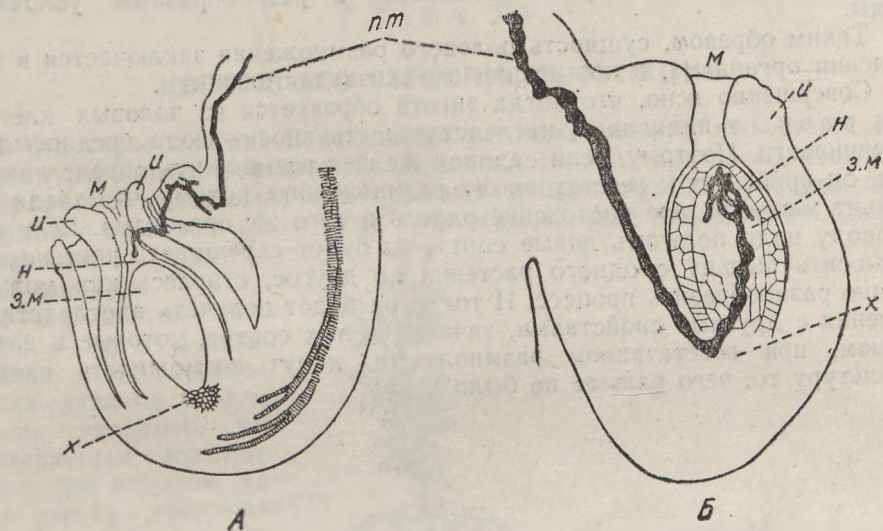


Рис. 196. Апоггамия и халазогамия. А — апоггамия у вяза (*Ulmus*). Пыльцевая трубка (п. т) проникает в зародышевый мешок, прободая сбоку интегумент (покров семязачатка). Б — халазогамия у березы (*Betula*): пыльцевая трубка проникает через халазу. На обоих рисунках: м — микропиле (пыльцевход); и — интегумент; н — нуцел-лус; х — халаза; з. м — зародышевый мешок; п. т — пыльцевая трубка у березы (Б).

Возникновение семени — большой шаг вперед в эволюции растений. Одноклетные споры, которыми размножаются папоротникообразные растения, являются слабыми носителями жизни. Падая на почву, споры обычно сразу прорастают и дальше развиваются без всякого участия материнского организма. Семя же, заключающее в себе зародыш нового растения, развивается на материнском растении и в процессе своего развития получает от него все необходимые питательные вещества, за счет которых в семени откладываются еще и запасы. Эти запасы при прорастании семени обеспечивают рост и развитие молодого растения до тех пор, пока не разовьются его собственные корни и листья.

Семена голосеменных растений располагаются на макроспорофиллах открыто, отсюда и название этой группы — «голосоменные», в отличие от «покрытосеменных», у которых макроспорофиллы срастаются своими краями, образуя замкнутую полость — завязь; после оплодотворения она превращается в плод, стенка которого защищает семя.

Наконец, существенным отличием покрытосеменных от голосеменных является наличие цветка, к строению и функциям которого мы перейдем в следующей главе.

Заканчивая главу о размножении растений, мы должны остановиться на общем значении полового процесса и полового размножения.

Нормальное существование организма (фаза питания, роста и вегетативного размножения), при котором жизнь, строение и все особенности организма поддерживаются на определенном уровне, сопровождается обычным делением клеток (кариокинез). Наступающая вследствие внешних причин дисгармония в строении или состоянии организма приводит периодически к редукционному делению — образованию гамет, не способных к длительному, самостоятельному существованию. В связи с этим происходит половой акт (оплодотворение) — слияние двух гамет, принадлежащих, как правило, двум различным организмам.

При образовании зиготы мы часто видим, что новые организмы не повторяют точно особенностей того организма, из которого они произошли, а дают отклонения, т. е. проявляют изменчивость, благодаря которой они могут лучше приспосабливаться к разнообразным условиям среды.

Таким образом, сущность полового размножения заключается в обновлении организма, в повышении его жизнедеятельности.

Совершенно ясно, что когда зигота образуется из половых клеток двух разных индивидов, наследственность вносит сюда предпосылки изменчивости. Поэтому, если садовод желает размножить определенный сорт, он прибегает к вегетативному размножению, потому что тогда он получит многократное повторение одного и того же организма. Если же садоводу надо получить новые сорта, он будет скрещивать растения — переносить пыльцу с одного растения на другое, стараясь как можно больше разнообразить процесс. И тогда он будет получать впоследствии растения с другими свойствами, зачатки новых сортов, которые в дальнейшем, при вегетативном размножении, дадут возможность ввести в культуру то, чего раньше не было.¹

¹ Новые сорта можно получать не только путем скрещивания, но и в результате вегетативной гибридизации (см. гл. XI).

ГЛАВА XIV

ЦВЕТОК, ЕГО СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Что такое цветок? В некоторых учебниках пишут, что цветок есть «орган размножения растений». Ботаники говорят иначе: «Цветок есть укороченная ветвь, органы которой изменены сообразно функциям перекрестного опыления». Это тоже не исчерпывающее определение. Однако остановимся пока на этой формуле.

Что цветок есть ветвь — это доказываемыми многочисленными случаями уродливости, например, так называемым позеленением, при котором части цветка превращаются в листья, а центральная его часть вытягивается в виде ветви. Изучение уродливостей помогает установить происхождение цветка и его органов.

Цветок состоит из осевой или стеблевой части, укороченной очень сильно и нередко приобретающей мясистое строение, — эта часть цветка носит название *цветоложа*. К цветоложу прикреплены остальные части цветка. Стеблевое происхождение цветоложа подтверждается уродливостью, известной под названием *пролификации*. Это явление заключается в том, что иногда цветоложе прорастает, удлиняется и превращается в новый побег с листьями, который может дать на верхушке новый цветок (роза, земляника, рис. 197, А и Б).

На продольном разрезе цветоложа можно увидеть, что оно состоит из основной ткани — паренхимы, по которой тянутся проводящие пучки.



Рис. 197. Пролификация (прорастание цветоложа и превращение его в новый побег): А — у розы и Б — у земляники.

идущие из боковых органов цветка к центральному проводящему цилиндру, затем входящему в стебель.

На цветоложе расположены с определенной правильностью по спирали или, чаще, сближенными кольцами (кругами) группы листочков, измененных сообразно определенным функциям.

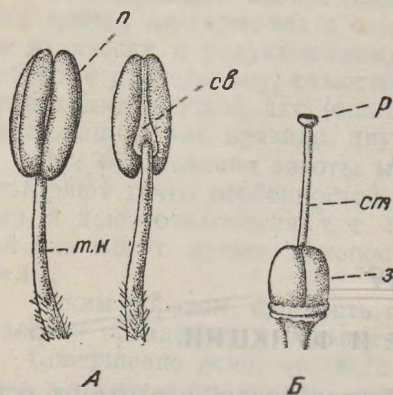


Рис. 198. Строение тычинки и пестика. А — тычинка: т. н — тычиночная нить, п — пыльник, св — связник. Б — строение пестика: з — завязь, ст — столбик, р — рыльце.

У самого основания цветоложа находится группа листочков, играющих защитную роль — чашелистики, образующие чашечку. Назначение ее — предохранить развивающийся цветок от вредных внешних воздействий; у некоторых растений, например, у мака, чашечку можно видеть только пока цветок в бутоне; когда он раскроется, чашечка очень быстро отпадает, потому что функция ее выполнена, и в дальнейшем в ней нет надобности.

Затем идет группа листочков, измененных уже довольно сильно, которые находятся внутри чашелистиков и представляют собой украшение цветка — его венчик. Отдельные листочки венчика называются лепестками. Чашечка и венчик в своей совокупности составляют покровы цветка

или околоцветник. Если в цветке имеются хорошо отличающиеся друг от друга чашечка и венчик, то околоцветник называют двойным. У некоторых же растений все листочки околоцветника одинаковые, похожие друг на друга, тогда околоцветник называется простым (Perigonium).

При этом может быть два случая: все листочки простого околоцветника зеленого цвета, напоминают чашечку, — о таком околоцветнике говорят, что это простой чашечковидный околоцветник. Во втором случае, когда все листочки похожи на венчик, говорят, что это простой венчиковидный, или лепестковидный околоцветник. Иногда чашелистики и лепестки могут менять

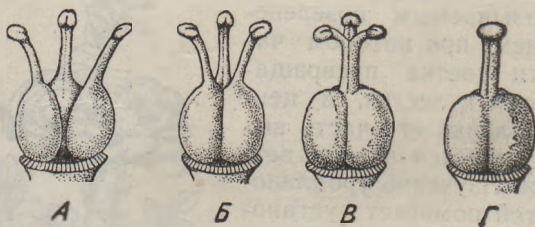


Рис. 199. Апокарпный и синкарпный гинецей. А — апокарпный гинецей: все пестики в цветке свободные, каждый из них образовался из одного плодолистика. Б, В, Г — синкарпный гинецей из трех плодолистиков, в разной степени сросшихся между собой.

свои размеры, форму, окраску и разрастаться в настоящие листья.]

Следующий орган в цветке — андроцей¹. Отдельные органы, входящие в андроцей, носят название тычинок; в сущности их следует называть микроспорофиллами, так как мы знаем, что тычинка — это такой видоизмененный лист, на котором развиваются микроспоры, дающие пыльцевые трубочки с микрогаметами. Каждая тычинка (рис. 198) обычно состоит из тычиночной нити, несущей два пыльника. Верхняя часть нити, спаянная с пыльниками, называется связником.

Наконец, в центре цветка находится гинецей¹, иначе — пестик или совокупность пестиков, если их в цветке несколько.

¹ «Андроцей» и «гинецей» — греческие названия, которые означают мужской и женский дом. Они были даны в то время, когда предполагалось, что тычинки и пестики соответствуют мужским и женским органам размножения у животных.

Гинецей имеет более сложное строение, чем остальные органы цветка. В основе пестика лежит плодolistик или макроспорофилл. Плодolistик, срастаясь своими краями, образует расширенную нижнюю часть, которая называется завязью. Завязь являетсяместилищем семязпочек — будущих семян. Верхушка завязи часто вытягивается в более или менее длинную колонку, которая носит название столбика. Верхний конец столбика обычно расширяется, образуя приемник, где прорастают пылинки цветени — так называемое рыльце. Завязь, столбик и рыльце составляют пестик (рис. 198, Б). В пределах одного цветка может быть несколько пестиков или один пестик. Если плодolistики, из которых образуется гинецей данного цветка, не срастаются между собой, а каждый из них образует самостоятельный пестик, а затем плодик, то такой гинецей называется апокарпным (рис. 199, А; 204, Б). Если же пестик один, но он образуется не из одного плодolistика, а путем срастания нескольких плодolistиков, такой гинецей называется синкарпным (рис. 199, Б, В, Г).

Синкарпная завязь может иметь одну или несколько полостей — гнезд, что зависит от способа срастания плодolistиков (рис. 200).

В зависимости от строения цветоложа, положения завязи и места прикрепления других частей цветка в отношении завязи, различают следующие типы цветов и завязи (рис. 201).



Рис. 200. Поперечные срезы синкарпных завязей: А — трехгнездная и Б — одногнездная завязь.

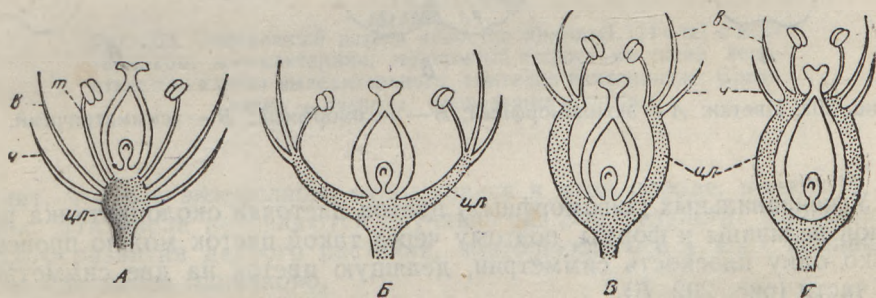


Рис. 201. Схемы строения цветка: А — цветок подпестичный с верхней завязью; Б и В — околопестичный с верхней завязью; Г — надпестичный с нижней завязью; цл — цветоложе; ч — чашечка; в — венчик; т — тычинка.

1. Пестик находится на верхушке выпуклого или плоского цветоложа, остальные части цветка прикреплены к цветоложу под пестиком, ниже основания завязи, — такой цветок называется подпестичным, а завязь — верхней, или свободной (рис. 201, А).

2. У некоторых растений цветоложе, разрастаясь, принимает блюдцевидную или бокальчатую (кувшинчатую) форму; чашелистики, лепестки и тычинки прикрепляются к верхнему краю такого разросше-

Теперь мы знаем, что эти органы представляют части бесполого поколения, приносящего макро- и микроспоры, которое сменяется половым поколением — пыльцевой трубкой, приносящей микрогаметы, и зародышевым мешком, образующим макрогамету. Однако эти названия — андроцей и гинецей — мы все-таки употребляем, поскольку речь идет о внешнем строении цветка, а не о внутреннем значении этого строения.

гося цветоложа, которое называется **гипантием** (подцветник); на дне гипантия находятся пестик или несколько свободных пестиков, не срастающихся с гипантием, — такой цветок называется **околопестичным** (рис. 201, Б, В).

3. Если вогнутое (бокальчатое) цветоложе срастается со стенкой завязи, а чашелистики, лепестки и тычинки прикрепляются как бы к верхушке завязи, — цветок называется **надпестичным**, а завязь — **нижней** (рис. 201, Г).

Наконец, следует добавить, что различают цветы: а) правильные — **актиноморфные**, б) неправильные, или **зигоморфные** и в) **асимметричные** (рис. 202).

У правильных (актиноморфных) цветов как все лепестки одинаковые и равны друг другу, так и чашелистики сходны между собою, поэтому через ось такого цветка можно провести несколько плоскостей симметрии, делящих цветок на симметричные части (рис. 202, А).

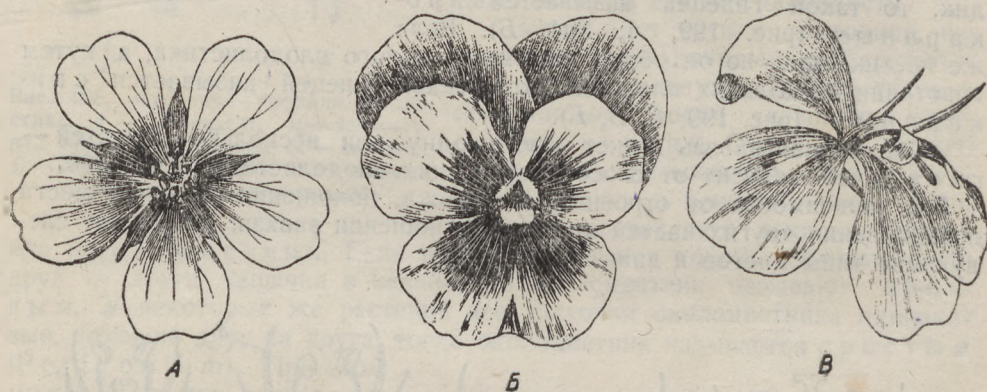


Рис. 202. Цветки: А — актиноморфный; Б — зигоморфный; В — асимметричный.

У неправильных (зигоморфных) цветов листочки околоцветника различной величины и формы, поэтому через такой цветок можно провести только одну плоскость симметрии, делящую цветок на две симметричные части (рис. 202, Б).

Наконец, у асимметричных цветков нельзя провести ни одной плоскости симметрии (рис. 202, В).

Кроме перечисленных частей цветка, в нем имеется еще существенная составная часть очень многих цветов — **нектарники**. Нектарники — это железки, в которых имеется эпителий — ткань, выделяющая за счет содержащегося в них раствора сахара с примесью некоторых других веществ, например, азотистых. Этот раствор называется **нектаром**. Нектарники устроены различным образом: иногда это будут выступы цветоложа у его основания, образующие так называемый **диск**. Эти выступы снабжены тканями, выделяющими нектар. Нектарники могут развиваться и на лепестках (рис. 203) и в особых выстилицах, которые тоже носят название нектарников; наконец, иногда лепестки целиком превращаются в нектарники, образуя целый орган внутри цветка, выделяющий нектар.

Таков элементарный морфологический анализ цветка.

Цветок построен по определенным законам, эти законы построения цветка обыкновенно формулируются так:

1. **Закон чередования органов.** Каждая группа органов, более внутренняя, расположена так, что отдельные органы ее нахо-

дятся в промежутках между органами внешней группы. Лепестки венчика располагаются между чашелистиками, тычинки обычно располагаются между лепестками венчика, а не против них; плодолистики располагаются между тычинками. Всегда места прикрепления органов цветка по возможности удалены один от другого.

2. Постоянство числа органов, или [правило] кратных отношений. Это правило, которое установлено очень давно, послужило основанием для знаменитой линнеевской системы пород (видов) растений. Оно сводится к тому, что у каждой породы (вида) растений число чашелистиков, лепестков, тычинок, плодолистиков или пестиков является постоянным. Если вы найдете, что какой-нибудь цветок имеет 4 чашелистика, — это значит, что все цветы этой породы будут иметь 4 чашелистика; или, если цветок имеет 12 тычинок, — это

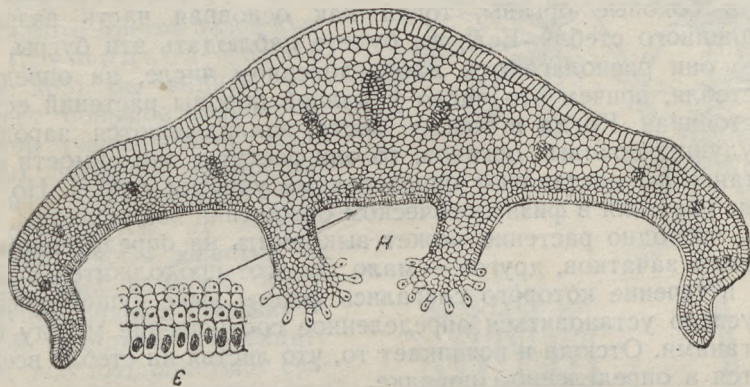


Рис 203. Поперечный разрез лепестка лилии (*Lilium*) с нектарником: *н* — нектарник, прикрытый выростами ткани лепестка; *б* — клетки выделительного эпителия нектарника. Среди ткани — разрезы проводящих пучков.

значит, что все экземпляры, относящиеся к этой породе, имеют 12 тычинок. Эти числа не являются случайными. Это результат эмбриологического развития данного растения, повторяющегося у всех индивидов более или менее одинаково.

Какие же это постоянные числа?

Мы имеем растения, цветы которых построены сообразно числу 2 или кратному двух, 4, 8. У других растений основными числами являются три, пять, реже — четыре.

Возьмем цветки капусты, редьки, редиски, — они имеют 4 чашелистика, 4 лепестка, но 6 тычинок. Почему так получилось? Группы боковых органов цветка, образующих чашечку, венчик, андроцей, гинецей, иногда удваиваются или происходит частичное недоразвитие (редукция) в одной из групп. Например, чашечка и венчик имеют одно и то же число органов, а тычинок имеется удвоенное или учетверенное число.

Цветы многих растений построены сообразно числу 3. Возьмем, например, лилию: у нее листочков околоцветника 6, по 3 в каждом круге, тычинок — 6, также по 3 в круге, а гинецей построен иначе: все его части — плодолистики — срослись вместе и, кроме того, их только 3, что отражается на форме рыльца, имеющего как бы 3 лопасти.

Иногда число тычинок может быть очень большим, и тогда это число называется неопределенным. Например, вы не можете сосчитать число тычинок у шиповника, — их так много, что сбиваешься со счета, кроме того, в разных цветах это число не точно соблюдается. Мы просто говорим в данном случае, что число их неопределенно большое.

Но почему у растений, имеющих определенное число боковых органов цветка, оно всегда одинаково?

Чтобы ответить на это, мы должны вернуться к вопросу о листьях, потому что органы цветка являются измененными листьями и, следовательно, должны подчиняться тем же закономерностям развития и расположения.

Как располагаются листья и ветви на стебле? Есть ли определенное правило расположения боковых частей у каждого растения? На этот вопрос уже пробовали ответить ботаники, писавшие о растениях около 100 лет назад.

На верхушке стебля, как вы знаете, имеется конус образовательной ткани (см. рис. 34), состоящий из одинаковых клеток, — это совершенно ровный купол. Затем несколько дальше от конца начинают появляться зародышевые бугры, выступы этой ткани. Эти бугры постепенно превращаются в боковые органы, тогда как основная часть разрастается в виде длинного стебля. Если вы будете наблюдать эти бугры, вы увидите, что они располагаются в определенном числе, на определенном уровне стебля, причем это число у данной породы растений есть величина постоянная. Когда в точках роста закладываются зародышевые бугры будущих боковых органов, то они растут в зависимости от питания. Питание им доставляют определенные участки стебля. Но так как различные растения в физиологическом отношении неодинаковы, то и получилось, что одно растение может выкормить на определенном уровне стебля много зачатков, другое — мало. За этот продолжительный период времени, в течение которого слагались формы ныне существующих растений, успело установиться определенное соотношение между ближайшими органами. Отсюда и возникает то, что листья на стебле всегда располагаются в определенном порядке.

Напомню, что могут быть три основных порядка листорасположения:

1. Листья располагаются на стебле кольцами, кругами, помногу в узле, — это так называемое мутовчатое листорасположение (например, вороний глаз).

2. Листья могут располагаться парами, лист против листа (сирень) — супротивное листорасположение. У растений этого типа надо отметить еще одну особенность: листья располагаются не только один против другого, но если взять две пары, эти пары чередуются вкрест: если нижняя пара направлена направо и налево, то верхняя пара направлена вперед и назад. Этим избегается взаимное затенение листьев. Такое листорасположение называется перекрестным.

3. Листья могут сидеть по одному на определенном уровне, но при этом они сидят чрезвычайно правильно в точках прикрепления, — спиральное или очередное листорасположение.

Если мы вспомним, что цветок — это укороченная ветвь, что все органы его представляют собою листья, то мы можем сказать, что расположение органов цветка зависит от общего закона листорасположения, свойственного данному растению, от способности данного растения выкармливать большее или меньшее число боковых органов на одном и том же уровне стебля.

Когда мы говорим о цветоложе, роль его ясна — это такая часть стебля, которая может вырастить в этой точке все части цветка. Из мало заметного органа, часто нами игнорируемого, цветоложе превращается в чрезвычайно важный основной орган, потому что от свойств цветоложа зависит развитие остальных органов цветка.

Посмотрим строение цветка из семейства лютиковых — ветреницы (рис. 204). Вы видите, что к верхушке цветоложа прикреплены все части цветка, они на нем выросли, ибо цветоложе — это основная часть цветка, его конус нарастания образует выступы, из которых и развиваются все

остальные части цветка. На цветоножке видно шесть листочков простого околоцветника. Настоящих лепестков здесь нет, поэтому в этом цветке нет органа, выделяющего нектар, ибо у лютиковых нектар обычно выделяется в основании лепестка; далее мы видим множество тычинок и пестиков.

При изучении цветов большого числа растений можно наблюдать иногда превращение одних органов в другие и, в зависимости от этого, имеется большее или меньшее число органов отдельных групп. Лепестки могут развиваться за счет тычинок, нектарники — за счет лепестков, число плодолистиков может уменьшаться и увеличиваться и т. д.

Возьмите цветок белой кувшинки (*Nymphaea candida*, рис. 205). Вы видите, что она имеет большое количество лепестков (чашелистики мало заметны). Затем вы видите тычинки; наружные тычинки здесь мало отличаются от лепестков, — это как бы лепестки, на краях которых заметны остатки редуцированных пыльников. В самой середине вы видите рыльце, все плодолистики срастаются в крупную завязь, при этом каждый плодолистик на верхушке заканчивается лучом рыльца.]

Превращение зародышевого бугра в определенный орган есть результат взаимодействия роста органа и внешних условий. Иначе говоря, число тех или иных органов в цветке не есть какая-то абсолютная неизменная величина, это результат более или менее длительного взаимодействия определенных противоречий.

Обычно для цветка характерно наличие околоцветника но вот ранней весной цветет осина, тополь (см. рис. 217), ветки их несут соцветия — сережки, однако в их цветах мы не находим ни одного лепестка, листочка околоцветника, — зато очень легко найти пыльники, из которых высыпается много пыльцы. Цветок это или нет?

Цветок остается цветком и в том случае, когда его покровы (околоцветники) совершенно отсутствуют. Для того, чтобы мы признали данный орган цветком, достаточно наличия одного из двух существенных кругов — андроея (совокупность тычинок или микроспорофиллов), или гинецея (совокупность плодолистиков — макроспорофиллов, образующих пестик с рыльцем). Цветковые растения так же приносят споры, как



Рис. 204. Ветреница (*Anemone nemorosa*): А — общий вид; Б — гинецей.

нецветковые; их споры — продукт редукционного деления — также дают половое поколение, проявляющееся, с одной стороны, в виде пыльцевой трубки, с другой — в виде зародышевого мешка с его содержимым (яйцеклетка, синергиды, антиподы и другие элементы). После процесса оплодотворения диплоидность восстанавливается, и ткани зародыша уже обязательно диплоидные, тогда как клетки эндосперма триплоидные. Само цветковое растение непосредственно половых элементов не производит, так как оно дает только споры, а не гаметы; пыльцевая трубка и зародышевый мешок, наоборот, не дают спор,

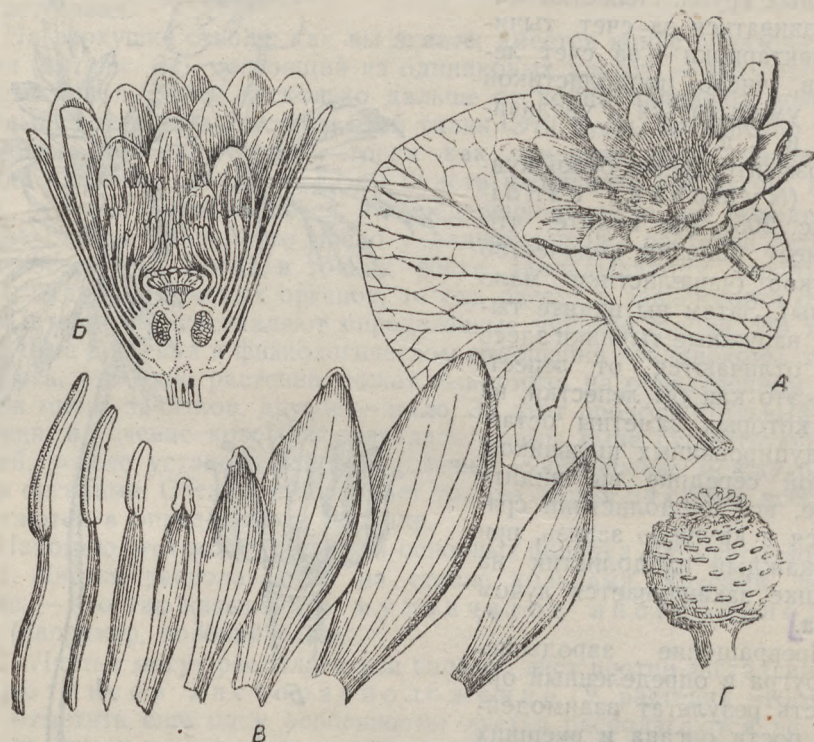


Рис. 205. Белая кувшинка (*Nymphaea candida*): А — лист и цветок; Б — продольный разрез цветка; В — постепенный переход тычинок в лепестки; Г — завязь с лучистым рыльцем. На завязи видны рубцы от удаленных лепестков и тычинок.

а только гаметы, — они являются половым поколением, а не частями диплоидного организма, на котором они развиваются.

Таким образом, цветок принадлежит спорофиту.

После опыления цветок вскоре увядает. Работа спорофиллов выполнена, и ей на смену приходит работа пыльцевой трубки и зародышевого мешка, заканчивающаяся образованием гамет и затем — зародыша, а для всего растения — переходом от цветения к плодоношению.

Отсюда ясно, что определить цветок только как орган размножения нельзя. Цветок есть укороченная ветвь, органы которой изменены сообразно функциям спороношения и перекрестного опыления. Это определение носит общий характер, — оно не охватывает тех вторичных изменений, которые произошли в процессе эволюции цветка, в результате его редукции, например, при самооплодотворении (клеистогамия, автогамия, см. стр. 287) или при апогамии (см. стр. 288). Все необычайное разнообразие форм

и строения цветов различных растений базируется на том, что процесс опыления также чрезвычайно разнообразен. У древних растений, у растений палеозоя цветов не было. Были растения, дававшие семена, но растений, имевших цветы, не было. У семенных растений более поздних эпох, у хвойных и цикадовых мезозоя, появились собрания микро- и макроспорофиллов, которые мы называем шишками. Только на заре меловой эпохи появляются растения, имеющие цветы.

Что же случилось, почему у растений появились цветы? На это мы отвечаем так: в течение времени — от каменноугольного периода до мелового, одновременно с растениями, развивался обширный мир насекомых. Растения выделяют мед не только в цветах специальными нектарниками, но нередко и на других органах (так, например, у некоторых видов дикого горошка, у вики, бузины мы находим нектар, выделяемый прилистниками); нектар выделяли также семяпочки хвойных растений. На верхушке семяпочки нередко можно заметить весной капли нектара, выделяемые в углублении пыльцевой камеры. Конечно, нектар, являющийся прекрасным пищевым материалом, богатый содержанием сахара и некоторых других веществ, не мог остаться незамеченным со стороны насекомых, питающихся соками растений. Предполагается, что среди насекомых выделилась группа, специализировавшаяся на собирании нектара, которым питалась. Поскольку нектар выделялся около спорофиллов или самими спорофиллами, насекомые, собирая нектар, вызывали раскрытие микроспорангиев, из которых сыпались микроспоры, то, что мы называем пылью. Насекомые, обсыпанные микроспорами, летели дальше собирать нектар, попадали на семяпочку, выделяющую нектар, и здесь теряли пыльцу, которая на них была, т. е. насекомые переносили пыльцу с одного растения на другое.

Слияние гамет дает более сильный зародыш, более крепкий зачаток будущего растения, если гаметы не вполне однородны, если есть какое-то отличие в их строении и химическом составе. Мы имеем в таком случае более сильную реакцию при слиянии гамет двух разных особей, сильнее идут физиологические процессы — питание, обмен.

Те растения, на которые насекомые приносили, собирая нектар, микроспоры с других растений, у которых гаметы, следовательно, были от другой особи, давали более крепкие здоровые семена, быстрее развивающиеся, чем семена тех растений, у которых гаметы были от одного и того же растения. Появились, таким образом, растения, которые в борьбе за существование выживали в гораздо большем числе.

Вот эти растения, у которых спорофиллы были расположены так, что успешнее происходило скрещивание особей, т. е. перенос пыльцы с одной особи на другую, стали получать преимущества перед другими растениями. Дальнейшие изменения в их строении привели к тому, что спорофиллы стали развиваться все правильнее и правильнее один по отношению к другому и стали комбинироваться в цветы; таким образом, цветок есть комбинация спорофиллов, окружающих околоцветником — лепестками и чашелистиками.

Однако в этой теории не все ясно. Как могли насекомые своими посещениями воздействовать на то, чтобы спорофиллы собирались в целый орган, цветок? Механистически объяснить это нельзя, только историческая точка зрения, только дарвиновские принципы — естественный отбор и выживание наиболее приспособленных — позволяют нам дать объяснение возникновению цветов.

Таким образом, с появлением цветка, достигается такое расположение спорофиллов и окружающих их листочков околоцветника, при котором обеспечивается перенос микроспор, цветочной пыли с растения на растение, т. е. перекрестное опыление, благодаря чему обеспечивается более крепкое, более сильное потомство, семена, быстрее разви-

вающихся растения, сильнее укореняющиеся в почве. Это достигается слиянием гамет, развившихся на двух различных особях.

В дальнейшем картина очень усложнилась. Многие растения, имеющие уже нормальные цветы, опыляемые насекомыми, попали впоследствии на обширные пространства степей или полярных тундр, где насекомые редки. Сильные ветры на открытых пространствах мешают полету насекомых, и поэтому там опыление посредством насекомых становится трудным. В этих местах цветы у растений постепенно изменились, упростились, их пыльца стала сухой, легко взвешиваемой в атмосфере. Перенос пыльцы стал опять совершаться при помощи ветра.

В настоящее время цветковые растения биологически разбиваются на две основных группы: а) ветроопыляемые — анемофильные и б) насекомоопыляемые — энтомофильные.

Цветы ветроопыляемые имеют мелкий, невзрачный околоцветник (рис. 206), который иногда совсем отсутствует. Наоборот, тычинки на длинных нитях выходят далеко наружу из цветка, из его защитных образований, ветер легко подхватывает высыпавшуюся мелкую сухую пыльцу (рис. 207, А) и разносит ее далеко по воздуху. Рыльца у ветроопыляемых растений обычно крупные и часто пушистые.

Растения насекомоопыляемые имеют цветок, построенный таким образом, что его лепестки или чашелистики закрывают пыльцу и рыльце от дождя, ветра, от механических повреждений. Для цветов насекомоопыляемых растений характерна яркая окраска, запах и нектар, пыльца более крупная, на поверхности ее имеются шипики, гребешки, иногда пыльца клейкая (рис. 207, Б). Если цветы насекомоопыляемых растений мелкие, то они обычно сучены в хорошо

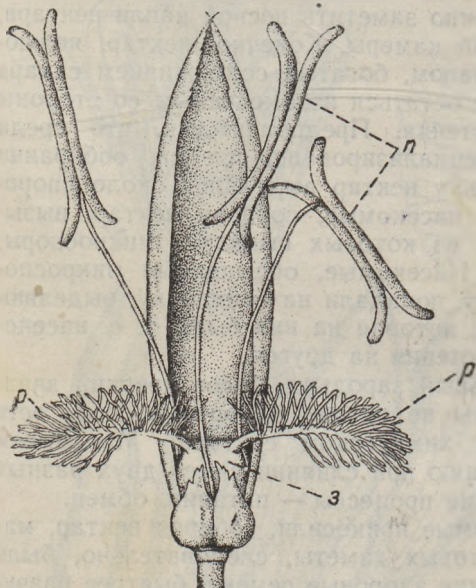


Рис. 206. Ветроопыляемый цветок злака: *p* — рыльца; *n* — пыльники на длинных тонких нитях; *з* — завязь.

заметные соцветия (например, василек, подсолнечник, ромашка, морковь и др.) ↓

К числу ветроопыляемых растений относятся, например, злаки. На рис. 208 изображено, как пылит цветок злака. Вы видите маленькую веточку из метелки райграсса (*Arrhenatherum elatius*). Два колоска этого злака представлены в разные моменты развития цветков. В правом колоске (I) тычинки одного цветка (а) свешиваются на качающихся нитях, а из пыльников вылетает облачко пыльцы; в левом колоске (II) в нижнем цветке (б) тычинки уже лишены пыльцы (от одной пыльник уже отвалился), а в верхнем цветке (в) разрослись пушистые перистые рыльца с громадной поверхностью — настоящая ловушка для пыльцы. Пыльники же у этого цветка молодые, они еще не созрели и только еще начинают выходить из колоска. Таким образом, собственная пыльца никак не может опылить рыльце этого цветка.

Кроме злаков, ветроопыляемыми растениями являются многие наши деревья, как береза, тополь, осина, дуб, ольха; из травянистых растений — крапива, конопля, щавель и др.

Насекомоопыляемые растения — это самое обыкновенное явление.

Растения могут опыляться жуками, которые ползают по цветам, различными мухами; затем, цветы опыляются громадным числом перепончатокрылых — пчелами, шмелями, осами и, наконец, бабочками, которые своим длинным хоботком собирают нектар на лету или садясь на цветок.

Мир насекомых поражает своим чрезвычайным разнообразием. Имеются сотни тысяч видов, и при этом наблюдается какая-то параллель в строении насекомых, в их привычках, в образе жизни и в формах и особенностях посещаемых ими цветов. Имеется как бы два мира явлений: строение и обычаи насекомых и строение и функции цветов, которые, развиваясь параллельно, приспособлены один к другому.

По форме цветка часто можно узнать, кем он опыляется. Возьмите водяную кувшинку (см. рис. 205), она имеет крупные цветы, по которым ползают жуки, но они питаются не медом, потому что меда здесь нет, а самой пылью. Пыльцы здесь множество, так как здесь имеется неограниченное количество тычинок. Пользуясь по цветку жуки все осыпаны пылью, которую они и переносят с цветка на цветок.

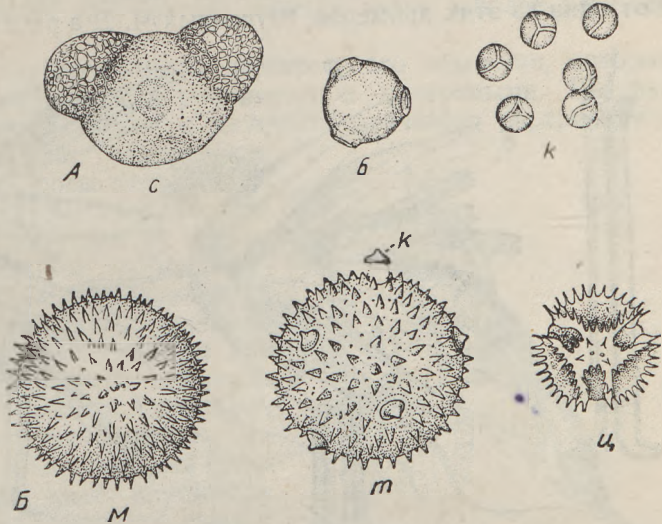


Рис. 207. Форма пыльцы ветроопыляемых и насекомоопыляемых растений. А — пыльца ветроопыляемых растений: с — сосны с двумя воздушными мешками для уменьшения удельного веса пылинки; б — березы, видны места ростковых пор; к — конопля. Б — пыльца насекомоопыляемых растений: м — мальвы; т — тыквы, видны крышечки (к), которыми прикрыты ростковые поры; ц — цикория.

Или возьмите калужницу (*Caltha palustris*) — растение с желтыми цветками, которое рано весной покрывает серые луга и канавы, нектарников у него нет. Что здесь может привлечь насекомых? Только пыльца. Здесь вы тщетно будете ожидать появления шмелей, бабочек, здесь могут быть жуки и некоторые мухи.

Замечено, что, кроме внешнего вида и строения цветка, большое значение имеет еще запах. Что привлекает насекомых к цветку? Главным образом, запах: он разносится на большое расстояние, а чуткость насекомых ко всевозможным запахам очень велика. Если цветок пахнет гнилым мясом, его будут опылять мухи. питающиеся падалью. Цветы, которые пахнут медом, будут опылять пчелы, шмели и бабочки.

Таким образом, между запахом цветов и потребностями насекомых существует какое-то соответствие. А может ли отразиться форма тела насекомых на форме лепестков цветка? В этом отношении существует довольно много указаний, решающих вопрос положительно.

Возьмите цветок орхидеи (рис. 209). Этот цветок довольно причудливой формы, вы видите его нижнюю губу со шпорцем, где находится нектар. Для того чтобы достать нектар, насекомое должно сесть на губу, крепко уцепиться за нее и пить нектар. Мы можем сказать, что края нижнего лепестка с его выступами соответствуют плану расположения ног насекомого, которое цепляется за эти края, когда начинает доста-

вать нектар. Очень часто внешняя форма цветка соответствует плану расположения ног насекомого.

В некоторых случаях бабочки собирают мед на лету, тогда такого соответствия не будет; например, бражник собирает нектар с лепестков лилий на лету. Таким образом, мы должны очень гибко подходить к вопросу. В одних случаях соответствие формы тела насекомого с формой цветка, как правильно указал Чарльз Дарвин, является полным, в других случаях этого нет, что зависит от позы насекомого, собирающего мед.

Можно привести несколько чрезвычайно интересных примеров, иллюстрирующих взаимоотношения между растениями и животными. Вот один из этих примеров, изученных Ч. Дарвином. Красный клевер

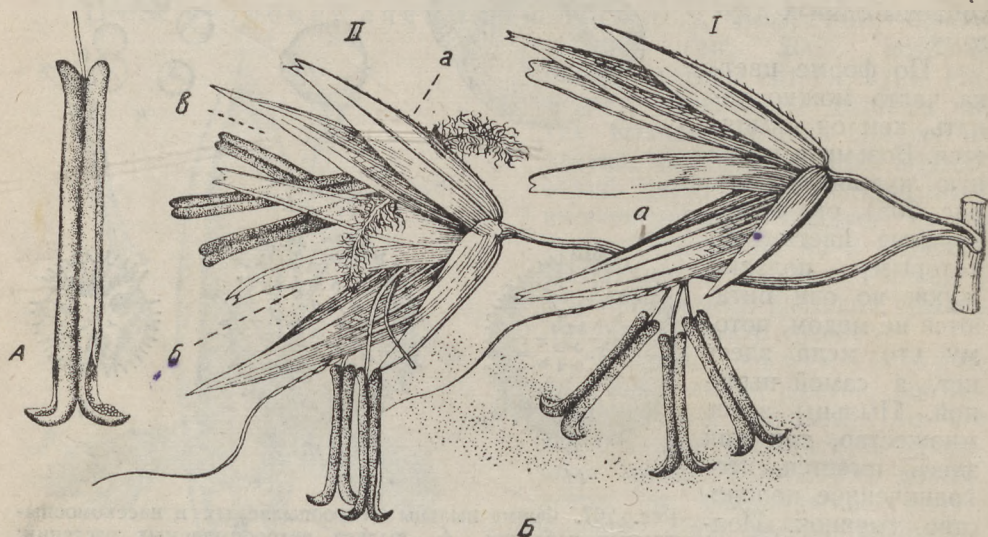


Рис. 208. Опыление злака райграсса (*Arrhenatherum elatius*). А — раскрывшийся пыльник: щель образуется только в нижней части пыльника, изогнутой в виде челнока, где и задерживается пыльца; ветер, покачивая пыльник, сдувает пыльцу, постепенно спускающуюся из верхних частей пыльника. Б — цветущая веточка из метелки райграсса, два колоска в разные моменты развития цветов: в правом колоске (I) тычинки нижнего цветка (а) свешиваются на нитях, и из качающихся пыльников вылетает облачко пыльцы; в левом колоске (II) в нижнем цветке (б) тычинки уже лишены пыльников (от одной уже пыльник отвалился), а в верхнем цветке (в) разрослись пушистые перистые рыльца, пыльники же этого цветка еще молодые, закрытые, только начинают выдвигаться из цветка.

(клевер луговой — *Trifolium pratense*) играет большую роль в сельскохозяйственном плодосмене (севообороте). Клеверные поля дают великолепное сено, а корневая система клевера, богатая клубеньками с азотфиксирующими бактериями, после перегнивания обогащает почву азотом. Но иногда случается, что клеверное поле совершенно не дает семян, так как цветы остаются неопыленными. Дарвин беседовал по этому поводу с некоторыми крестьянами, которые сказали ему, что для того чтобы у клевера были семена, нужны кошки, если кошек в деревне много, клевер дает семена, если кошек нет — и семян нет. А почему так, — кто его знает. Дарвин стал допытываться, в чем дело, и выяснилось следующее: клевер не может опыляться пчелами, так как они имеют слишком короткий хоботок для того, чтобы доставать мед из длинных трубочек цветков клевера, обычно же мед достают из цветков клевера шмели, у которых хоботок длинный. (Когда клевер ввели в культуру в Австралии, он там не давал семян до тех пор, пока не привезли туда же шмелей.) Шмели прячут свои соты в траве, во мху, но они имеют страшного врага — полевую мышь, которая поедает соты

без остатка. Дальше все понятно: если кошки есть — нет мышей и есть шмели, а раз есть шмели, значит они опыляют клевер, и тогда клевер дает семена. Этот пример говорит о том, что иногда плодородие культурного растения зависит от животного, казалось бы, не имеющего никакого отношения к данному растению. Кошки, мышь, шмель, клевер — вот четыре звена в этой цепи.

Для обеспечения урожая семян клевера необходимо не только уничтожение мышей. Нужно вывести такие сорта клевера, которые могли бы опыляться и пчелами, а для этого следует вести селекционную работу в двух направлениях: с одной стороны, получить клевер с более короткой трубкой венчика и, с другой, вывести пчелу с более длинным хоботком.*

Теперь возьмем другие примеры перекрестного опыления, которые показывают тесную связь между растениями и насекомыми. Шалфей (*Salvia*) имеет крупный цветок с двугубым венчиком; верхняя губа в виде свода закрывает внутреннюю часть цветка от дождя, росы, ветра; нижняя губа служит местом посадки для насекомых, которые прилетают за медом. На рис. 210 вы видите, как удобно шмели охватывают лапками выдающиеся края лопасти нижней губы, доставая мед. Цветок шалфея имеет только две тычинки весьма своеобразного строения: каждая из них имеет связник (промежуточная часть тычинки, связывающая, соединяющая два пыльника), который сильно разрастается и в виде коромысла подвижно сочленен по принципу рычага с короткой нитью; только на наружном верхнем конце связника развивается один пыльник с пыльцой, а на внутреннем, более коротком конце связника, второй пыльник не развивается, вместо него имеется небольшое утолщение.



Рис. 209. Цветок орхидеи с опыляющим его насекомым. На голове насекомого два приклеившихся комочка клеток пыльцы, так называемые полинарии (*n*); *p* — рыльце; *ш* — шпорец, содержащий нектар.

Насекомое садится на нижнюю губу и просовывает свой хоботок за медом на дно венчика; при этом оно неизбежно толкает короткую часть связника, что приводит в движение тычиночный рычаг, и длинная часть связника, несущая развитый пыльник, с силой ударяет шмеля по спине, при этом пыльца высыпается на насекомое. Надо сказать, что у шалфея — протерандрия: тычинки созревают раньше пестика и только тогда, когда в цветке уже не остается собственной пыльцы, созревает рыльце и вместе со столбиком подвигается из венчика и даже опускается вниз. Шмель с пыльцой на спинке, перелетая на такой, более зрелый, цветок, неизбежно спинкой соприкасается с рыльцем, производя таким образом перекрестное опыление¹.

В степях Харьковщины растет так называемый шалфей поникающий (*Salvia nutans*) с красивыми синими цветами, верхушка стебля которого дает изгиб, поэтому цветы висят вниз. Я задумался над тем, как здесь шмели производят опыление, ведь здесь весь механизм

¹ По наблюдениям акад. Н. Г. Холодного (Советская ботаника, т. 29, вып. 4, 1944, и Советская ботаника, т. 31, вып. 2, 1946), рыльце ко времени опыления не опускается вниз, и шмель поэтому своей спинкой, на которой находится пыльца, не прикасается к рыльцу. По сообщению акад. Холодного, шмель, взлетая, вздымает облачко пыльцы со своей поверхности, вследствие чего пыльца и попадает на рыльце. *Ред.*

перевернут, значит будет неправильное действие рычага и ничего не выйдет. Дальнейшее изучение биологии этого растения показало, что шалфей поникающий — самоопылитель, посещения шмелей для него не требуется.

Таким образом, форма цветка, положение цветка всегда могут быть объяснены той функцией, которую они выполняют.

Возьмите кирказон (*Aristolochia*), встречающийся по влажным опушкам леса и в ивняках по долинам рек. У этого растения цветы однопокровные, т. е. не имеют разделения на чашечку и венчик. На рис. 211 вы видите околоцветник кирказона, он имеет узкую трубку,



Рис. 210. Опыление у шалфея (*Salvia glutinosa*). А — строение тычинки: *нт* — нить тычинки; *св* — связник; *п* — пыльник с пыльцой; *б* — вместо второго пыльника — небольшое расширение или утолщение на конце связника. Б и В — схемы продольного разреза цветка; стрелка показывает направление движения шмеля и механизм опускания пыльника. Г — часть соцветия шалфея; в правый цветок проникает шмель, на спинку которого опускается пыльник, наполненный пыльцой. Д — часть соцветия с тремя цветками на различных ступенях развития: правый цветок — в тычиночной стадии, лопасти рыльца еще сомкнуты; два левых более старых цветка — в пестичной стадии, с расходящимися лопастями рыльца, опущенного вниз, ко входу в цветок; шмель с пыльцой на спинке, проникая к меду и касаясь спинкой рыльца, опыляет его.

на конце расширенную в виде флага. В молодом цветке (рис. 211, А) в трубке находятся волоски, направленные внутрь. На дне околоцветника находятся пестик и тычинки, которые прирастают к столбику под рыльцем. Цветок этот издает запах гнилого мяса, который привлекает мелких мух. Они свободно проникают в глубь цветка, но сразу выйти обратно не могут, так как этому препятствуют направленные навстречу волоски. Иногда мухи живут внутри цветка в течение нескольких дней, питаются сочными клетками внутренней поверхности околоцветника. Наконец, созревают пыльники, и пыльца высыпается на ползающих в цветке насекомых. К этому времени волоски, закрывающие выход из цветка, увядают, и мухи, обсыпанные пыльцой, получают возможность выползти из цветка. Перелетев на другое растение, эти насекомые попадают в та-

кие цветы, где имеется зрелое рыльце, ползая по которому они и совершают опыление. Автогамия (самоопыления) у кирказона не происходит, так как ему свойственна протерогиния¹. Как только произойдет оплодотворение, флаг венчика, теряя тургор, опускается, тем самым закрывая вход в цветок, а сам цветок повисает вниз (рис. 211, Б, В).

Замечательный пример взаимной приспособленности растения и насекомого дает винная ягода — инжир (*Ficus carica*) — растение малоазиатской культуры, распространившееся по странам Средиземного моря. Очень показательна попытка развести большие плантации инжира в Калифорнии, где имеется для этого подходящий климат. Из Малой Азии привезли много прекрасных экземпляров инжира; растения поса-

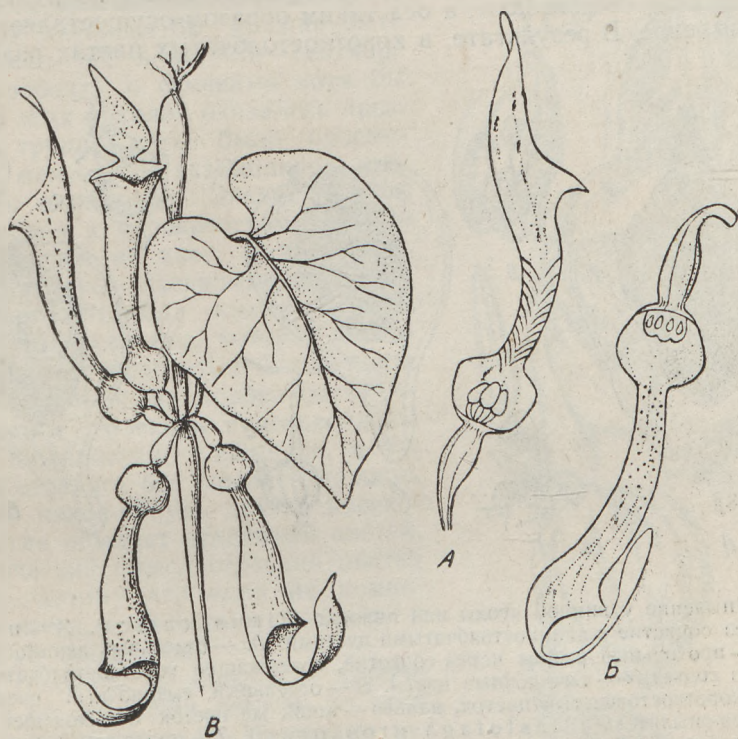


Рис. 211. Опыление у кирказона (*Aristolochia*) А — молодой цветок: в трубке околоцветника — волоски, направленные внутрь цветка. Б — более старый цветок: волоски в трубке околоцветника увяли, флаг его спустился, закрывая вход в цветок. В — группа цветков кирказона: два верхних — до опыления; два нижних — после опыления свешиваются вниз и прикрыты флагом.

дили, — проходит год, два, растения покрываются листьями, цветут, но никаких плодов не дают. В чем же здесь дело?

На рис. 212 показаны три соцветия, принадлежащие разным экземплярам. Ось мясистого соцветия разрастается таким образом, что принимает грушевидную форму; такое соцветие внутри полое, а в верхней части, где края его сходятся, имеет отверстие наружу. На внутренней поверхности одного из этих соцветий располагается множество однополых (женских) пестичных цветов с длинным столбиком (рис. 212, А). В других соцветиях находятся тычиночные цветы и пестичные цветы с коротким столбиком (рис. 212, Д). Бывают еще соцветия, в которых

¹ При протерогинии пестик созревает раньше тычинок.

находятся только одни короткостолбчатые цветы, так называемые «цветы — галлы».

Опыление производит мелкая оса (*Blastofaga grossorum*), цикл развития которой согласован с ритмом цветения и плодоношения инжира. Когда начинается цветение инжира, самки blastофаги заползают в его соцветия. Попадая в соцветия с короткостолбчатыми цветами, оса откладывает в завязи свои яички, из которых разовьются личинки, поедающие семяпочки этих завязей; из личинок появляются новые осы, которые, покидая соцветие, касаются находящихся у выхода тычинок и уносят на себе пыльцу. Некоторые из них попадают в соцветия с длинностолбчатыми цветами и пытаются отложить в них яички, но так как яйцеклад blastофаги короткий, то яички попадают только в столбик и здесь погибают, а оса таким образом осуществляет перекрестное опыление. В результате, в короткостолбчатых цветах развиваются

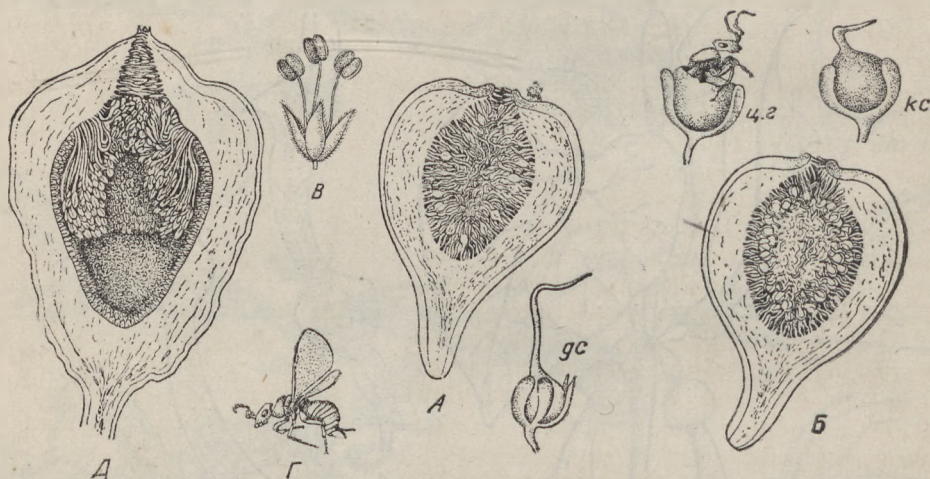


Рис. 212. Опыление у винной ягоды или инжира (*Ficus carica*). А — продольный разрез через соцветие с длинностолбчатыми цветами; *дс* — отдельный длинностолбчатый цветок; Б — продольный разрез через соцветие, содержащее короткостолбчатые цветы; у выхода из соцветия — тычиночные цветы; В — отдельный тычиночный цветок; *кс* — отдельный короткостолбчатый цветок, налево — такой же цветок с выходящей из него осой; Г — оса-опылитель (*Blastofaga grossorum*). Д — продольный разрез соцветия *Ficus pumila* с тычиночными цветами, расположенными у его отверстия, и короткостолбчатыми, занимающими всю остальную часть соцветия.

новые генерации blastофаги, а длинностолбчатые цветы, опыленные этим насекомым, дают плоды.

Американские садоводы этого не знали, они выбрали растения с однородными цветами, поэтому, хотя растения и цвели, но плодов не было. В сельском хозяйстве нам приходится очень считаться с тем, какие именно насекомые являются опылителями того или иного растения и надо заботиться, чтобы в помощь растению существовали эти насекомые.

Можно привести еще один изумительный пример перекрестного опыления растения с помощью определенного насекомого. Юкка (*Юсса*, рис. 213), которую у нас разводят как декоративное растение в оранжереях и жилищах, опыляется особой молю (*Ргопуба jussasella*). Присутствие этого насекомого настолько необходимо для юкки, что в тех местах, где нет этой моли, юкка остается бесплодной. Наблюдения показали, что насекомое, посещая цветок, уносит с него большой комочек липкой пыльцы. Перелетая на другой цветок, *Ргопуба* откладывает яички в его завязь, затем укладывает принесенный ею комочек пыльцы в воронковидное углубление на рыльце данного цветка, осуществляя

его опыление. Развивающиеся затем в завязи личинки поедают часть семян, а из остальных образуются семена.

Однако подобная крайняя специализация в природе может оказаться вредной и даже опасной для существования вида. Мы имеем в семействе орхидных растений великолепные сложно устроенные цветы. У нас в Сибири растут орхидеи из рода башмачок (*Cypripedium*). Меня всегда особенно интересовали крапчатые башмачки, — небольшой белый цветок с фиолетовыми крапинами. В июне можно найти целые площадки в лесах, сплошь покрытые этими цветами. Корневище их уходит в почву, сильно ветвится. Казалось бы, что цветы эти приспособ-

лены к опылению насекомыми, все особенности насекомоопыляемого цветка налицо, казалось бы, должна быть масса семян, но в августе—сентябре найти коробочку с семенами хотя бы одной из этих орхидей оказалось чрезвычайно трудно, надо было просмотреть не менее 1000 экземпляров, чтобы найти один плод. Значит цветок приспособлен к перекрестному опылению, а плодов не дает. В чем здесь дело? Некоторые насекомые во время ледникового периода вымерли. Возможно, что насекомое, которое специально опыляло крапчатые башмачки и приспособилось к их особенностям, — а они своим строением приспособлены к его особенностям, — вымерло, и башмачки остались без опылителя; лишь случайно какое-нибудь другое насекомое иногда опыляет отдельный цветок. Биологический смысл строения цветка потерян, потому что один из компонентов исчез, — насекомое исчезло, и цветок не опыляется.

Мы говорили об опылении насекомыми и об опылении ветром, но этим дело не исчерпывается. Не только ветер и насекомые, но и некоторые животные могут вызвать опыление. Так, у болотных растений нередко цветы посещаются моллюсками, которые переполазут с цветка на цветок и также переносят цветочную пыль — микроспоры. Мы знаем, что в жарких странах, под тропиками маленькие птички (колибри и др.) тоже собирают нектар с крупных цветов (рис. 214), и при этом на их перышки высыпается пыльца, которую они переносят на рыльца других цветов. Но все же надо сказать, что случаи опыления цветов животными, а не насекомыми, сравнительно редки.

Наконец, у водных цветковых растений опыление производится с помощью воды. На рис. 215 изображено замечательное растение валлиснерия (*Vallisneria spiralis*), встречающееся у нас в Подольи, Херсонщине. На дне небольших рек это растение образует целые подводные луга; оно может размножаться вегетативно, побегами, а также и семенами. Валлиснерия — двудомное растение.



Рис. 213. Опыление у юкки (Юсса). А — ветка из соцветия юкки: средний цветок раскрылся, нижний после опыления замкнул, остальные в стадии бутонов. Б — моль-опылительница (*Prohuba jussacella*). В — цветок юкки с молью (три лепестка удалены).

Пестичные цветы у нее на длинных, спирально закрученных цветоножках. Ко времени цветения спираль раскручивается, благодаря чему цветоножка удлинится и выносит женский цветок на поверхность воды. На рис. 216 вы видите раскрывшийся околоцветник и крупное трехраздельное рыльце. Пыльниковые цветы развиваются под водой, они на коротких цветоножках и образуют целое соцветие. По созревании отдельные пыльниковые цветки отрываются от соцветия и всплывают в виде очень мелких шариков наверх, на поверхность воды, и здесь они раскрываются, обнажая пару тычинок с клейкой пылью. Движением воды цветы подгоняются к раскрытым пестичным цветам, и пыльники приходят в соприкосновение с крупными рыльцами. После опыления цвето-



Рис. 214. Перекрестное опыление с помощью колибри.

ножки пестичных цветов снова скручиваются, тем самым снова втягивая цветок под воду, где и происходит созревание плода.

[Избирательность оплодотворения. Как установлено теорией стадийного развития акад. Т. Д. Лысенко, каждая клетка организма обладает избирательностью в отношении внешних условий. Нам известна избирательность плазмы при поступлении веществ в клетку.

Несомненно, и половые клетки (гаметы) обладают избирательностью. Соединяются гаметы, наиболее приспособленные друг к другу биологически. В пределах одного цветка, а тем более одного сорта или вида растения гаметы будут, конечно, разнокачественными, благодаря индивидуальной изменчивости.



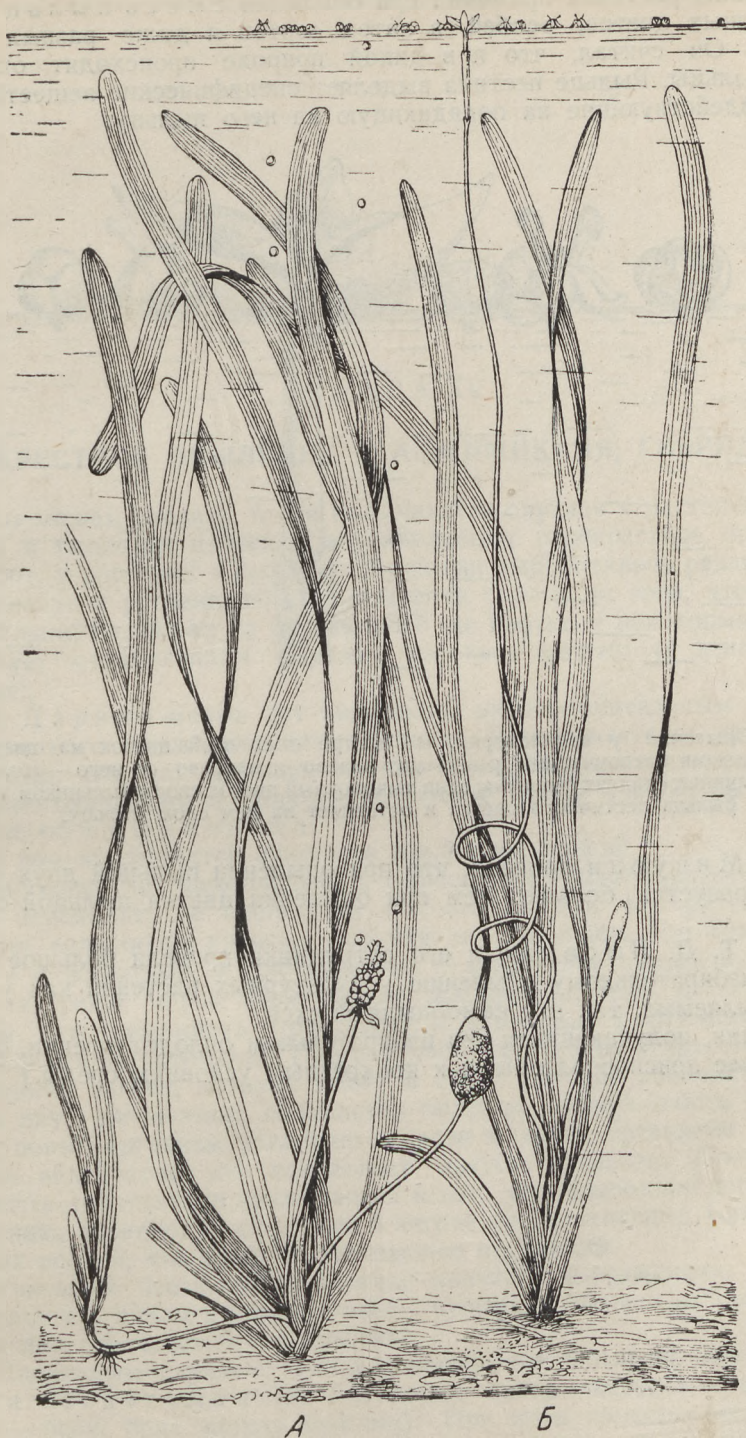


Рис. 215. Двудомное растение валлиснерия (*Vallisneria spiralis*). А — тычиночный экземпляр, от соцветия под водой отрываются в виде маленьких шариков; пыльниковые цветы и всплывают на поверхность воды. Б — пестичный экземпляр, отдельные цветы на длинных спирально закрученных цветоножках ко времени цветения выносятся на поверхность воды (см. след. рис. 216).

И. В. М и ч у р и н, исходя из этих предложений, в своей работе по скрещиванию растений применял при опылении смесь пыльцы, взятой с разных цветов, особей, а затем сортов и даже разных видов растений. Он считал, что и в дикой природе происходит опыление смесью пыльцы. Рыльце пестика выделяет специфические вещества, различно воздействующие на попадающую на него пыльцу.

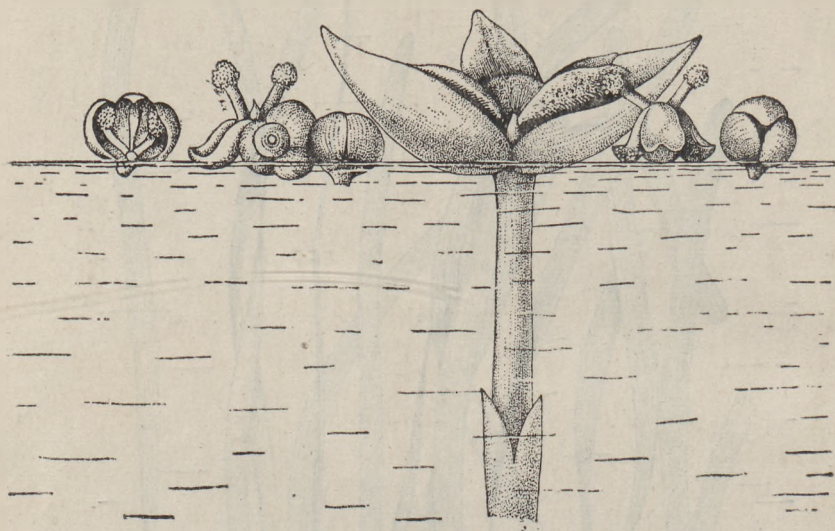


Рис. 216. Опыление у валлиснерии. В центре пестичный цветок на цветоножке с тремя крупными бахромчатыми рыльцами; налево и направо от него — тычиночные цветы в различных стадиях развития; один тычиночный цветок своим пыльником касается рыльца пестичного цветка и оставляет на нем свою пыльцу.

И. В. М и ч у р и н показал, что при опылении пыльцой двух сортов плодов образуется больше, чем при опылении цветка пыльцой одного сорта.

Акад. Т. Д. Лысенко и его сотрудники провели большое число работ по избирательному опылению у культурных растений как у перекрестноопыляемых, так и у самоопыляющихся.

Растения, получающиеся при избирательном оплодотворении, оказываются более приспособленными к конкретным условиям среды.]

ГЛАВА XV

ПЕРЕКРЕСТНОЕ ОПЫЛЕНИЕ И АМФИМИКСИЯ; ГИБРИДИЗАЦИЯ

Мы можем сказать, что в большинстве случаев у растений строение цветов и биология цветения обуславливают перекрестное опыление и, наоборот, у растений в процессе эволюции выработались различные приспособления к устранению самоопыления вплоть до того, что собственная пыльца, попавшая на рыльце того же цветка у некоторых растений, действует отравляющим образом на весь цветок (у некоторых орхидных).

Ч. Дарвин много лет занимался экспериментальным изучением перекрестного опыления и самоопыления. В результате он пришел к заключению, что, как правило, именно перекрестное опыление обеспечивает многочисленное и здоровое потомство. Затем в науку было введено понятие об амфимиксии.

В чем заключается сущность амфимиксии?

Зародыш, при самоопылении, выросший из зиготы одного растения, будет передавать по наследству все особенности материнской особи. Хорошо, если особь крепкая, сильная, но мы знаем, что каждый организм — и животный, и растительный — испытывает различные внешние влияния среды; мороз, зной, засуху; вредные влияния, действующие на клетки, будут вызывать отрицательные изменения в организме, которые отражаются на потомстве. При переносе же пыльцы с другого индивида получается зигота, которая имеет в своем составе наследственные зачатки двух организмов; получается большая разнородность состава зиготы, новый организм усиливается; если в одном организме был какой-нибудь недостаток, его исправляет другой организм. Следовательно, сущность амфимиксии заключается в том, что, благодаря перекрестному опылению, происходит смешение в зиготе наследственных [свойств] двух разных особей, что ведет к обновлению организма.

Учитывая чрезвычайно важное значение амфимиксии, мы можем расположить цветы в определенные группы по степени их приспособленности для перекрестного опыления.

Идеальным случаем, когда перекрестное опыление неизбежно, является ксеногамия (от греческого слова «ксенос» — чужой, «гамос» — брак, брак между чужими). При этом пыльца всегда переносится с других растений, зигота всегда образуется половыми клетками, принадлежащими двум различным особям.

Какие растения будут ксеногамны? Например, у тополя, ивы тычиночные и пестичные цветы строго разделены и развиваются на разных особях, такие растения называются двудомными. На рис. 217 изображено два цветка тополя: один цветок плодущий (пестичный), вы ви-

дите завязь, короткий столбик, рыльце. Никаких тычинок — микроспорофиллов — нет. В другом цветке вы видите тычинки, но нет завязи с рыльцем.

Всем известен украинский пирамидальный тополь, который занесен туда не так давно. Этот тополь дает только сережки с тычиночными цветами и совершенно не приносит таких сережек, которые бы имели завязь и давали бы плоды. Тополя хорошо размножаются черенками, черенки были взяты первоначально от пыльниковых деревьев, и, следовательно, все пирамидальные тополя получились пыльниковые.

Из травянистых растений двудомными являются конопля, крапива и некоторые другие.

Гейтоногамия — это тот случай, когда насекомые или ветер переносят пыльцу с цветка на цветок в пределах одного и того же растения. Например, у моркови цветы собраны в соцветие — сложный зонтик; мухи ползают по всему соцветию, они переносят пыльцу, взятую на одном цветке, на рыльце соседнего цветка. Этот тип опыления приводит к слиянию гамет двух цветков одного, но не двух растений.

Береза — ветроопыляемое растение (рис. 218). Весной вы видите длинные бурые пыльниковые соцветия — сережки, которые свисают с ветвей и дают массу пыльцы, затем вы видите маленькие, прямо торчащие зеленые сережки, несущие пестичные цветы с красными рыльцами. Эти сережки потом дадут плоды. Береза относится к числу однодомных растений, т. е. таких, у которых раздельнополые цветы — тычиночные и пестичные — находятся на одной и той же особи. Здесь, наряду с ксеногамией, т. е. переносом пыльников цветением с одного растения на другое, вполне возможна гейтоногамия, т. е. опыление цветов с созревшими рыльцами пыльцой цветов тычиночных сережек той же самой березы.

Рис. 217. Двудомное растение — тополь (*Populus*). А — тычиночная сережка; Б — отдельный тычиночный цветок; В — пестичный цветок; р — рыльце.

Не надо думать, что деление на ксеногамию и гейтоногамию — абсолютное деление: нередко происходит и то и другое. Абсолютного противоположения нет, кроме того случая, когда имеются двудомные растения.

Мы все-таки различаем эти случаи и говорим, что наиболее идеальный случай — это ксеногамия, потому что при этом получают более крепкие здоровые семена.

При гейтоногамии гаметы не всегда могут вызвать к жизни новое поколение, например, у льнянки (*Linaria vulgaris*) семена вовсе не образуются, если цветок опылен пыльцой другого цветка, но с того же самого растения.

Ксеногамия поддерживается следующими способами: среди расте-

ний мы находим много таких, у которых цветы раскрываются не одновременно — когда один цветок раскрыт совершенно, другой находится еще в бутоне, между ними перекрестное опыление невозможно. Или мы видим, что в одном цветке пыльники раскрылись, а рыльце еще не созрело для восприятия пыльцы, и когда уже вся пыльца улетит, раскрывается рыльце, которое, таким образом, может опылиться только с другого цветка. Вот этот случай одновременного созревания тычинок и пестиков — очень обыкновенный — получил название **дихогамии** (дихо — отдельно, гамос — брак).

Хороший пример дихогамии дает подорожник (*Plantago*, рис. 219). У него цветы собраны в длинное колосовидное соцветие; на самой верхушке находятся бутоны, не раскрытые цветы; несколько ниже

находятся цветы, которые дали белые тонкие рыльца, а тычинки их еще скрыты внутри цветка; еще ниже — цветы, из которых высовываются на длинных нитях вполне развитые пыльники, рыльца этих цветов уже увяли. Наконец, самые нижние цветы уже отцвели и завязали плоды. При дихогамии мы различаем два типа цветов: 1) цветы **протерандричные** (протерос — первый, анер — муж), у которых сначала развиваются тычинки и дают пыльцу, а позднее созревают столбики (гвоздика *Dianthus*, колокольчик *Campanula* и др.); 2) цветы **протерогиничные** (протерос — первый, гине — женщина), у которых сначала раскрывается рыльце, после увядания рыльца созревают тычинки с пыльцой. Примером протерогинии является подорожник. При дихогамии, несмотря на обоеполость цветов, должно преобладать перекрестное опыление, но полной амфи-миксии уже нет. Затем имеем случай гетеростилии (разностолбчатости, гетерос — ранний, стилис — столбик).



Рис. 218. Однодомное растение — береза (*Betula verrucosa*). А — ветвь с тычиночными (m.c) и пестичными (p.c) сережками. Б — ветвь со зрелой сережкой (z.c), несущей плоды. В — часть соцветия (дихазий) с тремя пестичными цветками. Г — часть тычиночной сережки (дихазий) с тремя тычиночными цветками.

На рис. 220 изображены цветы первоцвета (*Primula*), у которых имеются и рыльца, и пыльники; казалось бы, опыление вполне возможно между цветами одного и того же растения. Цветы разных особей первоцвета по внешнему виду похожи, но если посмотреть сверху в трубку венчика, вы увидите у одних особей в трубочке шарообразное рыльце, а тычинок не видно, у других же особей видна группа пыльников, но не видно рыльце. Если вы вскрыете трубку венчика, то обнаружите, что там, где видны тычинки, рыльце находится на очень коротком столбике далеко в глубине цветка, а там, где видно рыльце, тычинки очень короткие, и пыльники находятся в середине трубочки. Такие цветы обычно функционируют как разнородные (двудомные). Насекомые, прилетаю-

щие за медом, доставая мед, касаются пыльников, обсыпаясь пылью, уносят ее, а затем, беря мед у цветка длинностолбчатого, упираются



Рис. 219. Дихогамия (разновременное созревание пестиков и тычинок) у подорожника (*Ranago media*). А — общий вид растения. Б — отдельное соцветие подорожника: в самой верхней части — еще закрытые бутоны (б), несколько ниже — из закрытых цветов выставляются готовые к опылению столбики с рыльцами (р), еще ниже — столбиков уже нет, но зато хорошо заметны длинные тычинки с пыльниками (п) и околоцветник. Самые нижние цветы отцвели (о. ц.).

в рыльце, и на него насыпаются пылинки цветени другого цветка. Пылинки цветени у длинностолбчатых цветков более мелкие, чем у короткостолбчатых. Наилучшие результаты достигаются, когда пыльца из

длинностолбчатых цветков падает на рыльце короткостолбчатых, и наоборот.

Эти случаи, обеспечивающие ксеногамию: двудомность, диогогамия, гетеростилия — показывают, что ксеногамное опыление между различными особями широко распространено у целого ряда растений; гейтоногамия — перенос пыльнок цветками с цветка на цветок одного и того же растения — действует несколько слабее, потому что здесь мы имеем однородность сливающихся гамет.

У некоторых растений [зародыш развивается при опылении собственной пылью.] В этом случае происходит автогамия или самоопыление.

На рис. 221 изображено маленькое сорное растение, растущее во ржи — мышехвостник (*Myosurus minimus*).

Это растение имеет мелкие, невзрачные желтовато-зеленые цветы, которые не привлекают насекомых, хотя мед в цветке имеется. Коническое цветоложе в таком цветке несет многочисленные плодолистки, каждый с собственным рыльцем, тычинки окружают гинецей. Пыльники, раскрываясь, направлены щелью внутрь, упираются прямо в гинецей. Сначала цветоложе не превышает тычинок, затем оно начинает расти, постепенно удлиняясь, проводит крючковатые рыльца отдельных завязей мимо раскрывшихся пыльников, и при этом каждое рыльце механически получает полную порцию пыльцы. Здесь совершенно обеспечена автогамия. Цветок (околоцветник) является приспособлением к перекрестному опылению, но так как здесь перекрестного опыления обычно нет, цветок мышехвостника упростился, — он мелкий и невзрачный.

Рис. 221. Мышехвостник (*Myosurus minimus*). А — общий вид. Б — отдельный цветок.

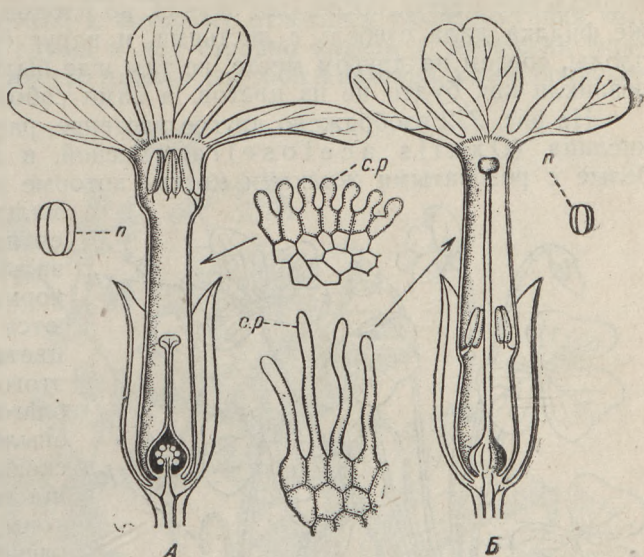


Рис. 220. Гетеростилия (разностолбчатость) у первоцвета (*Primula officinalis*). А — короткостолбчатый цветок; n — его пылинка цветени (микроспора) и сопочки рыльца (с. р). Б — длинностолбчатый цветок: его пылинка цветени (n) и сопочки рыльца (с. р).



Дальше имеется еще более постоянный случай самоопыления, который называется клейстогамией (клеистос — закрытый, замкнутый). Клейстогамия приводит к тому, что процесс опыления и оплодо-

творения обязательно происходит в пределах одного закрытого, никогда не раскрывающегося цветка.

Линней, изучая род фиалок, назвал одну фиалку «чудесной» (*Viola mirabilis*). Он заметил, что весной у этой фиалки развились нормальные цветы, потом они завяли, но плодов не было, а позднее эта же фиалка дала стебель с листьями, и вдруг среди листьев появились плоды, совсем на другом месте, не там, где были весной цветы. Плоды возникли как будто не из цветов, а сами собой.

На рис. 222 изображено другое растение, растущее в наших лесах — кислица (*Oxalis acetosella*). Весной, в мае, это растение дает



Рис. 222. Кислица (*Oxalis acetosella*): х. ц — хазмогамные (открытые) цветы; к. ц — клейстогамные цветы (закрытые, похожие на бутоны) цветы, внутри которых происходит самоопыление и самооплодотворение); ч. л — сочные чешуевидные листочки на корневище.

белые с розоватыми жилками цветы, которые имеют совершенно нормальное строение, опыляются насекомыми и могут давать плоды. Такие открытые нормальные цветы называются хазмогамными цветами. Весенние плоды этого растения получаются благодаря перекрестному опылению — ксеногамии. Несколько позднее от корневища появляются зеленые бутоны, которые никогда не раскрываются, лепестков не имеют, а через некоторое время оказывается, что в них образуются плоды; упруго раскрываясь, плоды эти выбрасывают семена. И в этом случае, как у «чудесной» фиалки, семена получились как будто без опыления цветов. В чем же тут дело?

Рассматривая пыльники внутри такого закрытого цветка, мы видим следующую оригинальную вещь: некоторые пылинки цветени

проросли; в пылевых трубках этих цветов настолько сильный тургор, что они прободают стенки пыльников, вырастают внутрь завязи и семяпочек, обеспечивая таким способом самоопыление и самооплодотворение. В результате получают семена, хотя открытых хазмогамных цветов могло и не быть. Дело в том, что эти растения цветут ранней весной, когда от заморозков все хазмогамные цветы могут померзнуть, или насекомые могут померзнуть и не опылить цветов. И вот, позднее, летом, появляются мелкие закрытые клейстогамные цветы, которые самоопыляются и дают семена путем самооплодотворения.

Клейстогамные цветы образуются и у некоторых наших культурных злаков — ячменя, пшеницы и овса.

Наконец, имеются растения с абсолютным отсутствием амфимиксии, — это растения, размножающиеся апогамно. Апогамией называется утрата способности к половому процессу; при этом развитие зародыша происходит без участия оплодотворяющих элементов.

Различают апогамию и партеногенез. Партеногенезом называют развитие зародыша из яйцеклетки без оплодотворения. На рис. 223 растение из семейства розоцветных — манжетка *Alchimilla* (алхимилла), — обычное растение наших лугов. Рассмотрим цветок

этого растения. На рис. 223, Б вы видите его мелкие листочки околоцветника, завязь, тычинки. Тычинки обычно с недоразвитыми пыльниками, а если пыльца в них иногда и образуется, то она не способна к прорастанию. После крупных, обычно ароматных цветов представителей семейства розоцветных, к которому относятся такие растения, как роза, шиповник, яблоня, груша и др., странно видеть у манжетки мелкие зеленые невзрачные цветы. Анализ цветков и явлений, в них происхо-



Рис. 223. Манжетка или алхимилла (*Alchimilla*). А — внешний вид растения. Б — отдельный цветок в разрезе.

дящих, показал, что у манжетки в зародышевом мешке зародыш развивается из яйцеклетки без оплодотворения, причем сама яйцеклетка диплоидная, так как она образуется без редукции.

При апогамии зародыш образуется не из яйцеклетки, а из других элементов зародышевого мешка, например, из синергид у ириса (*Iris*), манжетки (*Alchimilla*, рис. 224, Б), из антипод у лука (*Allium*); кроме того, зародыш может развиваться следующим образом: одна или несколько клеток нуцеллуса (ткань, окружающая зародышевый мешок) дают выросты внутрь зародышевого мешка (рис. 224, А), сюда

проходит содержимое клетки и, таким образом, начинается развитие ткани. Под влиянием благоприятных условий, которые имеются внутри зародышевого мешка, образовавшаяся, таким образом, группа клеток превращается постепенно в зародыш.

Иногда в зародышевом мешке образуется несколько зародышей, например, из яйцеклетки и синергиды, или из нескольких антипод, — это явление носит название **полиэмбрионии** (многозародышность) (рис. 224).

Партеногенез и апогамия, как уже сказано, ведут к полному отсутствию амфимиксии, т. е. к **апомиксии**. При апомиксии нет смешения

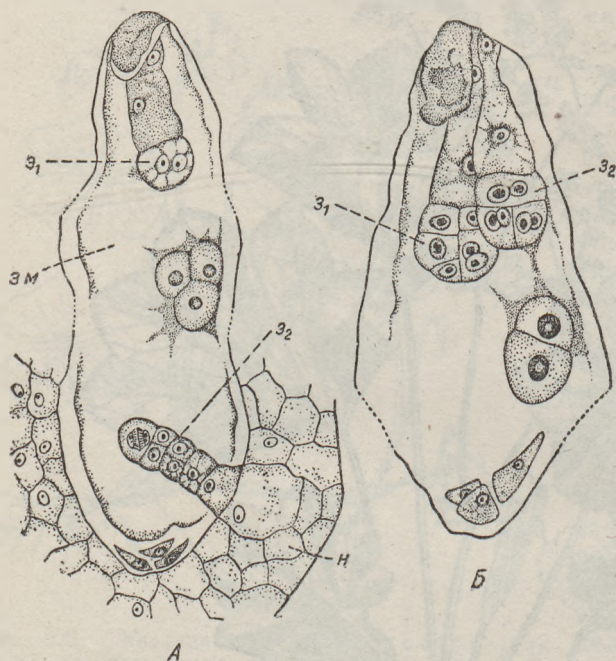


Рис. 224. А — зародышевый мешок с частью нукеллуса манжетки (*Alchimilla pastoralis*): з. м — зародышевый мешок; н — нукеллус; з₁ — зародыш, развивающийся из неоплодотворенной яйцеклетки; з₂ — второй зародыш из клетки нукеллуса. Б — зародышевый мешок манжетки (*Alchimilla sericata*): з₁ — зародыш из неоплодотворенной яйцеклетки и з₂ — зародыш из синергиды.

зародышевого вещества — половых клеток, выращенных двумя растениями; новый организм возникает из одной клетки, принадлежащей одной особи. При апомиксии мы не имеем коррективов, исправлений ко всем тем отрицательным изменениям в организме, которые связаны были с жизнью индивида.

Таким образом, мы имеем, с одной стороны, ксеногамию, которая является естественным, нормальным путем опыления, так как она обеспечивает амфимиксию; с другой стороны, апогамию или апомиксию — полную противоположность ксеногамии. Здесь опыление не играет никакой роли.

В процессе эволюции у цветковых растений выработалось громадное разнообразие цветов, приспособлен-

ных к различным способам перекрестного опыления. Насекомые и некоторые животные, ветер и вода переносят пылинки цветени с цветка на цветок, с растения на растение. В результате образуются здоровые семена, из которых вырастают крепкие, жизнеспособные особи.

Здесь совершенно естественно рождается вопрос: ограничивается ли амфимиксия только особями одной и той же породы? Нет ли случаев, когда в процессе оплодотворения соединяются две разные породы и не получится ли тогда еще более сильный организм? Действительно, при скрещивании различных, но близкородственных растений часто образуются семена, дающие потомство более мощное, чем то, которое возникает в результате нормальной ксеногамии. Подобные гибриды или помеси могут настолько отличаться от родителей, что их следует рассматривать как новые формы. В природе известны виды, которые возникли, повидимому, в результате гибридизации. Так, Линней дал розовому клеверу название *Trifolium hybridum* на том основа-

нии, что этот вид возник как гибрид между красным и белым клевером, сочетая признаки того и другого.

Человек издавна прибегает к искусственному скрещиванию для выведения новых сортов культурных растений. Если мы, например, желаем изменить окраску цветов — мы вводим в скрещивание растения, имеющие нужную нам окраску. Если мы хотим повысить сахаристость, кислотность и т. д., мы вводим в опыт растения, обладающие соответствующими признаками, получаем многочисленное потомство и из него отбираем те, которые нас удовлетворяют, так как только часть потомков дает нужные нам признаки.

Но между какими растениями возможна гибридизация, где граница, предел скрещиваемости разных форм? Обычно скрещивание хорошо удается между близкородственными организмами. Так, растения одного и того же сорта легко скрещиваются друг с другом. Осуществить межсортовое скрещивание уже труднее. Попытки межвидовой гибридизации удаются далеко не всегда, так как степень родства между двумя видами может быть весьма различной, а для успешного скрещивания необходимо сходство во внутренней организации и в биохимических свойствах скрещиваемых растений. Еще труднее добиться успеха при гибридизации межродовой.

Большое значение придавал гибридизации систематически отдаленных форм и добился в этом отношении выдающихся результатов И. В. Мичурин.

Коротко остановимся на характеристике основных методов преодоления нескрещиваемости, разработанных И. В. Мичуриным.

Одним из важных мичуринских методов преодоления нескрещиваемости является метод предварительного вегетативного сближения, представляющий собой комбинацию гибридизации с прививкой. Сущность его заключается в том, что до того, как производится скрещивание, растения сращиваются друг с другом: черенки молодых сеянцев одного растения (например, груши) прививаются к ветвям кроны другого растения (например, яблони) или черенок рябины прививается на грушу. Привитый черенок (привой), находясь в течение нескольких лет под влиянием подвоя, изменяет свою природу, в результате чего скрещивание между ними, ранее неудававшееся, становится возможным.

Примером межродового гибрида, полученного И. В. Мичуриным, является интересный гибрид между вишней «идеал» и японской черемухой. Это растение, сочетавшее признаки вишни и черемухи, И. В. Мичурин назвал «церападусом» (*Cerapadus*).

Другой метод преодоления нескрещиваемости известен под именем метода посредника. При этом положительный результат достигается несколько «окольным путем», благодаря введению в скрещивание «посредствующего звена», применение которого приводит в конце концов к объединению в одном организме свойств двух разных видов, между собой не скрещивающихся. Так, для продвижения культуры персика (*Persica vulgaris*) на север, И. В. Мичурин пытался скрестить его с нашим диким монгольским миндалем бобовником (*Amygdalus napa*), но безуспешно. Удалось, однако, скрестить дико растущий местами в Америке так называемый «персик Давида» с монгольской расой бобовника. Полученный от этого скрещивания гибрид, отличающийся значительной выносливостью к морозам, и явился «посредником», так как он хорошо скрещивался с разными сортами культурного персика, давая морозоустойчивые потомки.

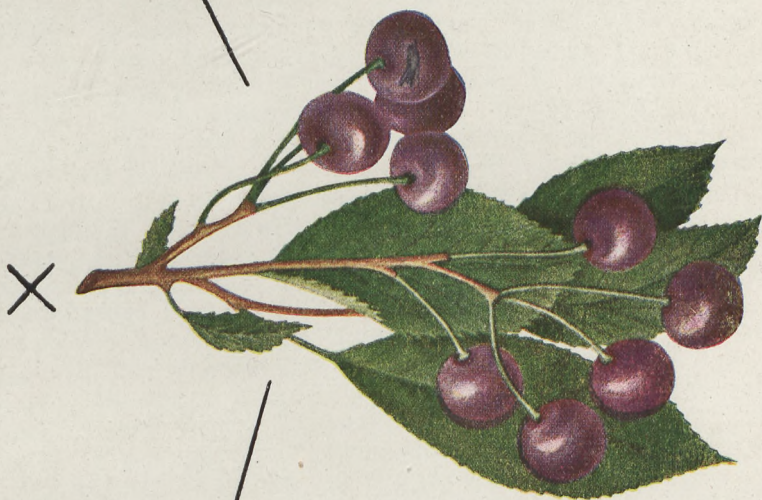
Наконец, в ряде случаев преодолеть нескрещиваемость далеких видов можно, применяя третий, разработанный И. В. Мичуриным метод — метод опыления смесью пыльцы. Если при опылении цветов одного вида пыльцой другого вида семена не образуются, то до-

биться этого иногда удается, нанося на рыльце смесь пыльцы разных видов, в том числе и того, с которым мы хотим скрестить данное растение. Этот, непонятный с первого взгляда, факт, очевидно, объясняется тем, что пыльцевые зерна растений разных видов, будучи нанесены на рыльце цветка другого вида, взаимно стимулируют друг друга к развитию и прорастают, давая пыльцевые трубки. Возможно, что это связано с выделением ими каких-то веществ типа ферментов, однако надо сказать, что вопрос этот изучен еще недостаточно.

Следует иметь в виду, что получением гибридных семян от скрещивания далеких видов работа селекционера еще далеко не заканчивается. Необходимо вырастить из этих семян гибридные растения и добиться того, чтобы эти гибриды плодоносили и давали семена. И. В. Мичурин в своей работе уделял особенно большое внимание тому, что он называл воспитанием гибридных сеянцев, понимая под этим определенный комплекс внешних воздействий на развитие растения с целью переделки его природы в нужном нам направлении. Для отдаленных гибридов главной задачей при этом является преодоление их бесплодия. Из разработанных растениеводами методов преодоления бесплодия уже полученных гибридов мы отметим здесь только мичуринский метод ментора (ментор — значит по-русски воспитатель). И здесь, так же как и при вегетативном сближении (см. выше), положительный результат достигается в результате сращивания двух растений, т. е. прививкой, причем в качестве ментора применяется в разных случаях то подвой, то привой. Так, как показал И. В. Мичурин, если привить в крону не плодоносящих гибридных сортов несколько черенков старых сортов, которые характеризуются обильным плодоношением, то это стимулирует первых к образованию плодов. В данном случае ментором являлся привой. В качестве примера применения в роли ментора подвоя можно привести следующий факт из работ Мичурина. Гибрид между японской черемухой (*Padus Maackii*) и алычей (*Prunus divaricata*) цвел, но плодов не приносил. Однако, когда он был привит на подвой черешни, — плодоношение началось. Мы видим, таким образом, что и метод ментора и метод предварительного вегетативного сближения имеют в своей основе одно и то же явление, а именно — взаимодействие привоя и подвоя. И. В. Мичурин широко применял метод ментора для улучшения и изменения природы растений. Так, прививка на подвой красной вишни гибрида от скрещивания Владимирской ранней вишни с белой черешней Винклера имела своим результатом то, что гибрид, вместо белых плодов, стал приносить плоды яркорозового цвета (ментор — подвой). Прививка на ветви гибридного сеянца от скрещивания яблони «Бельфлер желтая» с «Китайкой» нескольких черенков материнского производителя (Бельфлера) способствовала увеличению веса плодов, более позднему их созреванию и лучшей сохраняемости (ментор — привой) и т. п.

В науке с гибридизацией связано разрешение очень существенных и важных проблем наследственности. Этими вопросами много занимался Ч. Дарвин, уделявший им исключительно большое внимание. [Дарвин, разрешив вопрос о накоплении и развитии уже имеющихся в организме отклонений, не смог объяснить причин наследственности. Дарвин не смог решить вопроса о направленном изменении природы организмов, их наследственности. В основе своей материалистическое учение — дарвинизм оставлял в этом вопросе широкую возможность для возникновения идеалистических толкований.]

В последарвинский период для буржуазного естествознания характерно стремление выбросить из учения Дарвина его материалистическую сущность и, пользуясь противоречиями в дарвинизме, протащить в науку идеализм и метафизику.



Наиболее яркое выражение эти антинаучные, идеалистические идеи нашли в работах Вейсмана, а затем Моргана (вейсманизм-морганизм).

Вейсман в конце прошлого столетия утверждал, что существуют две категории живого вещества: наследственное вещество, или идио-плазма и питательное вещество, или трофоплазма, что носители наследственного вещества — хромосомы являются особым миром, автономным, не зависящим от условий жизни организма. Отсюда выводилось заключение, что наследственное вещество бессмертно и никогда вновь не зарождается и лишь непрерывно растет и размножается, переходя в неизменном виде от родителей к потомкам. Это учение разоружало человека в его практической деятельности, объявляя бесполезным его вмешательство в ход наследственности. В начале нашего столетия вейсманистами были воскрешены опыты по скрещиванию гороха Г. Менделя, проводившиеся им в 60-х годах XIX в.

В своих опытах Мендель якобы показывал невозможность появления у организмов новых наследственных свойств, возникающих как результат воздействия на организмы внешней среды.

Последователи Менделя и Вейсмана — Морган, Иогансен и другие менделисты-морганисты восприняли и развили концепцию о мифическом бессмертном наследственном веществе. Согласно их «теории» свойства, приобретенные организмами, не могут передаваться последующим поколениям, наследоваться. Внешняя среда, по их воззрениям, является лишь фоном для развития извечных свойств организма. Качественные свойства организма с их точки зрения совершенно независимы от условий внешней среды. Передовые ученые, у нас особенно К. А. Тимирязев, решительно боролись против признания «закона» Менделя универсальным законом природы. В одной из своих работ Тимирязев писал:

«Они (менделисты) пытаются видеть в работе Менделя над горохом новую эру в биологии, а в «менделизме» учение, которое следует ставить не только наравне с дарвинизмом, но считать призванным его упразднить... Закон или правило Менделя объясняет лишь, что происходит, когда при скрещивании двух форм признаки не сливаются, а взаимно исключаются»...¹

И. В. Мичурин, метко назвав правило Менделя «гороховым законом», показал, что оно неверно даже для гибридов гороха.

Признание менделистских правил за основной закон природы, развитие менделизма в свете учения Вейсмана приводило к полному отрицанию дарвинизма, к полному отрицанию развития в живой природе, к пониманию развития как процесса чисто количественных изменений.

И. В. Мичурин своими работами показал, что признаки, приобретенные растением, произрастающим в определенной обстановке — наследуются, и мы можем, изменяя условия жизни растения на определенных стадиях его развития, направленно изменять его природу, его наследственность.

Развитие идей И. В. Мичурина и разработка нового учения о наследственности принадлежат акад. Т. Д. Лысенко. Созданная им теория стадийного развития организма показывает тесную зависимость онтогенеза растения, его развития от условий жизни (см. выше — стр. 52). Организм и необходимые для его жизни условия представляют единство. Наследственность есть «свойство живого тела требовать определенных условий для своей жизни и определенно реагировать на те или иные условия». Развиваясь длительное время, в процессе его эволюции, растение строит свое тело на свой лад из окружающих его условий внешней среды. Если организм находит в окружающей среде все условия, соответствующие его наследственности, развитие его будет протекать так же, как и развитие его предков. При несоответствии усло-

¹ К. А. Тимирязев. Сочинения, т. VII, Сельхозгиз, 1939.

вий среды его природе организм вынужден ассимилировать эти несвойственные ему условия, он коренным образом изменит обмен веществ, что приведет к изменению породных, наследственных его свойств. Поэтому такого организма по своей природе будет в той или иной степени отличаться от своих родителей.

Таким образом, при изменении условий жизни изменится тип развития организма.

Управляя условиями внешней среды, можно направленно изменять растение, создавать формы с нужной для нас наследственностью. Однако нужные изменения получаются не сразу, старая наследственность не сразу сменяется новой наследственностью. Мы должны прежде всего добиться ликвидации консервативности наследственности, получить организмы с «расщепанной» наследственностью (по выражению И. В. Мичурина). Этого добиваются:

- 1) путем прививки (см. выше),
- 2) путем воздействия условиями среды в определенные моменты развития растения,
- 3) путем скрещивания форм, резко отличающихся по местобитанию.

В этих случаях мы получаем более пластичные организмы, с еще неустоявшейся наследственностью. Их нужно воспитывать далее при тех условиях, к которым мы хотим приспособить растение. Воспитывая их таким образом из поколения в поколение, мы достигнем определенных, нужных нам результатов. Поэтому Лысенко определяет наследственность так же, как ... «эффект концентрирования воздействий внешней среды, ассимилированных организмом в ряде предшествующих поколений». Никакая гибридизация не даст нужных нам результатов, если мы не создадим условий, соответствующих развитию тех свойств растения, которые мы хотим получить.

По учению же формальных генетиков-менделистов, наследственные свойства гибридных организмов — его природа — не зависит от условий воспитания.

Т. Д. Лысенко блестяще подтвердил справедливость развитых им положений. Им было осуществлено изменение яровых хлебов в озимые, путем яровизации их при пониженных температурах в течение ряда поколений.

Мичуринская генетика, полностью отвергая хромосомную теорию наследственности как несостоятельную, дает в руки человека могучее средство для изменения природы растительных и животных организмов в нужном для нас направлении, открывает неограниченные перспективы в создании новых форм растений и животных.

Дарвин блестяще разрешил вопрос о развитии уже имеющихся в природе уклонений, но вынужден был признать, что он не может объяснить причин и природы наследственности у организмов. Мичуринское учение дает возможность вызывать нужные нам изменения наследственности организма, исходя из познаний закономерностей развития организма в его единстве со средой. Управляя развитием организма, это учение дает возможность коренным образом изменять его природу.

Мичуринская биология — советский творческий дарвинизм — новый этап развития дарвинизма, поднявшая его на более высокую как теоретическую, так и практическую ступень.

Дарвинизм был наукой, объясняющей органический мир. Мичуринская биология есть наука о том, как его перестроить на пользу человечества.]

ГЛАВА XVI

СЕМЯ И ЕГО РАЗВИТИЕ. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ СЕМЯН К РАСПРОСТРАНЕНИЮ

После опыления и процесса двойного оплодотворения завязь превращается в плод, а семязачатки — в семена. Процесс двойного оплодотворения, как мы уже знаем, состоит в том, что из двух [спермиев один] сливается с яйцеклеткой, — образуется зигота, из которой развивается зародыш; [второй спермий] сливается с центральным (вторичным) ядром зародышевого мешка, — в результате образуется как бы вторая зигота, но из нее развивается не зародыш, а особая паренхимная ткань, в которой откладываются запасные питательные вещества. Эта ткань, получившая название эндосперма (что в переводе значит «внутрисемянник»), постепенно заполняет полость зародышевого мешка.

Начинает разрастаться и сам зародыш. Зигота (оплодотворенная яйцеклетка) делится поперечной перегородкой на 2 клетки; из верхней (той, которая находится ближе к микропиле — семязачатку) образуется нитевидный подвесок, состоящий из нескольких вытянутых клеток. Одним концом (верхним) подвесок прикреплен к оболочке зародышевого мешка, а на другом несет закругленную клетку, из которой и развивается зародыш. Значение подвеска заключается в том, что он проводит питательные вещества к зародышу и, кроме того, удлиняясь, подвесок продвигает развивающийся зародыш в глубь эндосперма, тем самым ставя его в лучшие условия питания. Впоследствии подвесок съезживается и отмирает.

Клетки зародыша дифференцируются на ткани и органы, причем первым формируется корешок. Развитие зародыша и прорастание семени требует прежде всего достаточного количества воды. Вода, проникая в семя, должна вызвать мобилизацию запасных питательных веществ семени, которые под воздействием различных ферментов (энзимов) из нерастворимых превращаются в растворимые (например, крахмал в сахар, белки в пептоны и т. п.) и в таком виде — в водном растворе — запасные питательные вещества становятся доступными всасыванию клетками зародыша. Так как корешок — это орган всасывания воды, то он первым и намечается у зародыша. После этого начинают развиваться и другие части зародыша: семядоли — первые зародышевые листочки и почечка — зачаток будущего побега. Число семядолей у покрытосеменных растений — признак весьма характерный. На основании этого признака (а с ним связан и ряд других признаков) покрытосеменные растения делят на два класса: односемядольные и двусемядольные. У односемядольных (однодольных) имеется одна верхушечная семядоля, а точка роста (место заложения почечки) находится сбоку (рис. 225, Б). У двусемядольных (двудоль-

ных) — семядолей две, по бокам зародыша, точка роста (почечка) помещается на верхушке, между ними (рис. 225, А). Таким образом, уже в семени вполне развитой зародыш имеет зачатки основных вегетативных органов: корешок с чехликом, семядоли, почечку, в которой можно различить точку роста стебля (конус нарастания) и зачаточные листочки. Промежуток между семядолями и корешком носит название подсемядольного колена (часто оно хорошо заметно у проростков двудольных растений, см. рис. 231). Для обеспечения притока питательных веществ развивающемуся зародышу, а также для отложения запасов в эндосперме, у разных представителей покрытосеменных растений в процессе эволюции выработались различные приспособления: например, из клеток подвеска, или из антипод, или из самих клеток эндосперма образуются длинные всасывающие органы — гаустории, которые выходят из зародышевого мешка в нуцеллус, в интегументы или ножку семяпочки и оттуда доставляют зародышу или в эндосперм питательные вещества.

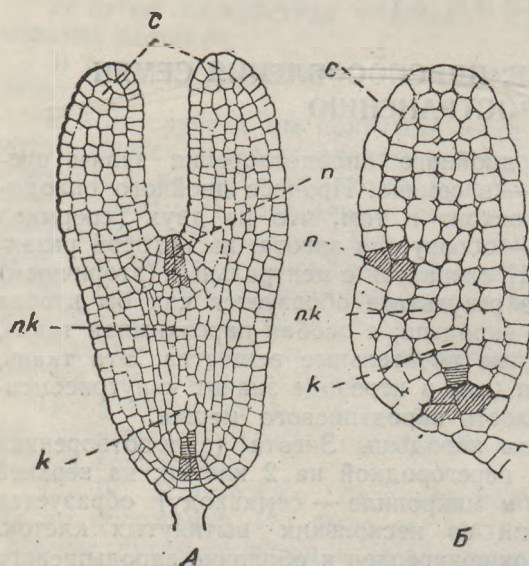


Рис. 225. Строение зародыша двусемядольных и односемядольных растений. А — строение зародыша двусемядольного растения: с — 2 семядоли; п — зачаток почки; п. к. — подсемядольное колено; к — корешок. Б — зародыш однодольных растений: с — единственная (верхушечная) семядоля; п — сбоку зачаток почки; п. к. — подсемядольное колено; к — корешок.

Часто в учебниках принято делить семена на: а) белковые и б) безбелковые; «белковыми» называют семена, имеющие специальную запасную питательную ткань — эндосперм; при этом иностранное слово «эндосперм» заменяют русским «белок» (вероятно, по аналогии с белком куриного яйца, который, так же как и эндосперм у растений, является запасным питательным материалом для зародыша). Семена, лишённые эндосперма, называют «безбелковыми». Однако не всегда у растений эндосперм содержит запасной продукт в виде белка (в химическом смысле), иногда в клетках эндосперма откладываются углеводы (крахмал, сахар, клетчатка), жиры или дру-

гие вещества. Поэтому в данном случае замена одного термина другим внесла путаницу в понятия. Некогда на заседании Ботанического отделения Петербургского общества естествоиспытателей выступил химик со своим недоумением: «во всех, говорит, книгах написано, что у гороха семена безбелковые, я же сделал химический анализ и обнаружил в семенах гороха до 30 проц. белка». Чтобы избежать путаницы в терминах, характеризуя семена в этом отношении, следует говорить, что они с «эндоспермом» или «без эндосперма», а не «с белком» или «без белка».

Однако как же развиваются и как построены те семена, у которых нет эндосперма, как они обеспечивают при прорастании развитие молодого растения?

Дело в том, что у некоторых растений, после оплодотворения, быстрый и энергичный рост зародыша подавляет развитие эндосперма. Если в начале эндосперм и образуется, то он потребляется быстро развивающимся зародышем. В таких семенах запасные питательные веще-

ства откладываются в теле самого зародыша, в его семядолях — первых зародышевых листочках, которые сильно разрастаются и заполняют всю полость зародышевого мешка.

Чтобы познакомиться с разными типами семян, рассмотрим несколько примеров.

Возьмем зерновку пшеницы. Зерновкой мы называем односеменной плод, у которого оболочка семени срастается со стенкой завязи (т. е. перикарпием). На продольном разрезе зерновки (рис. 226, А) мы увидим, что большую часть семени составляет эндосперм, а зародыш занимает незначительное место. Эндосперм у злаков состоит из двух запасных тканей: крахмалистой и белковой (рис. 226, Б; рис. 227). Главную массу эндосперма составляет крахмалоносная паренхимная ткань из тонкостенных клеток, набитых крупными и мелкими крахмальными зернами округлой формы. Белковая ткань эндосперма состоит из одного слоя клеток, расположенного под покровом семени по всей поверхности крахмалистой части эндосперма. Эти клетки, составляющие так называемый алейроновый или белковый слой, имеют почти квадратную форму и наполнены мелкими белковыми (алеироновыми или протеиновыми) зернами.

Рассматривая зародыш в семени пшеницы (см. рис. 226, Б), мы легко различим в нем корешок с уже намеченным чехликом и почечку с конусом нарастания и несколькими листочками. От средней части зародыша, промежуточной между корешком и почечкой, представляющей собой зачаток стебля, отходит единственная крупная семядоля, которая у злаков называется щитком. Щиток как бы ограничивает зародыш от эндосперма. На поверхности щитка, обращенной в сторону эндосперма, находится слой столбчатых клеток. При прорастании семени прежде всего происходит его набухание — поверхностная ткань семени прежде всего происходит его набухание — поверхностная ткань зерновки впитывает воду, которая проникает внутрь семени, в зародыш.

Рис. 226. А — продольный разрез через зерновку пшеницы (слабо увелич.): з — зародыш; э — эндосперм. Б — продольный разрез через зародыш и часть эндосперма (при большем увелич.) к. и щ — корешок с чехликом; щ — щиток, единственная семядоля с палисадным или столбчатым слоем клеток (с. к.); з. л — зачаточные листья почечки; к. н — конус нарастания стебля; п. к — подсемядольное колено; а. с — алейроновый слой и к. э — крахмалоносная часть эндосперма.

Столбчатые клетки щитка вырабатывают и выделяют фермент диастаз, переводящий крахмал эндосперма в сахар (рис. 228), и те же клетки щитка поглощают сахарный раствор, передавая его зародышу. В проросших семенах алейроновые зерна так же растворяются и идут на питание зародышу, как и крахмальные, тогда в клетках алейронового слоя становятся заметными крупные клеточные ядра, протоплазма и вакуоли с клеточным соком. Зародыш посредством щитка впитывает растворы питательных веществ, увеличивается в размерах; его корень пробивает поверхностную ткань зерновки, входит в землю и начинает усиленно всасывать воду. За счет запасных питательных веществ семени, приготовленных материнским растением, молодое растение быстро укореняется и дает первые зеленые листья. Переход от питания посредством щитка — семядоли — к питанию через корни и листья происходит постепенно и медленно; лишь тогда, когда растение достигнет значительных размеров и станет возможным автотрофное самостоятельное питание молодого растения, — прекращается его связь с семенем.

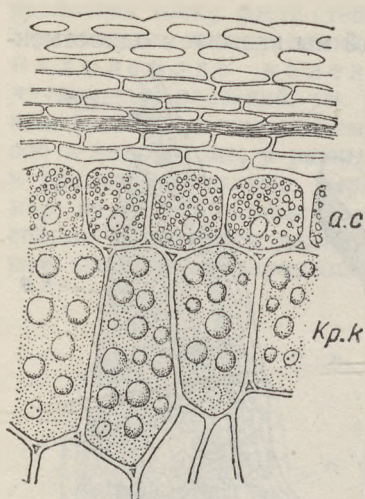


Рис. 227. Поверхностные слои пшеничного зерна. Снаружи — оболочка плода, сросшаяся с семенем, под нею — алейроновый слой (а. с) с мелкими зернами запасного белка, за ним — крупные клетки крахмалоносной части эндосперма (кр. к).

Итак, в пшеничном зерне содержатся два запасных питательных вещества: крахмал и белок, заключенный в алейроновом слое. Когда готовят очень

белую муку — крупчатку, — этот слой удаляют, оставляют только крахмал; в такой муке почти отсутствуют белковые вещества. Для здорового человека тут будет ущерб, — мука будет менее питательной. Но есть люди, больные диабетом — сахарной болезнью, — им назначается диета: полное отсутствие крахмала и сахара, употреблять хлеб запрещается. Вот если подобрать на мельницах образующиеся как отход при изготовлении муки-крупчатки отруби с алейроном и из этой массы испечь хлеб, — больной и диету будет соблюдать и в то же время будет иметь хлеб.

Если вы предъявите к пшеничному хлебу требования максимальной питательности, вы не будете добиваться его особенной белизны, а будете требовать того, чтобы молюли все зерно целиком, — только тогда, кроме крахмала, мука будет содержать и азотистые вещества.

Подобно пшенице, прорастают семена и многих других однодольных растений (например, пальмы, осоки, лилейные и пр.). Мы часто видим такие проростки (рис. 229), которые состоят из корешка, первого зеленого листочка, почки и ножки (черешка) семядоли, листовая часть которой лежит внутри семени, где находится эндосперм. Постепенно семядоли высасывают запасные вещества эндосперма, которые переходят в развивающееся растение, а затем семядоля отпадает.

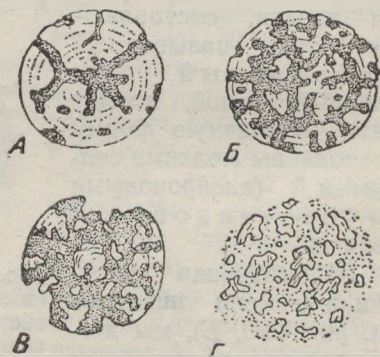
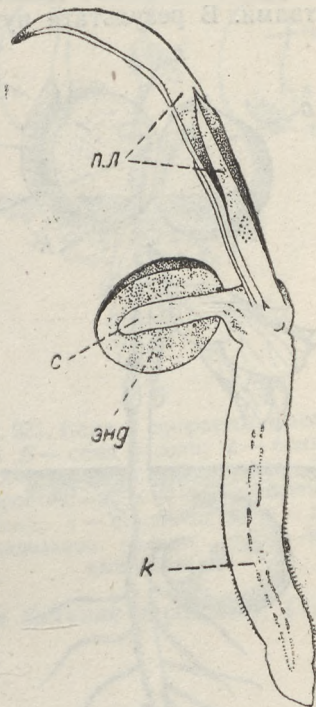


Рис. 228. Растворение пшеничных крахмальных зерен под действием диастаза (осахаривание крахмала).

Для того чтобы познакомиться с типом семян без эндосперма, возьмем размоченное семя гороха (*Pisum sativum*, рис. 230, А). Снаружи оно одето кожурой, представляющей собой разросшиеся интегументы семяпочки. Сняв кожуру, мы увидим лишь две крупные полушаровидные гладкие семядоли; раздвинув семядоли, обнаружим корешок и почечку зародыша; можно рассмотреть, что семядоли прикрепляются к семядольному колену, т. е. зачатку стебля зародыша, находящемуся между корешком и почечкой. В семенах гороха (и других бобовых растений) эндосперма мы не найдем, — все запасы питательных веществ сосредоточены здесь в первичных листьях зародыша, в двух его семядолях. В клетках запасной паренхимы, из которой состоит семядоли (см. рис. 234, I), находятся обильные крахмальные зерна овальной формы с концентрической слоистостью и нередко с центральной щелью; все промежутки между крахмальными зернами заполнены мелкими алейроновыми (белковыми) зернами и иногда каплями жира. У гороха семядоли из всасывающего органа превращаются в орган запасной. При прорастании семени гороха необходимые питательные вещества молодое растение будет черпать из семядолей. Очень быстро здесь возникают проводящие пучки, соединяющие семядоли с корешком и почечкой. Через некоторое время запасы, заключенные в семядолях, оказываются истощенными, семядоли сморщиваются и засыхают, но у молодого растения уже появились корешки и развернулись зеленые листья, обеспечивающие фотосинтез; в подкармливании оно больше не нуждается.



У гороха семядоли все время остаются под землей (рис. 230, Б). У других же бобовых, например, у фасоли (*Phaseolus*, рис. 231) при прорастании семени сильно удлиняется подсемядольное колено, которое выносит семядоли на поверхность земли. Оказавшись на свету, они зеленеют, некоторое время способны к фотосинтезу, но затем, по использованию заключенных в них запасов и с появлением зеленых листьев проростка, семядоли засыхают и опадают.

Рассмотрим семя другого двусемядольного растения — дурмана (*Datura*, рис. 232). Основную массу семени дурмана составляет эндосперм, среди которого расположен согнутый зародыш; вы видите его корень с конусом нарастания и чехликом, зачаток стебля с точкой роста и две изогнутых тонких семядоли. У семян такого типа семядоли не функционируют, пока зародыш не выйдет наружу: тогда на свету они зеленеют и выполняют функцию фотосинтеза до тех пор, пока не разовьются из почки зеленые листья молодого растения.

Рассмотренные примеры показали нам, что зародышевые листья — семядоли — у разных растений имеют различное строение и функции. Если семена с эндоспермом, семядоли или превращаются во всасывающие органы, которые остаются в семени и после его прорастания (пшеница), или они выносятся на поверхность и здесь, освещенные солнцем, зеленеют и превращаются в фотосинтезирующие органы (дурман). В семенах без эндосперма сильно разрастающиеся семядоли представляют

Рис. 229. Проросток однодольного растения: к — корешок; с — семядоль, остающаяся в эндосперме (энд) семени; п. л. — первые листья почечки.

собой вместилище запасов питательных веществ, за счет которых и развивается молодое растение; у одних растений подобные семядоли остаются под землей (горох), у других же выносятся на свет, зеленеют и выполняют функцию фотосинтеза (фасоль).

После оплодотворения, во время развития зародыша и эндосперма, нуцеллус («ядро» семечки) обычно исчезает, лишь у некоторых растений (например, у гвоздичных) клетки нуцеллуса после процесса оплодотворения начинают делиться и затем наполняются питательными веществами. В результате нуцеллус разрастается, и таким путем возникает



Рис. 230. Семя и проросток гороха. А — строение семени: к. с — кожура семени; с — семядоли; п — почечка; к — корешок; м. с. — место сочленения второй семядоли. Б — проросток гороха: семядоли остаются под землей.

ткань, богатая питательными веществами, окружающая зародыш. Эта ткань называется перисперм, что значит в переводе околосемянник. У нимфейных (кувшинковых) растений, к которым относится белая кувшинка, семена имеют и эндосперм и перисперм. В семенах яблони (рис. 233) эндосперм отсутствует, запасы сосредоточены в перисперме и семядолях, их клетки переполнены каплями жира и мелкими зернами белка.

По составу запасных питательных веществ семена классифицируют на несколько групп. Надо сказать, что основными запасными продуктами у растений являются: углеводы, белки и жиры. Обычно эти вещества в семенах различных растений присутствуют в разных соотношениях. По преобладанию того или иного запасного продукта, независимо от того, в каких органах запасы сосредоточены, различают:

1. Крахмалистые (или мучнистые) семена, — основным запасным продуктом является крахмал (главным образом, семена злаков — например, пшеница, рожь и др.). Они содержат и белок, но в меньшем количестве.

2. Белковые семена имеют большое количество белковых (алеироновых или протеиновых) зерен в сочетании с крахмальными зернами, таковы, например, некоторые сорта сои, семена фасоли, гороха.

3. Маслянистые семена с жирным маслом, которое обычно откладывается в виде капель в самой плазме; вместе с жиром в маслянистых семенах часто находятся и белковые (алеироновые)

зерна. Хороший пример подобных семян дает клещевина (*Ricinus communis*), из семян которой получают касторовое масло, используемое в медицине. В клетках эндосперма клещевины (рис. 234, А и Б), кроме масла, имеются крупные алеироновые зерна овальной формы, довольно сложного строения: снаружи — аморфная часть зерна, а внутри белок принимает форму кристалла. Возле кристалла белка находятся один или два—три маленьких шарика, называемых глобоидами. В состав глобоида входят кальций, магний и фосфорная кислота, поэтому его можно рассматривать как запас необходимых для растения элементов — фосфора, магния и кальция; предполагают, что глобоид

при набухании и прорастании семени, растворяясь первым, содействует растворению запасного белка, который идет на питание растущему зародышу.

Четвертую группу составляют такие семена, у которых запасы отлагаются в виде клетчатки. Лучшим примером этого типа являются семена бразильской пальмы (*Phytelephas mაცოცაგრა*), известные под названием растительной слоновой кости. Твердый эндосперм этих семян называют роговым (из него изготавливаются пуговицы, набалдашники для тростей и зонтиков). Изучение микроскопического среза рогового эндосперма показывает (рис. 235), что его клетки имеют небольшую полость и сильно утолщенные стенки, благодаря отложению запасной клетчатки на первичной оболочке этих клеток; их толстые стенки пронизаны хорошо заметными поровыми каналами, заполненными протоплазмой. Посредством этих каналов протопласты отдельных клеток эндосперма соединяются в одно целое. В период прорастания семян протоплазма клеток зародыша и эндосперма выделяет особый фермент — цитазу, который превращает запасную клетчатку в сахар, идущий на питание зародышу. Рого-

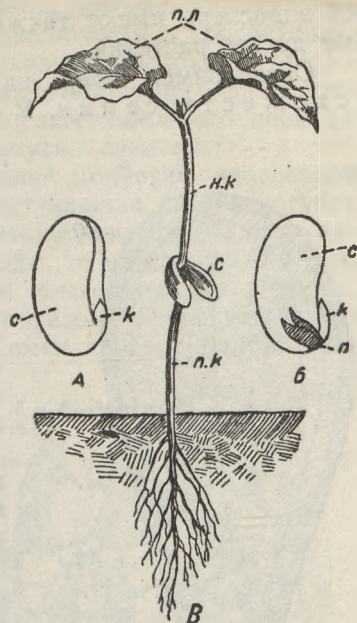


Рис. 231. Семя и проросток фасоли. А и Б — семя фасоли: с — семядоли; к — корешок; п — почечка. В — проросток: н. к — надсемядольное колено; с — семядоли; п. к — подсемядольное колено; п. л — первые листья.

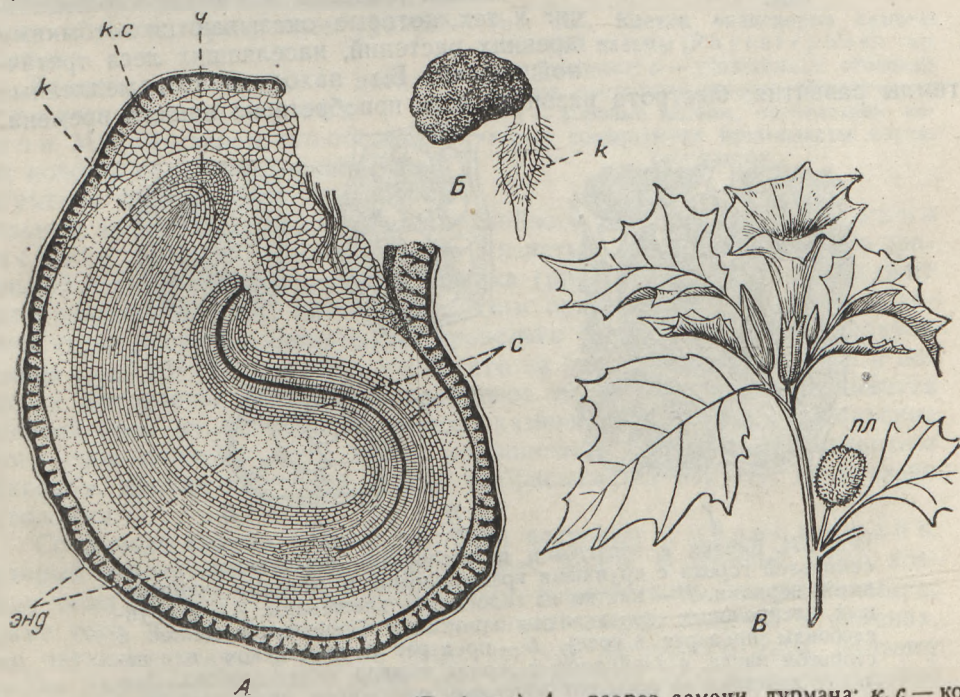


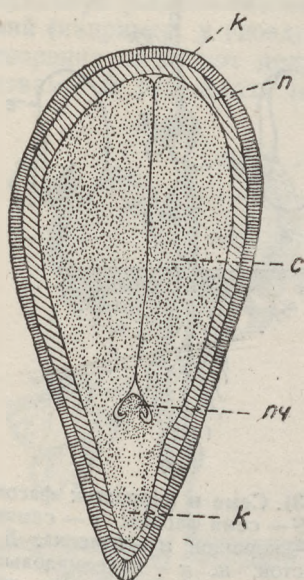
Рис. 232. Строение семени дурмана (*Datura*). А — разрез семени дурмана: к. с — кожурасемени; энд — эндосперм; с — семядоли зародыша; к и ч — корешок с чехликом. Б — прорастание семени дурмана: к — корешок. В — цветущая ветка дурмана с молодым плодом (п.л).

вой эндосперм имеют также семена финиковой пальмы, кофе и некоторые другие растения.

Остановимся теперь на вопросе о времени созревания и всхожести семян. У одних растений семена оказываются вполне зрелыми, всхожими уже в плодах на материнском растении. Мне пришлось однажды наблюдать растение мак (*Papaver*). Была дождливая осень, и вот в начале октября, когда погода была теплая, я увидел, что на грядках плоды-коробочки мака превратились в косматые головы. Что же оказалось? Семена в коробочке проросли и пробили ее стенку, вся коробочка покрылась зелеными ростками. Семена проросли, как только влага проникла внутрь плода, и смочила их.

Есть растения, у которых семена должны прорасти сейчас же после раскрытия плода, иначе они гибнут от высыхания; таковы, например, семена некоторых видов кислицы (*Oxalis rubella*). Имеется и обратное явление. Существуют растения, у которых семена всходят только через несколько лет. Это значит, что, когда эти семена отпали от материнского растения, зародыш в них еще не был достаточно развит, — семена не готовы к прорастанию. Созревание продолжается в покоящихся плодах и после отделения их от материнского организма иногда в течение долгого времени. У каких растений это чаще наблюдается? У тех, которые оказываются потомками древних растений, населявших леса третичной эпохи. Вы находите там медленные

Рис. 233. Продольный разрез через семя яблони: *к* — кожура семени; *п* — перисперм; *с* — семядоли; *пч* — почечка; *к* — корешок.



темпы развития; быстрота развития есть приобретение нашего времени.

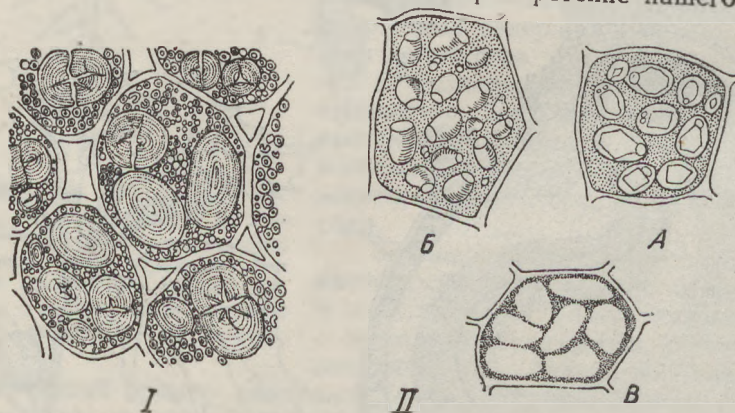


Рис. 234. Клетки с запасными питательными веществами. I — из семядолей гороха с крупными крахмальными и мелкими алейроновыми зёрнами. II — клетки из эндосперма клещевины: А — в крупных алейроновых зёрнах видны кристаллы белкового вещества и глобулы (препарат в воде). Б — препарат в пропанском или касторовом масле. в алейроновых зёрнах хорошо виден глобул. В — после действия на препарат раствором поваренной соли алейроновые зёрна растворяются, оставляя вместо себя вакуоли.

Некоторые растения сохраняют всхожесть семян поразительно долго; так, есть указания в литературе, что семена тропического расте-

ния кассия (*Cassia*) — представителя семейства цезальпиниевых (родственных семейству бобовых) — не утратили способности к прорастанию после 85 лет. Семена лотоса (*Nelumbo*) сохраняют всхожесть около 100 лет. Некоторым растениям свойственна так называемая «фракционная всхожесть семян», т. е. семена в течение вегетационного периода прорастают партиями через некоторые промежутки времени.

В чем биологическое значение этого явления? Допустим, что весной часть семян прорастает; но заморозки или наступившая засуха погубят все всходы; так как в земле еще остались невзошедшие семена, они дадут новые всходы, а если погибнут и эти всходы, то на следующий год, или через несколько лет, когда будут более благоприятные условия, взойдут оставшиеся в земле семена. Таким образом, оказывается, что одновременное созревание и прорастание семян спасает данный вид растений от возможной гибели (от вымирания).

Растянутая всхожесть семян свойственна многим нашим сорным растениям, — это надо учитывать в сельскохозяйственной практике, при организации правильной борьбы с сорняками.

Человек путем искусственного отбора получил семена культурных растений, например, хлебных злаков, которые всходят обыкновенно все одновременно, если их хранить как следует. Однако каждое явление имеет свою противоположность, так и здесь: в дождливую осень все семена в снопах, своевременно не убранных с поля, могут прорасти и, таким образом, сразу весь урожай погибнет.

Коснемся теперь деталей строения оболочки семени. Мы уже знаем, что оболочка, или кожура семени, возникает из интегумента (или покрова семяпочки).

Возьмем зрелое семя голосеменного хвойного растения тисса (*Taxus baccata*, рис. 236). Оно окружено мясистым присеменником или кровелькой в виде яркокрасного бокальчика (рис. 236, А), который служит для привлечения птиц, питающихся этим присеменником (листья и семена этого растения ядовиты, но кровелька безвредна). Изучая покров семени (рис. 236, Б), мы обнаружим, что на эпидермисе снаружи и в полостях его клеток отлагается пробковое вещество; под ним имеется мощный слой из нескольких рядов каменистых клеток. Назначение этого слоя понятно: семя тисса, защищенное прочным деревянистым покровом, пройдя кишечник птицы, выбрасывается наружу, не потеряв всхожести.

Созревшие семена многих растений вступают в период покоя, который у некоторых семян длится очень долго. В течение этого времени семя подвергается разнообразным воздействиям внешнего мира; кроме того, часто, благодаря обилию питательных веществ в семенах, ими питаются птицы и другие представители животного мира, поэтому семени постоянно грозит гибель, оно беззащитно. И вот, в результате естественного отбора у семени вырабатывается плотная, твердая кожура, снаружи кутинизированная или с опробковевшим эпидермисом, под которым нередко имеется как бы футляр из каменистых клеток.

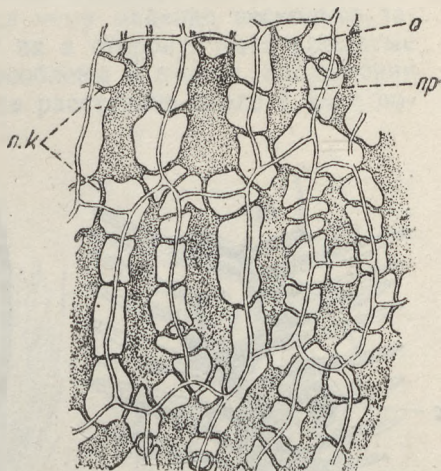


Рис. 235. Клетки эндосперма семени слоновой пальмы (*Phytelephas*): *пр* — протопласты; *о* — утолщенные оболочки клеток, состоящие из запасной клетчатки; *п.к* — поровые каналы, посредством которых соединяются протопласты соседних клеток.

Такой прочный наружный защитный покров семени препятствует всякому внешнему воздействию на зародыш и эндосперм.

В период покоя в семенах приостанавливаются жизненные процессы; однако нельзя утверждать, что в покоящихся семенах совершенно прекращаются все физиологические процессы. Опыты показывают, что в стадии покоя семя дышит, но потребляет чрезвычайно малое количество кислорода и выделяет чрезвычайно мало углекислого газа. Можно сказать, что обезвоженное, покоящееся семя находится в состоянии, близком к анабиозу; в нем не заметно проявлений жизни, но оно не теряет способности к активной жизни, которая пробуждается в нем при наличии соответствующих условий.

Мы знаем, что противоположности взаимно проникают друг в друга;

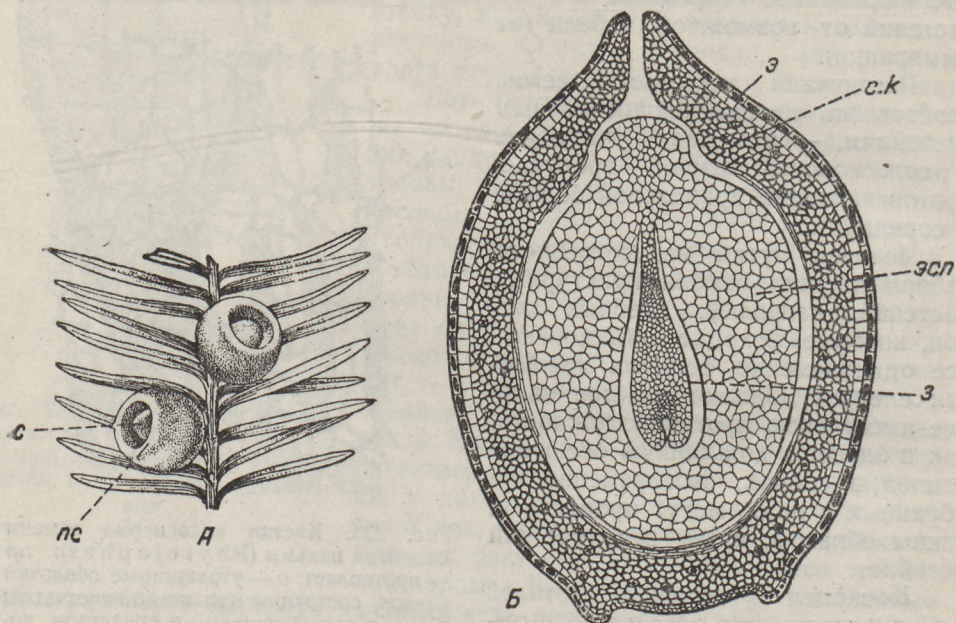


Рис. 236. Тисс (*Taxus baccata*). А — ветка тисса с семенами: с — семя; пс — мясистый присемянник. Б — продольный разрез через зрелое семя тисса: э эпидермис; с. к — слой каменных клеток; эсп — эндосперм; з — зародыш.

в стадии покоя семена физиологически почти неподвижны, в то же время они могут находиться в движении механическом. В самом деле, семена — это единственная легкая часть растения, которая является как бы органом движения прикрепленного к почве растения. Семена совершенно свободны, когда они отделяются от растения, они пассивно могут лететь по ветру, могут двигаться, странствовать.

В этой способности семян и плодов перемещаться в пространстве кроется огромный биологический смысл. Дело в том, что у растений, в процессе естественного отбора, выработалась способность к исключительной плодовитости, например, лебеда (марь) белая и заразиха (*Orobanchе simpa*), паразитирующая на подсолнечнике, дают около 100 000 семян, некоторые орхидные (*Махиллагия*) — 1½ миллиона семян, а плодоносящее дерево тополя может дать около 28 миллионов семян!

Для существования каждого вида растений чрезвычайно важно, чтобы многочисленные семена распространялись подальше от материнского растения. Попадая в разные условия, большая часть семян все же погибает, зато меньшая часть, оказавшаяся в более благоприятных ус-

ловиях, прорастает, развивается во взрослое растение, которое снова дает множество семян, обеспечивающих потомство и завоевывающих новые территории.

И вот мы видим, что у растений в процессе естественного отбора появились разнообразнейшие специальные приспособления к распространению семян и плодов.

Существует много растений, семена которых разносятся ветром, — их мы называем анемохорами (анемос — ветер, хорео — странствую). Обычно это мелкие, легкие семена, снабженные летательными приспособлениями. Возьмем семя сосны (рис. 237, А). У него тонкое крыло бледной окраски, нижняя часть которого окружает семя. Как распространяются подобные семена? На дереве они находятся на значительной высоте; выпадая из шишки, они спускаются вниз, делая при этом винтообразные движения, благодаря чему падение несколько замедляется, а ветер в это время относит их в сторону. Хотя крылатые семена сосны и не очень хорошо приспособлены к полету, наблюдения показали, что они могут быть отнесены на расстояние около 4 км с помощью ветра.

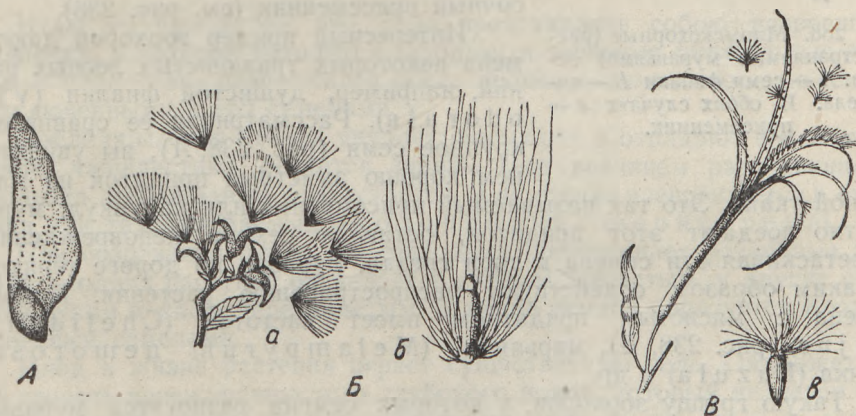


Рис. 237. Семена, распространяемые ветром (анемохоры). А — семя сосны. Б — ветка ивы с плодами (а), из которых высыпаются семена; б — отдельное семя с хохолком. В — раскрытый плод с семенами иван-чая (*Chamaenerium angustifolium*); в — отдельное семя с хохолком.

Возьмите семя ивы (*Salix*, рис. 237, Б). Вы видите, что у него за счет клеток эпидермиса образуется целый пучок волосков, называемый хохолком; такое семя, снабженное хохолком, называют обычно летучкой, так как хохолок является приспособлением для полетов с помощью ветра. Часто можно наблюдать такое явление: по берегам рек растет много ив, ветер подхватывает их легкие семена и осыпает ими вновь возникшую отмель, — вся отмель покрывается всходами ивы, и множество молодых растений заселяет эту отмель.

Когда вы едете во второй половине лета по железной дороге, вы часто видите около насыпи растения с кистью крупных яркорозовых цветков, — это кипрей или иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*). Мелкие семена с хохолком заключены у него в плод — длинную узкую коробочку. В сухую погоду коробочка раскрывается четырьмя створками (рис. 237, В) и из нее высыпаются семена-летучки, которые подхватываются и далеко разносятся ветром. Хорошо приспособленные к «путешествиям» семена этого растения обеспечивают широкое распространение; это повсеместное растение, встречающееся в лесах, на насыпях, у канав и дорог, появляется иногда в громадном количестве после порубки и лесных пожаров.

Иное строение имеют семена растений, которые разносятся животными; они называются зоохорами. Какими особенностями обладают эти семена? Прежде всего они представляют собой хорошую пищу; они имеют эндосперм, богатый питательными веществами. Такие семена собираются животными в большом количестве про запас, переносятся ими часто на большое расстояние. Например, белки и сойки питаются семенами («орешками») кедровой сосны (см. рис. 187). Делая запасы, они растаскивают эти семена, но по пути часть семян роняют на некотором расстоянии от материнского растения. Благодаря этому, процент взошедших семян увеличивается.

Семена, которыми питаются перелетные птицы, часто пристаю



Рис. 238. Мирмекохорные (распространяемые муравьями) семена. А — семя фиалки Б — чистотела. В обоих случаях а — присемянник.

клюву, оперению и лапкам и, таким образом, легко переносятся на громадные расстояния. Такие семена называются орнитохорными (от греческого орнис — птица, хорео — странствую, иду). К орнитохорным можно отнести и семена тисса, у которого приманкой для птиц является сочный присемянник (см. рис. 236).

Интересный пример зоохоров дают семена некоторых травянистых лесных растений, например, душистой фиалки (*Viola odorata*). Рассматривая ее сравнительно крупное семя (рис. 238, А), вы увидите на нем хорошо заметный придаток из мягкой

сочной ткани. Это так называемый присемянник или карункул; муравьи охотно поедают этот придаток, оставляя семена неповрежденными. Перетаскивая эти семена в свои гнезда, муравьи по дороге теряют их и таким образом содействуют распространению растения. Подобные семена с мясистым придатком имеет чистотел (*Chelidonium majus*, рис. 238, Б), марьяник (*Melampyrum nemorosum*), ожика (*Luzula*) и др.

Такую группу зоохоров, у которых семена разносятся муравьями, мы называем мирмекохорами (греческое мирмекс — муравей, хорео — странствую, иду).

ГЛАВА XVII

ПЛОДЫ

Итак, мы уже знаем, что семя представляет собою разросшуюся семяпочку, в которой находятся зародыш и запасные питательные вещества, а плод — это разросшаяся после процесса оплодотворения¹ завязь с заключенными в ней семенами.

После опыления цветок увядает; засыхают и отпадают его тычинки, венчик, чашелистики, остается завязь. Под влиянием развивающегося зародыша стебля завязь разрастается, и ее стенка превращается в стенку плода или так называемый околоплодник (перикарпий).

При созревании плода околоплодник претерпевает различные изменения: у одних растений он делается сочным, мясистым, у других становится сухим и даже деревянистым. В конце концов образуется плод, неподленный семенами.

Плод в жизни растения играет существенную роль. Он может способствовать переживанию того глубокого покоя, который является свойством многих семян; но в то же время плод может быть и органом передвижения, может содействовать распространению семян. Очень часто именно плод и берет на себя функцию движения, заселения новых пространств семенами данной породы.

Поэтому строение плодов, их морфологическая и биологическая классификация для нас также не безразличны.

Как и все морфологические классификации, классификация плодов на первый взгляд кажется только делом памяти. Однако это не совсем так: наша задача заключается в том, чтобы уметь выводить один тип плода из другого.

Бытовые термины не годятся для нашей классификации. Они очень ограничены и основаны на потреблении данных плодов. Поэтому, когда сведения о плодах начали приводить в систему, оказалось, что бытовые термины в систему не укладываются, и пришлось создавать научную номенклатуру, которая не совпадает с бытовой (как в этом мы убедимся на ряде примеров).

Надо, однако, сказать, что пока еще не существует единой общепризнанной научно разработанной классификации плодов. Поэтому мы ограничимся указанием некоторых существенных признаков строения плодов, которые принимаются во внимание при попытках построения классификации плодов. Учитываются следующие признаки:

1) многосеменной или односеменной плод;

¹ У некоторых растений (например, у культурных — винограда, citrusовых) образование плодов происходит без предварительного процесса оплодотворения, и тогда возникает бессеменные плоды. Это явление называется партенокарпией.

- 2) консистенция стенки плода — сухой или сочный плод;
- 3) раскрывающийся (созревший плод раскрывается и из него выпадают семена) или нераскрывающийся (околоплодник до прорастания окружает семя, оставаясь его второй защитной стенкой); у раскрывающихся плодов имеет значение способ раскрывания плода;
- 4) число плодолистиков, из которых образовался плод.

Основным исходным типом плода, наиболее древним по происхождению, является **ли ст о в к а** (рис. 239, А). Это — сухой многосеменной раскрывающийся плод, образованный одним плодолистиком. Здесь плодущий лист как бы сложен пополам вдоль своей длины; верхний конец средней жилки превращается в рыльце, а черешок — в ножку. Место срастания краев плодолистиков называется **брюшным швом**, здесь же — к краям плодолистиков — прикрепляются семяпочки; средняя жилка плодолистика носит название **спинного шва**. Раскрывается зрелая листовка по брюшному шву. Редко листовки в цветке образуются

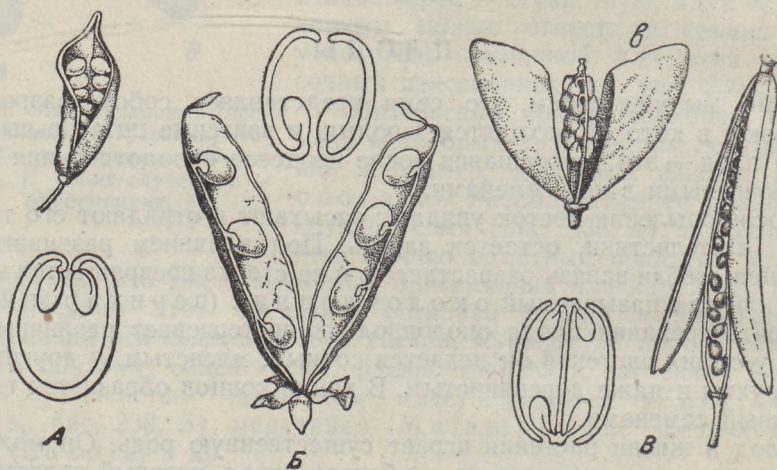


Рис. 239. Типы сухих раскрывающихся плодов и схемы их раскрывания. А — листовка; Б — боб; В — стручок; 8 — стручок.

по одной, чаще в одном цветке присутствует по несколько листовок, и тогда такой плод называется **сборной** или **сложной листовкой** [калужница — *Caltha palustris* (см. рис. 243, Б), водосбор — *Aquilegia*, борец — *Aconitum*].

От листовки мало отличается по виду плод **б о б** (рис. 239, Б).

Боб также является сухим многосеменным раскрывающимся плодом, образовавшимся из одного плодолистика, но в отличие от листовки семена у него прикреплены к спинному шву, и раскрывается он по двум швам — брюшному и спинному, или, как говорят, боб раскрывается двумя створками.

От боба нужно отличать **с т р у ч о к** (рис. 239, В). Это тоже сухой многосеменной раскрывающийся плод, но он образован двумя плодолистиками; края их, срастаясь, образуют как бы раму со срединной перегородкой, на которой сидят семена по обе стороны. При созревании стручка обе створки его отпадают, и семена некоторое время висят на перегородке.

Если боб свойственен семейству бобовых (горох, фасоль, бобы, соя, акация), то стручок характерен для крестоцветных растений (капуста, репа, горчица, сурепка).

Здесь мы встречаемся с очень резким противоречием в употреблении термина в быту и в науке. В общежитии смешно сказать «бобы го-

роха», обычно говорят «стручки гороха». Но нельзя назвать одним и тем же словом и плоды капусты и плоды гороха, так как они различны по происхождению и по строению.

Четвертый тип сухих раскрывающихся плодов, наиболее распространенный, — это коробочка. Лучше всего она представлена у мака (Р а р а в е г, рис. 240, А). Такая коробочка образуется из многих плодолистиков; каждый плодолистик кончается лопастью рыльца, совокупность которых образует как бы звездочку. Завязь внутри разделена неполными перегородками. Коробочка мака раскрывается дырочками, которые получаются таким образом: рыльца постепенно деревенеют, а стенки коробочки кожистые, они при высыхании сжимаются и открываются наверху от рыльца, образуются дырочки, через которые высыпаются семена. Гибкий стебель мака на ветру раскачивается и при каждом покачивании выбрасывает некоторое количество семян.

Есть, однако, сорта мака, специально созданные человеком, у которых в коробочке не образуются дырочки; плод остается закрытым, и семена не высыпаются из него.

Коробочки весьма разнообразны как по числу входящих в них плодолистиков, так и по способу их раскрывания и разбрасывания семян.

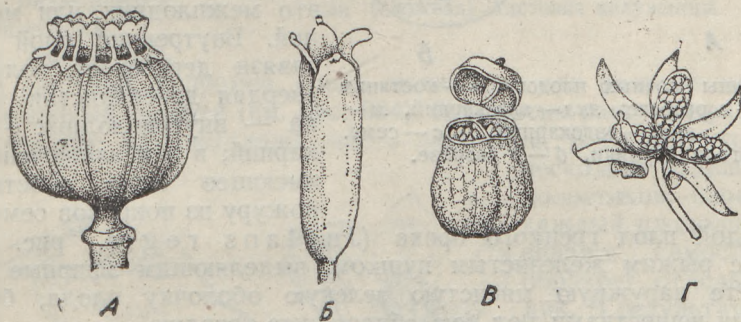


Рис. 240. Способы раскрывания коробочки. А — дырочками (у мака); Б — зубчиками (у гвоздики); В — крышечкой (у белены); Г — створками (у фиалок).

Есть коробочки, которые раскрываются на верхушке зубчиками (гвоздика — *Dianthus*, рис. 240, Б), или от верхушки коробочки отделяется специальная крышечка (белена — *Hyoscyamus niger*, рис. 240, В). Иногда коробочка растрескивается сверху донизу щелями по всей длине образующих ее плодолистиков; тогда говорят, что она раскрывается створками [фиалки — *Viola* (рис. 240, Г), дурман — *Datura* и др.].

Из многосеменных раскрывающихся сухих плодов путем уменьшения (редукции) числа семян до одной произошли односеменные закрытые плоды.

Основным типом этих плодов следует считать орех. Это сухой односеменной нераскрывающийся плод с деревянистым околоплодником, не срастающимся с семенем. Примером ореха является плод лещины — лесного ореха (каленый орех — *Corylus avellana*). К этому же типу относятся и такие плоды, как орешки гречихи (*Fagorus esculentum*), конопли (*Cannabis*); отличаются они лишь более мелкими размерами и менее одревенелыми стенками.

Семянка — односеменной сухой нераскрывающийся плод с кожистым или пленчатым околоплодником, у которого семя свободно лежит в полости завязи или плода; таков, например, плод подсолнечника (*Helianthus annuus*).

Зерновка отличается от семянки тем, что стенка завязи — околоплодник — сростается с семенем. Типичный пример зерновки дают наши злаки: рожь, пшеница и др.

Перейдем к сочным плодам. Они также могут быть односеменными и многосеменными (рис. 241).

Типом односеменных сочных плодов является костянка (вишня (*Cerasus vulgaris*), слива (*Prunus domestica*), абрикос (*Prunus armeniaca*) и др.).

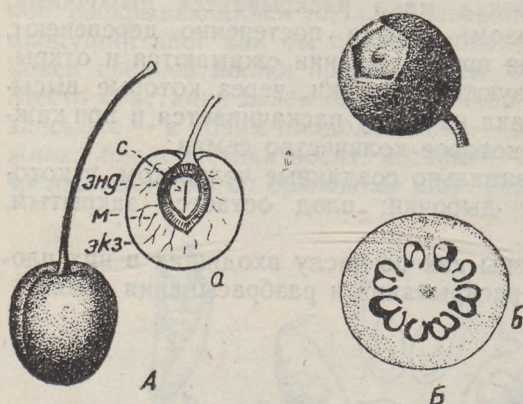


Рис. 241. Типы сочных плодов. А — костянка вишни, а — в разрезе: экз — экзокарпий, м — мезокарпий, энд — эндокарпий, с — семя. Б — ягода черники, б — в разрезе.

Молодой плод грецкого ореха (*Juglans regia*, рис. 242) — зеленый, с рыжим железистым пушком, выделяющим эфирные масла. Вы срезаете наружную мясистую зеленую оболочку плода, богатую дубильными веществами, под нею обнаружите твердую скорлупу — это внутренняя деревенеющая часть стенки плода, его эндокарпий; разбиваете эндокарпий и внутри его находите зародыш, состоящий из двух крупных семодолей с извилистой поверхностью, между ними маленький корешок. При прорастании корень пробивает стенку между обеими половинками скорлупы (в той части, где был семявход — микропиле). Скорлупа здесь принадлежит не семени, а плоду, который построен так же, как плод вишни, сливы; следовательно, у грецкого ореха плод тоже костянка, но не «орех», как его называют в быту.

Плод ягода (см. рис. 241, Б), по существу, является многосеменной мясистой коробочкой. Стенки завязи накопили здесь много сока, содержащего в себе сахар, кислоты (яблочную, лимонную), красящие вещества. Семена расположены среди этой сочной ткани. Если сравнивать ягоду с костянкой, то оказывается, что, кроме многосемянности, ягода отличается от костянки отсутствием деревянистого эндокарпия; здесь каждое семя развивает из покровов семяпочки собственную твердую кожуру, которая и защищает семя с зародышем. Если ягоду или костянку съест животное, семена не перевариваются, остаются живыми, проходя через кишечник животного; они не страдают от этого и затем могут прорасти. Когда такие сочные плоды падают на землю, влажная питательная среда из мякоти мезокарпия обеспечивает сохранность семени от высыхания и его питание при прорастании.

Перикарпий — стенка завязи — у костянки в процессе созревания семени дифференцируется на три слоя (рис. 241, А): наружный — в виде пленчатой кожицы, так называемый внеплодник, или экзокарпий; под ним сочный, мясистый слой ткани, накапливающий воду с растворенными в ней сахаром, кислотами и ароматическими веществами, — это межплодник, или мезокарпий. Внутренний слой стенки завязи деревенеет, получается твердая деревянистая косточка — внутриплодник — эндокарпий; в нем заключено семя, имеющее свою собственную кожуру из покровов семяпочки.

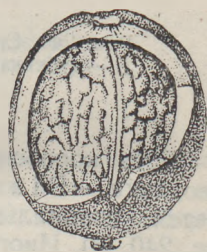


Рис. 242. Строение плода грецкого ореха: с передней части плода снята часть мезокарпия, виден деревянистый эндокарпий, внутри которого заключено семя.

В быту часто плоды земляники называют «ягодами» (см. рис. 248, А). Как произошел такой плод? Путем разрастания цветоложа. Здесь цветоложе сочное, мясистое, в нем содержатся сахар, яблочная кислота, ароматические вещества. Когда мы едим землянику, мы ценим в ней цветоложе, а не плод; плод земляники — это «принудительный ассортимент» в виде твердых сухих орешков, которые сидят на поверхности цветоложа, или, вернее, плодоложа (называемого иногда гинофором).

Интересно рассмотреть продольный разрез земляники (см. рис. 248, А); на нем вы видите ясно, как из центрального цилиндра отходят отдельные пучочки к каждому плодику — каждый плодик развивается самостоятельно.

Мы имеем целый ряд растений, например, среди лютиковых или розоцветных, имеющих апокарпный гинецей (см. рис. 204). Плод этих растений развивается таким образом: на цветоложе, часто выпуклом, реже вогнутом, сидят

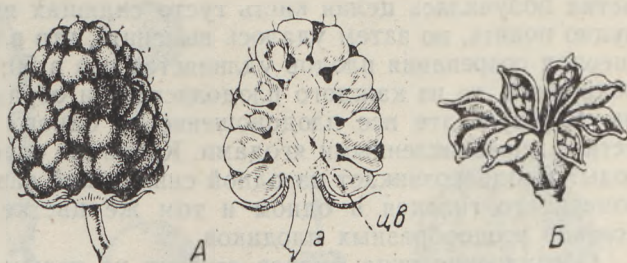


Рис. 243. Сборные (сложные) плоды. А — сборная (сложная) костянка малины, а — этот же плод в продольном разрезе: среднюю часть составляет сухое цветоложе (цв), на котором располагаются сочные плодики-костянки. Б — сборная (сложная) листовка калужницы.



Рис. 244. Цветы и плоды лимонника или шизандры (*Schizandra*). А — часть стебля с цветами. Б — цветок с апокарпным гинецеем. В — удлинившиеся цветоложе, несущее ягодообразные плодики.

несколько отдельных плодолостиков; впоследствии каждый плодолостик, развиваясь самостоятельно, образует отдельный плодик. В результате в одном цветке на цветоложе получается скопление нескольких мелких плодиков. Такие плоды, образовавшиеся из апокарпного гинецея, называются сложными или сборными. Примерами таких плодов и будут плоды земляники (*Fragaria*), лютика (*Ranunculus*), ветреницы (*Anemone*, см. рис. 204, Б), представляющие собою сборную семянку; плоды калужницы (*Caltha palustris*, рис. 243, Б), борца или аконита (*Aconitum*) и др. дают пример сборной листовки и, наконец, малина, морошка,

костяника и подобные им плоды являются сборной костянкой (рис. 243, А). Когда я начал работать в тайге на Амуре, я нашел там весной растение из семейства магнолиевых — лимонник китайский (*Schizandra chinensis*, рис. 244). Это — лиана, вьющееся растение. Оно имеет

небольшие белые с приятным запахом цветочки; они двудомные: на одном экземпляре — тычиночные, на другом — пестичные цветы. Затем я перешел в другую флористическую область и потерял это растение из вида. Я снова встретился с ним только в конце августа, когда оно дало уже зрелые плоды. Оказалось, что у этого растения образовались длинные кисти, несущие до 40 плодов, которые имели вид яркокрасных шаровидных сочных ягод кислого вкуса. Каким образом из одного цветка получилась целая кисть густо сидящих ягод? Сначала это было трудно понять, но затем удалось выяснить, что в этом цветке цветоножка в период созревания плодов удлиняется раз в 50; так как гинецей здесь апокарпный, то из каждого плодолистика и образовался отдельный плодик. В результате все плодоношение из одного цветка принимает вид кисти с многочисленными ягодами. Какое же здесь отличие от типичной ягоды? Ягода возникает из одной синкарпной завязи цветка, а здесь из апокарпного гинецея в одном и том же цветке образуется несколько десятков ягодообразных плодиков.

Обозначение типа плодов состоит не только в том, что мы хотим дать название плоду, но мы хотим отразить в названии его происхождение, динамику развития, мы стремимся восстановить историю предмета, который мы изучаем.

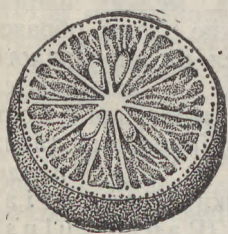
Итак, плод малины не представляет собою «ягоды», а является апокарпным плодом, т. е. комбинацией отдельных плодиков-костянок; следовательно, такой плод должен называться «сборная» костянка.

Куда, например, отнести плод огурца? Хотя это и сочный многосеменной плод, но это не ягода, потому что ягода имеет экзокарпий пленчатый, в виде тонкой шкурки, которую легко можно содрать, а огурец имеет верхний защитный слой очень толстый. Такой же плод имеют арбуз, дыня, тыква. Часто мякоть плода у них образуется из разрастающихся семяносец; подобные плоды называются тыквиной.

Типичную ягоду дает виноград (*Vitis vinifera*), помидоры (*Lycopersicon esculentum*), клюква (*Oxycoccus palustris*) и др.

Плод цитрусовых — лимон (рис. 245), апельсин, мандарин — можно назвать ягодообразным; теперь его называют еще померанец. Этот плод имеет снаружи экзокарпий, содержащий клетки с эфирным маслом, под ним — мезокарпий из белой рыхлой паренхимы. Плодолистики внутри плода образуют отдельные дольки, прикрытые собственным эпидермисом. Внутри на стенке завязи образуются сочные выросты — крупные клетки, совокупность которых и составляет сочную мякоть плода, среди которой и располагаются семена. В древней Греции и Риме знали эти плоды растущими только на западе, в Испании, поэтому называли их западными «вечерними» плодами — гесперидами (хесперис по-гречески — вечерний).

Рис. 245. Плод лимона (как пример плода цитрусовых — померанца или гесперидий).



От апокарпных (сборных, сложных) плодов нужно отличать дробные (распадающиеся) плоды и соплодия.

Дробными и называются плоды, образующиеся из одной завязи, которая при созревании распадается на несколько плодиков — обычно по числу семяпочек, заключавшихся в этой завязи. Таковы членистые бобы некоторых растений из семейства бобовых, например, копеечник — *Hedysarum* (рис. 246, А), членистые стручки крестоцветных, например, у дикой редьки — *Raphanus raphanistrum* (рис. 246, Б); у них плод распадается поперек на отдельные односеменные членики. Дальнейшая эволюция этого типа плода шла в направлении уменьшения

(редукции) числа семян до одной, и таким путем из многосеменного плода боб образовался односеменной закрытый плод, который следует называть уже — орешковидный боб (у клевера), или из стручка — орешковидный стручок — у неслии (*Neslia paniculata*, рис. 246, Г) или *Crambe maritima* (рис. 246, В) из крестоцветных.

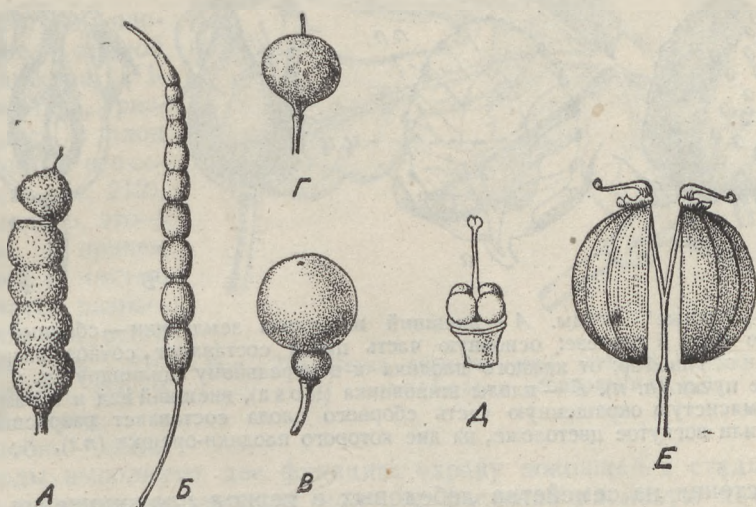


Рис. 246. Дробные плоды. А — дробный боб копеечника (*Hedysarum*). Б — дробный стручок крестоцветных (дикой редьки *Raphanus raphanistrum*). В — стручок морской капусты (*Crambe maritima*). Г — орешковидный стручок неслии (*Neslia paniculata*); (В и Г — как пример эволюционного изменения дробного стручка). Д — дробный плод из орешков (у губоцветных и бурачниковых). Е — двусемянка зонтичных.

У губоцветных (например, у глухой крапивы — *Lamium album*), у бурачниковых (например, у незабудки — *Myosotis*, рис. 246, Д) плод дробный, распадается на четыре орешка. Как он образовался? Завязь у них образуется из двух плодолистиков и вначале двугнездная; позднее возникает ложная перегородка, вследствие чего завязь делается четырехгнездной, а в каждом гнезде развивается по одной семяпочке. При созревании плода он распадается на четыре орешка. Дробные плоды имеются у зонтичных (рис. 246, Е) и в некоторых других семействах.

Соплодие образуется из целого соцветия, в котором все цветки или завязи срастаются между собою; поэтому от растения отделяются не отдельные плоды, а целиком все соплодие, например, у свеклы (*Beta vulgaris*) — соплодие из трех сросшихся цветков; у шелковицы *Morus* (рис. 247, А) все пестичное соцветие превращается в соплодие, в общежитии называемое «тутовая ягода». Типичное соплодие дает ананас (рис. 247, Б).

У некоторых растений в образовании плода участвуют не только завязь, но и другие части цветка, например, цветоложе, околоцветник.

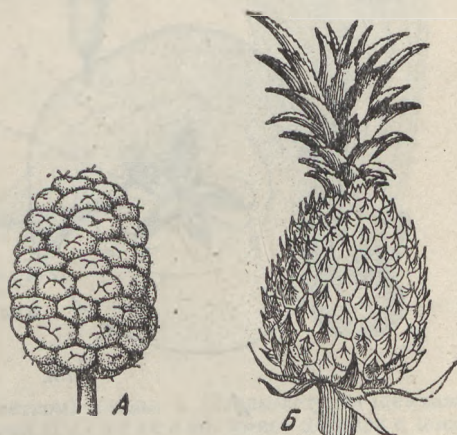


Рис. 247. Соплодия. А — соплодие шелковицы (*Morus*) и Б — ананаса.

У земляники съедобную часть плода составляет именно сочное выпуклое цветоложе (рис. 248), на котором сидят семянки (или орешки); у шиповника (*Rosa*) — вогнутое цветоложе (рис. 248) ко времени созревания плодиков-орешков, сидящих на дне его, делается тоже мясистым, ярко окрашенным, благодаря чему приобретает сходство с плодом. Неко-

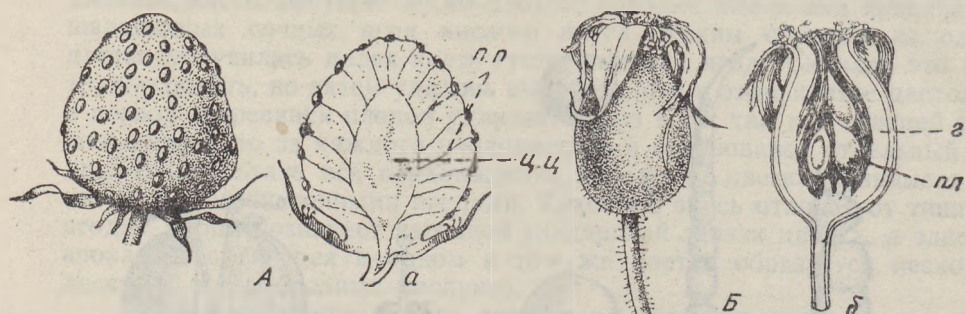


Рис. 248. „Ложные“ плоды. А — внешний вид плода земляники — сборный орешек а — этот же плод в разрезе: основную часть плода составляет сочное разросшееся цветоложе или гинофор; от каждого плодика к центральному цилиндру (ц. ц) отходят проводящие пучки (п. п.). Б — плоды шиповника (*Rosa*), внешний вид и в разрезе (б): наружную мясистую окрашенную часть сборного плода составляет разросшийся гипантий (г) или вогнутое цветоложе, на дне которого плодики-орешки (п. л.).

торые растения из семейства лебедовых в период плодоношения имеют яркие, малинового цвета мясистые листочки околоцветника, окружающие сухие плодики, благодаря чему эти плоды делаются похожими на костянку или ягоду. Такие плоды, в состав которых, кроме завязи, входят и другие части растения, принято называть в учебниках «ложными». Термин явно неудачный, но за неимением другого приходится пользоваться им, как уже укоренившимся.

К этой же группе плодов, в образовании которых участвует цветоложе, относится сочный ягодообразный плод — яблоко. Если разрезать яблоко (рис. 249), можно заметить границу между разросшимся вогну-

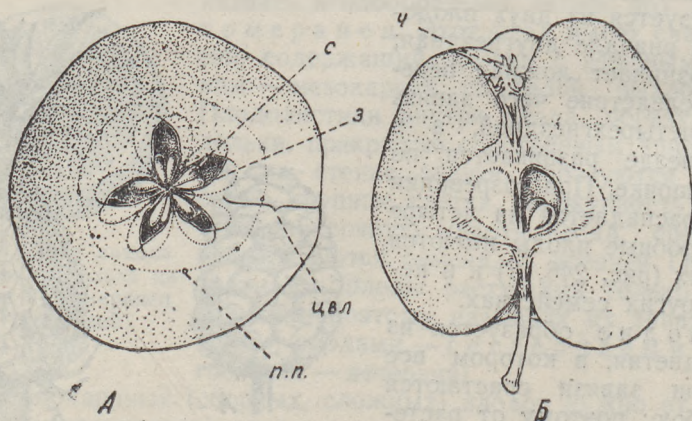


Рис. 249. Поперечный (А) и продольный (Б) разрезы плода — яблоко: ц. в. л. — разросшееся цветоложе — гипантий; з — завязь; с — семена; ч — остатки чашечки.

тым мясистым цветоложем и стенкой завязи или плодолистиками. Здесь плодолистки состоят из мясистой наружной части, срастающейся с цветоложем, и кожистой, перепончатой, выстилающей стенку гнезда завязи, где находятся семена. Аналогично построены плоды груши (*Pirus*

communis), рябины (*Sorbus*), боярышника (*Crataegus*) и др., поэтому их тоже относят к типу плода, называемого «яблоком». На верхушке таких плодов обычно видны остатки чашелистиков.

Интересно плодоношение винной ягоды (инжира, *Ficus carica*, рис. 250). Здесь в плод превращается все соцветие (см. рис. 212), следовательно, это — соплодие, причем съедобной частью его является разрастающаяся ось всего соцветия, так что одновременно это и «ложный» плод.

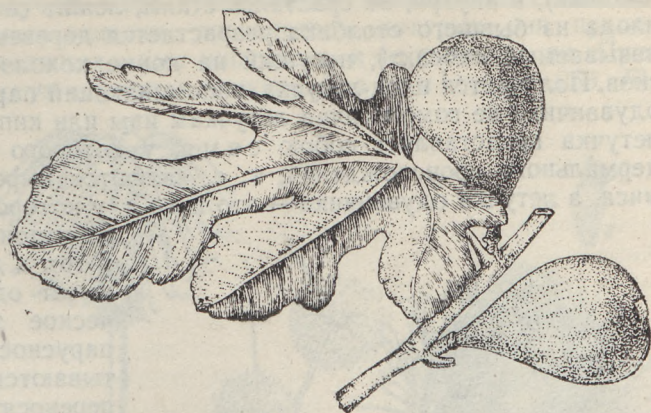


Рис. 250. Ветка инжира, или винной ягоды (*Ficus carica*), с „соплодиями“.

Подобно семенам, плоды выполняют две функции: охрану покоящейся стадии зародыша и перенесение зачатков молодых растений на новую почву, где

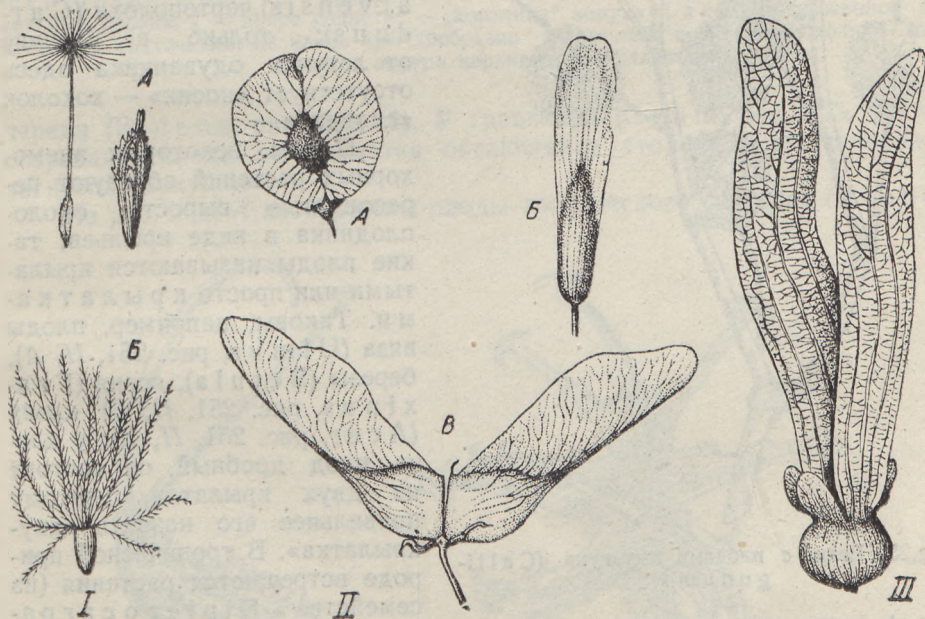


Рис. 251. Анемохорные (распространяемые ветром) плоды. I. Плоды-летучки (семянки, снабженные хохолком): А — летучка одуванчика (*Taraxacum*), имеет хохолок с носиком; направо — семянка без летательного аппарата; Б — хохолок без носика с перистыми волосками у будяка полевого или осота розового (*Cirsium arvense*). II — плоды крылатки: А — вяза (*Ulmus*); Б — ясеня (*Fraxinus*); В — двукрылатка клена (*Acer*). III — Крылатый плод тропического диптерокарпуса (*Dipterocarpus*), — крылатость плода образуется вследствие разрастания двух чашелистиков.

они могут прорасти. Поэтому странствование растений с помощью плодов обозначается теми же терминами, что и странствование растений с помощью семян.

Возьмите плод одуванчика (Тагахацит, рис. 251, I, А). Он представляет собой семянку, т. е. имеет твердый, сухой перикарпий (околоплодник), а внутри, не срастаясь с ним, лежит семя. На верхушке этого плода из бывшего столбика разрастается деревенеющий стержень (так называемый «носик»), несущий на конце хохолок из множества волосков. Получается плод-летучка, напоминающий парашют. Однако летучка одуванчика не гомологична летучкам ивы или кипрея (см. рис. 237). Там летучка представляет собою семя, у которого волоски хохолка эпидермального происхождения, т. е. являются выростами клеток эпидермиса, а летучка одуванчика — это плод, у которого хохолок образуется



Рис. 252. Ветка с плодами джугзуна (*Calligonum*).

из видоизмененной чашечки; но в том и другом случае хохолок имеет одно и то же биологическое значение: содействует парусности. Летучки подхватываются ветром и по воздуху переносятся на значительные расстояния. Подобные плоды, как и семена, называются анемохорными. Летучку имеют распространенные, трудно искоренимые сорняки, как будяк полевой (осот розовый — *Cirsium arvense*, рис. 251, I, Б, осот желтый — *Sonchus arvensis*), чертополохи (*Carduus*); только в отличие от летучки одуванчика здесь отсутствует «носик» — хохолок «сидячий».

Плоды некоторых анемохорных растений образуют перепончатые выросты околоплодника в виде крыльев; такие плоды называются крылатыми или просто крылатками. Таковы, например, плоды вяза (*Ulmus*, рис. 251, II, А), березы (*Betula*), ясеня (*Fraxinus*, рис. 251, II, Б), клена (*Acer*, рис. 251, II, В); у клена плод дробный, он состоит из двух крылаток, поэтому правильнее его назвать «двукрылатка». В тропической природе встречаются растения (из семейства *Dipterocarpaceae*),

тоже имеющие крылатые плоды (рис. 251, III), которые разносятся ветром, но в этом случае крылатость (парусность) плода достигается разрастанием двух чашелистиков, остающихся при плоде.

В наших песчаных пустынях Средней Азии, например Кызыл-Кумях, Кара-Кумах, растут кустарники из рода джугзун (*Calligonum*, из семейства гречишных), которые дают плоды — мелкие орешки. От кожицы плода отходит масса сильно ветвистых тонких отростков, увеличивающих объем плода, который принимает шаровидную форму (рис. 252). Эти легкие шарики падают на песок и, подгоняемые ветром, катятся по пустыне, подпрыгивая на поверхности песка, который не успевает их засыпать.

Рассмотрим зоохорные плоды, которые имеют разнообразные приспособления к распространению различными животными.

Наиболее частый случай — это сухие плоды, несущие на своей поверхности крючкообразные зацепки, посредством которых они прицепляются к шерсти проходящих мимо животных, и те разносят их. Примером таких плодов могут служить: липучка (*Lappula*, рис. 253, Б),



Рис. 253. Плоды, распространяемые животными: А — череды (*Bidens*); Б — липучки (*Echinospermatum*); Б — гравилата (*Geum*): слева — сборный плод, справа — отдельный плодик; Г — целое соцветие — „корзинка“ лопуха (*Larra*), окруженное прицветными листочками, на конце крючкообразно загнутыми; созревшие плодики находятся внутри корзинки; 2 — отдельный плодик.

череда (*Bidens*, рис. 253, А). У гравилата (*Geum*, рис. 253, Б) при созревании плода разрастается остающийся столбик с крючкообразно загнутой верхушкой.

На рис. 254, А изображены плоды тропического растения (*Proboscidea*).

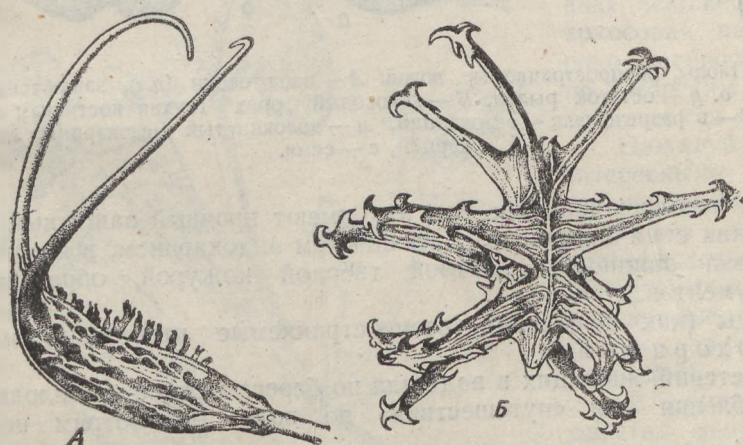


Рис. 254. Плоды тропических растений, распространяемые животными: А — плод *Proboscidea*; Б — плод *Nagragophyton*.

sidea) из семейства Мартиниевых, с двумя крупными рогами, и *Nagragophyton* (рис. 254, Б) из семейства Педалиевых, с когтевидными придатками, посредством которых эти плоды прицепляются к шерсти крупных животных.

У лопуха (репейник — *Lappa*) все соцветие (см. рис. 253, Г), называемое «корзинкой», окружено оберткой, состоящей из прицветных листочков, на конце крючковидно загнутых. Когда созревают плоды, от растения легко отрываются целые «корзинки» с находящимися в них плодами и прикрепляются посредством крючочков обертки к шерсти животных, одежде человека. Хотя у лопуха каждый плодик (см. рис. 253, г) снабжен хохолком, этот хохолок очень рано отпадает в связи с переходом растения от анемохорного к зоохорному способу распространения плодов.

К зоохорным также относятся сухие плоды, которые поедаются животными. Например, орехи и жолуди служат пищей белкам и хомякам; делая запасы, они растаскивают эти плоды, частично теряют их и тем самым содействуют распространению этих растений.

Наконец, обширную группу зоохоров составляют растения, дающие сочные плоды, которыми питаются главным образом птицы. Приманкой для птиц и других животных, распространяющих семена этих растений, являются яркая окраска плодов, их сочная вкусная мякоть и приятный запах. Вначале плод зеленый, и только ко времени созревания семян у плода появляются все эти средства привлечения птиц. Птицы склевывают плоды, мякоть которых переваривается в кишечнике, но семена

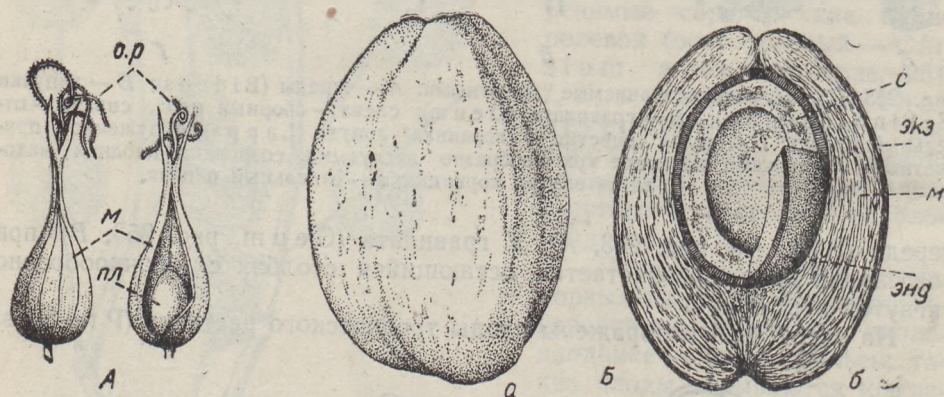


Рис. 255. Плоды, распространяемые водой: А — плод осоки (пл), заключенный в мешочек (м); о.р — остаток рылец. Б — кокосовый «орех» (сухая костянка); а — внешний вид; б — в разрезе: экз — экзокарпий, м — волокнистый мезокарпий, энд — эндокарпий, с — семя.

остаются неповрежденными, так как имеют прочный защитный покров; в костянках семя защищено деревянистым эндокарпием, в ягодных плодах семена защищены плотной твердой кожурой, образовавшейся из интегументов.

Плоды (как и семена), распространяемые птицами, называются орнитохорными.

У растений, живущих в воде или по берегам водоемов, плоды имеют приспособления для «путешествия» по воде. Рассмотрим несколько примеров.

По берегам наших рек и водоемов часто в обилии растут осоки (Сагех, рис. 255, А). Их плодики — орешки заключены каждый в особое образование, так называемый «мешочек», играющий роль плавательного пузыря. Падая в воду, такие плоды не тонут благодаря содержанию воздуха в мешочке, и течением воды они разносятся часто на значительные расстояния.

У водных растений рдестов (*Potamogeton*) околоплодник состоит из губчатой, воздухоносной ткани, которая уменьшает удельный

вес плодов, благодаря чему они могут хорошо держаться на воде и отпояются течением.

Плоды, приспособленные к распространению с помощью воды, называются гидрохорными.

Возьмем плод кокосовой пальмы (*Cocos nucifera*, рис. 255, Б); его неправильно называют «орехом»; в молодом состоянии он имеет строение костянки. Снаружи плод покрыт толстой глянцевитой непромокаемой оболочкой, соответствующей экзокарпию; его мезокарпий при созревании высыхает и делается волокнистым, так как представляет к тому времени сухое скопление проводящих пучков, между которыми содержится много воздуха. Внутри находится деревянистый эндокарпий, содержащий семя с зародышем и эндоспермом. Кокосовые пальмы растут только по берегам морей; их плоды падают с прибрежных деревьев в море и уносятся течением. Они долго держатся на поверхности



Рис. 256. Автохорные плоды. А — ветка недотроги (*Impatiens*) с двумя плодами, из них левый в момент разрыва: быстрое скручивание створок плода содействует разбрасыванию семян. Б — взезапно и упруго раскрывающаяся коробочка автохорных видов фиалок.



Рис. 257. Бешеный огурец (*Ecballium elatericum*). А — часть растения с цветами и плодом. Б — зрелый плод в момент отделения от растения, с силой выбрасывающий семена.

воды, не теряя всхожести. Морское течение в конце концов прибивает их к берегу какого-нибудь другого острова или материка, где они и прорастают. Благодаря такому способу распространения и длительному сохранению всхожести семян кокосовая пальма широко распространилась по морским берегам тропических стран.

Пожалуй, самыми интересными являются так называемые автохорные плоды, т. е. такие, которые активно разбрасывают семена или активно участвуют в их передвижении (рис. 256).

В наших лесах, в оврагах, иногда около жилищ можно натолкнуться на растение «недотрогу» (*Impatiens noli tangere*, рис. 256, А) с красивыми желтыми цве-

тами, имеющими форму урн с длинным шпорцем, содержащим мед. Это растение дает небольшую коробочку, формой напоминающую стручки.

Если слегка сдавить пальцами зрелую коробочку, вдруг происходит движение: коробочка внезапно разрывается, отдельные плодолисточки ее, благодаря напряжению тканей, быстро скручиваются спирально, разбрасывая при этом семена в разные стороны. Такая же способность разбрасывать семена благодаря внезапному раскрыванию коробочки свойственна некоторым видам фиалок (*Viola canina*, рис. 256, Б), причем семена иногда отлетают на 2—3 м от материнского растения.

Интересным примером автохорного плода является бешеный огурец (*Ecballium elatericum*, рис. 257), растущий по сорным местам у нас на юге европейской части Союза. Плод бешеного огурца — зеленого цвета, величиною со сливу или немного крупнее. В стенке плода

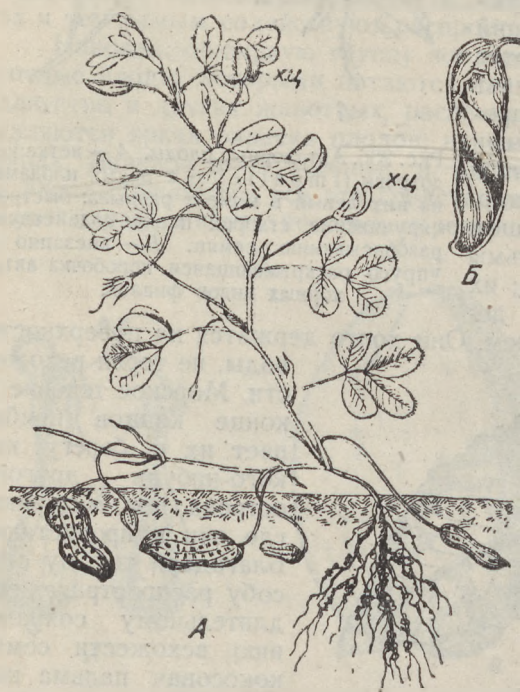


Рис. 258. Геокарпия у земляного ореха, или арахиса (*Arachis hypogaea*). А — внешний вид растения с хазмогамными (открытыми) бесплодными цветками (х. ц) и плодами под землей из клейстогамных цветков. Б — отдельный плод с тремя семенами.

имеется напряженный слой сочных клеток в состоянии тургора — этот слой давит на внутреннее содержимое плода. Когда семена созревают, плод отрывается от плодоножки, и все содержимое плода — семена с окружающей их слизью — «выстреливает» из отверстия, закрытого до этого момента концом плодоножки. При этом семена выбрасываются на сравнительно небольшое расстояние, но благодаря присутствию слизи эти семена приклеиваются к ногам проходящих в это время животных, которые разносят семена дальше.

Наконец, имеются такие растения, у которых выработалась способность к самозарыванию плодов. Это явление называется геокарпией.

Примером можно привести арахис («земляной орех», «китайские орешки» — *Arachis hypogaea*, рис. 258). Это растение — из семейства бобовых, плод у него — членистый боб (рис. 258, Б), в общежитии неправильно называемый «орехом».

Арахис имеет цветы двух родов: верхние — обычные, открытые, так называемые хазмогамные цветы, плодов не дают; плодоносят же образующиеся в нижней части растения клейстогамные закрытые цветы. После оплодотворения цветоножки клейстогамных цветов изгибаются книзу и, удлиняясь, внедряют завязь в почву на глубину около 10 см; таким образом, созревание плодов происходит под землей.

Приведем еще один пример самозарывающихся плодов.

Едет путешественник по приволжским степям после дождя. Пригрело солнце, и вдруг путешественника что-то начинает покусывать: оказывается, ветер нес плоды ковыля (*Stipa*), насыпал ему на шею, ковыль стал подсыхать и начал ввинчиваться ему в кожу.

Рассмотрим плод ковыля (рис. 259). Плод у него — зерновка, внизу с острым кончиком, покрытым щетинками, обращенными кверху. От плода отходит длинный (до 30—40 см) перисто опушенный стержень —

ость, благодаря которому плоды ковыля приобретают парусность; они подхватываются ветром, который разносит их по степи. Нижняя часть ости без волосков, она гигроскопична и винтообразно скручена. Плод ковыля обычно отвесно падает на землю и втыкается своим острым концом в почву. Винтообразная гигроскопичная часть ости то раскручивается — во влажную погоду, то скручивается — в сухую погоду, благодаря чему плод начинает ввинчиваться в землю. При скручивании ости плод не выдергивается из почвы, потому что этому препятствуют щетинки на кончике плода. В результате плод уходит все глубже и глубже в почву, пока не достигнет глубины, необходимой для прорастания семени.

Перенос плодов пассивный — водой, животными, ветром, и перенос плодов активный — благодаря растрескиванию, благодаря винтовому ме-

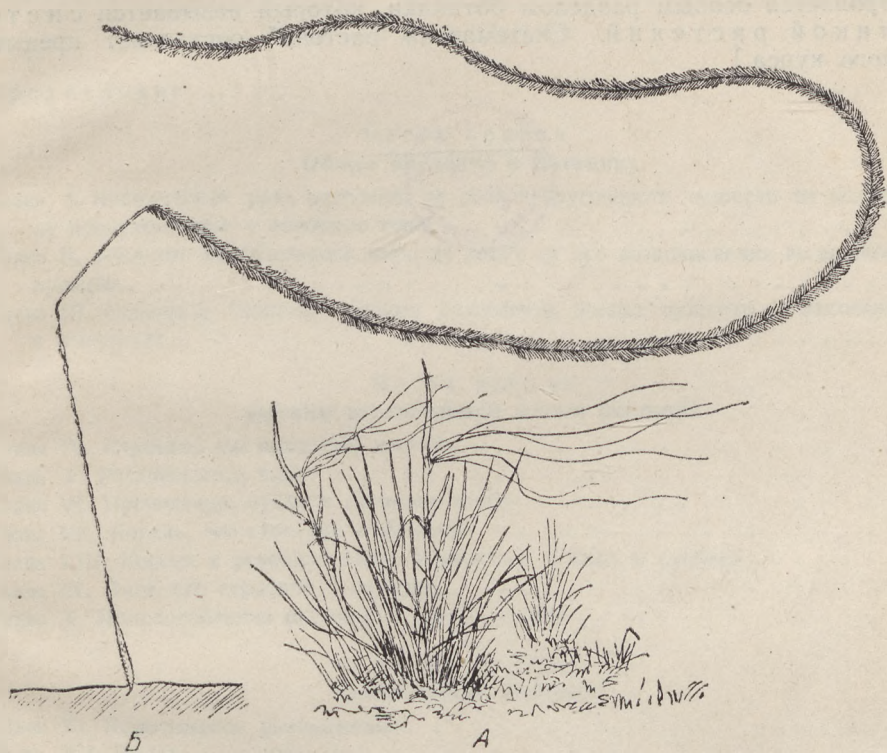


Рис. 259. Ковыль (*Stipa*). А — внешний вид растения. Б — отдельный плод ковыля — зерновка, снабженная длинной остью, нижняя часть ости спирально скручена и гигроскопична, а верхняя часть — перисто опушенная, является летательным аппаратом.

ханизму и другим особенностям плодов, которые дают возможность растению зарыться в землю, являются результатом длительной борьбы за существование и естественного отбора; побеждают те растения, которые лучше размножаются, которые лучше приспособлены и защищены в критические моменты своей жизни, а период покоя — это, конечно, критический момент, когда растение подвергается различным опасным воздействиям внешней среды.

Мы рассмотрели основные органы вегетативной жизни растений: корень, всасывающий водные растворы, стебель, распределяющий их по остальным органам растения, листья, усваивающие газообразные вещества и выполняющие главнейшую функцию растений — фотосинтез. Затем мы видели, что растения дают почки, являющиеся основной формой

их размножения. Потом мы перешли к понятию о двух родах клеток — гаплоидных и диплоидных, противопоставили их друг другу. Уяснили, что здесь мы имеем дело с процессом обновления организма благодаря слиянию двух половых клеток — гамет, принадлежащих разным организмам. Мы ознакомились с цветком и его органами, с семенами и плодами. Перед нами весь облик растения. Но мы делали до сих пор одну преднамеренную ошибку, мы как бы признавали какой-то отвлеченный тип растения. Правда, мы называли иногда разные растения, указывали различие того или иного процесса у разных растений, но нам надо было вывести общий тип, и мы его вывели. Теперь перед нами встает вопрос о разнообразии растительного мира. В самом начале курса было сказано, что растительный мир появился на земле не сразу, а возникал постепенно, тип за типом, соответственно условиям жизни на земле в разные геологические эпохи. Это указание не исчерпывает вопроса. [Он рассматривается особым разделом ботаники, который называется систематикой растений. Систематика растений составляет предмет особого курса.]



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Часть первая	
Общее введение в ботанику	
Глава I. Космическая роль растений, их роль в круговороте веществ на земле, их происхождение и основные типы	5
Глава II. Развитие растительного мира на земле от его возникновения до нашего времени	19
Глава III. Основные свойства живого; разделение живых существ на растения и животные	44
Часть вторая	
Органы вегетативной жизни растений	
Глава IV. Строение растительной клетки	63
Глава V. Растительные ткани	81
Глава VI. Проводящие пучки и строение стебля	114
Глава VII. Корень, его строение и функции	137
Глава VIII. Корень и усвоение азота. Удобрения. Корень и симбиоз	159
Глава IX. Лист, его строение и функции	174
Глава X. Приспособления растений к среде обитания	196
Часть третья	
Размножение растений	
Глава XI. Вегетативное размножение	212
Глава XII. Половое размножение	232
Глава XIII. Цикл развития и смена поколений в различных группах растительного мира	237
Глава XIV. Цветок, его строение и функции	263
Глава XV. Перекрестное опыление и амфимиксия; гибридизация	283
Глава XVI. Семя и его развитие. Приспособления семян к распространению	295
Глава XVII. Плоды	307

