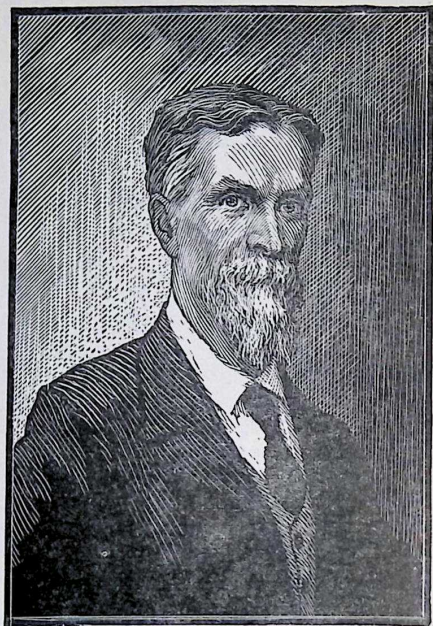


КАТИМІРЯЗЕВ

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ФИЗИОЛОГИЯ
РАСТЕНИЙ

СВЕТЛОЗНАМЪ

1937



H. Munro

К.А.ТИМИРЯЗЕВ

581.1
Т411

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
и
ФИЗИОЛОГИЯ
РАСТЕНИЙ



*Избранные
лекции и речи*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА ~ 1957

91966

2

К ЧИТАТЕЛЯМ

В сборник избранных лекций и речей К. А. Тимирязева «Земледелие и физиология растений» вошли следующие важнейшие работы из сборника под этим же названием, опубликованного в III томе Сочинений К. А. Тимирязева: «Физиология растений как основа рационального земледелия», «Борьба растения с засухой» и «Источники азота растений». В сборник вошли также три работы из V тома Сочинений «Насыщенные задачи современного естествознания», «Факторы органической эволюции», «Основные задачи физиологии растений» и «Столетние итоги физиологии растений».

Все работы К. А. Тимирязева, на которые автор ссылается в своих подстрочных примечаниях настоящего сборника, даны по указанным Сочинениям, выпущенным Сельхозгизом в 1937—1940 годах. Кроме сносок автора, в книге встречаются сноски редакции десятилетнего издания 1937—1940 годов («Ред.» в круглых скобках) и сноски редакции настоящего издания («Ред.» в квадратных скобках).

ПРЕДИСЛОВИЕ

Едва ли можно найти на протяжении конца девятнадцатого и первой половины двадцатого столетия другого крупного биолога, который обладал бы таким ярким талантом популяризации научных знаний, как Климент Аркадьевич Тимирязев.

Физиолог растений по специальности, искусный и терпеливый экспериментатор, который с большой тщательностью и глубиной изучал оптические свойства хлорофилла и использование растениями световой энергии, К. А. Тимирязев в то же время никогда не замыкался в деталях своих опытов, а всегда стремился определить место и значение каждого нового явления в жизни растения, в его взаимодействии с окружающей средой.

Конечную цель ученого К. А. Тимирязев видел не только в объяснении явлений, но в их использовании или даже в их подчинении разумной деятельности человека; в частности, в том, чтобы поставить физиологию растений — эту науку о жизни растений — на службу земледелию.

Исключительная способность к научному синтезу позволяла К. А. Тимирязеву находить среди разроз-

ненных, иногда, казалось, частных фактов и наблюдений, рассеянных по страницам мировой литературы, самое главное и перспективное и создавать на этой основе связанную картину целого, картину увлекательную и вместе с тем строго научную, картину, отвечающую на вопросы практики текущего дня и в то же время зовущую к дальнейшим поискам и дерзаниям.

Однако сила К. А. Тимирязева как популяризатора науки состояла не только в его способности увлекательно и просто излагать сложные вопросы, но и в том благородном чувстве ответственности за судьбу и счастье своего народа, в том непреклонном желании служить своими знаниями народу, которыми были проникнуты его литературные произведения и публичные выступления.

Сила Тимирязева как ученого и трибуна состояла и в том, что он всегда выступал как последовательный и страстный борец за материализм, как непримиримый обличитель всего, что задерживало развитие науки и жизни, что создавало неравенство и несправедливость в нашей стране.

Все это создало К. А. Тимирязеву, ученому и гражданину, ту огромную популярность среди различных слоев населения, которая не померкла и после его смерти, дошла до наших дней и стала достоянием широких масс. Его публичные лекции, которые он обычно читал в Политехническом музее в Москве, а также его речи, произнесенные на торжественных собраниях и в научных обществах, были чаще всего посвящены фотосинтезу и питанию растений, борьбе с засухой и другим важным для сельского хозяйства проблемам, которые звучали в выступлениях К. А. Тимирязева, как живой отклик на события, волнующие

страну, как ободряющий и разумный ответ на немой вопрос, который задавала отсталая крестьянская Россия.

Неудивительно поэтому, что публичные выступления К. А. Тимирязева привлекали к себе большое внимание и рассматривались, обычно, как события среди передовых людей и особенно среди учащейся молодежи.

Можно без преувеличения сказать, что именно на публичных лекциях К. А. Тимирязева, прочитанных им в Политехническом музее в Москве и впоследствии многократно издававшихся, выросло и воспиталось несколько поколений русских ботаников и агрономов.

Физиология растений — наука, известная прежде лишь небольшому кругу специалистов, предстала впервые перед слушателями во весь свой рост как теоретическая основа рационального земледелия, как наука, прокладывающая путь к получению высоких и устойчивых урожаев.

Из числа слушателей К. А. Тимирязева выросло немало талантливых ученых. Среди них можно упомянуть имена Д. Н. Прянишникова, Л. А. Иванова, В. Л. Комарова, В. С. Буткевича, Е. Ф. Вотчала, Ф. Н. Крашенинникова. Многие другие ученые встали на путь изучения жизни растений под влиянием его замечательных книг. Среди них следует назвать Н. А. Максимова, В. К. Любименко, Б. А. Келлера, Н. Г. Холодного, Д. А. Сабинина и других ученых. Все они вписали своими трудами новые блестящие страницы в науку о жизни растений и с честью послужили тому делу, к которому призывал К. А. Тимирязев.

Несмотря на блестящие и глубокие исследования

Д. Н. Прянишникова, Н. А. Максимова и других, проводившиеся за последние пятьдесят лет в области изучения удобрений и водного режима растений, почти полное раскрытие за тот же период внутренней природы таких сложнейших физиологических процессов, как брожение, кислородное дыхание и даже фотосинтез, фактические данные и обобщения, приводившиеся К. А. Тимирязевым в его публичных выступлениях более полувека назад, не потеряли своего значения и в настоящее время.

Перелистывая страницы его замечательных лекций, мы восхищаемся силой его научной прозорливости и зажигаемся его страстным призывом бороться за материалистическую науку, служить своими знаниями народу и верить в могущество разума.

Поэтому выход в свет нового издания избранных лекций и речей К. А. Тимирязева под общим заглавием «Земледелие и физиология растений» следует горячо приветствовать.

В этом сборнике, в статьях «Физиология растений как основа рационального земледелия», «Источники азота растений» читатель найдет не только богатый, увлекательно изложенный материал о питании растений, но и оценит К. А. Тимирязева как ученого, страстно призывающего использовать достижения науки для практического земледелия, для поднятия урожаев и улучшения жизни людей.

В статье «Борьба растений с засухой», которая воспроизводит лекцию, читанную в Москве в 1892 году, т. е. через год после засухи и ужасного голода, постигших Россию в 1891 году, К. А. Тимирязев выступает как гражданин, болеющий за судьбу своего народа, и вместе с тем как ученый, горячо желающий силами своих знаний предотвратить подобные бедствия.

В статье «Факторы органической эволюции» читатель увидит К. А. Тимирязева как убежденного последователя учения Ч. Дарвина, с большой силой и талантом защищающего идеи великого натуралиста от реакционных течений.

С еще большей яркостью выступает К. А. Тимирязев как проповедник материалистического мировоззрения в статье «Основные задачи физиологии растений», являющейся его речью, произнесенной в 1878 году перед профессорами и студентами Петровской сельскохозяйственной академии.

В своей речи «Столетние итоги физиологии растений», произнесенной в 1901 году, на грани XIX и XX столетий, К. А. Тимирязев дал глубокий анализ научных достижений в области изучения жизни растений, которые составили славу XIX века и которые уже успели оказать благотворное влияние на развитие земледелия.

Этот анализ, полный веры в могущество человеческого разума, вселяет уверенность в еще больший расцвет науки в будущем.

Нет никакого сомнения, что широкие круги советских читателей, начиная от колхозников и кончая преподавателями высших учебных заведений, с интересом и пользой для себя прочтут эту книгу. Наибольшую услугу книга окажет нашей молодежи, среди которой горячие слова К. А. Тимирязева, как и при его жизни, найдут немало последователей, готовых нести вперед и развивать то дело, которое он поднял на такую высоту.

Выход этой книги особенно своевременен именно теперь, в 1956 году, когда советский народ приступает к осуществлению грандиозной программы шестого пятилетнего плана, предусматривающего дальнейший

крутой подъем сельского хозяйства на базе развития тяжелой промышленности и широкого использования новой техники.

К. А. Тимирязев не дожил до этого периода, приближение которого он предвидел. Однако в его горячей проповеди научных основ земледелия молодежь и теперь найдет решение многих вопросов, встающих перед ней на пути создания высоких и устойчивых урожаев.

Академик А. Л. КУРСАНОВ



ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ КАК ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ¹



Лектор, берущий на себя ответственную обязанность — занять в течение часа или двух внимание хотя бы самой снисходительной аудитории, прежде всего бывает озабочен выбором для своей беседы предмета, который представлял бы, по возможности, живой современный интерес. Этот выбор становится еще более затруднительным, когда приходится ограничиваться тесными пределами одной специальной науки. По несчастью, — с своей узкоэгоистической точки зрения лектора, я чуть было не сказал по счастью, — по несчастью, существуют вопросы, которые всегда возбуждают живой интерес, на которые не существует моды. Таков вопрос о насущном хлебе.

Несколько лет тому назад с этого же места по поводу грозного народного бедствия мне приходилось напоминать о том, что одним из главных предметов изучения и забот человека должно быть растение².

¹ Лекция, читанная в Историческом музее, в Москве, 15 марта 1897 г.

² См. лекцию: «Борьба растения с засухой». [см. стр. 63. *Ред.*]

Теперь та же мысль невольно представляется уму в еще более настоятельной форме. В эту минуту, после ряда благодатных в метеорологическом отношении годов, возникает вопрос уже не об остром, временном, а о хроническом недуге нашего земледелия или, вернее, земледельца. Из-за технического вопроса — значения низких цен на хлеб — выступает целый ряд более глубоких и жгучих вопросов: что такое наш крестьянин-земледелец, производитель или только потребитель хлеба? Покупает ли он хлеб или не покупает, продает или не продает? И если продает, то от избытка ли, а если не продает, то чем же возмещает свой, хотя бы до невозможности скромный бюджет и свою менее скромную долю участия в постоянно растущем бюджете страны. И не продает ли он, наконец, по дешевой цене, покупая по дорогой? Вот ряд вопросов и недоумений, с головокружительной стремительностью пробегающих в уме. И в то же время всякий смутно сознает, что должен разобраться в них, так как они касаются самых коренных основ общественного благосостояния, общественной нравственности.

Пока была верна поговорка: «цены бог строит», т. е. скудность или обилие продукта, или, другими словами, естественные законы производства определяли ему цену, натуралист еще мог разобраться в этом вопросе. Но когда к ним стала примешиваться производная деятельность человека, мудрость государственных людей, в международных отношениях выражающаяся в том, чтоб как-нибудь повредить соседу, а во внутренней экономической политике — в покровительстве одной части населения, хотя бы к явному ущербу остальной, натуралисту, изучающему только неизменные законы природы, тут делать нечего. По счастью, обе спорящие в настоящую минуту стороны

согласны в одном положении, в том, что урожай лучше недорода.

Как только произнесено это слово *урожай*, натуралист начинает чувствовать почву под ногами, так как его задача к тому и сводится, чтобы определить условия урожая, причину недорода и средства борьбы с этой невзгодой. Так, по крайней мере, смотрят на свою задачу лучшие представители науки Запада. «Наука бессильна повлиять на цены,— говорит Дегерен,— она может только научить нас поднять урожай; этим ограничивается ее роль». Ту же мысль развивал он недавно в разговоре со мной. Подтрунивая над запретительными пошлинами, в которых французские аграрии ищут спасения в борьбе с падением цен, он справедливо заметил: «Трудно человеку брать на себя роль земного провидения», и закончил остроумною шуткой: «*ces messieurs pretendent, que nous avons trop de pain. Eh bien nous allons manger des dindes*». («Если у нас лишние хлеба, будем есть индеек».) Едва ли состояние нашего земледелия подает повод к таким оптимистическим шуткам¹. Едва ли у нас низкие цены на хлеб будут иметь своим последствием появление индейки на столе нашего крестьянина. Возвышение урожая и превращение его в наиболее ценный продукт — вот, следовательно, совет, который подает западная наука своему земледельцу. И на первом плане возвышение урожая.

Но что же нужно для обеспечения урожая? Прежде всего, конечно, знакомство с потребностями растения

¹ А между тем у меня на столе лежит брошюра одного моего коллеги по Société nationale d'agriculture, известного практика, получившего премию за свои высокие урожаи и серьезно доказывающего прибыльность откармливания скота пшеницей.

и умение им удовлетворить, а затем уже — изыскание наиболее выгодных условий разрешения этой задачи при помощи средств, имеющихся под рукою. Наука может снабдить только первыми знаниями, вторая половина задачи всегда была делом личной находчивости, особого практического чутья. Но какого же рода эти научные сведения, чем отличается современное рациональное земледелие от того чисто эмпирического искусства, каким оно было еще так недавно? Чем отмечены научные успехи за этот последний век, отразившиеся на земледелии, совершенно изменившие его характер, превратившие его из бессвязного собрания рецептов и слепого подражания успешным примерам в более или менее сознательную разумную деятельность? Конечно, возникновением двух отраслей знания: *агрономической химии и физиологии растений*. Недаром величайший из теоретических и практических авторитетов за истекший век Буссенго поставил в заголовке собрания своих сочинений эти три слова: «*Agromie, chimie agronomique, physiologie*» («Агрономия, агрономическая химия, физиология»). Такова в действительности их логическая последовательность: агрономия ставит вопросы; агрономическая химия дает средства для их научного разрешения; физиология растений, исследуя их на живом объекте деятельности агронома, дает окончательный ответ на запросы практики.

Успехи агрономической химии, появление новых методов расширяют область науки, но только проверка непосредственно на растении сообщает полную достоверность ее объяснениям и выводам. Земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря *агрономической химии и физиологии растений*; это очевидно а priori (вперед, само собою) и доказывается всей историей.

И не странно ли, что у нас, именно с той поры, как стали особенно много говорить о подъеме научного земледелия, эти две его научные основы исчезли как самостоятельные предметы преподавания в наших высших земледельческих школах¹.

Будущий историк развития у нас научного земледелия, конечно, затруднится объяснить себе эту непонятную аномалию.

Не подлежит сомнению, что растение составляет центральный предмет деятельности земледельца, а отсюда следует, что и все его знания должны быть приурочены к этому предмету.

В последнее время много говорится и пишется о значении *сельскохозяйственной метеорологии* и в особенности *почвоведения*, но все эти знания интересуют земледельца лишь настолько, насколько они касаются растений². Климатические условия представляют интерес лишь тогда, когда нам рядом с ними известны требования, предъявляемые им растением; без этих последних сведений бесконечные вереницы цифр метеорологических дневников останутся только бесплодным балластом. Знание свойств почвы получает смысл лишь с того момента, когда нам становится понятным их значение для растения

¹ Один из них — агрономическая химия — совершенно уничтожен, а другой — физиология растений — идет как-то на буксире бактериологии, т. е. целое является придатком своей части. По слухам, проникшим уже в печать, и из нового сельскохозяйственного института в Киеве предполагается изгнать эту основу современного научного земледелия — *агрономическую химию*; какая участь постигнет физиологию растений, мне точно неизвестно.

² Само собою понятно, за исключением патологической бактериологии в применении к ветеринарии и т. д.

и притом не эмпирически, а сознательно¹. Микроскопические организмы почвы играют роль в глазах земледельца лишь настолько, насколько их деятельность причиняет пользу или вред культурному растению. Следовательно, культурное растение и предъявляемое им требование — вот коренная научная задача земледелия; все остальное важно лишь настолько, насколько имеет отношение к ней; это следует иметь прежде всего в виду при оценке значения той или иной отрасли естествознания для земледелия.

Где же и как разрешается эта задача? Всего естественнее ответить: конечно, там, где протекает жизнь этого растения, т. е. в поле. Но многолетний научный опыт отвечает: нет, не в поле, а в особенной для того приспособленной физиологической лаборатории, на так называемой опытной станции физиологического типа. Десятки лет отстаивал я у нас эту мысль; насколько мог, пытался приводить ее в исполнение и потому с удовольствием могу указать на успехи, которые она делает в последнее время. Сошлюсь на свидетельство киевского профессора Богданова, подводящего итоги впечатлениям, вынесенным им из прошлогодней поездки по германским опытным станциям в статье: «Во что превращаются опытные поля».

«В близком будущем, — так заканчивает он свою

¹ Могу привести в качестве иллюстрации следующий случай. Один юный почвовед, увидав на опытной станции на Нижегородской выставке водные культуры, был поражен их противоречием с одним из положений почвоведения, по которым почва с содержанием воды свыше известного предела считается непригодною для культуры, — а тут выводят растения прямо-таки в воде! Очевидно, недостаточно знать, что избыток воды в почве вреден, нужно еще понимать, почему именно, а этому учит физиология растений, а не почвоведение.

статью, — обширные опытные поля при решении вопросов земледельческой культуры уступят свое место *опытным станциям, широко пользующимся методом выращивания растений в сосудах*¹.

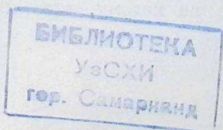
Такие-то опытные станции физиологического типа были мною устроены в 1872 г. в Петровской академии, в 1890 г. — в Московском университете, и, наконец, образцовая подобная станция была мною организована по поручению Министерства земледелия и государственных имуществ на прошлой выставке в Нижнем Новгороде². Опыты, произведенные на этой станции, доставят нам наглядный материал для дальнейшего изложения, тем более интересный, что все они производились на глазах тысяч зрителей.

Но к чему же сводится задача изучения культурного растения в зависимости от *нормальных* условий его существования³? Условия эти всего удобнее приурочить к четырем факторам, пожалуй, соответствующим четырем стихиям древних: земле, воде, воздуху и огню. Растение и почва, растение и влага, растение и воздух, растение и солнце, — вот эти четыре порядка явлений; с ними приходится считаться земледельцу; во всяком случае, ему необходимо понимать их относительную роль.

¹ См. «Хозяин», 1897 г., 12 января.

² Еще в 1885 г. мною был составлен подробный проект такой станции для Москвы, и если б я нашел поддержку там, где имел полное основание ее ожидать, Москва давно обладала бы подобным образцовым учреждением, где летом производились бы исследования, а зимой читались бы публичные курсы научного земледелия, о пользе которых в последнее время так много говорится. См. статью: «Полвека опытных станций». [Сочинения, том III, стр. 234. *Ред.*]

³ Этим мы ограничиваем свою задачу, исключая из нее патологию растений.



РАСТЕНИЕ И ПОЧВА

Всего яснее, всего нагляднее выступает зависимость растения от почвы; в то же время этот фактор более остальных находится во власти человека, потому неудивительно, что ему с незапамятных времен приписывалась выдающаяся, чуть не исключительная роль. Почве всегда приписывалось значение не только твердого материка, к которому растение прикрепляется корнями,— почти столь же естественным представлялось, что этот корень пользуется ее «соками». Но в чем заключаются эти соки, мы начали понимать всего каких-нибудь столетие назад, да и в настоящую минуту не решено еще много сюда относящихся вопросов. Чем питается растение, и как это узнать? Вот коренной вопрос, на котором зиждется рациональное земледелие, а между тем полный и обстоятельный ответ на него мы получили только около половины текущего столетия. Казалось бы, ничего не может быть проще. Раз благодаря вековым успехам химии мы знаем состав растения и почвы, все сводится к установлению соответствия между тем и другим. Питательная почва должна содержать те вещества и в том отношении, в каком они находятся в растении. Но это положение, несомненное в общих чертах, нуждается еще в целом ряде поправок. Во-первых, растение питается не одной только почвой (разумея под нею совокупность твердых и жидких частей), но и воздухом; этому не могло научить одно сравнение анализов почвы и растения. Во-вторых, если почва *должна* содержать то, что входит в состав растения и не могло быть ему доставлено из воздуха, то, наоборот, растение *может* содержать известные вещества не потому, что они для него необходимы,

а потому только, что они находились в почве. Решить, какие вещества должны быть признаны необходимыми для растения, одна химия не в силах; ответить на это может только физиология — прямой опыт над растением. Наконец, анализ может указывать на присутствие известного элемента в растении, а опыт — доказывать, что этот элемент должен быть отнесен к числу необходимых; спрашивается, достаточно ли на этот раз одного анализа почвы, выясняющего обилие в ней или недостаток этого элемента, чтобы судить об ее значении для растения, т. е. о степени ее плодородия по отношению к данному растению? Еще раз нет; только само растение, т. е. умеющий допросить его физиолог, может доставить решительный ответ. Таким образом, химический анализ, без которого, конечно, наука не могла бы сделать шага, еще сам по себе не дает ответа на непосредственные запросы земледелия, и пока ученые не прониклись этой мыслью, они бродили вокруг да около истины. Поясним примером. В состав самой плодородной почвы, например, чернозема, входит углеродистое органическое вещество — перегной; оно же входит в состав важнейшего из удобрений — навоза; растение также состоит из органического вещества; не ясно ли, что для своего питания оно нуждается в органическом веществе почвы и что содержание этого вещества может служить мерой плодородия; это — так долго господствовавшая в земледелии так называемая теория *гумуса* (перегной). Но произведем соответствующий опыт, и растение нам ответит, как мы сейчас увидим тому примеры, что оно может питаться нормально, даже роскошнее, чем в унавоженной почве, и без следов органического вещества¹. Другой

¹ Напомним, что здесь идет речь лишь о питательном значении органического вещества, а не о других второстепен-

пример. В золе растений, особенно наших хлебных злаков, в числе других веществ встречается кремнезем, и вот Либих на основании указаний химического анализа предлагает в состав своих минеральных удобрений вводить растворимые кремнекислые соли, как наиболее благоприятную для растения форму кремнезема. Но растение, допрошенное физиологом, отвечает, что оно может обойтись и без кремнезема. Еще последний пример. Химический анализ показывает, что растения из группы бобовых (горох, бобы, клевер, вика и пр.) содержат значительно больше азота, чем хлебные злаки; казалось бы, им необходимо доставлять его в изобилии в почве, но прямой опыт отвечает, что они-то именно наименее благодарно относятся к этому удобрению. Удобрять почву азотом под бобовые растения, значило бы бесцельно разоряться. Итак, только опыт прямой, точный, физиологический опыт над данным растением, над данной почвой и удобрением один вполне разрешает все вопросы. Заметим притом, что произвести анализ почвы, анализ растения,— задача далеко не всякому доступная. Даже не всякий, умеющий производить химический анализ, имеет под рукой необходимую лабораторную обстановку. Производство же физиологических опытов для разрешения самых насущных вопросов агрономической теории и практики по большей части вполне доступно каждому.

Как же производятся подобные опыты? Бесчисленные исследования приводят к заключению, что только весьма незначительная часть почвы служит непосредственно для питания; остальная составляет только

ных качествах, которые оно сообщает почве и пользу которых нельзя отрицать.

мертвый остов, прямо в питании не участвующий. Отсюда один шаг до заключения, что этот, сложный по своему составу и затемняющий результаты опытов, остов может быть заменен каким-нибудь простым и совершенно бесплодным веществом, например, песком (прокаленным, обработанным кислотой для удаления всех следов питательных веществ), или, наконец, водою, перегнанной или дождевой, также для того, чтобы быть уверенным, что растение не получило других питательных веществ, кроме тех, которые мы ему умышленно доставим. Сообразно с этим различают двоякого рода искусственные культуры, песчаные и водяные. Первый прием принадлежит Буссенго, но особенно подробно разработан он Гельригелем; второй прием систематически выработан Кнопом. Водные культуры представляют самый простой и в то же время самый изящный и совершенный способ. Недаром их называют *прозрачными*, так как корни развиваются на глазах у наблюдателя, как и воздушные части, и допускают такой же тщательный за собой уход (рис. 1)¹.

¹ Для этого употребляются стеклянные сосуды, завернутые клеенкою. Эта последняя предосторожность необходима, так как иначе в растворах заводятся зеленые водоросли, они зацветают. Форма сосуда также не безразлична. Широкие банки неудобны, так как из них раствор легко расплескивается; банки с узким горлом неудобны потому, что из них нельзя уже извлечь разросшегося корня, а это бывает нужно, когда он случайно поврежден, и необходимо удалить какую-нибудь загнившую мочку. Самой удобной формой должно считать изображенный на рис. 5 (третий справа) сосуд с широкой пришлифованной пробкой, имеющей посредине горлышко. Этот тип сосудов был выработан мною для Нижегородской выставки и выполнен по моему заказу фирмой Герхардт в Бонне.

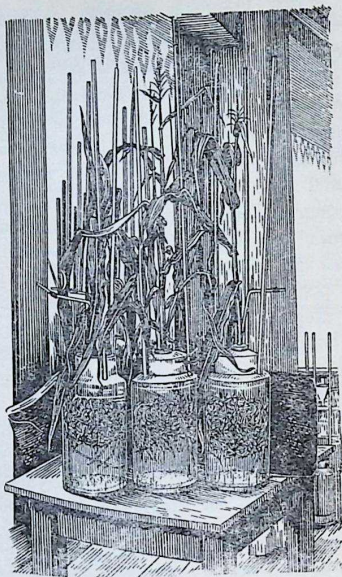


Рис. 1.

Всякому известно, что если почва залита водою, то обыкновенные, не болотные растения на ней не развиваются, а здесь растения находятся своими корнями прямо в воде. Это может навести на мысль о неестественности самого приема. Но нужно знать, почему избыток воды действует вредно. Опыт научает, что вред причиняется главным образом вытеснением из почвы необходимого для корней воздуха. Поэтому через воду культурных сосудов необходимо, как и в

аквариумах, продувать воздух, по возможности ежедневно. Это делается обыкновенно при помощи всем известных каучуковых мячиков, употребляемых при пульверизаторах. При значительном же числе сосудов приходится прибегать к помощи особого приспособления¹.

Пророщенное семя закрепляют при помощи ваты и пробки в горлышке культурного сосуда так, чтобы корешки были погружены в воду. Этим почти ограничиваются простые приемы этих культур. Но, конечно, самое важное условие успеха — состав той питательной жидкости, в которой выращиваются растения. Здесь необходимо обратить внимание на количество и качество доставляемых веществ. Долголетний опыт показал, что всего лучше давать две части питательных веществ на 1000 частей воды. Что касается состава этой пищи, то оказалось существенно необходимым доставлять растению следующие восемь элементов: азот, фосфор, серу, хлор, калий, магний, кальций и железо. Первые четыре образуют кислоты, последние — основания, те и другие вместе — соли. Число этих солей и их относительное количество у различных экспериментаторов различно. Мы употребляем обыкновенно нормальную смесь Кнопа:

¹ На рис. 2 справа виден особый газометр, состоящий из двух частей; нижняя содержит воздух, верхняя — воду, которая, падая через трубку с краном в нижний приемник, вытесняет из него воздух, распределяемый каучуковыми трубочками по культурным сосудам. Когда вся вода перелилась в нижний сосуд, небольшим ручным насосом, изображенным влево от газометра, ее перекачивают обратно в верхний. Профессор Арциховский придумал еще третий способ воспитывать растения корнями в воздухе, вспрыскивая их от времени до времени растворами, — но это уже совершенно неимеющее смысла усложнение дела.

1. Азотнокислого кальция	1
2. » калия	0,25
3. Фосфорнокислого калия	0,25
4. Сернокислого магния	0,25
5. Хлористого калия	0,25
6. Фосфорнокислого железа	—

2 части на 1000 частей воды *

Пять первых из перечисленных солей при указанной концентрации вполне растворяются в воде; одна только шестая нерастворима даже при этой слабой концентрации. Ее доставляют в виде рыхлого осадка, который постоянно должно взмучивать, чтобы он оседал на корешки, а не оставался на дне сосуда. Это достигается, побочно, ежедневным продуванием воздуха, о котором мы только что упомянули. В растворе Кнопа растения получают все для них необходимые питательные вещества и развиваются так же роскошно, как в самой плодородной почве¹.

Если мы желаем произвести опыт в условиях, более близких к природе, т. е. в твердой среде, то по примеру Гельригеля берем бесплодный песок и поливаем его указанным питательным раствором. При этом

* В рецепте смеси Кнопа дан расчет на безводные соли. При приготовлении растворов азотнокислого кальция чаще приходится пользоваться солью $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кристаллический сернокислый магний соответствует формуле $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Этой соли приходится брать в два раза больше, чем безводной. Следует также учитывать, что в раствор Кнопа входит кислый фосфорнокислый (KH_2PO_4) калий (он хорошо кристаллизуется, не растворяется в спирту). *Ред.*

¹ Многих интересует непосредственное применение таких растворов к целям садоводства и комнатного цветоводства. Для этих целей рецепт Кнопа может быть значительно упрощен, т. е. из него можно выкинуть вещества, которые в почве обыкновенно находятся в достаточном количестве. Таких упрощенных рецеп-

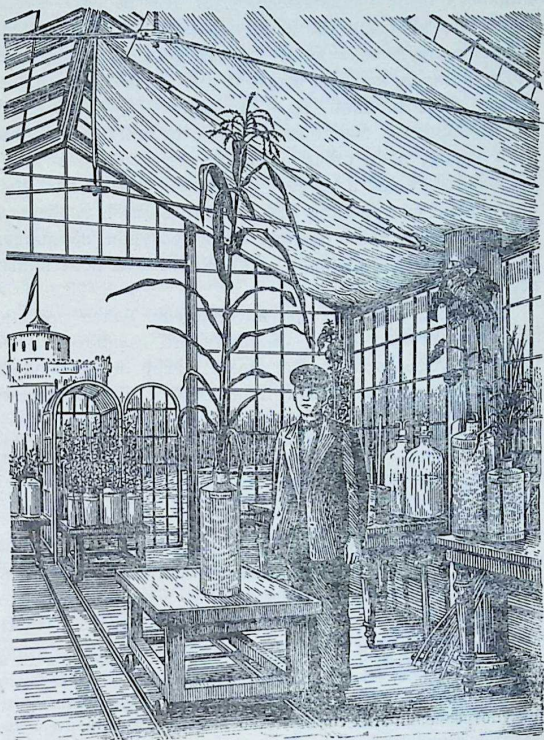


Рис. 2. Внутренний вид теплицы на Нижегородской выставке
(с фотографии К. А. Тимирязева).

прежде всего нужно озаботиться, чтобы количество жидкости было надлежащее, т. е. чтоб ее было достаточно, но не было бы избытка, так как в последнем случае доступ воздуха к корням был бы затруднен. Опыт показал, что для этого нужно брать воды в количестве 60% полной влагоемкости. Мы узнаем это таким образом: берем на воронке сухой песок, обливаем водой, даем стечь избытку, определяем, сколько удержалось воды в песке. $\frac{6}{10}$ этого количества и будет наилучшее содержание воды, которое мы и поддерживаем в течение всего опыта в наших сосудах, взвешивая их от времени до времени на обыкновенных десятичных весах.

Наконец, если бы мы желали еще более приблизиться к естественным условиям, то остановимся на приеме профессора П. Вагнера. Вагнер основой берет не дистиллированную воду или песок, а прямо *обеспло-*

тов предложено много; наибольшей популярностью пользуются так называемые «питательные соли Вагнера». Привожу один из новейших рецептов, предложенный в 1896 г. Мюллером Тургау и особенно пригодный для комнатной культуры:

Азотнокислого калия	30 частей
Фосфорнокислого калия	25 »
Сернокислого аммония	10 »
Азотнокислого аммония	35 »
100 частей	

От 5 до 8 частей всей смеси растворяют в 10 000 частях воды и поливают горшки, через два или три дня, смотря по надобности, а в остальное время — простой водой. По описаниям Мюллера, при употреблении этих солей можно довольствоваться очень незначительными количествами почвы; так, в одном случае вес выращенного им растения в два с половиной раза превышал вес взятой земли. Эта смесь, развешенная в патрончики (граммовые гомеопатические трубочки), рассчитанные на один штоф раствора, раздавалась на моей лекции публике.

женную или заведомо *бесплодную* естественную почву. Обеспложивание почвы достигается продолжительной истощающей культурой. Бесплодная почва берется, конечно, такая, которая неспособна давать урожаев вследствие недостатка питательных веществ, а не вследствие вредного присутствия какого-нибудь вещества, как, например, в солончаковой почве и т. д. Каким бы из этих трех путей мы ни пошли, все они сходны в том, что собственно питательные вещества мы вводим в смеси вполне известного состава.

Как же узнаем мы, что именно и в каких количествах необходимо для растения? Очень просто: мы делаем всегда два параллельных опыта, отличающихся между собою отсутствием *одного* и, понятно, непременно одного только *вещества*, т. е. в одном случае растение получает *всю* питательную смесь; в другом — ту же смесь без одного какого-нибудь вещества. Если отсутствие этого вещества отражается на развитии растения, которое получает ненормальный, хилый вид, то, очевидно, это вещество принадлежит к числу необходимых, а не случайных составных начал растения. Затем мы вносим это вещество в различных количествах, пока мы не достигаем предела, за которым дальнейшее увеличение не будет оказывать более действия или может оказаться даже вредным, вновь понижая урожай. Если опыт произведен тщательно, т. е. с сохранением равенства всех прочих условий, то увеличение урожая до достижения им высшей точки идет пропорционально количеству этого одного питательного вещества. Этот закон доказан особенно удачно по отношению к азоту (селитре) опытами Буссенго, Гельригеля, Вагнера и др. Это — так называемый закон *минимума*, высказанный Либихом и состоящий в том, что развитие растения, а следовательно, и урожай, находится в прямой

зависимости от того вещества (или вообще условия), которое присутствует в недостаточном количестве.

Сказанного, я полагаю, достаточно, чтобы показать все теоретическое и практическое значение таких опытов. Вместо дорогостоящих, но в результате почти ничего не дающих анализов и других исследований почвы ряд таких простых и в сущности всякому доступных опытов может дать ответ на самые коренные вопросы земледелия: чего недостает той или другой почве? Что и в каком количестве должно быть ей доставлено? Насколько увеличится от этого урожай, и окупит ли эта надбавка урожая расход на удобрение? Если б оставалось какое-нибудь сомнение относительно возможности из опытов в горшках делать такие заключения по отношению к полевой культуре, то эти сомнения вполне устраняются блестящими опытами П. Вагнера на его известной опытной станции в Дармштадте.

Вагнер производил параллельные опыты над действием удобрения на данную почву в сосудах и в поле, и результаты оказались совершенно сходными — опыт в сосудах мог предсказать результаты, которые получались в поле¹.

Но все изложенные опыты для своего производства нуждаются в известной обстановке. Для того, чтобы опыты в сосудах давали действительно нормальные растения, необходимо их производить на открытом воздухе, при полном доступе света и т. д. Но, оставляя растения при таких условиях, мы рисковали бы лишиться очень ценных и стоивших немало труда результатов, благодаря какому-нибудь внезапному порыву

¹ Эти опыты Вагнера были иллюстрированы на Нижегородской выставке его превосходными фототипическими таблицами и культурами в особых сосудах, выписанных из Дармштадта. [Сочинения, том III, стр. 89. *Ред.*]

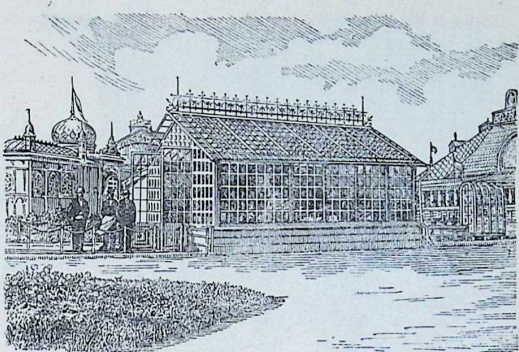


Рис. 3. Внешний вид теплицы на Нижегородской выставке (с фотографии К. А. Тимирязева).

ветра, ливню или граду. Для ограждения себя от этих случайностей необходимо помещать растения так, чтобы в случае надобности их можно было быстро убирать под крышу. Если бы дело касалось нескольких сосудов, то это условие не представляло бы затруднений, но на современных (особенно немецких) опытных станциях такие сосуды насчитываются сотнями, число их иногда заходит за тысячу. Для разрешения этой задачи растения помещают в особого рода холодных тепличках (т. е. без отопления) или стеклянных сарайчиках, на низеньких столах или вагонетках, движущихся по рельсам. Целый день растения остаются на открытом воздухе и только ночью или в ненастье вкатываются в теплицу. Первая образцовая подобная тепличка, приспособленная к целям искусственной культуры, была устроена профессором Ноббе в Таранде. Через два года после тарандской, в 1872 г., первая такая

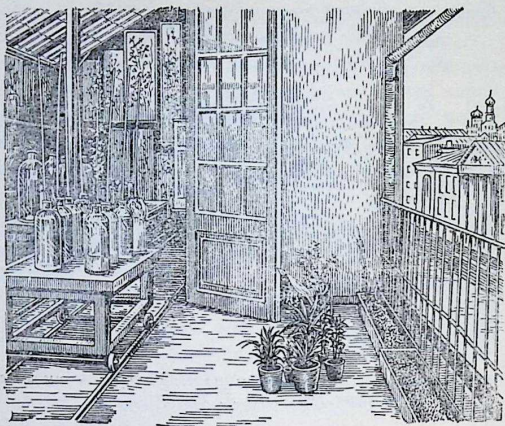
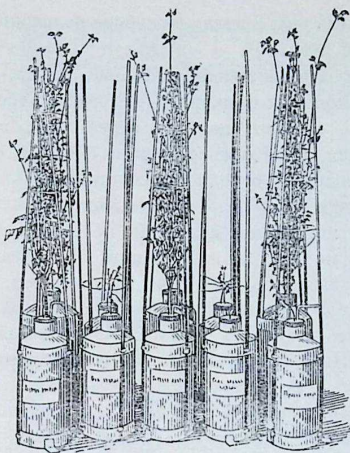


Рис. 4. Уголок теплицы на крыше Московского университета, построенной в 1892 г. по проекту К. А. Тимирязева (с фото К. А. Тимирязева). Заменена новой при перестройке здания.

теплица в России, как уже сказано, была устроена мною в Петровской академии и существует до сих пор. Другую подобную же ей теплицу через несколько лет я устроил на крыше Московского университета, где столики выкатываются на открытую со всех сторон асфальтовую платформу. Наконец, образцовую подобную постройку, исключительно из стекла и железа, можно было видеть в отделе земледелия на Всероссийской выставке в Нижнем-Новгороде (рис. 3 дает ясное понятие об ее внешности, а рис. 2— об ее внутреннем устройстве¹. Такие постройки составляют самую

¹ В настоящее время она перенесена в Петровскую (ныне Тимирязевскую. *Ред.*) академию.



*Рис. 5. Водные культуры гречихи
(с фотографии К. А. Тимирязева).*

существенную часть опытной станции современного типа, заменяя в известном смысле, как мы видели, даже опытные поля. Но они представляют значительную ценность, а между тем желательно, чтобы производство подобных опытов получило наиболее широкое распространение. Для этой цели мною выработан другой тип, более простой и дешевый, но, понятно, меньших размеров. Сосуды с растениями остаются неподвижными; они стоят на земле или, еще лучше, как было показано в Нижнем, погружены в землю, а служащая для их защиты железная клетка на ночь или в ненастье накатывается на них, двигаясь также

на рельсах (на рис. 2 видна в глубине подвижная клетка с открытою дверью)¹.

Но довольно о самой обстановке опыта, — посмотрим на нескольких примерах, как резки и убедительны получаемые при их помощи результаты, воспользовавшись для этого photographиями, снятыми с нижегородских опытов. Вот одна серия опытов, занимавших целую вагонетку. Девять сосудов (рис. 5, по три сосуда с краев и посредине) получили полный питательный раствор и по два зерна гречихи. Все восемнадцать растений развились роскошно и по своим размерам и по урожаю веских, спелых зерен оставили за собою все, что можно видеть при самой успешной полевой культуре. По определению Н. С. Понятского, урожай можно считать приблизительно в сам-двести, и на единицу сухого вещества посеянных семян получилось более трехсот пятидесяти единиц сухого вещества в урожае. А между тем ни одно из этих растений не видало под собою земли, — убедительнейшее доказательство того, что изо всех веществ, находящихся в почве, растение нуждается только в той щепотке солей, которая была растворена в воде этих сосудов. Но удалите из питательной смеси только одно какое-нибудь вещество, например, азот (селитру), — и получатся хилые, тщедушные заморыши, как в других сосудах во втором ряду слева. Или дадим растению нормальное количество азота, но откажем ему в фосфоре и калии, этих главных составных частях золы, — результат будет тот же (во втором ряду справа).

Можно ли требовать более наглядного доказательства необходимости этих источников питания и полной

¹ Когда желают еще удешевить эту клетку, ее можно сделать из дерева и металлической сетки. См. статью «Наука и земледельец». [Сочинения, том III, стр. 15. *Ред.*]

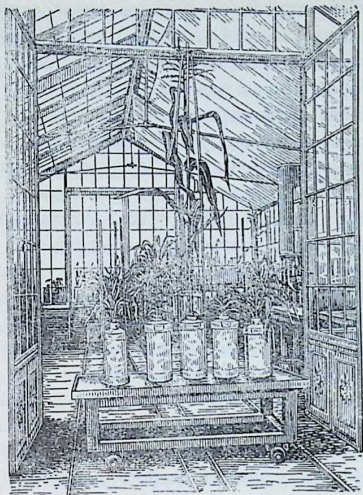


Рис. 6.

остановки развития растения в отсутствии любого из них? Эта равноправность каждого из перечисленных восьми тел еще нагляднее обнаруживается в следующем опыте. Железо, как мы видели, — единственный элемент, который приходится брать в нерастворимом состоянии, в виде осадка, который растворяется, только приходя в прикосновение с корневыми волосками. В золе растения оно также встречается в ничтожном количестве, и, тем не менее, стоит не доставить его корням, и растение окончательно захиреет и погибнет. Рис. 6 нам это доказывает самым наглядным образом. Посредине находится один экземпляр кукурузы в момент цветения, к концу лета доросший до крыши

теплицы. Два других экземпляра низкорослой, скороспелой, так называемой огородной разновидности кукурузы (по краям) дали каждый по несколько початков со зрелыми зернами и вообще не отличались от экземпляров той же разновидности, разводившихся по соседству с теплицей, на участке садоводства Иммера. Наоборот, в растворах без железа получились два (второй и четвертый, считая с края) жалких растеньица, давших пять мелких, узких листочков и затем погибших. Эти два растеньица получили, как и остальные, полный питательный раствор, но были лишены одного только железа. Результат поразительный, особенно если принять во внимание, что железо составляет около *одной стотысячной* доли веса экземпляра нормальной кукурузы. Отсутствие железа еще разительнее обнаруживается в окраске листьев: вместо того, чтобы быть окрашенными в здоровый зеленый цвет, они являются бесцветными и почти белыми¹. Болезнь, вызываемую отсутствием железа, называют бледной немочью, *хлорозисом*. Своевременно прописав растению железо, можно его вполне излечить. Этот опыт невольно напоминает приемы железа, возвращающие нормальный румянец малокровному больному. Сходство это и некоторые другие факты давно давали повод сравнивать зеленое вещество растения — хлорофилл — с красящим началом крови — гемоглобином. Благодаря новейшим исследованиям, в особенности профессора Ненского, это сближение получает реальную почву. Оказывается, что из хлорофилла и гемоглобина можно получить производные, почти между собою тождественные, и это невольно наводит на мысль об общем

¹ Первые листья, до третьего включительно, бывают еще зелены; это зависит от присутствия железа в зернах.

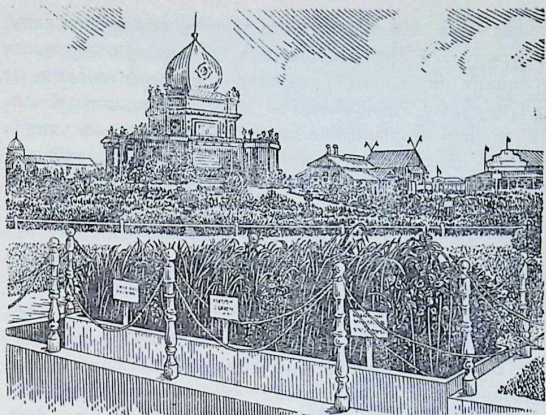
происхождении этих двух тел и еще раз сближает два царства природы.

Заговорив о хлорофилле, не могу не остановиться на одном, совершенно превратном представлении, которое было высказано несколько лет тому назад французским ученым Жоржем Виллем и почему-то особенно понравилось некоторым нашим агрономам-практикам, поспешившим его признать одним из величайших открытий в области научной агрономии. Из общеизвестного факта, что без хлорофилла невозможно питание растения, Вилль заключил, что по яркости их зеленой окраски можно прямо судить об успешности этого питания, и предложил даже прием оценки этой окраски. Для людей сведущих, напротив, было ясно, что Виллю незнакомы факты, как, например, превосходные опыты Гильберта, доказавшие, что одно растение может быть зеленее другого и, тем не менее, будет питаться хуже.

Это — еще один пример опытов, которые легко мог бы проверить каждый хозяин, вместо того, чтобы восхищаться беспочвенной фантазией Вилля.

Таковы простейшие приемы, при помощи которых мы легко и точно можем разрешить главнейшие вопросы касательно как источников питания, доставляемых растениям почвой, так и относительно наиболее благоприятной формы и наиболее выгодного количества, в котором они должны быть им доставлены. Водные культуры, песчаные культуры, культуры в бесплодной почве нас постепенно приближают к более сложным, но и более близким к природе условиям произрастания растения в поле. Но существует форма опытов, еще более близкая к естественным условиям и в то же время разрешающая новый ряд любопытных вопросов. Это — опыты в так называемых *caisse de végétation* (ящиках

для выращивания) французских исследователей, т. е. в зарытых в землю ящиках, наполненных исследуемой почвой. Устройство этих ящиков может быть очень различно. Я остановлюсь на самом целесообразном, образец которого интересующиеся могли видеть на Нижегородской выставке рядом с опытной тепличкой. Три ящика, изображенные на прилагаемой фотографии (рис. 7), сделаны из цемента; емкость каждого из них — в один кубический метр. Они погружены краями своими вровень с землею и опираются на кирпичную кладку, оставляющую под каждым ящиком пустое пространство. Параллельно одной из сторон ящиков (на нашем рисунке передней) сделана в земле траншея, глубиною метра в два и настолько широкая, чтобы опускающийся на дно ее наблюдатель мог свободно двигаться и пропускать руки в пустое пространство под ящиками. Дно ящиков, также цементное, выбрано пирамидальной воронкою, а на конце воронки находится отверстие, под которое в пространстве, находящемся под каждым ящиком, помещены стеклянные бутылки для собирания просачивающейся через почву ящиков воды. Ящики наполняют до краев исследуемой почвой, неудобренной или получившей удобрение, действие которой желают проследить, и засевают изучаемыми растениями. Понятно, что подобный опыт уже совсем подходит к условиям произрастания в поле и дает возможность легко перечислить получаемые результаты на гектары или десятины, т. е. переходить от результатов строго научного опыта к задачам практики. Возможность собирать просачивающуюся воду, подвергать ее анализу бросает свет на целый ряд новых вопросов. Остановлюсь только на одном, в качестве иллюстрации этого приема изучения. Известно, что целый ряд ценных удобрительных веществ—



*Рис. 7. Цементные ящики для культур
(с фотографии К. А. Тимирязева).*

калий, фосфорная кислота, аммиак — в силу так называемой поглотительной способности почвы не вымываются просачивающеюся и уходящею в почву водою. По отношению к ним почва распоряжается очень экономно, сохраняя их к услугам растения; но зато она крайне расточительна по отношению к едва ли не самому ценному, как мы видели, началу плодородия — к селитре. Селитра, как показывают опыты с подобными ящиками, легко вымывается из почвы, уносясь в источники и реки.

Таким образом, совершенно непроизводительно спускаются в море, как вычислено, громадные капиталы. Что бы сказал какой-нибудь хозяин, если бы ему объяснили, что для успеха его культуры необходимо вносить из года в год на десятину рублей на двадцать минеральных удобрений? Конечно, поморщился бы и,

может быть, ответил, что эта затрата ему не под силу. А между тем Дегерен доказывает, что при известных условиях из почвы вымывается селитры именно на такую сумму. Следовательно, сами того не подозревая, мы можем *непроизводительно*, в прямой себе ущерб, тратить такую сумму, *производительное* израсходование которой заставило бы призадуматься. Но как же избежать этой траты или, по крайней мере, ее обнаружить? Остановлюсь на одном опыте бельгийского ученого Петермана, сделанном именно в подобных культурных ящиках. Два ящика, засеянные одним и тем же растением, отличались только тем, что в одном была почва неудобренная, а в другом — удобренная селитрой. Анализ просачивавшейся через почву в течение года воды показал, что в последнем случае в этой воде было менее селитры, чем в первом. Этот результат до того неожидан, до того парадоксален, что на первый раз думается, уже не обмолвился ли тот, кто его заявляет. Как согласить, что селитра легко вымывается из почвы, и рядом с этим ее оказывается тем менее в просочившейся воде, чем более было селитры в почве, через которую вода эта просочилась? Ключ к этой загадке дает опять само растение. В удобренном селитрой ящике оно развивается гораздо роскошнее, производит бо́льшую поверхность испаряющих воду листьев и сосущих эту воду корней, благодаря чему извлекает не только ту селитру, которую внесли в виде удобрения, но и перехватывает ту, которая уже находилась в почве. Селитра не успевает вымываться, так как еще ранее перехватывается корнями. Удобрив почву селитрой, мы дали растению возможность использовать не только это удобрение, но и естественное плодородие почвы. Отсюда понятно, как невыгодно для хозяина, чтобы его земля была покрыта тощей

растительностью. Еще менее выгодно, когда она вовсе пустует, особенно осенью, когда селитра всего более вымывается из почвы. Как же сохранить эту селитру, как оградить себя от непроизводительного расточения одного из существеннейших условий плодородия? Для борьбы с этим злом практикуются так называемые «воровские» культуры, *cultures dérobées*, французских агрономов, т. е. вслед за жатвой делается посев быстро растущих растений, которые своими корнями продолжают до глубокой осени высасывать селитру почвы, превращая ее в органическое вещество, и затем запахиваются, как зеленые удобрения. Для этой цели годно всякое растение, быстро растущее и развивающее обильную корневую систему, но мы увидим далее соображения, которые заставляют ограничивать свой выбор по преимуществу растениями бобовыми.

Таковы выводы, к которым приводит западных ученых зависимость растения от почвенной селитры. У наших практиков распространено мнение, что при нашем континентальном климате вымывание селитры не имеет значения, как будто у нас не бывает дождливой осени. С другой стороны, и у нас можно встретить практиков, придающих значение этим фактам. Таковы, например, любопытные опыты г. Топоркова в Елисаветградском уезде; он объясняет вред вымочек на низинах, сопровождающихся желтением всходов, именно вымыванием селитры, так как ему случалось наблюдать, что удобрение селитрой восстанавливало нормальный зеленый цвет начавших желтеть растений. Только опыт и лучше всего опыт в подобных ящиках может дать ответ на этот важный практический вопрос*.

* Чем объясняется вред «вымочек», до сих пор недостаточно ясно. В отношении азота, повидимому, приходится считаться не

Гораздо существеннее возражение, которое делают против таких пожнивных культур, заключающееся в том, что, заботясь о сохранении почвенной селитры, мы можем израсходовать осенний запас почвенной влаги, который при наших климатических условиях, при наших частых засухах должен составлять предмет наших забот, пожалуй, еще более существенный, чем запас питательных веществ. Растение, собирая своими корнями селитру, в то же время своими листьями будет расходовать воду, которая иначе сохранилась бы в почве для потребностей последующей культуры, и эта трата иной раз будет еще чувствительнее. В этом примере весьма наглядно проявляется вся сложность задачи, которую приходится постоянно разрешать сельскому хозяину. Нигде, быть может, ни в какой другой деятельности не требуется взвешивать столько разнообразных условий успеха, нигде не требуется таких многосторонних сведений, нигде увлечение одной-единственной точкой зрения не может привести к такой крупной неудаче, как в земледелии. Слишком заботясь о снабжении растения пищей, мы могли бы лишиться его необходимой влаги, этого второго важнейшего условия растительной жизни, к рассмотрению которого и переходим.

2

РАСТЕНИЕ И ВОДА

При оценке потребности растения в воде приходится разрешать два вопроса: сколько расходует оно воды, и точно ли все это количество для него необходимо,

только с потерями селитры путем вымывания, но и путем бактериального разрушения (денитрификация), что также имеет место при избытке увлажнения. Ред.

т. е. вопрос, сходный в основе с тем, который приходилось рассматривать и по отношению к веществам, доставляемым растению почвой.

Следовательно, еще ранее необходимо решить вопрос: какую роль играет вода в жизни растения. Она, конечно, входит в его химический состав — эта самая ничтожная ее часть. Затем она растворяет, делает подвижными его составные части, без чего невозможно никакое деятельное проявление жизни — это только приложение к физиологии старой химической поговорки: *corpora non agunt nisi soluta* (тела не действуют, если не растворены). Различие сухого и размоченного в воде семени всего проще это поясняет. Вода не ограничивается, однако, этой исключительно химической ролью, она играет и роль механическую, являясь главным деятелем, определяющим процесс роста. Притяжение воды содержимым молодых клеток, давление этого увеличивающегося на счет воды содержимого на стенку и вызывает то, что называют ростом клетки. Но и это количество сравнительно невелико, — ограничена потребность растения только им, сельский хозяин никогда и не знал бы, что такое засуха. Предмет забот хозяина составляет вода, которую в отличие от первой или *организационной*, т. е. идущей на строение растения, мы можем назвать *расхожей*, — та, которую растение всасывает корнями, повидимому, только для того, чтобы испарить ее листьями. Количество этой воды поражает своими размерами. Чтобы убедиться в этом, стоило только следить за выражением удивления, появлявшегося на лицах посетителей нашей нижегородской теплицы, где были выставлены для пояснения этого факта известное отвешенное количество пшеничных зерен и рядом посуда с водой, которую испаряют за свою жизнь растения пшеницы

для образования этого количества зерен. Вес этой воды, как известно, в круглых цифрах превышает в тысячу раз вес полученных зерен. Люди, незнакомые с этим фактом (да и знакомые также), оставались изумленными при виде этого наглядного сопоставления.

Вот по отношению к этой-то расхожей воде необходимо притти к определенному заключению: нужна ли она растению в таких количествах или не нужна; другими словами, испарение воды в таких размерах представляет ли оно необходимый физиологический процесс или только неизбежное физическое зло? В чем заключается его роль? До недавнего времени предполагали, что растение вынуждено перегонять через себя эти громадные количества воды для того, чтобы осадить в своих тканях так скудно рассеянные в почве, необходимые для его питания, минеральные вещества. В другом месте¹ я имел случай доказать несостоятельность этого воззрения. Для покрытия своих потребностей в почвенной пище растение может довольствоваться гораздо менее значительным испарением. Недавно один немецкий ботаник, Габерланд, указывал, что притти к такому выводу он мог только благодаря путешествию на Яву с ее роскошной растительностью и относительно слабым испарением воды, благодаря значительной влажности ее климата. Он даже видел в этом одно из доказательств необходимости этих, ставших теперь модными, ботанических паломничеств. Габерланд доказал, что европейский опыт не мог будто бы привести ботаников к такому заключению. Тем не менее, этот вывод сделан мною раньше Габерланда на основании исключительно европейских опытов и позже еще раз подтвержден одним молодым рус-

¹ См. статью «Борьба растения с засухой». [См. стр. 63. *Ред.*]

ским ботаником г. Литвиновым, не ездившим за тем дальше Тульской губернии. Г. Литвинов показал, что при искусственном понижении испарения гречихи¹, приблизительно в 5—6 раз, количество образовавшегося органического вещества не убыло, а даже увеличилось в $2\frac{1}{2}$ раза, так что расход на воду понизился в 12—15 раз. Такие опыты, во всяком случае, доказывают, что *для целей питания* растение не нуждается в тех громадных количествах воды, которые оно обыкновенно испаряет.

Другая польза, которую растения извлекают уже прямо из испарения, заключается в понижении его температуры, в ограждении его от летнего солнечного зноя, но и от этого вреда оно могло бы в значительной мере оградить себя иными путями².

Значит, растение могло бы обойтись без этой громадной траты воды на испарение; сам по себе этот процесс *в таких размерах, как он совершается*, бесполезен и даже вреден. Но как же себе объяснить тогда эту непроизводительную трату? Мы должны допустить, что эта трата не физиологическое отправление, а лишь неустранимое физическое зло. Откуда оно происходит, нетрудно себе объяснить. Растение, как мы увидим вскоре, прежде всего и главным образом прибор для улавливания воздуха и солнечного света, а такой прибор, представляя большую поверхность нагрева, роковым образом является прибором для испарения воды. Можно сказать, вся организация воздушных частей растения направлена к тому, чтобы бороться с этим злом испарения, хотя бы даже в ущерб питанию. Растение, можно сказать, обрекло себя на постоянный

¹ В замкнутом пространстве, под стеклянными колпаками.

² См. также «Борьба растения с засухой».

пост и воздержание в пище, лишь бы только не подвергнуться опасности умереть от жажды. Вся поверхность воздушных частей покрыта изолирующими веществами, препятствующими испарению воды, но в то же время препятствующий и свободному соприкосновению с воздухом, извлечению из него питательных веществ. Это соприкосновение, как известно, обеспечивается маленькими автоматически раскрывающимися и закрывающимися отверстиями — устьицами, как это было, между прочим, очень наглядно совсем недавно показано Ф. Н. Крашенинниковым, при помощи придуманного им очень простого и остроумного прибора. Что питание листьями могло бы совершаться гораздо успешнее, не будь растение вынуждено снабдить себя непроницаемой для воды (а вследствие этого и для газа) кожицею, доказывается хотя бы следующим опытом. Как мы увидим вскоре, питание листа на счет воздуха выражается накоплением в его тканях крахмала. Шталь показал, что если проколоть лист булавкою, то вокруг каждого отверстия, через которое откроется доступ воздуха внутрь листа, отложение крахмала будет происходить гораздо обильнее. Из этого мы должны заключить, что лист, с которого мы сорвали бы кожицу, питался бы еще лучше, если б... если б он ранее не завял и не засох. Следующий пример, быть может, еще разительнее. Посетители Парижской всемирной выставки 1889 г. могли видеть в агрономическом отделе странные искусственные деревья из проволоки, с белыми листьями из асбестовой бумаги. Эти искусственные деревья дали возможность Мюнцу, ученому, известному своими химико-агрономическими исследованиями, доказать следующий любопытный факт: если смочить эти искусственные листья соком, выжатым из живых листьев, то они будут поглощать

из воздуха аммиак, и в таком количестве, что его, пожалуй, будет достаточно для покрытия всей потребности в азоте растения с такою же листовой поверхностью. А между тем, настоящие листья получают этим путем только ничтожное количество аммиака, потому что они сообщаются с атмосферою только через свои устьяца. Значит, опять, сорви мы с листьев кожицу, предоставь мы листовой мякоти возможность всей своей свободной поверхностью поглощать аммиак из атмосферы, и растение могло бы обойтись и без азота почвы, но — опять то же «но» — оно еще ранее погибло бы от недостатка влаги. Итак, мы видим, что испарение воды в таких размерах, как оно обычно совершается, есть зло, но зло, вытекающее из необходимости воздушного питания растения, и далее, что вся организация растения направлена к борьбе с этим злом, к наиболее выгодному компромиссу между двумя трудно согласуемыми условиями существования¹.

Легко понять, как важно для земледелия установить эту основную точку зрения. Пока можно было думать, что растение прямо нуждается в том количестве воды, которое оно испаряет, приходилось подчиниться необходимости и во что бы то ни стало доставлять его. Но мы видели, что растение может мириться с гораздо меньшим количеством воды, что оно само борется с этим злом. Сельскому хозяину приходится только подражать растению и брать его себе в союзники при своей борьбе с тем же злом. Но для того, чтобы эта борьба не велась втемную, важнее всего знать ту цифру, то отношение между количеством испаряющейся воды

¹ Новейшие исследования Гораса Брауна заставляют нас несколько изменить наши воззрения на роль устьиц в воздушном питании. В обычном открытом состоянии они очень легко пропускают газы и пары воды, но зато, закрываясь, почти не пропускают.

и образующимся в растении органическим веществом, о котором мы говорили выше. Эта цифра одна может определить нам выбор того или другого культурного растения, иногда даже разновидности — выбора того или другого культурного приема — по отношению к разумному использованию находящегося в нашем распоряжении количества воды! Узнать ее, по счастью, очень нетрудно¹. И здесь мы снова встречаемся с широким полем для исследования, доступным всякому сознательно относящемуся к своей деятельности сельскому хозяину, даже лишенному сложной, дорогой лабораторной обстановки. В 1892 г. я указывал на пользу и важность таких исследований для характеристики наших культурных растений. В появившейся вскоре затем интересной работе Винера мы получили ценную характеристику некоторых наших культурных растений с этой точки зрения. Так, например, для проса, этого по преимуществу приспособленного к нашему континентальному климату хлебного злака, отношение между количеством испаряемой воды и урожаем оказалось наиболее выгодным.

Одним из наиболее любопытных средств понижения этого отношения между количеством испаряемой воды количеством образуемого растением органического вещества является более успешное воздушное питание растения, с которым теперь нам необходимо познакомиться.

3

РАСТЕНИЕ И ВОЗДУХ

Если бы факт зависимости питания растений от воздуха не был так широко известен, то одних, приведен-

¹ См. «Борьба растения с засухой».

ных выше, опытов водных и песчаных культур было бы достаточно для его доказательства.

В самом деле, ни в одной из этих культур мы не доставляли растению элемента, наиболее важного, образующего почти половину его сухого веса, — *углерода*. Не было его ни в прокаленном песке, ни в дистиллированной воде, ни в той щепотке соли, которой покрывались все потребности наших растений. Для углерода, очевидно, остается один источник — воздух. Воздух всегда содержит углерод в виде его соединения — углекислоты. Но количество этого газа в атмосфере очень невелико, примерно 2 или 3 *десяти тысячных*, и нужно собственными глазами увидеть, как мал этот кусочек угля, растворенного в громадном объеме воздуха, чтобы понять, как ничтожно это содержание¹. И тем не менее, только это ничтожное количество углерода в атмосфере делает возможным существование растения, а следовательно, и существование человека с его земледелием. Питание растения на счет скудно рассеянной в атмосфере углекислоты долго смущало даже ученых, пока не было доказано классическими опытами Буссенго, но самый этот опыт вследствие своей хлопотливости после Буссенго почти не повторялся, и поколения не только агрономов, но и ботаников, исповедуя этот факт, не имели возможности убедиться в нем собственными глазами. Благодаря остроумному приему, придуманному Дегереном, мы теперь легко можем показать это явление каждому. Возьмем две стеклянные трубки по метру в длину и сантиметров пять в диаметре и положим их горизон-

¹ В нашей теплице это было наглядно показано при помощи следующей модели: большая стеклянная кубическая клетка изображала объем воздуха, а помещавшийся на ней едва заметный кубик угля — содержание углерода в этом объеме.

тально на общей подставке. С обоих концов трубки заткнуты каучуковыми пробками и с одного конца получают через узенькие каучуковые трубочки струю обыкновенного воздуха, подаваемого уже знакомым нам газометром (см. рис. 2). С другого конца, выходя через такие же тонкие стеклянные трубочки, прошедший через трубки воздух промывается в двух колбочках с баритовой водою. Одну из двух длинных трубок наполняют свежесобранными листьями так, чтобы они образовали как бы внутреннюю обкладку трубки. Когда прибор таким образом собран, выставлен на солнце, и струя воздуха пущена из газометра, через несколько времени убеждаемся, что между тем как воздух, прошедший через пустую трубку, замутил баритовую воду, воздух, омывший поверхность листьев, уже не мутит ее в другой колбе. Осадок углекислого барита в первой колбе показывает присутствие углекислоты в атмосфере; отсутствие его в другой колбе доказывает, что вся углекислота извлекается из воздуха, пришедшего в прикосновение с листьями, освещенными солнцем. Что явление зависит именно от солнца, нетрудно также доказать: стоит набросить черное сукно на трубку с листьями, и мы увидим, что тогда выходящий из нее воздух начнет мутить баритовую воду так же, как воздух, не прошедший над листьями, и даже сильнее, потому что листья в темноте не разлагают, а еще выделяют углекислоту.

Над этим опытом, хотя он не приводит к непосредственным практическим выводам, сельскому хозяину не мешает почаще задумываться, так как в нем выражается одна из особенностей его промысла. Говорят, существуют такие промышленники, которые торгуют щенками, предварительно обучив их, куда бы их ни занесли, возвращаться к ним домой; понятна выгода

такого промысла, если б только он не сталкивался с соображениями этического характера. Но сельский хозяин может без укоров совести торговать углекислотой воздуха, которая без всякого с его стороны участия сама к нему возвращается. В этом и заключается основная мысль рационального хозяйства, провозглашенная Либихом. Продавайте, отчуждайте из своего хозяйства только то, что вам ничего не стоит, что даром возвращается через воздух, а обо всем, что вы извлекаете из почвы, помните, что оно само уже не вернется к вам, что или вы должны его возместить в форме удобрения, или должны готовиться к упадку плодородия ваших полей. Точно ли несоблюдение этого правила — бессознательное удаление из почвы того, что само собою в нее не возвращается — было одной из причин падения древних цивилизаций, как это красноречиво проповедовал Либих и еще ранее Дэви, — трудно сказать, но, во всяком случае, его учение о необходимости «возврата» неуязвимо, как закон природы. Не едва ли правы те писатели-экономисты, которые пытались доказать рациональность «хищнического» хозяйства на том будто бы основании, что практика «возврата», т. е. возвращения в удобрениях всего того, что извлечено урожаем, появится сама собою, когда это окажется экономически необходимым. Этим противникам закона возврата нужно было бы еще прежде доказать существование *a priori* (т. е. вперед) очевидного и столь же несомненного, как закон возврата, закона природы, в силу которого *везде*, где истощенная земля откажется родить по-прежнему, под рукою землевладельца *всегда* окажется экономически выгодное удобрение. А пока такого закона природы не найдено, предсудительность, вытекающая из знакомства с действительным законом природы, указанным Либихом,

требует признать за правило более дальновидной экономической деятельности, если не с личной, то с общественной точки зрения.

Но если, сами о том не заботясь, мы успешно эксплуатируем так скудно рассеянную в воздухе углекислоту, то что же сказать о кислороде и азоте? Необходимость кислорода, если не для питания, то для дыхания, весьма наглядно выразилась в тех опытах, с которыми мы уже успели ознакомиться. Мы видели, что при водных культурах в растворы необходимо пропускать воздух, а в культурах в песке необходимо заботиться, чтобы вода не выполняла всех промежутков между твердыми частицами почвы, а оставляла место для воздуха. Как в нашей научной практике, так и в земледелии, если человеку и приходится заботиться о доставлении растению кислорода, то разве только по отношению к корням,— с этим связаны различные приемы обработки почвы, дренажа и пр.

А самая главная составная часть воздуха, его азот, составляющий $\frac{4}{5}$ атмосферы, пользуется ли им растение, научился ли им пользоваться человек? Открытие факта возможности питания растения свободным азотом воздуха, открытие удивительных условий, при которых совершается это питание, составляет одно из крупнейших приобретений науки за последние десятилетия. Оказалось, что тайной усвоить свободный азот атмосферы обладают только микроорганизмы, бактерии, или в связи с другими растениями, как это открыл Гельригель, или и без их участия, как это позднее доказал Виноградский. Первое открытие, как известно, бросило яркий свет на эмпирические приемы земледелия, практиковавшиеся в глубокой древности, но получившие особенно широкое применение с конца прошлого столетия,— на значение бобовых растений

в плодосмене¹. Что растения этой группы предъявляют почве иные требования, чем злаки, что они как-то обогащают почву, являлось эмпирическим результатом агрономической опытности, что эта особая роль бобовых растений в плодосмене должна быть связана с вопросом о происхождении азота этих растений, высказал еще в 40-х годах Буссенго, но только в 1884 г. Гельригелю удалось доказать, что бобовые растения могут быть выращены в песке, не содержащем следов азота, лишь бы в нем находились известные бактерии, вызывающие, как это показал еще ранее М. С. Воронин, на корнях бобовых растений особого рода желвачки. Когда на корнях имеются эти наросты, бобовые растения получают способность жить на счет атмосферного азота; когда этих желвачков нет, а почва не содержит соединений азота, растение погибает. Вот наглядная форма опыта, в том виде, как нам удалось ее также показать тысячам посетителей Нижегородской выставки². Ряд стеклянных банок наполнен промытым и прокаленным песком, полит уже известным нам раствором, но *без селитры*, следовательно, *без азота*, и засеян горохом. Затем в некоторые сосуды (нечетные на нашей фотографии, рис. 8) прилито с наперсточек (несколько

¹ Вопрос этот подробно разобран мною в лекции «Источники азота растений». [См. стр. 127. *Ред.*]

² Могу смело сказать, что еще ни одному ученому не удалось в одной лекции иллюстрировать все основные факты, касающиеся питания растений, как это удалось мне 20 августа 1896 г. на Нижегородской выставке. Все основные положения были доказаны не на рисунках или засушенных экземплярах, а на живых культурах, притом выращенных во всех своих стадиях в течение месяцев на глазах у публики. На Брюссельской выставке 1897 г. предполагалось обратить особое внимание на такие научные демонстрации, но, повидимому, на ней не было ничего такого, что могло бы выдержать сравнение с нашей опытной станцией.

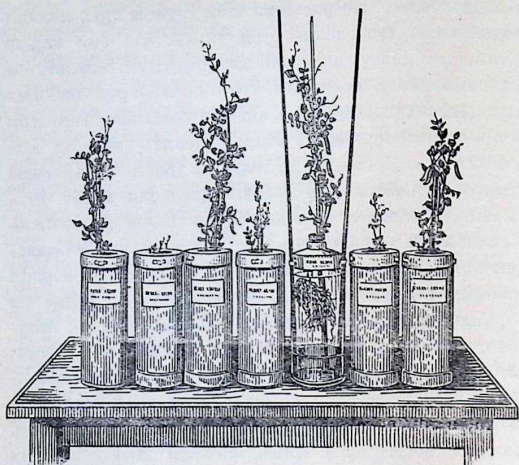


Рис. 8. Горох в песке: зараженном (нечетные сосуды) и стерилизованном (четные сосуды) (с фотографии К. А. Тимирязева).

кубических сантиметров) воды, в которой была предварительно разболтана обыкновенная полевая или огородная почва, всегда содержащая необходимые для нас бактерии. После этого мы можем быть уверены, что в четных сосудах, так как песок их был прокален, бактерий нет, в нечетные же мы их умышленно ввели. Какой получается от этого результат, превосходно показывает нам фотография. Растения в четных сосудах за неимением азота погибли; в нечетных, где благодаря доставленным им почве бактериям они могли добывать азот из воздуха, они превосходно развились, цвели и принесли обильные стручки и спелые горошины.

На основании всего сказанного, одного взгляда на развитые (нечетные) растения достаточно, чтобы предсказать, что их корни должны быть покрыты желвачками, но, признаюсь, не без некоторого замиранья сердца стали мы их отмывать на глазах у публики, предварив вперед, что экземпляры развитые *должны* иметь желвачки на своих корнях, экземпляры же не развившиеся должны отличаться их отсутствием. Ожидание, конечно, и на этот раз оправдалось. Третий сосуд справа представляет такой отмывый от песка и перенесенный в воду экземпляр, корни которого были покрыты желвачками.

Итак, бобовые растения при содействии бактерий пользуются даровым азотом, этим самым дорогим из удобрений; мало того, они оставляют часть своего азота в виде корней в почве, удобряя ее для последующих культурных злаков; мы, наконец, можем запахать все растение в землю, как зеленое удобрение, которое заменит нам навоз, и т. д. И все это благодаря присутствию ничтожного количества бактерий, которые сообщают этим растениям ценную способность существовать не только на счет дарового углерода, что делают все растения, но и на счет такого же дарового азота. Такая роль этих бактерий, естественно, подала мысль разводить их искусственно. И с 1896 г. возникла новая промышленность — торговля бактериями, заменяющими азотистые удобрения. Удобрение для целого поля в жилетном кармане, — эти слова звучат чем-то фантастическим, но, взглянув на эту фотографию, кто же усомнится в полной возможности такого факта? Весною 1896 г. мне привелось видеть один из первых образцов этого нового удобрения (нитрагина) у самого его изобретателя, профессора Ноббе в Таранде, — запаянную стеклянную трубочку с застывшей в ней

желатиной, содержащей разводку бактерий. Стоит распустить эту желатину в воде, смешать с землей, разбросать по полю, и поле удобрено самым ценным удобрением — азотом. Пока, впрочем, еще не приходится слышать об особенно широком применении этого нового удобрения. Может быть, оно и лучше. Лучше потому, что доказывает возможность в большей части случаев обойтись и без него; сама природа таровато рассыпала его в любой почти почве. Только в некоторых исключительных случаях, например, на почвах торфяниковых, где, повидимому, нет этих микроорганизмов, удобрение ими оказалось, несомненно, полезным. Таким же образом оно, быть может, окажется полезным для более редких из культивируемых бобовых растений, так как опыты Ноббе показали, что бактерии, поселяющиеся на различных растениях, повидимому, различны¹. Что же касается обыкновенных почв и обыкновенных бобовых растений, то, по всей вероятности, мы будем и впредь довольствоваться теми дозами естественного *нитрагина**, которые природа, земля доставляет даром.

Что касается самого процесса усвоения свободного азота при содействии этих бактерий, поселяющихся в корнях бобовых, то мы должны признаться, что ничего пока о нем не знаем. Мы не знаем даже, где и как совершается этот процесс, — одно только очевидно, что мы не имеем здесь дела с явлением так называемого симбиоза, т. е. союза двух организмов; это, напротив, какая-то борьба с переменным счастьем. В первые моменты поселения бактерий на корнях растение как

¹ Завод Луциуса изготовляет по указанию Ноббе различные бактерии для различных бобовых растений.

* См. примечания к стр. 182. *Ред.*

будто даже хиреет, но потом оправляется, пожирает своих постояльцев и на их счет откармливается.

Как бы то ни было, открытие Гельригеля дает в первый раз человеку рациональное средство эксплуатировать азот атмосферы, как он до той поры эксплуатировал только ее углерод. Для извлечения углерода ему достаточно было культивировать свои зеленые растения, для извлечения азота приходится подумать об одновременной культуре невидимых бактерий. Но, может быть, культура этих последних, для той же цели, окажется возможной и без участия растений, прямо в почве. Исследования последних лет, — в особенности замечательные работы Виноградского, Бертло и Дегерена, — повидимому, позволяют ожидать многого и в этом направлении. Быть может, они принесут нам научную разгадку и для других приемов практики, например, объяснят нам значение пара и т. д.

Итак, земледелие эксплуатирует не одну только почву и ее влагу, как это представлялось человеку вполне понятным с незапамятных времен, но прежде всего и главным образом воздух, о чем мы узнали по отношению к углероду всего одно столетие, а по отношению к азоту с небольшим одно десятилетие тому назад.

4

РАСТЕНИЕ И СОЛНЦЕ

Только что приведенный мною опыт Дегерена, доказывающий поглощение углекислоты, в то же время самым наглядным образом показывает нам зависимость растения от последнего и, быть может, самого важного условия его существования — от солнца. Между тем как листья, освещенные солнцем, извлекали из воздуха

всю его углекислоту, питаюсь ею,— стоило набросить на трубку черное сукно, и это явление прекращалось, даже изменялось в обратное: листья начинали выделять в атмосферу новое количество углекислоты, образовавшейся через окисление растительного вещества кислородом воздуха. В темноте растения не только не увеличивают своей массы, но еще уменьшают ее, сжигая свое вещество в этом процессе дыхания.

Итак, самый существенный процесс питания растения, приобретение им главной его составной части — углерода, зависит от света. Эту зависимость мы должны понимать в строго *количественном* смысле. От количества получаемой солнечной энергии зависит количество образующегося вещества; вывод этот с очевидностью вытекает из следующего соображения: растение получает углекислоту, состоящую из углерода и кислорода; углерод оно удерживает, а кислород выдыхает обратно в воздух, но химия нас учит, что для такого разложения углекислоты необходимо *затратить* столько же тепла, сколько выделил бы его этот освободившийся углерод, сгорая обратно в углекислоту. Мы знаем, сколько в нашем урожае находится органических веществ, сколько углерода, знаем далее, сколько этот углерод освободил бы тепла, если бы его сжечь. Такое же, по меньшей мере, количество тепла, в форме солнечных лучей, должно было получить растение. Из этого строго количественного отношения между солнечным светом и усвоением углерода растением вытекает, между прочим, и тот результат, о котором мы вскользь упомянули выше. Мы сказали: чем лучше питается растение на счет воздуха, тем менее оно испаряет воды. Этот факт поставлен вне всякого сомнения исследованиями французских ученых Дегерена и Жюмеля, и мы можем дать ему такое объяснение. На разложе-

ние углекислоты затрачивается энергия солнечных лучей, но она же тратится и на испарение воды; чем более будет та доля, которая *производительно* затрачивается на питание, тем менее останется для *непроизводительной* ее траты на испарение. Но, с другой стороны, доказано, что питание листьев находится, между прочим, в зависимости от доставленных растению солей калия, откуда можно усмотреть, как сложно иногда сплетается влияние почвы, влаги, воздуха и солнца, и как бесконечно сложна задача сельского хозяина, заключающаяся в наилучшей эксплуатации всех этих четырех факторов.

Может быть, мне готовы возразить: эти соображения о зависимости растения от солнца очень любопытны, но какой же они могут представить практический интерес, — ведь, все равно, нам не прибавить и не убавить ни одного луча солнца.

Конечно, так, но из этого вытекает с очевидностью тот малоизвестный вывод, что предел плодородия данной площади земли определяется не количеством удобрения, которое мы могли бы ей доставить, не количеством влаги, которою мы ее оросим, а количеством световой энергии, которую посылает на данную поверхность солнце. Между тем, только отправляясь от этого положения, можем мы вполне понять экономическое значение земледелия: А такое понимание важно не для одного только земледельца, но и для государственного человека. «Наш министр финансов, — остроумно замечает Г. Фогель в речи, произнесенной на последнем съезде немецких натуралистов, — конечно, и не подозревает, что теми 87 миллионами, которые ему дает сахарный акциз, он обязан химическому действию света», т. е. солнцу. В последнее время у нас часто приходится слышать рассуждения о «недрах земли», о тех богат-

ствах, которые в них сокрыты, о каменном угле, который таится в этих недрах, откуда русский рабочий призван его извлекать хотя бы в ущерб себе, но зато в подрыв английскому рабочему, как-то ухитряющемуся доставлять нам его дешевле, чем он обходится нам дома. Каждый раз, как случается слышать эти рассуждения, невольно приходят на ум такие соображения. Ведь этот черный уголь только солнечный луч, схоронившийся в земле, а какие потоки этих лучей изливает солнце на бесконечный простор нашей родины! Или мы уже изловчились уловить их всех, и наша безграничная равнина покрыта возделанными полями и лугами, как поверхность Англии? И, наоборот, не потому ли английский рабочий вынужден был зарыться в землю, потому что на его тесном островке не всякий может предъявить свое *droit au soleil* (право на солнце)? Говорят, труд земледельца плохо оплачивается, но неужели подземный труд углекопа оплачен лучше? Почему же тогда порою заходит речь о том, что было бы полезно, вероятно, для возбуждения благородного соревнования, заменить этот свободный труд трудом арестанта-каторжника? Если мы так озабочены извлечением из недр земли тех лучей солнца, которые рабочий обречен добывать ползком и скрючившись в беспросветном мраке шахты, то почему же не позаботиться нам ранее о лучшем использовании тех неисчислимых сокровищ даровой силы, которые он может добывать на вольном воздухе, под ясными лучами для всех равно светящего солнца, гордо подняв голову и молодецки потряхивая кудрями, как его прототип — Микюла? И не забудем, что этот черный уголь *никогда* не уйдет от нас, хотя бы мы его приберегли на черный день, а каждый луч солнца, не уловленный зеленою поверхностью поля, луга или леса, — богатство, поте-

рянное *навсегда* и за растрату которого более просвещенный потомок когда-нибудь осудит своего невежественного предка.

Земледелец из дарового сырого материала — воздуха и даровой силы — солнечного света изготавливает ценности; в этом главная тайна производительности его труда. Но мыслимый предел производительности этого труда, приложенного к данной площади, определяется солнцем. Уже теперь, конечно, в очень несовершенной форме, можем мы приблизительно определить физический предел этого плодородия, т. е. тот предел, которого человеческое искусство *при помощи растения* никогда не переступит. Оказывается, что самые интенсивные наши культуры утилизируют 1—2 % всей солнечной энергии, получаемой с данной площади. Можно ли из этого заключить, что нам когда-нибудь удастся использовать все эти 100 % солнечного света? Конечно, нет, — потому что тогда растение было бы не зеленое, а черное. Растение может использовать только ту часть солнечного света, которую оно поглощает, а это поглощение зависит от его зеленого вещества — хлорофилла. Это вещество, оказывается, поглощает, примерно, около 20—30 % всего падающего на него света. Но это еще не все. Непосредственные опыты, излагать которые здесь было бы неуместно, убеждают, что и эта величина должна быть понижена вдвое. Следовательно, 10—15 % солнечного света — вот все, что может быть утилизировано растением, а мы только что видели, что при помощи самых интенсивных своих культур мы утилизируем уже до 2 %. Значит, когда человек когда-нибудь успеет увеличить производительность самых интенсивных своих культур раз в пять, то, вероятно, будет вправе сказать, что получил все физически возможное, все, что дает ему солнце.

Это — предел теоретический, далекий; посмотрим же пока, что означает тот предел, который осуществлен на практике; как относится он к количеству затраченного на него труда. Другими словами, насколько может, а следовательно, должен, вознаграждаться труд, приложенный к земле. Рислер вычисляет, что для всех работ на гектаре пшеницы нужно 50 рабочих дней, а при урожае в десять гектолитров получится количество, примерно, в двадцать два раза более того, которое затратится на пищу рабочего за это время. Но человеку нужно прокормить себя не 50, а целых 365 дней,— следовательно, при сказанном урожае получится количество хлеба, достаточное на троих. Понятно, что такой урожай,— продолжает Рислер,— немыслимо мал,— не может же человек довольствоваться одним хлебом¹; откуда же покроет он другие свои потребности, постоянно возрастающие с развитием человеческой культуры? Очевидно,— заключает он,— необходимы урожаи в 20—25—30 гектолитров, и они вполне осуществимы. Возможны урожаи в 40—60, наконец, известен случай, когда он доходил до 72 гектолитров на гектар. Но что же такое этот урожай в 10 гектолитров, который признается французским ученым немыслимо малым? Это — наш обычный средний крестьянский урожай в 5 четвертей ржи на десятину (по профессору А. Ф. Фортунатову), падающий в некоторых уездах до 4 и даже 3. А между тем датский крестьянин получает для своей пшеницы средний урожай в 18 четвертей!

Откуда же такая разница, где ее причина? Говорят, величайший благодетель человечества тот, кто научит

¹ Что сказал бы почтенный французский ученый о поселениях, для которых и такое довольство — не всегда достижимый идеал?

получать два колоса, где прежде родился один. Сколько должно народиться этих благодетелей для русского крестьянина, пока его доля сравняется с долей датского собрата? Не можем ли мы, по крайней мере, угадать, откуда, с какой стороны ждать их пришествия? Мы, натуралисты, даже в области догадок руководимся индукцией. Наше поколение воспиталось на книге, о которой, повидимому, вспомнило и молодое поколение, судя по тому, что появляется ее новый перевод, — на «Логике» Милля¹; а в ней имеется так называемый *второй канон* экспериментального исследования, поясняющий, что «если один случай, когда наблюдается данное явление, отличается от другого, когда оно не наблюдается, одним условием, то это условие и есть причина или часть причины наблюденного явления». Только что мы видели блестящий ряд применений этого приема индуктивной логики. Почему та гречиха развилась хорошо, а эта захирела; чего недоставало ей? Опыт отвечает нам — азота. Почему та кукуруза выросла до потолка, а эта замерла на первых же листочках; чего недоставало ей? Опыт говорит — железа. Чего же недостает русскому крестьянину такого, что есть у его датского собрата? Быть может, на этой необозримой равнине ему недостает угодий? Или земля у него хуже, чем у датчанина? Или солнце светит ему не так приветливо? Или его самого обидела природа и не хватает ему сметки и уменья? Или, быть может, он

¹ С глубокой благодарностью вспоминается при этом дорогой для целого поколения петербургских студентов Андрей Николаевич Бекетов. В наши студенческие годы он собирал у себя студентов-натуралистов для чтения рефератов, научных споров и т. д. На этих четвергах пишущему эти строки приходилось именно излагать логику Милля. Остаюсь при убеждении, что это была более здоровая пища для молодых умов, чем Шопенгауэр и Ницше, которыми дурманили головы позднейших поколений.

слаще ест и долее спит и не привык к тяжелому труду? Конечно нет! Так где же кроется различие? Я полагаю, история отвечает одним словом; это слово — школа ¹. Школа, всем доступная и сильная всеобщим к ней сочувствием, — вот та «причина или часть причины», которая приносит на полях датского крестьянина урожай, о котором не смеет и помыслить наш крестьянин. Мы с радостью передаем известие, что то здесь, то там крестьяне стали сеять клевер, а история земледелия повествует, что этот клевер спас немецкое крестьянство от неминуемого разорения сто слишком лет тому назад. Культура поля всегда шла об руку с культурой человека. Немецкий учитель, говорят, победил под Седаном. Будем утешать себя надеждой, что наш учитель поведет наш народ к иной победе — бескровной и не угрожающей отместкой, — к победе над природой, над невежеством и его неизменной спутницею — нищетою ².

¹ Читатели журнала «Мир божий», где напечатана эта лекция, кстати, недавно имели случай познакомиться с историей датской народной школы в XIX столетии и с современной политической ролью датского крестьянства.

² Лекция читана в пользу Общества попечения об улучшении быта учащихся в начальных училищах. Как мало оправдались высказываемые здесь надежды, — те, кто взялись быть руководителями народа, повели его в 1914 г. к завоеванию Царьграда и привели к голоду. (Примечание 1919 г.)





БОРЬБА РАСТЕНИЯ С ЗАСУХОЙ¹



ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы, под давлением бедственных последствий засухи 1891 г., задачи нашего земледелия начинают обращать на себя общее внимание в той степени, какая принадлежит им по праву, а вместе с тем все более пробуждается интерес к научным знаниям, которые одни могут осмыслить эти задачи, пролить на них истинный свет.

В ряду этих знаний едва ли не первое место должно быть отведено физиологии растений; сошлюсь в этом на свидетельство авторитета, очевидно, беспристрастного, — на слова известного химика-агронома Грандо, так начинающего одну из своих недавних агрономических хроник: «Все задачи агрономии, если вникнуть в их сущность, сводятся к определению и возможно точному осуществлению условий правильного питания растений».

¹ Публичная лекция, читанная в Москве 26 марта 1892 г. Здесь она приведена в том виде и с тем предисловием, как в первом отдельном издании 1893 г. [Сохранив полностью расположение глав и текста первых изданий этой лекции, редакция сочла целесообразным краткое содержание каждой главы помещать перед самой главой. В отдельном издании лекции и в 1-м и 2-м изданиях сборника, вышедших при жизни К. А. Тимирязева, весь этот материал также был помещен перед текстом лекции, как ее «содержание». *Ред.*]

Узнать потребность растения — вот область теории; прибыльно для себя удовлетворить эти потребности — вот главная забота практики. Неудачи чаще всего происходят от смешения этих двух задач. Практик нередко пытается заменить сведения, доставляемые только наукой, указаниями своего личного опыта, а теоретик порою готов подать совет, может быть, полезный для растения, но убыточный для хозяина. Какие результаты дает подчас замена науки так называемым практическим опытом, можно увидеть хотя бы из следующего примера, имеющего прямое отношение к вопросу, которому посвящен настоящий очерк. Недавно мне привелось прочесть на страницах одного почтенного сельскохозяйственного периодического издания такое авторитетное, выдаваемое за результат многолетней практики, положение: так как известно, что растение поглощает своими листьями влагу, то в числе мер борьбы с засухой можно посоветовать культуру широколиственных растений! Понятно, чего следует ожидать от такого смешения ролей пирожника и сапожника.

Корень зла, очевидно, лежит в недостаточном разграничении областей теории и практики, в вечном недоразумении, порождаемом игрою слов «опыт» и «опытность». То, что практик нередко величает своим «опытом», логически представляет только самую несовершенную форму наблюдения. Одно дело — подметить явление и совершенно иное дело — дать этому явлению верное объяснение. Разъяснить практикам условия научного опыта, способ научной постановки и разрешение вопросов, связанных с сельскохозяйственной практикой, вот одна из первых задач, к разрешению которых должны стремиться представители науки.

Что касается формы, то, быть может, я ошибаюсь, но мне кажется, что она должна удовлетворять двум

требованиям: во-первых, она не должна превышать известного объема, свыше которого простое чтение превращается в непосильный для каждого читателя труд изучения, а во-вторых, она должна равно избегать и педантической учености и притязаний на непосредственную практичность приложений. Правда, что эти два последних качества обыкновенно очень выгодны для авторов: ряд щетинящихся цифр, нередко не допускающих никакого вывода, перечень взаимно противоречащих мнений, очевидно, непереваренных самим автором, подстрочные ссылки на многочисленные источники и, наконец, категорические рецепты или соблазнительные посулы, — все это сообщает произведениям внешность чего-то авторитетного и веского. Наоборот, общедоступное изложение, скрывающее от читателя всю внутреннюю работу автора, популярная статья, хотя бы заключающая самостоятельные взгляды, не всегда встречающиеся и в специальных произведениях, — труд, обыкновенно вполне неблагоприятный для ученого специалиста. Но неблагоприятность такого труда, мне кажется, может с избытком вознаграждаться сознанием, что широкое распространение серьезного знания способствует развитию в обществе верного понятия об истинных задачах науки и сознательному к ней отношению.

1

ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ РАСТЕНИЕМ

Необходимость ботанических знаний для верной оценки явлений сельскохозяйственной практики. — Вода организационная и вода расходная. — Определение расхода воды в растении. — Отношение его к количеству дождя. — Физические условия, влияющие на испарение воды растением: влажность воздуха, теплота, непосредственное нагревание солнечными лучами.

Вот уже скоро год, что мысли русского человека невольно снова и снова возвращаются к тому же предмету — к страшному бедствию, лишившему значи-

тельную часть населения насущного хлеба и отразившемся вширь и вдаль на всех почти сторонах народной жизни. Естественно, что и мысль натуралиста обращается к тому явлению, которое было ближайшей физической причиной этого бедствия. Где же исходная точка этого грозного явления? На известной площади обширной хлеботородной равнины возделываемые растения не получили необходимого для них количества влаги; или, вернее, получили его не во-время, или, выражаясь, быть может, еще определеннее, израсходовали его в известный момент своего существования более, чем имели в своем распоряжении ¹. Едва ли какие рассуждения могут красноречивее этого рокового опыта убедить в том, как тесно связано благоденствие русского человека с существованием растения. Живется хорошо растению — хорошо живется и человеку; гибнет растение — неминуемое бедствие грозит и человеку. А от этой мысли недалеко и до вопроса: все ли мы делаем, чтобы удовлетворить потребностям, даже только чтобы узнать потребности этого общего кормильца — растения?

В настоящую минуту, когда всеобщее внимание сосредоточено на изыскании мер борьбы с засухой, я полагаю, не бесполезно ознакомиться с теми мерами, которые применяет само растение в борьбе с этим злом, постоянно грозящим его существованию. Во избежание недоразумений считаю необходимым с первых слов оговориться, что не имею в запасе каких-либо прямых практических советов, которые так обильно сыплются со всех сторон как призванных, так и непризванных. Дело людей, стоящих лицом к лицу с грозным бед-

¹ Повидимому, главной причиной засухи были иссушающие ветры, «суховей», вызвавшие усиленное испарение воды растениями.

ствием, оценить, в чем и насколько человек может с пользой подражать природе; ботаник может только снабдить их необходимым материалом для более глубокого понимания явления.

Прежде всего поставим ребром вопрос: для чего нуждается растение в воде? С первого взгляда вопрос этот может показаться праздным. Во-первых, вода входит в химический состав вещества растения; во-вторых, старое химическое изречение: *corpora non agunt nisi soluta*¹ — учит, что никакие химические взаимодействия, а следовательно, и те разнообразные химические процессы, которые совершаются в растении, не могут проявляться иначе, как в этой среде, да и ежедневный опыт подтверждает, что в сухом семени жизнь таится, дремлет, пробуждаясь только при его разбухании. К этим общеизвестным фактам физиология еще добавляет, что вода является не только важным фактором в химизме питания, но что она же определяет и механизм роста. Рост, все равно, — целого растения или определяющий его рост отдельных клеточек, — сводится в конечном результате на поглощение воды. Отнимая известным образом воду, ботаники умеют вызывать явления, обратные росту, заставляют растение, так сказать, понатиться назад, сократиться, вернуться в известной мере к прежним размерам. Таким образом, и химизм, и механизм растительной жизни тесно связаны с наличием некоторого количества воды. Эта потребность сама по себе очевидна; она не нуждается в дальнейшем объяснении, а, с другой стороны, если бы дело ограничивалось только ею, растение едва ли когда-либо страдало от недостатка воды, и нам едва ли когда-

¹ «Тела не оказывают действия, если не растворены». Здесь разумеется химическое действие.

нибудь приходилось бы слышать о засухах и их последствиях.

Но рядом с этой *организационною* водой, которую растение задерживает на свои существенные потребности, оно еще предъявляет требования на гораздо более значительные количества воды, которые, получая с одного конца, расходует с другого,— поглощая корнями, испаряет листьями. Вот эта-то *расхожая* вода, только проходящая через растение, и составляет источник всех бед для растения и стоящего в зависимости от него человека. Естественно возникает вопрос: нуждается ли, строго говоря, растение в этой воде, которую оно тут же отдает воздуху? Это явление — испарение воды,— представляет ли оно необходимое физиологическое жизненное отправление, или только неизбежное физическое зло, бороться с которым приходится растению и человеку? Ответить на этот вопрос уже далеко не так легко.

Прежде всего посмотрим, как узнаем мы, что растение испаряет воду, как приблизительно оцениваем или более точно измеряем количество этой испаряемой воды. В том, что растение испаряет воду, мы убеждаемся, конечно, из необходимости поливки для предотвращения завядания, причем очевидно, что количество употребляемой для поливки воды значительно превышает объем растения. Но для того, чтобы узнать в точности, сколько испаряет растение, необходимо поступать так, чтобы устранить испарение с поверхности почвы (и стенок горшка, если берем отдельное растение). Известный английский ученый Стивен Гельз в своем классическом сочинении «Vegetable Statics» («Статика растений») разрешил эту задачу еще в начале XVIII века. В настоящее время всего удобнее производить опыт следующим образом: горшок с растением помещают в

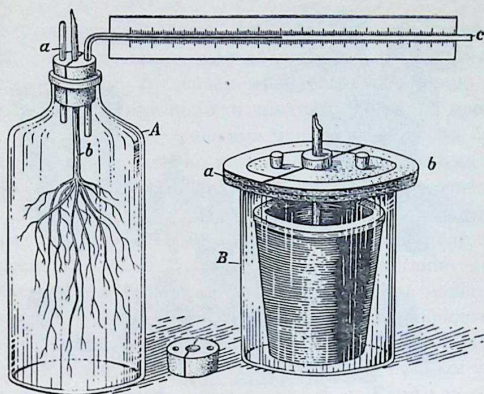


Рис. 1.

другой сосуд с просверленную крышкю, плотно охватывающею основание стебля (рис. 1, B) ¹. Такое устройство удобно в том отношении, что почва и корни получают необходимый воздух, чего не было бы, если бы

¹ Всего лучше брать толстую стеклянную банку с пришлифованными краями (какие употребляются в музеях для коллекций) и прикрывать ее пришлифованною также по краям и смазанною спуском стеклянною пластиною. Пластина просверливается посредине и разрезается пополам так, чтобы обе половинки плотно обхватывали стебель. Промежуток между стеклом и стеблем может быть еще выложен просверленною и разрезанною пополам пробкой и замазан воском, употребляемым художниками для лепки. Останавливаюсь на этих и дальнейших подробностях (для чего рис. 1 и 3 сделаны крупнее), так как при помощи нехитрых приборов можно было бы получить много интересных данных, а самое производство опытов, быть может, нередко скрасило бы деревенский досуг.

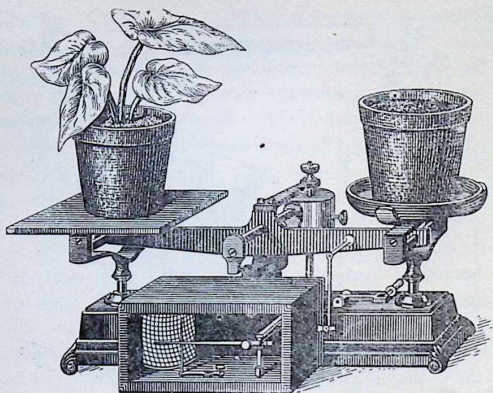


Рис. 2.

пересадить растение в наглухо закрытый, стеклянный, металлический или муравлений, вообще непроницаемый для воздуха, сосуд. Помещая весь прибор с растением на весы, легко определяем количество испарившейся через растение воды. В последнее время придумано несколько весов, прямо записывающих количество испаряющейся воды. Самым удачным из этих приборов следует считать эвапориметр известного Ришара с недельным заводом и приспособлением, позволяющим изменять по желанию степень чувствительности прибора (рис. 2). Такие самопишущие весы дают нам непрерывную запись, изо дня в день, из часа в час, отражая все влияния, испытываемые растением¹. Если мы

¹ На лекции находился в действии такой прибор, давший запись за время чтения. Для настоящих опытов на воздухе необходимо еще приспособление, ограждающее весы от порывов ветра.

не располагаем таким довольно ценным прибором или даже хорошими, удобными (всего лучше десятичными) весами, то можем приблизительно точно изучить явление при помощи следующих крайне простых и, можно сказать, грошовых приборов. Возьмем банку с широким горлышком, в которое можно плотно вогнать пробку (рис. 1, А). Просверлим в той пробке отверстие и, разрезав ее пополам, охватим плотно двумя половинками стебель (ветви или отмытого от почвы целого растения с корнем) и закрепим его в горлышке нашей банки. Просверлим в той же пробке еще два маленьких отверстия: одно, через которое по мере надобности будем доливать воду в банку, заткнем стеклянную палочкой, а в другое воткнем загнутую под прямым углом длинную горизонтальную трубку *bc* ¹. Если все части, банка и горизонтальная трубка, наполнены водой, а отверстие, через которое проходит стебель, тщательно замазано воском, получается крайне чувствительный прибор для изучения испарения. По мере испарения воды через листья корень сосет воду из банки, и столбик воды в горизонтальной трубке начинает втягиваться. Снабдив трубку делениями, вытравленными на стекле или просто нанесенными на полоске бумаги, мы можем измерять количество испаряющейся воды. Если просвет трубки мал, то нетрудно сделать прибор, который будет показывать количество воды, испаряемой на этот раз уже не в час, а в одну минуту ². Но всего проще следующий прибор, одинаково удобный и для продол-

¹ Лучше всего брать плоскую трубку, какие употребляются для больших уличных термометров.

² Помещенное в таком приборе растение лакфиоли на лекции ясно показывало испарение воды в одну минуту. Вдвигая стеклянную палочку *a*, вгоняем воду обратно в трубку *bc* каждый раз, когда столбик воды дойдет до начала делений скалы.

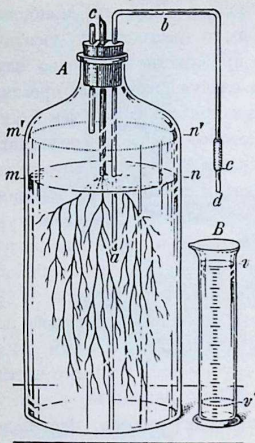


Рис. 3.

жительных, и для кратковременных опытов, не требующий к тому же, чтобы стебель был плотно заделан в пробку, что во многих случаях (как, например, со злаками) неудобно и даже недостижимо. В широкое горлышко банки *A* (рис. 3), при помощи просверленной пробки, закрепляют исследуемое растение. Через другое отверстие той же пробки проходит два раза изогнутая трубка *abc*, служащая сифоном. Конец ее снабжен короткой надставкой из каучуковой трубки, заткнутой стеклянной палочкой. Если вынуть эту палочку, вода вытечет из сосуда до уровня *mn*. Тогда затыкают палочку и через третье отверстие пробки *d* приливают в сосуд определенное количество воды, отмеренное (раз или несколько раз) до верхней черты цилиндрика *B*. После желаемого промежутка времени (например, каждое утро) вынимают стеклянную палочку и дают всему количеству воды, оставшемуся выше уровня *mn*, стечь обратно в цилиндр *B*. Зная, сколько прилили воды и сколько вытекло обратно в цилиндр, знаем, сколько испарилось. Стоит дополнить цилиндр снова до верхней черты и вылить в банку *A* — и прибор готов для следующего наблюдения. При помощи таких крайне простых, самодельных приборов можно,

тем не менее, произвести целый ряд любопытных наблюдений над зависимостью испарения от различных внешних влияний. Строго говоря, на этот раз мы измеряем не испарение, а вызываемое испарением всасывание воды корнем; но эти две величины очень близки, так что измерение этой последней может часто вполне заменить более хлопотливое измерение первой.

Получив понятие о способах измерения этого явления (самом совершенном и самом простом), посмотрим, как велик этот расход воды за весь жизненный период однолетнего растения. Таких определений произведено очень много; одни из наиболее надежных принадлежат Вольни. Приводим цифры для четырех растений, выраженные в фунтах, за полный вегетационный период:

Кукуруза	Овес	Горох	Горчица
27	17	10	10

Посмотрим, сколько окажется при перечислении на десятину, засеянную кукурузой¹. По Дегерену, можно считать 30 растений на квадратный метр, или 300 000 на гектар. Переводя на десятину и пуды или ведра, получим 217 000 пудов, или 290 000 ведер. Следовательно, десятина кукурузы испаряет за вегетационный период в круглых цифрах 200 000 пудов, или 300 000 ведер воды. Но эти цифры, как и вообще всякие большие цифры, говорят более воображению, чем уму. Они приобретают более определенный смысл, если сравнить их, с одной стороны, с урожаем, а с другой — с количеством дождя, получаемым за тот же промежуток времени растением.

По самым многочисленным и обстоятельным исследованиям Гельригеля можно считать, что *на* каждую

¹ По отношению к этому растению вычисление более надежно, так как число растений определено точнее.

*единицу сухого вещества, образуемого нашими злаками, растение испаряет 300 единиц воды*¹. Это количество испаряемой воды громадно в сравнении с тем, которое мы называли водой *организационной*. Сочные травянистые части растения содержат до 20% сухого вещества,— следовательно, для поддержания растения в нормальном состоянии достаточно на 1 часть сухого вещества доставить ему 4 части воды; испарит же оно за всю жизнь 300 частей. Найденное отношение между сухим весом и количеством воды, испаряемой в течение жизни растения, может послужить для приблизительной оценки расхода воды при наших обыкновенных культурах. Принимая во внимание обыкновенное содержание воды в зерне и соломе и обыкновенное отношение между урожаем зерна и соломы, мы можем сказать, что на каждую единицу веса зерна в урожае наши злаки испаряют 1000 единиц воды, т. е. для получения пуда зерна мы должны доставить растению, в круглых цифрах, 1000 пудов воды.

Посмотрим теперь, как велик этот расход воды, испаряемой растением, в сравнении с количеством воды, получаемым за то же время в виде дождя. Такие сравнения, очевидно, всего удобнее делать в форме, обыкновенно употребляемой в метеорологии, т. е. определяя, какой высоты достигла бы эта вода, распределенная равномерным слоем на поверхности почвы. Гельригель вычисляет, что количество воды, испаряемой ячменем (рожь и пшеница дают близкие цифры) за весь период вегетации, покрыло бы поле слоем воды в 102 миллиметра. Среднее же количество воды, выпадающее за этот промежуток времени в этой местности

¹ По другим исследованиям и для других растений получают величины от 200 до 800 на единицу сухого вещества.

(Северная Пруссия), 152 миллиметра; но бывали годы, когда оно падало до 77. По наблюдениям Рисслера, количество воды, испаряемое пшеницей на его полях (близ Женевского озера), равнялось приблизительно 2,7 миллиметра в день, а среднее количество дождя за четыре летние месяца равнялось 2 миллиметрам в день. Таким образом, количество воды, выпадающее в виде дождя, или очень близко к количеству, испаряющемуся через растение, или, может быть, даже менее его. В последнем случае недостаток, очевидно, пополняется из запаса воды в почве, а когда количество дождя падает значительно ниже обыкновенного, обнаруживается засуха. Так было, повидимому, у нас летом 1891 г. По метеорологическим данным за четыре месяца (с апреля по июль) в восточных губерниях выпало 111 миллиметров вместо среднего количества 199, а в юго-восточных — 69 вместо среднего количества 138 миллиметров.

Мы видим, следовательно, как ограничено доступное обыкновенно растению количество воды, и как легко могут отражаться на проявлениях растительной жизни колебания в количестве атмосферных осадков. Собственно говоря, даже поверхностный взгляд на обычное течение растительного процесса у наших культурных растений ясно в том убеждает. Если в начале лета наши взоры тешит мягкая изумрудная зелень полей, а заостренные пожелтевшие былинки вселяют тревогу и отчаяние, то в исходе лета глаз ищет золотого моря клонящихся от тяжести колосьев и с опасением встретил бы на их месте сочную зеленую листву. То, что за несколько недель представилось бы неожиданным бедствием, является теперь входящим в наши расчеты, естественным условием успешной жатвы. Таким образом, очевидно, что желательный для человека ход

растительного процесса совершается по отношению к влажности в очень тесных пределах, а так как результат зависит от равновесия между приходом воды в почву и ее расходом в растении, то понятно, какую важную роль играют все обстоятельства, определяющие этот расход.

От каких же условий зависит испарение воды растением? Ответ на этот вопрос, казалось бы, очень прост: от тех же условий, от которых зависит вообще испарение воды. Но, к сожалению, такой простой ответ долго не нравился, пожалуй, и теперь еще не нравится некоторым ботаникам, как слишком простой. Не раз пытались они доказывать, что этот процесс не подчиняется обыкновенным физическим законам, что это — процесс жизненный, не поддающийся физическим объяснениям, и настолько успели в этом, что мне еще недавно пришлось слышать от одного из наших известных метеорологов такой вопрос: «Да что же такое, наконец, это ваше испарение — физический или физиологический процесс?» Вопрос этот характеризует современное переходное состояние нашей науки. Если для физиологов-виталистов — все равно, старого или нео-виталистического толка — он возможен, то для физиологов положительной школы такого вопроса не может, не должно существовать; для них явления делятся не на физические и физиологические, а на объяснимые и необъяснимые или, вернее, необъясненные, еще ожидающие объяснения. Объясненным же мы можем считать только такой факт в растительной жизни, который вытекает из общих для всей природы физических законов, и, чтобы ни говорили виталисты, только эти объясненные факты составляют достояние истинной науки; остальные можно только регистрировать, классифицировать, держать в памяти до первой возможности их объяснения.

Спрашивается: понимаем ли мы явление испарения, можем ли объяснить его физическими причинами или не можем? Мне кажется, что, вопреки нередко высказываемым сомнениям, едва ли существует какая-либо сторона этого явления, которая оправдывала бы виталистическую точку зрения. Рассмотрим последовательно, от каких условий оно зависит.

Прежде всего, понятно, от степени влажности воздуха. Чем менее относительная влажность воздуха, тем сильнее будет испарение; наконец, в воздухе, насыщенном паром, испарение прекратится вовсе. Еще недавно некоторые физиологи пытались подвергнуть сомнению этот основной закон, утверждая, что растение может продолжать испарять воду и в атмосфере, насыщенной парами; но это заключение основывалось на неточном толковании наблюдаемых фактов. Несостоятельность его была вполне устранена точными опытами, в особенности Леклера, показавшего, что испарение воды растением может быть выражено формулой Долтона.

Но если насыщенный парами воздух будет постоянно устраняться из ближайшего соседства испаряющей поверхности растения, если он будет находиться в движении, постоянно возобновляясь, то испарение должно ускориться. Другими словами, ветер должен в значительной степени ускорять испарение. Если б могло в этом отношении возникнуть сомнение, то оно вполне устраняется обстоятельными опытами венского профессора Визнера. Он или приводил в движение исследуемые части растения на вращающемся приборе и определял путь, описываемый испаряющим органом, или дул на испаряющий орган из мехов и определял скорость ветра обыкновенным, употребляемым в метеороло-

гии анемометром. Даже при скорости 3 метров в секунду, которую метеорологи обозначают выражением «слабого» ветра, испарение возрастало в 2—3 раза, иногда в 20 раз. Понятно, какое влияние должны оказать более сильные и сухие ветры, те роковые «суховейи», которым приписывают выдающуюся роль в прошлогодней засухе¹. При этих опытах Визнера обнаружился крайне любопытный факт: некоторые растения под влиянием ветра испаряли менее воды, чем в спокойном воздухе. Этот опыт мог бы доставить удовольствие господам виталистам, если бы в конечном анализе не получал, как мы увидим далее, удовлетворительного физического объяснения.

Испарение возрастает с температурой; это подтверждается многочисленными опытами, да в этом едва ли кто и сомневался². Растение более всего нагревается солнцем; отсюда вполне понятна зависимость испарения от солнечного нагревания. Но эту зависимость пытались приписать какому-то особенному действию света. В одном из новейших французских элементарных учебников (Бонье) даже категорически высказывается положение, что испарение воды растением тем и отличается от обыкновенного испарения, что зависит от света. Для доказательства особого влияния света приводили, например, такой опыт: если выставить на солнечный свет два одинаковой поверхности листа в стеклянных сосудах с двойными стенками, между которыми нахо-

¹ На лекции этот факт был наглядно показан при помощи описанного выше простого прибора и струи нагретого воздуха, скорость которой определялась маленьким карманным анемометром.

² Высказывалось только удивление (Рисслер), что испарение непропорционально температуре, но этого и быть не должно, если оно подчиняется формуле Долтона.

дилась бы вода, в одном случае нагреваемая солнцем, а в другом постоянно охлаждаемая до 0, то испарение второго листа будет сильнее. Значит, говорили, второй лист находится при более низкой температуре, а испаряет более; значит, действие солнечного света не может быть сведено к нагреванию. Но здесь, очевидно, делали грубую ошибку. Температура листа, как тела темного, нагреваемого лучами солнца, была, очевидно, иная, чем температура воздуха и стенок сосуда, и чем более была эта разность, тем успешнее перегонялась вода из темного и теплого листа на прозрачную холодную стенку сосуда. Последующие опыты показали, что испарение зависит от цвета органа и тех лучей, которые на него падают. Итальянский ученый Комез доказал это весьма наглядным опытом. Желтые цветы испаряют более под синим колпаком, чем под желтым; синие цветы — наоборот. Это само собою понятно: желтые тела поглощают синие лучи и в них нагреваются и пропускают почти без поглощения желтые лучи, — следовательно, и не нагреваются ими. Вот в каком смысле должны мы понимать зависимость испарения от света ¹.

Бонье утверждал, что испарение воды не зависит от цвета лучей, но ему было показано, что стоит подкрасить ее, и она обнаружит такое же отношение к цвету падающих на нее лучей.

Итак, мы видим, что, вопреки нередко высказываемым мнениям, испарение воды растением вполне подчиняется физическим законам и что главнейшими внешними факторами должно признать влажность атмосферы, ветер и нагревание солнцем.

¹ Существует и другое влияние света на испарение — его влияние на устьица, — о нем мы упомянем в своем месте.

ЗНАЧЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Испарение воды — физиологическое ли отправление, или только физическая необходимость? Другие механизмы, доставляющие растению воду. — Испарение в тех размерах, в каких оно совершается, не необходимо для питания. — Сильное испарение не способствует и росту, но оно может служить регулятором, ограждающим от летнего зноя. — Роковая неизбежность испарения. — Для успешного питания растение вынуждено развивать большую поверхность освещения, которая является в то же время большей поверхностью испарения.

Ознакомившись со способами изучения занимающего нас явления, убедившись, что это — процесс, подчиняющийся известным нам физическим законам, переходим к рассмотрению уже возбужденного нами вопроса: представляет ли он простое физическое явление — результат условий существования растения и только, или мы должны видеть в нем процесс физиологический в том смысле, что он необходим для поддержания жизненных отправлений растения? Вопрос в высшей степени важный. Эта громадная трата воды — производительна она или нет? Польза, извлекаемая растением, соответствует ли тому риску, той опасности, которой подвергается постоянно растение? Нужно ли растению испарять воду, как ему нужно питаться, дышать и т. д., или оно только не может не испарять, потому что таковы условия его существования? Одним словом, испарение воды есть ли необходимое физиологическое отправление, или только неизбежное физическое зло? От разрешения этого вопроса, очевидно, должна зависеть основная точка зрения на это явление.

Посмотрим, в каком отношении стоит испарение к другим, несомненно существенным отправлениям растения, а затем обсудим вопрос, могло ли бы растение обойтись и без этого процесса.

Очень часто представляют себе, будто без испарения невозможно было бы питание растения. Растения, говорят, всасывают корнями пищу из почвы, а для того, чтобы всасывать ее, они должны испарять воду с другого конца. Высчитывают даже, сколько питательных веществ растворено в почвенной воде и, следовательно, как велики должны быть количества проходящей через растение воды для отложения в нем необходимых минеральных веществ. Но эти рассуждения грешат с двоякой точки зрения: во-первых, испарение и вызываемое им движение воды — не единственный нам известный механизм, доставляющий растению минеральные вещества из почвы; а во-вторых, для снабжения растения необходимым количеством минеральных веществ из почвы нет надобности в таких громадных количествах воды, как те, которые испаряются растением.

Воззрение на испарение, как на процесс, обеспечивающий растение питательными веществами, было возможно, когда полагали, что растение всасывает питательные вещества, приблизительно, как светильня масло. Но несостоятельность такого элементарного представления была доказана в начале столетия Соссюром, а позднее, благодаря успехам физики в исследовании явлений так называемого осмоса и диффузии, стало возможно и более удовлетворительное понимание процесса принятия питательных веществ. Всякое вещество, растворенное в воде, стремится равномерно рассеяться, диффундировать во всей массе доступной ему воды. Это легко доказать, наливая осторожно поверх окрашенного раствора чистую воду; еще удобнее можно это наблюдать, если в узкий, глубокий сосуд налить окрашенного желатина, а когда он застынет, покрыть его сверху слоем бесцветного желатина, который также

застынет. Таким образом устранится возможность неосторожного взбалтывания жидкостей. Не пройдет и нескольких часов, как мы заметим, что резкая граница между цветным и бесцветным желатином ступается, красящее вещество начнет диффундировать в бесцветный верхний слой, пока не распределится равномерно во всей студенистой массе ¹. Таким образом, растение, приходящее своими влажными корнями в прикосновение с почвенною жидкостью, должно проникаться, насыщаться растворенными в жидкости веществами, даже если бы самая жидкость и не всасывалась. Конечно, это движение очень медленно, но мы могли бы его ускорить, взяв умышленно не неподвижный студень, а воду, и слегка взбалтывая ее от времени до времени. Такое взбалтывание, как справедливо указал голландский ученый де-Фриз, действительно происходит в живых клетках вследствие движущейся в них протоплазмы. Следовательно, в явлениях диффузии в связи с движением протоплазмы мы имеем уже механизм для доставления питательных веществ из почвы*.

Но этого мало,— корни растений помимо всякого испарения способны всасывать воду из почвы и гнать ее в стебли и листья. По примеру немецких ботаников, мы называем это явление корневым давлением или напором корня. Вот как обнаруживается это явление. Срежем стебель какого-нибудь растения, почти вровень с почвой, и на оставшийся отрезок стебля надви-

¹ На лекции была показана целая коллекция таких опытов.

* В настоящее время мы должны также учитывать электроосмос и близкие моменты, приводящие к тому, что вещества концентрируются растением. Например, концентрация фосфатов в клеточном соке может превышать концентрацию их в наружном растворе в несколько сот раз. *Ред.*

нем загнутую коленом стеклянную трубочку, наполнив ее предварительно водой. Через несколько времени заметим, что из отверстия трубочки начнет вытекать вода, и вскоре мы убедимся, что вытечет воды значительно более, чем сколько могло заключаться в обрубке стебля и корня. Значит, эта вода не выжимается только из корня, а всасывается им из почвы и гонится в стебель. Мы можем измерить силу этого напора воды через корень,— стоит вместо отводной трубочки приставить ртутный манометр. В крапиве, например, этого напора было бы достаточно, чтобы поднять воду на высоту более двух сажен. По классическим определениям Гельза, в виноградной лозе этот напор вытекающего сока мог бы поднять воду более чем на 6 сажен. Нет даже надобности калечить растение для того, чтобы обнаружить это явление истечения сока под напором корня. Стоит любое растение, например, молодые всходы овса или маиса, накрыть колпаком, и через несколько времени на верхушке былинки появятся капельки, которые будут скатываться и вновь появляться, указывая на выталкивание воды из тканей. То же явление наблюдается по вечерам летом, когда воздух насыщается парами: вода, которая днем успевала испаряться, выступает в виде капель. Следовательно, растения, во всяком случае травянистые растения, и без испарения могли бы быть обеспечены притоком воды из почвы. Но, повидимому, и у многих древесных растений под одним напором корня вода могла бы достигнуть вершины стеблей, так как известны многочисленные случаи выделения воды листьями и нераспустившимися почками древесных растений. Таким образом, вполне допустимо, что растение во многих случаях могло бы покрыть свою потребность в воде для питания без содействия испарения.

Но не имеем ли мы более убедительных, прямых указаний на то, что растение могло бы получать из почвы необходимые питательные вещества и без испарения, или, по крайней мере, без испарения в таких размерах, в каких оно обыкновенно совершается. Устранить вполне испарение невозможно,—для этого пришлось бы, как мы видели, лишить растение света; но можно в значительной степени ослабить этот процесс и посмотреть, будет ли растение, тем не менее, обеспечено необходимыми питательными веществами из почвы. Вполне определенный ответ на этот вопрос дают опыты Шлезинга над табаком. Этот ученый воспитывал три экземпляра табака на открытом воздухе и два под стеклянным колпаком. В среднем выводе каждое из первых трех испарило *втрое* более воды и образовало менее органических веществ, чем растение под колпаком¹. Растения, более испарявшие, были богаче золой (в растении под колпаком было 13%, на воздухе 21%); это только доказывает, что растения при сильном испарении получают ненужный для них избыток минеральных веществ². Более того, анализ показывает, что этот избыток приходился, главным образом, на долю тех веществ, которые должны быть признаны несущественными составными началами золы, как, например, кремнезем, хлор и пр. Таким образом, эти опыты са-

¹ Более успешное образование органического вещества в этих опытах может быть объяснено большим количеством углекислоты, которая доставлялась растению под колпаком, но это обстоятельство для нас несущественно. Нас интересует только отношение между органическим веществом, золой и водой, и по этому вопросу опыты дают вполне ясный ответ.

² Опыты Жодена также показывают, что можно получать в нескольких поколениях нормальные растения с половинным содержанием фосфорной кислоты. Отсюда видно, что усиленное испарение без пользы истощает почву.

мым недвусмысленным образом говорят нам, что для нормального образования органического вещества растение не нуждается в испарении таких громадных количеств воды, какие оно испаряет в действительности. Так, на одну часть образовавшейся органической массы на воздухе растение испарило 800 частей воды, а под колпаком — всего 175. Не можем ли мы заключить, что это был предел, что растение для покрытия своей потребности питания не могло бы довольствоваться меньшим количеством воды. Если руководиться вышеприведенными соображениями о концентрации доставляемых корням растворов, то мы можем прийти к заключению, что это количество могло бы быть еще менее. На двадцать частей органического вещества растение под колпаком содержало (в круглых цифрах) 2 части золы; для растворения этого количества минеральных веществ достаточно 1000 частей воды¹. А мы видели, что растение на воздухе испаряло $800 \times 20 = 16\,000$, т. е. в *шестнадцать* раз более, чем необходимо для доставления ему пищи из почвы.

Итак, мы видим, что растение, вероятно, могло бы питаться вполне нормально и без обычной громадной траты воды на испарение.

Что касается другой важнейшей функции растительной жизни — роста, то мы имеем убедительные

¹ Такова обыкновенная концентрация растворов, употребляемых при искусственных культурах, таково же приблизительно содержание, например, азотно-кальциевой соли в почве, по Шлезингу. О концентрации почвенных растворов других веществ нет повода говорить, так как такие вещества, как фосфорная кислота и калий, находятся, главным образом, в связанном состоянии, и при их поглощении играет роль растворяющее действие корня. Если приводимое рассуждение, быть может, не вполне применимо к очень бедным почвам, то вполне верно по отношению к хорошо удобренным.

опыты, доказывающие, что при ослабленном испарении рост только ускоряется. При помощи чувствительных приборов это можно показать даже в очень короткие промежутки времени, но и без всяких приборов нетрудно убедиться, что во влажной атмосфере органы растения достигают больших размеров. Высказанные выше общие воззрения на основной механизм роста делают это отношение к испарению вполне понятным. Основною причиною роста клеточек мы считаем давление жидкого содержимого клеточек на стенку; но если вода будет испаряться, то это давление будет уменьшаться. При дальнейшей трате воды наступят признаки завядания, т. е. ткани, находившиеся прежде в напряженном состоянии (под напором соков), спадутся.

Значит, ни для питания, ни для роста испарение в тех размерах, как оно обычно совершается, не может быть признано необходимым.

Но испарение может играть и третью роль в экономии растения: это — роль регулятора температуры, умеряющего действие слишком сильного зноя. В жаркие летние дни, даже в наших широтах, растения могли бы подвергаться температурам прямо вредным, даже убивающим. Этот предел для сочных частей растений обыкновенно принимают при 50—52° Цельсия, значит, при 40° наших термометров. Но именно такие температуры приходилось наблюдать одному ботанику (Аскенази, в Гейдельберге) при помещении термометра в листья мясистых растений, как мы увидим, слабо испаряющих воду. С другой стороны, начиная с классических трудов Гельза, в литературе встречаются указания, что летнее солнце может оказывать вредное действие именно при условии ослабленного испарения, например, в очень влажной атмосфере. На этом, вероятно, основано очень распространенное убеждение

во вреде поливки на солнце, во вреде солнца «сквозь дождь»¹. Следовательно, полезная роль испарения, как регулятора температуры, понижающего ее, когда растение подвергается слишком сильному нагреванию солнечными лучами, не подлежит сомнению; но зато этому вреду растения, вероятно, подвергаются сравнительно редко, и мы увидим далее, что растение имеет средство оградиться от него, и не прибегая к усиленному испарению.

Итак, в общем выводе едва ли можно признать, чтобы испарение воды растением *в тех размерах, в каких оно обыкновенно совершается в природе*, соответствовало действительной, прямой потребности растения, — потребности, которая не могла бы быть удовлетворена помимо такой громадной траты воды.

Но если этот расход воды не представляется нам понятной, необходимой физиологической потребностью растения, то не является ли он неизбежным физическим последствием других, понятных нам условий существования растения?

На этот раз мы получаем вполне определенный положительный ответ. Да, растение вынуждено испарять большие количества воды в силу своего строения, необходимого для удовлетворения совершенно иной существенной его потребности. В самом деле, для того, чтобы не испарять воду, растению стоило бы только облечь свои воздушные части непроницаемым для воды веществом, как оно и делает со старыми стволами, покрытыми толстым слоем пробки, или, например, с яблоком. Попробуем, например, определить, как ничтожно испарение целого яблока, а затем, удалив с

¹ Леклер прямо видит в насыщенной атмосфере причину желтения злаков, но при описании своих опытов не упоминает о действии солнца.

него кожицу, посмотрим, как быстро оно начнет испарять воду и сморщиваться. Почему бы растению не снабдить всей поверхности своих органов такой непромокаемой одеждой, которая уединяла бы его пропитанные водой ткани от соприкосновения с воздухом и оградила бы от убыточного, порою грозящего самой жизни испарения?

Физиология учит нас, что такое строение растения было бы несовместимо с самым существенным отпращиванием его — питанием за счет углекислоты воздуха. Построенное таким образом растение, если бы и получало, как мы видим, пищу из почвы, было бы лишено возможности получать еще более важную для него пищу из воздуха.

Весь свой углерод (т. е. около 45% своего сухого веса) растение получает из воздуха, а в воздухе этот элемент в виде углекислоты рассеян крайне скупо;

$\frac{1}{5000} - \frac{1}{3000}$ — вот обычное содержание углекислоты в нашей атмосфере.

Для того, чтобы извлекать свой углерод из такого скудного источника, растение должно развить громадную поверхность соприкосновения с воздухом. Подобно тому, как поверхность корня вытягивается в длину на целые версты, поверхность листьев раскидывается вширь, представляя площадь, во много раз превышающую площадь занятой растением почвы. Мало того, растение добывает углерод из воздуха только при содействии света, — значит, свою зеленую поверхность оно должно развернуть так, чтобы уловить возможно более света. Эта потребность удовлетворяется с удивительным совершенством. Поверхностному наблюдателю кажется, что листья разбросаны по растению в артистическом беспорядке, но уже великий художник и

внимательный исследователь природы Леонардо да Винчи подметил, что в распределении листьев проглядывает строгий порядок. Ботаники давно изучали этот порядок, эти законы распределения листьев, но, как и в других областях биологического знания, только в сравнительно недавнее время стали рассматривать это явление с точки зрения его смысла, его физиологического значения для растения. Можно сказать в коротких словах, что в распределении листьев, в размерах черешков, в размерах и форме пластины проглядывает одно основное правило: растение располагает свои листья так, чтобы не потерять ни одного луча солнца, воспользоваться каждым доступным местом, просунуть новый лист в каждый свободный промежуток между другими листьями. Если рассматривать листовую поверхность любого растения сверху или, еще лучше, по направлению преобладающего освещения, то все листья, выросшие и еще развивающиеся, смыкаются как бы в одну сплошную поверхность, без свободных промежутков, представляя то, что известный ботаник Кернер метко назвал «листовой мозаикой». Особенно ясно бросается в глаза отсутствие случайности, а, напротив, строгое соответствие в форме, размерах и распределении всех частей, если представить себе листья одного растения перенесенными на стебли другого. Тотчас обнаруживается, что между ними оказались бы непроизводительные просветы, или, наоборот, они еще более непроизвольно затеняли бы друг друга. Вот, например, распределение листьев у клена и у каштана, если смотреть на их ветви сверху (рис. 4а и 4б); широкие пластины первого (4б) на своих длинных черешках отнесены далеко от стебля; узкие пластины второго (4а) при своих коротких черешках почти сидят на стебле. Таким образом, не теряется пространства, и листья не

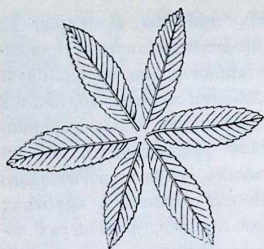


Рис. 4а.

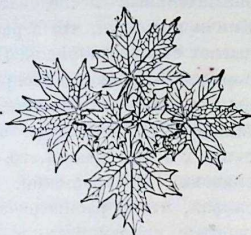


Рис. 4б.

затеняют друг друга. А вот что вышло бы, если бы листья клена были расположены как у каштана (рис. 5а и 5б), сохраняя свои черешки (рис. 5а) или заимствуя его черешки (рис. 5б): в первом случае середина ветви представляла бы бесполезный просвет, во втором — листья затеняли бы друг друга ¹.

Следовательно, листовая поверхность для обеспечения воздушного питания построена так, что представляет возможно большую поверхность соприкосновения с воздухом и в то же время возможно большую поверхность освещения. Но ведь эти два свойства представляют в то же время самые благоприятные условия для усиленного испарения: большая поверхность поглощения воздуха вместе с тем и большая поверхность испарения воды, — большая площадь освещения и в то же время и большая площадь нагрева. Доказательством того служит тот факт, что те лучи света, которые поглощаются зеленым веществом листа — хлорофиллом, служат и для разложения углекислоты, и для испаре-

¹ Этот закон соотношений между шириной пластины и длиной черешка был указан профессором Бекетовым.

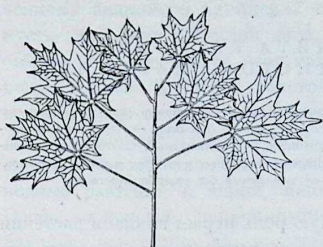


Рис. 5а.

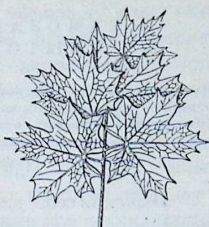


Рис. 5б.

ния воды, так что растение, разлагающее углекислоту и затрачивающее на это часть солнечного тепла, испаряет слабее; растение же, не разлагающее углекислоты (например, помещенное в атмосферу, лишенную этого газа), испаряет сильнее. Трудно было бы найти два процесса, которые зависели бы от таких почти тождественных условий.

Следовательно, растение роковым образом вынуждено много испарять для того, чтобы успешно питаться, так как условия обоих процессов одни и те же. Растение могло бы себя оградить от опасности засухи, т. е. жажды, только обрекая себя на верный голод. Ему приходится пролагать свой жизненный путь между Сциллой и Харибдой — голода и жажды. Качественное, абсолютное разрешение этой дилеммы, повидимому, невозможно; возможно только количественное примирение антагонистических требований, сделка между наилучшим питанием и наименьшим расходом воды.

Посмотрим, как разрешает растение свою мудреную задачу.

САМОЗАЩИТА РАСТЕНИЙ ОТ УБЫТОЧНОГО ИСПАРЕНИЯ

Непроницаемые для воды кожица и пробка.— Устьица, как регулятор испарения.— Опушение, как защита от ветра и солнца.— Глубокие корни.— Сокращение испаряющей поверхности.— Свертывание, складывание листовой пластины.— Расположение пластины ребром к зениту и в плоскости меридиана.— Сокращение испарения без ущерба питанию.

Выяснив себе, какую роль играет в жизни растения испарение, и рассмотрев те условия, при которых оно происходит, мы невольно пришли к заключению, что процесс этот,— по крайней мере, в тех размерах, в каких он совершается,— скорее должно признать за неизбежное физическое зло, чем за необходимое физиологическое отправление. Для проверки этого вывода, как и всегда, лучше всего спросить само растение. Если наше суждение верно, мы должны ожидать, что в организации растения обнаружатся приспособления, клонящиеся не к тому, чтобы способствовать, а к тому, чтоб умерять это явление, чтоб оградить себя от этого убыточного, опасного, порою грозящего самой жизни физического процесса. Так на деле и оказывается.

Самым простым, радикальным средством было бы покрыть все растение непроницаемой для воды оболочкой (как на яблоке и пр.), но мы видели, что это было бы несовместимо с питанием. Растение прибегает к средней мере: большую часть своей воздушной поверхности, но не всю, покрывает оно оболочкой, подобно нашей клеенке или вощанке. Это сравнение почти буквально верно. Утолщенные наружные стенки клеточек кожицы пропитаны жирными или воскообразными веществами, вследствие чего вода не смачивает их, скатывается с их гладкой поверхности. Иногда воск этот выступает на поверхности в виде белесоватого налета,

всякому знакомого на плодах сливы, на листьях капусты или ржи. Прямой опыт убеждает, что, если стёреть или растворить этот налет, растение испаряет воду сильнее. Значение толстой, непроницаемой для воды кожицы всего лучше обнаруживается из следующего сравнения: стоит посмотреть, как быстро, в несколько минут, завядают и засыхают на воздухе подводные растения и корни, лишенные такой кожицы. Особенно толстой, непроницаемую кожицей обладают гладкие, блестящие, так называемые кожистые листья вечнозеленых растений жарких стран. Опыт также подтверждает, что эти кожистые листья испаряют менее воды, чем листья травянистые.

Оградив себя от убыточного испарения этой непроницаемой одеждой, растение разрешает вторую задачу — сохранение сообщения с атмосферой, изрешетив эту непроницаемую оболочку бесчисленными отверстиями или продушинами, так называемыми устьицами. Число этих устьиц громадно: на одном листе их насчитывают сотнями, тысячами, даже миллионами. Тем не менее, общая площадь их отверстий сравнительно очень невелика: по одному точному измерению, если принять поверхность листа за 1000, то сечение всех отверстий выразится цифрой 15.

Устьица представляют одно из наиболее распространенных и в то же время изумительных приспособлений, регулирующих испарение воды. Они открываются, когда растение переполнено водой, и сами собой закрываются, когда оно начинает страдать от недостатка воды, т. е. завядает. Это, следовательно, — предохранительные клапаны, выпускающие пары, когда вода находится в избытке, и задерживающие их, когда в ней обнаруживается недостаток. Это главный регулятор, при помощи которого растение во-время может

сократить расход воды. Замечательно, что у некоторых растений, всегда обеспеченных водой, как, например, у плавающей на воде ряски, устьица не представляют этого механизма раскрывания и закрывания¹.

Роль устьиц как органов, умеряющих испарение, обнаруживается еще в целом ряде особенностей, касающихся их расположения на листе и свойств несущих их поверхностей. У растений с горизонтальной пластиной устьица почти исключительно расположены на нижней поверхности. Значение этого широко распространенного факта, очевидно, следующее. Воздух в освещенной солнцем рыхлой ткани листа, нагреваясь и насыщаясь парами воды, становится по этим двум причинам легче, вследствие чего, если б устьица находились на верхней поверхности листа, установился бы восходящий ток нагретого и влажного воздуха и входящий ток воздуха более холодного и сухого, а это значительно ускорило бы испарение. Наоборот, при устьицах, обращенных вниз, испарение будет зависеть только от разности в степени влажности внутреннего и наружного воздуха да еще от расширения внутреннего воздуха вследствие нагревания. Узнать, с какой стороны происходит испарение, обыкновенно очень легко,— стоит поднести к листу охлажденное стекло или зеркало,— получающийся легкий выпот обрисует на гладкой полированной поверхности все очертания листа.

¹ Кроме этого главного механизма открывания и закрывания устьиц под влиянием избытка или недостатка воды, некоторые растения открывают еще свои устьица под влиянием непосредственного солнечного света. Польза этого механизма очевидна из того, что сказано выше об испарении, как регуляторе температуры растения. Но этот второй механизм не препятствует первому, он подчинен ему: когда растение начинает завядать, оно закрывает свои устьица и вопреки действию света.

Выше мы видели, что к числу главных условий, ускоряющих испарение, должно отнести ветер. Только немногие растения, как показали опыты Визнера, оказывают отпор ветру и под его влиянием испаряют даже менее воды. Это загадочное явление объяснилось очень просто: устьица этих растений под влиянием ветра закрываются прежде даже, чем обнаружатся признаки завядания в других частях листа. Но большинство растений лишено этого оригинального механизма и страдает от ветра, почему мы и встречаем много рода приспособления для ограничения его вредного влияния. И на этот раз растение также применяет средства, до которых додумался и человек. В последнее время приходилось много слышать о лесных опушках и живых изгородях как практических мерах для борьбы с засухой. Обсадкой полей деревьями полагают поставить преграду ветру и ослабить его иссушающее действие. Оказывается, что растение давно пользуется этим приемом и если осуществляет его в микроскопических размерах, то зато на широкую ногу. Поверхность листьев у растений сухих климатов или подвергающихся сильной инсоляции нередко бывает покрыта волосками, при наблюдении в микроскоп — густою зарослью, целым лесом волосков, под защитой которого сохранились отверстия устьиц (рис. 6, а—е)¹. Волоски эти бесконечно разнообразны по форме и делают поверхность листьев бархатистой, пушистой, серой, порою почти белой, и этим достигается двойная польза: густой войлок сплетающихся волосков не только задерживает движение ветра, но и служит полупрозрачной пеленой, умеряющей действие света. В тех случаях, когда волоски покрыв-

¹ Рисунки эти представляют микроскопические изображения волосков, покрывающих поверхность листьев и стеблей различных растений.

вают только нижнюю, несущую устьица поверхность листа, очевидно, достигается только первый результат, и иногда, именно по присутствию незаметных для глаза волосков, можно легко узнать поверхность листа, несущую устьица,— стоит погрузить такой лист в воду, и между тем как верхняя поверхность сохранит свой обычный цвет, нижняя представится блестящей, серебристой от покрывающего ее, удерживаемого волосками слоя воздуха, который даже очень трудно удалить.

Тот же результат, т. е. замедление движения воздуха, достигается и другим путем. Вместо того, чтоб обсадить отверстия устьиц этими опушками из волосков, растение погружает их в глубь листовой пластины, на дно более или менее глубоких впадин. Эта особенность, как и волосатость, характеризует растения сухих, знойных климатов. Наконец, встречается и то, и другое приспособление одновременно,— устьице оказывается погруженным на дно глубоких впадин, вход в которые защищен волосками, как это наблюдается, например, у олеандра.

Мы только что заметили, что опушение верхней поверхности листа представляет другое значение,— оно ослабляет падающий на растения свет. Здесь, естественно, возникает возражение: не будет ли эта польза достигаться в ущерб питанию листьев? Ведь мы видели, что испарение зависит не только от света, но даже от тех самых лучей, от которых зависит и питание. Не будет ли питание ослаблено в такой же мере, как и испарение? Оказывается, что нет, и в этом обнаруживается одно из любопытнейших приспособлений растения. Зависимость обоих отправлениях от света вполне сходна, пока мы имеем в виду *качественную* сторону дела, но они подчиняются совершенно различным *количественным* законам. Испарение возрастает не

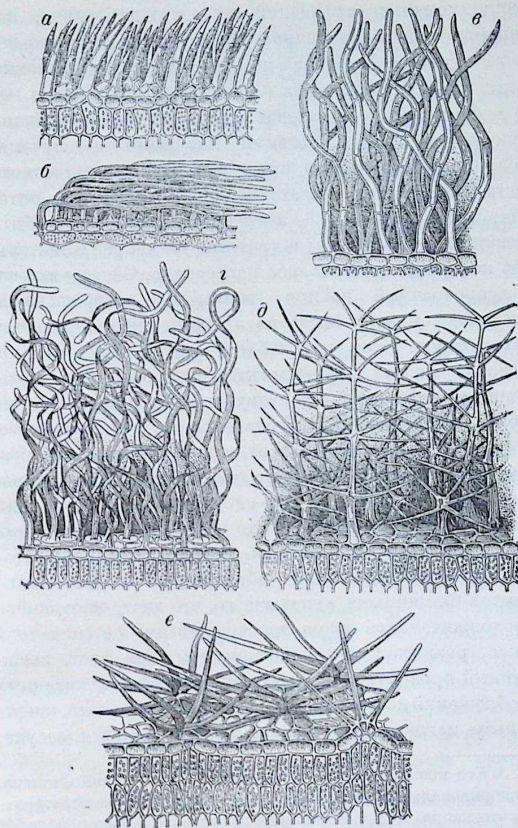


Рис. 6.

пропорционально освещению (или, что все равно, нагреванию) листа на солнце, а быстрее ¹. Питание же листа *достигает своего высшего предела* значительно ранее, чем солнечный свет достигает своего высшего напряжения, считая за таковой освещение горизонтальной поверхности листа летними полуденными лучами. Половины напряжения этого полуденного солнечного света оказывается достаточно для потребностей питания; весь дальнейший избыток не может уже быть использован растением и тратится на непроизводительное испарение или опасное нагревание. Следовательно, полупрозрачный войлок волосков, превращающий внешнюю окраску листа из яркозеленой в серую или даже белую, если он ослабляет свет не более как наполовину, почти не препятствует питанию; значительно понижая испарение. К этому следует прибавить, что самое испарение, если трата воды не успевает возмещаться всасыванием ее через корень, понижая содержание воды в листьях, вместе с тем понижает и воздушное питание листьями и притом ранее, чем недостаток воды обнаружится в завядании. Это доказано классическими исследованиями Буссенго и позднейшими исследованиями Крейсlera. Этим объясняются и результаты опытов Фаминцына, показавшего, что лист, остающийся продолжительное время непосредственно на солнечном свете, разлагает менее углекислоты, чем лист, защищенный прозрачной папиросной бумагой. Высказанных соображений достаточно для того, чтобы показать, какую пользу извлекают растения, подвергающиеся засухе,

¹ Его можно считать, на основании исследований Леклера, пропорциональным упругости пара, при данных температурах, так что, например, когда температура листа возрастает с 25° до 50° (а мы видели, что растение может нагреваться до этого предела), т. е. *вдвое*, упругость пара возрастает *вчетверо*.

из опушения листьев или из той шапки седых волос, которой прикрываются, например, некоторые кактусы. Выражаясь метафорически, можно сказать, что растение воспользовалось различием в *количественных* законах, которым подчинены эти два явления — испарение воды и питание, — для того, чтобы выработать одно из самых удивительных приспособлений в своей борьбе с засухой ¹.

Сокращая по возможности расход воды с поверхности листьев, растения пустынь и вообще местностей, страдающих от недостатка влаги, в то же время обеспечивают себе доступ к более глубоким запасам воды в почве посредством развития глубоко идущих корней.

Но всех этих мер может оказаться недостаточно. Тогда растение сокращает испаряющую поверхность листьев или, наконец, вовсе уклоняется от непосильной борьбы, отказывается от деятельной жизни, сбрасывает листву и на все время засухи приходит почти в такое же состояние оцепенения, в какое в наших широтах погружается при наступлении зимних холодов. Это явление нередкое под тропиками.

Уменьшение поверхности осуществляется весьма различными путями. Иногда, как, например, у растений из семейства толстянковых, листья вместо тонких, пластинчатых становятся толстыми, мясистыми, сочными; иногда же дело доходит до полной потери листьев, которые заменяются тогда мясистыми стеблями. Последнее явление всего резче выражено у кактусов и молочаев. Эти два семейства далеки в систематическом отношении, принадлежат двум различным частям

¹ Мы не останавливаемся пока на любопытном факте прямого *антагонизма* между питанием и испарением, которого коснулись выше и еще коснемся далее, при оценке действия удобрений.

света и, однако, под давлением сходных потребностей выработали до того сходный внешний облик, что всякий не ботаник едва ли различит мясистый безлистный молочай от кактуса. Благодаря отсутствию листьев, растения эти, как показывают непосредственные определения, испаряют весьма мало воды. Тому же способствует малое число устьиц на сильно утолщенной коже, а также густой, богатый растворенными веществами сок, так как известно, что растворы, например, сахара или соли испаряются менее, чем чистая вода. Многие растения из мотыльковых также не несут листьев, и их стебли представляют голые зеленые прутья. Сокращение испаряющей листовой поверхности покупается на этот раз ценою задержки питания; любителям известно, как медленно растут кактусы. Нечто подобное представляют и некоторые наши растения, вынужденные довольствоваться ничтожными количествами воды, — они также сокращают свою поверхность, подбираются, превращаются в карликов. Это болезненное явление в растительной патологии так и называют *нанизмом*. Известны примеры проса и крупки (*Draba verna*), когда все растение было величиной в один сантиметр и, тем не менее, цвело, приносило семена, и, что еще удивительнее, из этих семян при благоприятных условиях вырастали нормальные растения.

Это уже меры, так сказать, отчаяния. Но, спрашивается: не может ли растение уменьшать поверхность испарения, не уменьшая в такой же степени поверхности питания? Как ни покажется это парадоксальным, но в известном смысле растение успело разрешить и эту задачу.

Многие травы, горные и степные, в том числе наш ковыль (не перистый, *Stipa pennata*, а так называемая

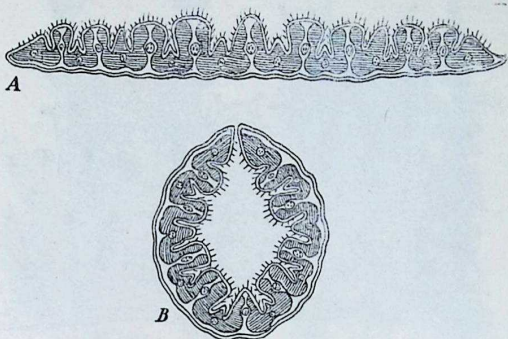


Рис. 7.

тырса, *Stipa capillata*), обладают листьями, которые свертываются, как только растение начинает страдать от недостатка воды. Свертывание или складывание листа происходит всегда так, что устьица остаются на поверхности, обращенной внутрь (рис. 7, B, 8)¹, причем они нередко лежат еще в глубине желобков (рис. 8, a), которые, в свою очередь, также смыкаются краями, вследствие чего отверстия устьиц (a) оказываются вдвойне защищенными от сообщения с сухой, знойной атмосферой. Но эта защита, очевидно, только временная, проявляющаяся только при наступлении уже недостатка в воде, вероятно, еще ранее, как мы видели, сопровождающегося уже ослаблением воздушного питания. Более совершенной мерой обороны против непроизводительной траты воды должно считать такие

¹ Рисунок 7 изображает наблюдаемое под микроскопом поперечное сечение листа тырсы в плоском и свернутом состоянии. Рисунок 8 — часть такого сечения при большом увеличении.

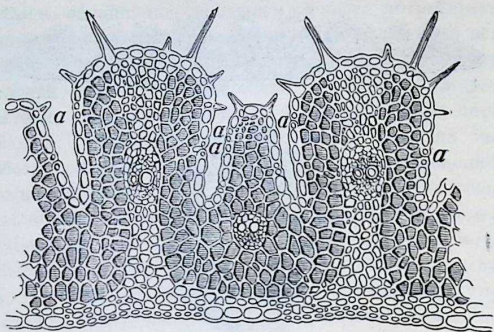


Рис. 8.

листья, которые в течение всей жизни растения ограждают себя от излишнего испарения без ущерба для питания. И на этот раз растение утилизирует *количественное* различие в условиях, управляющих обоими процессами. Выше мы видели, что в большинстве случаев листья располагаются горизонтально, *некоторые* даже принимают такое положение, что получают падающие на них лучи в отвесном направлении. Но существует целый ряд *исключений* из этого правила, целый ряд растений с листьями, обращенными к зениту не поверхностью, а ребром. Таковы австралийские акации и эвкалипты, давно обращавшие на себя внимание путешественников тем, что не дают обычной тени. Сходное явление представляют некоторые мотыльковые, кисличные и другие растения, периодически, в полуденные часы, приподнимающие листочки своих сложных листьев так, что они обращаются уже не плоскостью, а ребром вверх. У всех только что указанных растений стоящие на ребро листья не имеют определенного на-

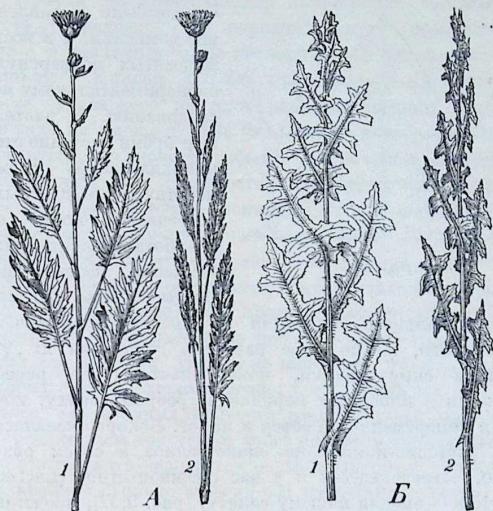


Рис. 9.

правления по отношению к странам света, но существуют еще любопытные растения, которые располагают свои пластинки не только ребром к зениту, но и в плоскости меридиана, так что они подставляют наименьшую поверхность освещения именно полуденному солнцу. Таково получившее в последние годы широкую известность *растение-компас* (*Silphium laciniatum*) (рис. 9, А). Очень распространенное в прериях Техаса, оно давно было замечено туземцами, пользовавшимися им как компасом; его даже воспел Лонгфелло в своей *Evangeline*, и только скептицизм ботаников долго не мирился с этим чудом, пока, уже в семидесятых годах,

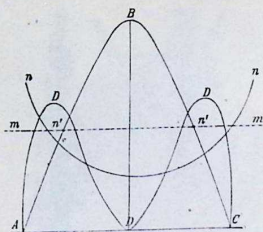


Рис. 10.

первоначальном появлении не представляют ничего особенного, но по мере развития основания их черешков скручиваются, пока пластины не расположатся в плоскости меридиана, ребром кверху, концами попеременно на север и на юг. Вскоре оказалось, что растение-компас не единственное в своем роде; одно, встречающееся и у нас сложноцветное (*Lactuca scariola* — сродни нашему салату) (рис. 9, B), представляет это явление почти в такой же степени, как и сельфийум, а позднее нашлось и еще несколько растений, более или менее ясно обнаруживающих склонность располагать свои листья ребром кверху к плоскости меридиана.

Это положение листа, благодаря которому растение в самые жаркие часы дня находится как бы в тени, приобретает значение по мере приближения к тропикам, где полуденное солнце светит отвесно на горизонтальную поверхность листа.

Прилагаемый рис. 10 наглядно показывает, какую выгоду извлекает из положения своих листьев растение-компас на знойных, страдающих от засух равнинах Техаса.

оно не было поставлено вне сомнения, а в восьмидесятых подвергнуто экспериментальному исследованию. В настоящее время растение это, принадлежащее к семейству сложноцветных, встречается почти во всех ботанических садах. Большие, жесткие, перистые листья его при

Кривая *ABC* представляет напряжение солнечного света, падающего на горизонтальную поверхность листа в различные часы летнего дня в указанной местности¹. Кривая *ADDCC* представляет напряжение света, падающего на лист растения-комаса. Одного взгляда на площади *ABC* и *ADDCC* достаточно, чтоб убедиться, от какого избытка нагревания спасается этот второй лист. Но простого сравнения этих площадей еще недостаточно. Вспомним, что испарение возрастает не пропорционально нагреванию листа, а быстрее; вспомним, что оно зависит от степени влажности воздуха, которая, особенно в континентальных климатах, в полуденные часы представляет *minimum* (что выражено схематически на нашем чертеже кривой линией *nn*); наконец, примем во внимание, что благодаря такому распределению дневного испарения на два периода, разделенных большим промежутком, растение в средние часы дня успеет через корень в значительной мере пополнить недостаток воды, вызванный утренним испарением. Только взвесив все эти обстоятельства, мы можем вполне оценить, какую громадную пользу, в смысле понижения расхода воды, извлекает это растение из положения своего листа в плоскости меридиана.

Но не будет ли в такой же мере угнетено и питание? Мы уже знаем, что этого не может быть. Мы видели, что растение может утилизировать на свое питание только приблизительно половину полуденной инсоляции, т. е. то количество, которое на нашем чертеже лежит под

¹ В основу этой кривой я положил актинометрические наблюдения, произведенные мною в Москве (с актинометром Крова) еще в 1884 г. и давшие результаты, весьма согласные с данными Крова и Савельева. При перечислении на горизонтальную поверхность принято соответствующее число июля месяца при широте 30°.

чертой *тт*, а это количество вертикальный лист (как видно из чертежа) утилизирует почти так же хорошо, как горизонтальный. Если же мы припомним, что с уменьшением содержания воды в горизонтальном листе быстро падает его способность разлагать углекислоту, то, вероятно, будем вправе заключить, что вертикально стоящий лист питается не хуже, а, может быть, и лучше горизонтального¹. Таким образом, положение листовой пластины в плоскости меридиана, ребром к зениту, должно быть рассматриваемо как одно из самых совершенных разрешений, казалось было, неразрешимой задачи, понизить испарение листа, не ослабляя его способности питания.

Весьма любопытно, что эти самые совершенные приспособления в борьбе с засухой растение выработало в самых высших своих представителях, позднее всех явившихся на нашей планете, — в растениях из семейств мотыльковых и сложноцветных.

4

АВТОМАТИЧНОСТЬ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ В БОРЬБЕ С ЗАСУХОЙ

Зависимость образования: пробки — от кислорода; волосков — от сухости воздуха; утолщения кожицы, размеров и положения органов — от света. — Механизмы закрытия устьиц, свертывания листьев, движения воды в сосудах — вызываются самим недостатком воды. — Растение обращает в свою пользу враждебные ему силы природы

Перед нами развернулся длинный ряд приспособлений, выработанных растением в борьбе с постоянно грозившим ему злом — засухой. Нам понятен смысл этих приспособлений, их значение в экономии расте-

¹ Изложенные здесь соображения были мною развиты в сообщении, сделанном в ботанической секции последнего съезда естествоиспытателей в Петербурге. [1890 г. *Ред.*]

ния, но это телеологическое объяснение, удовлетворительное с современной экологической точки зрения, никогда не удовлетворяло вполне, не могло, не должно было удовлетворять физиолога. Если для современного биолога достаточно знать, что та или другая черта организации полезна для того, чтобы понять, что она должна была сложиться и закрепиться, то для физиолога нужно еще раскрыть физические условия, вызвавшие первоначальное возникновение и развитие этой особенности, найти ее механическую причину.

Это раскрытие средств, которыми достигнуты поражающие нас результаты, еще более вызывает наше удивление, чем простое знакомство с результатами. Выражаясь кратко, мы можем сказать, что механизмы, выработанные растением для защиты от засухи, действуют *автоматически*, при помощи тех самых враждебных сил, с которыми растение вступает в борьбу. Условия, вызывающие или ускоряющие испарение, равно как и наступившие уже его последствия обращаются растением в орудия успешной борьбы с грозящим злом. Рассмотрим их последовательно¹.

Первым условием испарения является, конечно, соприкосновение с воздухом (у подводных растений, понятно, об испарении не может быть и речи). Но именно воздух или, выражаясь определеннее, его кислород вызывает образование пробки, защищающей органы от дальнейшего испарения. Это, несомненно, доказано опытами Кнни над образованием пробки на пораненном картофеле². Вероятно, с этим основным свойством

¹ Развитие здесь идеи позднее некоторыми немецкими учеными были положены в основу совершенно неудачного учения о *прямом приспособлении*.

² Сказанное о пробке, вероятно, применимо и к веществу стенок кожицы.

растительной клеточки — способностью изменять под влиянием воздуха химический состав своих стенок — связана самая возможность наземной растительности. Не обладай растительная клеточка этим свойством, первоначальное водное население нашей планеты едва ли выбралось бы далеко на сушу.

Но воздух тем более способствует испарению, чем он суше, и вот на основании многочисленных экспериментальных исследований мы убеждаемся, что именно сухость воздуха вызывает волосистость растений, что это условие, ускоряющее испарение, является в то же время средством для выработки одного из важных приспособлений, его умеряющих.

Свет (или, вернее, нагревание солнечными лучами) относится к числу факторов, наиболее влияющих на испарение, и в то же время целый ряд опытов показывает, что под более продолжительным влиянием света вырабатываются формы, испаряющие менее, чем формы, выросшие в тени. Это зависит от того, что клеточки, в особенности клеточки кожицы, получают стенки более толстые, менее проницаемые ¹. Сверх того, в общей сложности, листовые органы на солнце не достигают такого размера, как в тени, — следовательно, на солнце сокращается общая поверхность испарения. Наконец, именно свет вызывает движение листочков мотыльковых растений и скручивание черешков растения-компаса, приводящее его пластины в плоскость меридиана. В тени этих явлений не происходит, а у последнего расте-

¹ Относительно ближайшей причины такого изменения мнения ботаников в последнее время расходятся. Неизвестно, действует ли свет непосредственно или только косвенно, через усиление испарения. Но для нас это безразлично; для нас важен результат, — что свет, ускоряющий испарение, при продолжительном действии понижает его.

ния Штально удалось, изменяя часы освещения, изменять и положение листьев.

Еще замечательнее механизмы, пускаемые в ход самим испарением или, вернее, наступающим завяданием. Таково свертывание листовой пластины, наблюдаемое у степных трав. В простейших случаях оно осуществляется так: во внутреннем углу складок, по которым перегибается листовая пластина, находится нежная ткань, переполненная водой и распирающая дольки листа, встречающиеся здесь под очень тупым углом. Как только приход воды перестанет покрывать расход ее на испарение, прежде всего спадается эта легко испаряющая ткань, и нераспираемые более дольки листа захлопываются. Словом, мы имеем здесь механизм, подобный дверной пружине, но двойной, так что дверь открыта, пока одна пружина преодолевает действие другой, и захлопывается, когда первая пружина ослабевает.

Еще проще устроен удивительный механизм автоматического закрывания устьиц, когда в растении обнаруживается недостаток в воде. Механизм этот вполне удовлетворительно изучен Швенденером. Постараемся объяснить его хотя бы в самых общих чертах. Отверстие устьиц образовано продолговатою щелью между двумя серповидными клеточками (рис. 11). Стенки этих клеточек, прилегающие к щели, могут выпрямляться, и тогда щель закрыта (а), или могут становиться вогну-

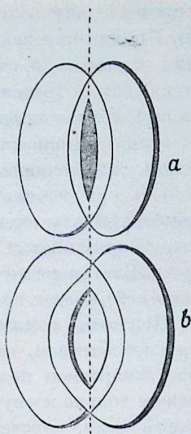


Рис. 11.

тыми в сторону щели, и тогда она широко раскрывается (b). Прямая или искривленная дугою форма окаймляющих клеточек, в свою очередь, зависит от того, что стенки их, обращенные к щели, более толсты, чем стенки, обращенные наружу. Вследствие такого неравномерного утолщения стенок, клетки, переполненные соком, искривляются дугой, раскрывая щель. Но как только при начинающемся завядании давление сока начнет убывать, внутренние толстые стенки, как пружины, выпрямляются и, сближаясь краями, закрывают щель. Благодаря этому простому регулятору испарение само себе кладет предел.

Наконец, самым совершенным *автоматическим* приспособлением, очевидно, должно считать вызываемое испарением поднятие воды в растении. Здесь мы можем только коснуться этого сложного вопроса. Для нашей цели, впрочем, достаточно следующих, вполне установленных положений. В сосудах, по которым движется вода, почерпнутая корнем из почвы, встречаются пузырьки воздуха. Этот воздух находится в разреженном состоянии, так что сосуды, с этой точки зрения, могут быть уподоблены всасывающим насосам. Причиной, вызывающей и поддерживающей это разрежение воздуха, оказывается испарение воды листьями. Таким образом, самый процесс испарения воды приводит в действие насос, качающий воду из почвы. Действие этого насоса очень совершенно; он подает воду по мере ее расхода, так что, как мы раньше видели, всасывание воды может служить даже мерой ее испарения. Тем не менее, полного соответствия между двумя процессами не существует, и завядание в большей части случаев является признаком не положительного недостатка воды в почве, а только последствием временно нарушенного равновесия между ее приходом и расходом в растении.

Только выработав этот аппарат для автоматического возмещения испаряемой воды, выбравшееся на сушу растение могло смело подняться в воздух, потянуться к солнцу, пройти все те стадии совершенствования, которые отделяют приземистый мох от великана эвкалипта, уколистый плаун от широколистного платана, ищущий влажности и тени папоротник от смело борющегося с засухой и зноем сложноцветного.

Итак, мы имели полное основание сказать, что выдающаяся черта всех механизмов, выработанных организмом для защиты от засухи, выражается в их *автоматичности*, в том, что они обращают на пользу растения действие тех самых сил, с которыми оно ведет борьбу.

5

ВЫВОДЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

Человек должен подражать растению: 1) ослабляя испарение без ущерба питанию; 2) достигая этого при помощи автоматических приспособлений.— Двоякая деятельность человека — сокращение расхода и обеспечение прихода воды.— Сокращение расхода: отбор выносливых разновидностей; удобрение; устранение сорных растений; ограждение от ветра.— Обеспечение прихода: накопление почвенной влаги; устройство водохранилищ; орошение при помощи ветра и солнца.— Человек должен подражать растению в подчинении себе враждебных сил природы и еще прежде в замене кровавой междоусобной борьбы бескровною борьбой с природой

Подводя итог тому, что мы знаем об испарении воды растением, мы можем остановиться на следующих общих выводах. Процесс испарения — процесс физический, подчиняющийся вполне определенным и понятным нам законам. В тех размерах, в каких он обыкновенно совершается в природе, он может быть скорее рассматриваем как неизбежное физическое зло, чем как необходимое физиологическое отправление. Причиной этой неизбежности является почти полное тождество

условий этого процесса с условиями воздушного питания растения. Отсюда становится понятным, что все приспособления, встреченные в растении, направлены к тому, чтоб ограничить, умерить эту непроизводительную трату воды. Самыми совершенными из них, очевидно, должно признать те, которые осуществляют наибольшую экономию в воде с наименьшим ущербом для питания. Наконец, главная особенность всех этих приспособлений заключается в том, что они представляют характер *автоматических* регуляторов, приводимых в действие теми самыми условиями, которые вызывают испарение, или самым процессом испарения.

Узнав, как борется с засухой растение, естественно задаться вопросом: может ли и в чем может подражать ему человек? Мне кажется, что может и в очень многом.

Прежде всего полезно остановиться на той мысли, что нет основания принимать, чтобы испарение в тех размерах, в каких оно обыкновенно совершается, само по себе было необходимо для растения. Напротив того, мы видели, что оно может быть без вреда значительно понижено, и что, наоборот, усиленное, не возмещаемое корнем испарение даже до появления очевидных признаков завядания угнетает питание растения и его рост ¹. Таким образом, в большей части случаев понижение испарения может быть только благотворно для растения ². Затем, само собою очевидно, что человек может регулировать отношение растения к воде двумя путями: пассивно — подчиняясь тем климатическим условиям, которые даны природой места, т. е. возможно

¹ Напомню еще вывод, сделанный выше, что усиленное испарение, снабжая растение бесполезным избытком минеральных веществ, непроизводительно истощает почву.

² Кроме тех, вероятно, редких условий, когда, как мы видели, испарение служит *регулятором температуры* растения.

экономно расходуя естественный запас воды, или активно — увеличивая этот запас, создавая для растения искусственную обстановку, более благоприятную, чем та, которая дана непосредственно природой.

Остановимся подробнее на мерах первой категории, как имеющих более близкое отношение к предмету этой лекции. Регулировать расход воды в растении, как и вообще все, касающееся отправления и строения растения, человек может также двумя путями: пользуясь наличными свойствами организма или оказывая на него воздействие при помощи внешних факторов. В первом случае он должен воспользоваться всеми особенностями организации, которые осуществило само растение, так как *создать новые* в буквальном смысле он обыкновенно бессилён. При выборе культурного растения он должен, следовательно, считаться с его потребностью в воде или, еще лучше, должен *выработать* на месте породу, довольствующуюся наименьшим количеством воды. Здесь могучим средством является к его услугам начало *искусственного отбора*. Начало это широко прилагалось для выработки усовершенствованных пород, но едва ли когда-нибудь с той специальною целью, которую мы теперь имеем в виду. Обращалось почти исключительное внимание на органы, ради которых культивируется данное растение, и едва ли когда в достаточной мере на органы, без посредства которых не получались бы эти продукты, не обеспечивалась бы самая возможность существования организма, при тех или иных неблагоприятных условиях. Урожайность, качество съедобной или так или иначе идущей в пользу части — вот главная, почти исключительная забота хозяина при выборе породы, причем не всегда еще принимается во внимание, что растение, дающее хорошие результаты при одних усло-

виях, может их и не дать при совершенно иных. Обращалось ли при выборе той или другой породы достаточное внимание на длину корней, обеспечивающую более обильный приход воды? Обращалось ли когда-нибудь внимание на толщину кожицы, на опушение или восковой налет листьев, на число устьиц, свертывание или периодическое складывание листовых пластин или, наконец, на их положение к горизонту? Все это обстоятельства, сокращающие расход воды. Мы видели, например, что одно вертикальное положение листьев при известных климатических условиях могло бы внести экономию на испарении, равносильную обильному орошению, — и, кто знает, со временем, при внимательном изучении, не удастся ли подметить и усовершенствовать отбором это явление, обнаруженное в более или менее ясной степени у некоторых наших культурных и дикорастущих форм? В самое недавнее время обнаружился факт, имеющий более близкое отношение к занимающему нас вопросу. Оказывается, что ости наших злаков испаряют значительные количества воды — свыше 40 % всего количества испаряемого растением в этот период его жизни. Отсюда понятно, какое важное значение в борьбе с засухой имело бы предпочтение безостых разновидностей. Насколько полезна и осуществима была бы такая мера, может решить, конечно, только точно поставленный опыт, и это, несомненно, один из вопросов, заслуживающих самого серьезного внимания¹.

Этими указаниями я только хочу высказать мысль, что с распространением физиологических знаний при выборе своих пород сельский хозяин не будет руково-

¹ Высказывают, например, предположение, что ости своим испарением способствуют привлечению питательных веществ в колос, но это нуждается еще в подтверждении.

даться только свойствами одних ценных продуктов, а более дальновидно будет обращать внимание на свойства и других органов и при должной наблюдательности и терпении выработает путем отбора такие приспособления в борьбе с засухой, которые будут превосходить все то, с чем мы только что успели ознакомиться, в такой же мере, как и сочные плоды и тяжеловесные зерна наших садовых и полевых растений превосходят соответствующие органы их отдаленных дикорастущих предков.

К числу внешних воздействий, при помощи которых человек может понизить непроизводительную трату воды растением, относится прежде всего применение удобрений. Целый ряд наблюдателей приходит к согласному заключению, что для растений, получающих удобрение (особенно азотистое), понижается указанное выше отношение между образующимся органическим веществом и испаряемой водой, т. е. на каждую единицу веса образуемого органического вещества растение, получившее удобрение, испаряет менее, чем растение, не получившее его. Не следует, однако, понимать этого вывода так, что растение удобренное испаряет менее неудобренного,— такое толкование могло бы повести к печальным недоразумениям. Растение, получившее удобрение, испаряет *абсолютно* более воды, что и понятно, так как оно разовьется роскошнее и образует большую поверхность испарения, но эту воду оно расходует с *относительно* большей пользой, так как за равное количество воды дает более органического вещества в сравнении с растением, не получившим удобрения. Это различие, очевидно, очень существенно, и его полезно всегда иметь в виду. Если, например, растению будет доступно количество воды, только строго обеспечивающее малый урожай, то удобрением

мы, пожалуй, можем поставить его в такие условия, что оно даст урожай еще худший, так как несвоевременно может истощить свой ограниченный запас воды. Понижающая испарение роль удобрения еще не вполне разъяснена теоретически. Возможно, что более обильное присутствие органических веществ в соке растений просто понижает скорость испарения этих растворов, но возможно и следующее объяснение. Мы видели выше, что на солнечном свете испарение и питание (т. е. разложение углекислоты) зависит от лучей, поглощаемых зеленым веществом листа (хлорофиллом), так что французские физиологи предлагают обозначить этот частный случай испарения особым термином — *хлорованоризацией*. Вследствие этого в присутствии углекислоты испарение на солнце понижается, так как часть солнечной энергии, идущая иначе на испарение, затрачивается на химический процесс разложения углекислоты. В настоящее время мы еще не имеем возможности строго учесть количественное отношение этих процессов между собою и с количеством солнечной энергии, поглощаемой хлорофиллом листа ¹. Но уже на основании приблизительных данных об испарении на солнечном свете мы можем заключить, что при ослаблении полуденного света наполовину поглощаемой зеленым веществом солнечной энергии будет недостаточно для поддержания прежнего испарения и полного питания. Таким образом, при всяком напряжении солнечного света ниже указанного питания листа и хлорованоризация будут находиться в антагонизме, — другими

¹ Это составляет в настоящее время предмет моих исследований (1891 г.).

В настоящее время уж имеются приблизительные данные (см. мою статью в *Истории нашего времени* — «Успехи ботаники в XX веке». (1918 г., изд. бр. Гранат).

словами, питание листа будет прямо содействовать понижению испарения. Отсюда ясно, как существенны даже и с точки зрения испарения воды заботы о том, чтобы питание листа было наилучшее; а это, в свою очередь, осуществимо только под условием удовлетворительного удобрения.

Если необходимо заботиться о том, чтобы культурное растение экономно пользовалось доступной ему водой, то еще важнее заботиться о том, чтобы сорная растительность не отдавала бесполезно воздуху той воды, которую она косвенно отнимает у культур. То же соображение, быть может, не мешает иметь в виду и при оценке одного культурного приема, получающего все более и более широкое распространение. Так как одно из самых ценных питательных начал почвы — селитра — легко вымывается, особенно осенними дождями, то предлагают осенью, после уборки хлеба, засеять поля каким-нибудь быстрорастущим растением, которое своими корнями собирало бы селитру и затем само шло на зеленое удобрение¹. Дегерен приводит пример подобного опыта с горчицей, причем действительно совершенно прекратился сток дренажных вод². Если горчица своим испарением задерживала только тот избыток почвенных растворов, который так или иначе удалился бы из почвы, то, конечно, она приносила бы только пользу; но если она еще черпала из запаса осенней влаги, то спрашивается, при всяких ли климатических условиях польза от сбережения азота вознаградит за израсходованную воду?

¹ Когда зеленым удобрением служат бобовые растения, то эта польза увеличивается еще усвоением азота из воздуха.

² Горчица должна быть отнесена к сильноиспаряющим воду растениям, так как, по Вольни, для нее отношение между образующимся органическим веществом и испаряемой водой — 1 : 800, между тем как для злаков, мы видели, оно — 1 : 300.

На основании сказанного о необходимости устранения сорной растительности для ограничения расхода воды можно было бы сделать вывод (и он был сделан), что в случае опасения за недостаток воды полезно сокращать и число растений, возделываемых на данной площади, т. е. прибегать к более редкому посеву; но это заключение нужно принимать с некоторой оговоркой. При наступлении засухи для растения важно не абсолютное количество воды в окружающей его почве, а количество ее в *ближайшем* соседстве с корнями или степень насыщения почвы водой. Так, Гельригель показал, что при одном и том же абсолютном количестве воды в малом горшке растение могло существовать, между тем как в большом оно уже завядало.

Но если хозяину важно обеспечить свое растение от сорных трав, расхищающих его запас воды, то он только с пользой может прибегать к защите более крупных растений — в форме живых изгородей и лесных опушек, замедляющих движение ветра и тем значительно умеряющих испарение. На этот раз он только повторяет в большем масштабе то, что, как мы видели, растение широко прилагает в микроскопических размерах.

Переходим теперь к рассмотрению мер, в которых человек выступает активным деятелем, не приспособляясь к данным климатическим условиям, не подчиняясь, а подчиняя себе природу. Как ни покажется это парадоксальным, но и в этой активной своей роли человек, в основе, мог бы с пользой подражать растению. На этот раз задача должна заключаться не в ограничении расхода, а в обеспечении прихода воды на культурной площади. Круговорот воды в природе, обеспеченный в общих чертах, может оказаться нарушенным в известном месте, в известное время, и потому в большей части случаев засуха является последствием не аб-

солиютного недостатка в воде, а лишь неравномерного, несоответствующего условиям культуры распределения осадков в течение годовичного периода. На нашей хлебородной равнине, очевидно, главную роль должно играть сохранение осенних, а еще важнее весенних вод, — задержание той массы в краткий срок прибывающей и сбегавшей без пользы воды, которую дают тающие снега ¹. Здесь, очевидно, могут принести пользу две меры: во-первых, задержание возможно большего количества воды в самой почве при помощи ее разрыхления, т. е. глубокой, особенно осенней, вспашки, и сохранение неудержимого почвой избытка в оврагах, превращенных в водохранилища ². О пользе устройства запруд приходится достаточно часто слышать, но их устройством разрешается только половина — и

¹ Я не касаюсь здесь ни искусственного вызывания дождей, ни облесения. Замечу, кстати, что растение представляет нам также примеры запасливости. Существует целый ряд особенностей, главным образом в строении листовых черешков, превращающих их в водохранилища; самым разительным примером служит *Ravenala Madagascariensis*, так называемое «дерево путешественников», и один вид ворсянки. Сюда же относится особая водоносная ткань, встречающаяся под кожицей многих растений и служащая запасом воды.

² Польза глубокой вспашки, как одной из мер борьбы с засухой, кажется, не подлежит сомнению вследствие достигаемого ею двойного результата — накопления и лучшего сбережения влаги. Припоминаю разительный пример, который мне самому случалось наблюдать. В 1867 г. Вольное экономическое общество организовало несколько опытных полей. Мне пришлось наблюдать за опытами в Симбирском уезде, где этот год отличался продолжительною засухой. Три во всех отношениях сходные участки были вспаханы на различную глубину (сохой и плугом), и одним из главных результатов оказалось преимущество глубокой вспашки. Глубокая вспашка, очевидно, важна не только как средство для увеличения запаса воды, но и как средство для развития более глубоко идущих за ценой корней.

сравнительно более легкая половина — задачи ¹. Из обыкновенно глубоких оврагов, превращенных в водохранилища, воду еще нужно поднять для орошения полей, так как немного найдется, вероятно, местностей, где бы можно было воспользоваться естественным скачком, устроив запруды в более высоко расположенных верховьях оврагов. Прибегать к паровым двигателям для подъема воды при дороговизне топлива едва ли окажется под силу большинству наших хозяев. Здесь, естественно, рождается мысль о необходимости подражать растению и заставить работать на себя те самые враждебные и даровые силы природы, с которыми приходится вступать в борьбу. Растение страдает от иссушающих ветров и солнечного зноя, и эти самые враждебные силы оно заставляет ограничивать свой расход и обеспечивать приход воды. Почему не мог бы сделать того же человек? Если голландцы при помощи своих ветрянок борются с океаном, превращают море в сушу, если в наших городах различные усовершенствованные ветряные двигатели качают воду в верхние этажи домов, почему бы тот же ветер не мог бы поднять воду со дна оврагов до уровня полей? Почему не заставить его возвращать корням ту воду, которую он отнимает у листвы? А солнце... почему не воспользоваться его палящими лучами для орошения полей? Известна остроумная попытка Мушо устроить насосы, действующие солнечным нагреванием, — насосы, словно сознательные существа, подающие тем более воды, чем сильнее засуха.

Основная идея солнечного насоса Мушо крайне изящна по своей простоте. Представим себе конусооб-

¹ Т. е., придерживаясь терминологии нашего известного специалиста этого дела генерала Жилинского, обеспечивается только водоснабжение, но не обводнение.

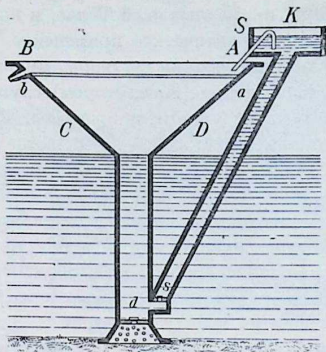


Рис. 12.

разный сосуд из листового железа $ABCD$, продолжающийся в трубку, погруженную в воду (рис. 12). Металлическая крышка конуса (ab) вычернена и представляет поверхность солнечного нагрева. При s и d — клапаны, оба открывающиеся вверх. Представим себе, что прибор уже отчасти наполнен водой. Вследствие расширения нагретого воздуха в верхней части воронки вода закрывает клапан d и, открыв клапан s , через боковую трубку подымется в сосуд K , откуда через сифон S выльется на нагретую черную поверхность ba . Тогда воздух в воронке охладится и, сжимаясь, засосет новое количество воды (закрывая клапан s и открывая d). Тем временем вода на крышке воронки успела стечь через b в водопровод, а вычерненная поверхность снова начнет нагреваться солнцем, и т. д. Аппарат, как видно, действует совершенно автоматически, без всякого за ним ухода и тем успешнее, чем жарче греет солнце. В последнее время во Франции появились солнечные насосы

другой системы, принадлежащей Телье, и получившие, повидимому, уже практическое применение ¹. Аппарат Телье основан на нагревании раствора аммиака. Приемником солнечного тепла (инсолятором) служит крыша пзображенного на рисунке птичника (рис. 13); она состоит из спаянных между собой двух листов железного толя, промежуток между которыми наполнен раствором аммиака. Освобождающийся аммиачный газ приводит в движение обыкновенный газовый двигатель и, отработав, поглощается холодной водой и возвращается назад в инсолятор. При поверхности нагрева в 70 квадратных метров насос подымает в час 60 кубических метров воды на высоту 10 метров ². Такой насос доставлял бы в час на десятину слой воды в 7 миллиметров, а все количество воды, которого недоставало в 1891 г. (с апреля до июля) полям восточной России, равнялось 69 миллиметрам. Другими словами, такой насос, действующий даровой силой солнца, доставил бы в *десять часов* на десятину все то количество, которого ей недоставало в засуху 1891 г. Мы, очевидно, близки к осуществлению таких солнечных насосов, которые дают вполне практические результаты ³. По основной идее насосы Мушо гораздо проще. Правда, они поднимают воду на сравнительно небольшую высоту полутора метров, но при дешевизне их устройства

¹ О практическом применении насоса Мушо мне, к сожалению, ничего не известно. Его паровую машину, действовавшую солнцем, видели все, кто побывал на Парижской выставке в 1878 г.

² Т. е. на 4 с лишком сажени,— высоту, во многих случаях достаточную.

³ Остается, конечно, вопрос экономический. Насосы Телье стоят от 3000 до 5000 франков. Такой расход пока, вероятно, только под силу интенсивным огородным или садовым культурам.

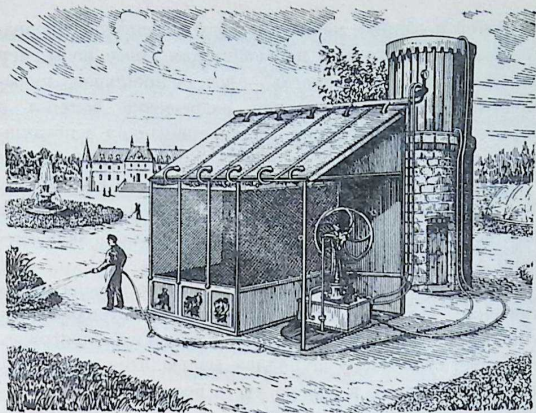


Рис. 13.

их можно расположить целые ряды постепенно возвышающимися террасами, а главное, насколько мне известно, еще нигде не применялась другая остроумная мысль Мушо — значительно увеличить действие этих насосов, зарядив их (раз навсегда!) жидкостью с низкой точкой кипения. Простота устройства таких насосов и их целесообразно автоматическое действие при помощи даровой силы заслуживали бы, кажется, чтобы над ними были произведены опыты, тем более, что и необходимая жидкость у нас, кажется, найдется под руками: это те легкие нефтяные продукты, с которыми наши нефтепромышленники, как приходилось не раз слышать от людей, хорошо осведомленных, не знают, что и делать ¹.

¹ Сказано в 1891 г. (Примечание 1919 г.)

Ветер и солнце, качающие воду из оврагов, превращенных в запруды, и подающие тем более воды, чем сильнее в ней потребность, — вот радикальное, теоретически удовлетворительное разрешение вопроса о борьбе с засухой¹. Природа, превращенная в послушного автомата, как бы сознательно предупреждающего грозное бедствие еще до его наступления, — вот идеальное разрешение задачи, на котором только и может вполне успокоиться вооруженный наукой человеческий ум.

Фантазия, воздушные замки! — скажут люди практические. Но сколько таких фантазий осуществилось уже на глазах одного нашего поколения. Электрический свет стал такою заурядною вещью, что ему смешно даже удивляться, а далеко ли то время, когда мы сбегались, съезжались издалека, чтобы на несколько минут полюбоваться диковинным зрелищем, о повсеместном, будничном применении которого, казалось, не могло быть речи? Или еще ближе: я очень хорошо помню, как весь ученый Париж любовался вторичными элементами Планте. Для теоретиков-фантазеров сразу было понятно, что означают эти элементы: это электричество, запасенное впрок, электричество в кармане, электричество-товар. Скентики, как всегда, мотали головами, но не прошло десяти лет — и весь свет, уче-

¹ Говоря об орошении, не мешает указать и на следующее обстоятельство. Несколькими наблюдателями удостоверяется факт, что растение, получавшее в начале своего развития воду в изобилии, и в позднейшем возрасте более требовательно к ней, более страдает от засухи, легче может быть спалено солнцем. Эта привычка не представляет ничего таинственного и вполне может быть объяснена на основании известных физиологических данных. Во всяком случае, с этим фактом должно считаться при распределении орошения, если запас воды только ограниченный.

ный и неученый, заговорил об аккумуляторах Труве. Такими ли еще чудесами поразит нас будущее! Будем же надеяться, что те же «суховеи», тот же солнечный зной, которые иссушают наши поля, будут со временем только орошать поля наших потомков¹.

Но даже доведя свою борьбу с засухой до такого благополучного конца, человек будет только последовательно идти по пути, как бы намеченному ему растением. И единственный ли это пример для подражания, доставляемый нам изучением растения? Мне кажется, попутно мы могли подметить и другой, имеющий еще более широкое значение. Не раз в течение всей лекции приходилось нам повторять то слово, которое поставлено в ее заголовке. То роковое слово «борьба», которое так часто по недоразумению, а еще чаще с вполне определенным умыслом бросают в лицо современным натуралистами, обвиняя их в том, что вместе со словом они ввели в обиход человеческой жизни и самое понятие, оправдывая им водворение чуть не звериных нравов. Недавно мне случилось прочесть мнение одного юриста, будто учение о «борьбе за существование» в значительной мере ответственно даже за тот расцвет милитаризма, свидетелем которого привелось быть нашему поколению. Если бы это было верно, то пришлось бы допустить, что никогда еще, за память истории, научная идея не приносила таких скороспелых и

¹ Солнечные двигатели и пр. продолжают быть задачей дня, причем изобретатели идут в двух противоположных направлениях: одни добиваются возможно могучих, но в то же время и дорогих приспособлений, другие заботятся о возможной простоте и доступности (Энеас в первом, Шуман во втором направлении). Несомненно, практическими уже оказываются кухонные приборы, действующие солнечной теплотой, особенно для жарких климатов. (Примечание 1919 г.)

Ветер и солнце, качающие воду из оврагов, превращенных в запруды, и подающие тем более воды, чем сильнее в ней потребность, — вот радикальное, теоретически удовлетворительное разрешение вопроса о борьбе с засухой¹. Природа, превращенная в послушного автомата, как бы сознательно предупреждающего грозное бедствие еще до его наступления, — вот идеальное разрешение задачи, на котором только и может вполне успокоиться вооруженный наукой человеческий ум.

Фантазия, воздушные замки! — скажут люди практические. Но сколько таких фантазий осуществилось уже на глазах одного нашего поколения. Электрический свет стал такою заурядною вещью, что ему смешно даже удивляться, а далеко ли то время, когда мы сбегались, съезжались издалека, чтобы на несколько минут полюбоваться диковинным зрелищем, о повсеместном, будничном применении которого, казалось, не могло быть речи? Или еще ближе: я очень хорошо помню, как весь ученый Париж любовался вторичными элементами Планте. Для теоретиков-фантазеров сразу было понятно, что означают эти элементы: это электричество, запасенное впрок, электричество в кармане, электричество-товар. Скептики, как всегда, мотали головами, но не прошло десяти лет — и весь свет, уче-

¹ Говоря об орошении, не мешает указать и на следующее обстоятельство. Несколькими наблюдателями удостоверяется факт, что растение, получавшее в начале своего развития воду в изобилии, и в позднейшем возрасте более требовательно к пей, более страдает от засухи, легче может быть спалено солнцем. Эта привычка не представляет ничего таинственного и вполне может быть объяснена на основании известных физиологических данных. Во всяком случае, с этим фактом должно считаться при распределении орошения, если запас воды только ограниченный.

ный и неученый, заговорил об аккумуляторах Труве. Такими ли еще чудесами поразит нас будущее! Будем же надеяться, что те же «суховеи», тот же солнечный зной, которые иссушают наши поля, будут со временем только орошать поля наших потомков¹.

Но даже доведя свою борьбу с засухой до такого благополучного конца, человек будет только последовательно идти по пути, как бы намеченному ему растением. И единственный ли это пример для подражания, доставляемый нам изучением растения? Мне кажется, попутно мы могли подметить и другой, имеющий еще более широкое значение. Не раз в течение всей лекции приходилось нам повторять то слово, которое поставлено в ее заголовке. То роковое слово «борьба», которое так часто по недоразумению, а еще чаще с вполне определенным умыслом бросают в лицо современным натуралистами, обвиняя их в том, что вместе со словом они ввели в обиход человеческой жизни и самое понятие, оправдывая им водворение чуть не звериных прав. Недавно мне случилось прочесть мнение одного юриста, будто учение о «борьбе за существование» в значительной мере ответственно даже за тот расцвет милитаризма, свидетелем которого привелось быть нашему поколению. Если бы это было верно, то пришлось бы допустить, что никогда еще, за память истории, научная идея не приносила таких скороспелых и

¹ Солнечные двигатели и пр. продолжают быть задачей дня, причем изобретатели идут в двух противоположных направлениях: одни добиваются возможно могучих, но в то же время и дорогих приспособлений, другие заботятся о возможной простоте и доступности (Энсас в первом, Шуман во втором направлении). Несомненно, практическими уже оказываются кухонные приборы, действующие солнечной теплотой, особенно для жарких климатов. (Примечание 1919 г.)

уродливых плодов. Идеи Дарвина проникли в Германию в начале шестидесятых годов, а в 1864 г. немецкие войска уже штурмовали Дюппель! Не вероятнее ли допустить, что дюппельские герои не несли в своих ранцах «Происхождение видов» и что бесполезно взваливать заслуги проповедника «крови и железа» на плечи Дарвину, — с него довольно и своих. Во всяком случае, в применении к тем фактам, с которыми мы только что ознакомились, мы могли убедиться, что на языке ботаники, к которому охотно прибегал и Дарвин, слово «борьба» означает не истребление себе подобных, а только самооборону, — победу жизни над враждебными силами мертвой природы. И человек, казалось, мог бы смело подражать этой борьбе. Если бы свои силы, затрачиваемые во взаимной борьбе, глухой или открытой, он дружно сосредоточил на бескровной борьбе с природой, если бы хоть часть труда и знания, которые он растратил на изобретения орудий истребления — хотя бы на изобретения пороха, бездымного и дымного, который, по какой-то злой иронии, избрал символом своей изобретательности и ума, — он обратил на изучение и подчинение себе природы, то, конечно, бедствия, подобные засухам и голоду, уже давно стали бы достоянием истории ¹.

¹ Сказано в 1891 г. Замечу, как давно люди науки угадывали будущее и предостерегали от тех ужасов, с которыми человечество борется безуспешно вот уже пятый год. (Примечание 1919 г.)





ИСТОЧНИКИ АЗОТА РАСТЕНИЙ *



Мало найдется примеров, где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научный вопрос о происхождении азота растения неразрывно сплелся с чисто практическим вопросом о пользе возделывания клевера и вообще бобовых растений.

Факт совершенно исключительной пользы, извлекаемой из возделывания этих растений, не мог ускользнуть от наблюдения земледельцев, но только длинный ряд строго научных исследований мог дать ему истинное толкование и тем осветить дальнейший путь практики; стоит припомнить множество более или менее неудачных догадок, предлагавшихся агрономами, пока путем точного опыта не выяснилось с полной очевидностью, что при помощи этих растений мы пользуемся даровым удобрением — воздухом. Нетрудно было также додуматься до того, что навоз можно заменить

* Эта лекция — в отдельном издании (К. Тимирязев «Земледелие и физиология растений», II «Происхождение азота растений». М., изд. П. К. Прянишникова и В. Н. Маракуева, 1893 г.), а также в первом издании сборника «Земледелие и физиология растений» (1906 г.) — носила название «Происхождение азота растений». *Ред.*

зеленым удобрением, но только строго научное изучение могло объяснить, на каких именно растениях для этой цели должен остановиться наш выбор.

Как часто, и с самых разнообразных сторон, приходится слышать авторитетно высказываемое заявление, что наука в своем поступательном движении должна руководиться исключительно пользой, которой может ожидать от нее человек, и между тем подобное воззрение свидетельствует только о совершенном незнакомстве с тем путем, по которому наука действительно движется вперед.

Наука не может двигаться по заказу в том или другом направлении; она изучает только то, что в данный момент созрело, для чего выработались методы исследования. Никакие потребности, как бы они ни были настоятельны, никакие поощрения, как бы они ни были соблазнительны, не вызовут скачков строго логически развивающейся научной мысли, — я разумею мысли творческой, раскрывающей новые горизонты. Наука во времена Тэера была бессильна разрешить занимающий нас вопрос. Для этого Буссенго должен был основать химическую статику органических существ; для этого Пастер должен был основать современную микробиологию. В каком положении находился бы и теперь этот вопрос, если бы Буссенго возражали, зачем он изучает действие на растение селитры, когда свои поля мы удобряем навозом, или Пастеру — к чему тратит он время на изучение явления самозарождения организмов, не имеющего никакого отношения к вопросам практической жизни?! И, однако, результатом этих исследований, казалось, стоявших далеко или совсем в стороне от запросов жизни, явились бесконечные приложения, в том числе и то, изучению которого посвящены следующие строки. Наука всегда идет

своим путем, таровато рассыная по сторонам бесчисленные драгоценные приложения, и только крайняя близорукость может ловить приложения, не замечая, откуда они сыплются ¹.

1

Значение возделывания клевера.— Существуют ли растения, обогащающие почву? — Питание растения на счет воздуха.— Питательные вещества с обеспеченным и необеспеченным круговоротом. Значение Буссенго для научного земледелия.— Его объяснение роли бобовых растений в плодосмене.— Отношение к азотистым удобрениям злаков и бобовых растений. Метод искусственных культур.— Опыты Буссенго над усвоением свободного азота растениями.— Характеристика Буссенго и Жоржа Вилля.— Опыты Леооа и Гильберта.— Противоречие между опытами в лаборатории и в поле.— Неудачные попытки их примирения.

Ровно сто лет тому назад в Германии еще царствовали два монарха, оставившие по себе в истории совершенно противоположную славу. Один видел успех своих начинаний и сошел со сцены, сопровождаемый восторженным удивлением современников и потомства, этим неизменным спутником удачи. Другой еще при жизни вынес горькое сознание, что все его благие намерения потерпели крушение, встретив отпор, главным образом, в своекорыстии правящих классов, и сошел в могилу, оставив по себе память коронованного неудачника. Я разумею Фридриха II и Иосифа II. Но преследовавшие последнего в течение всей его жизни неудачи не помешали, конечно, беспристрастной истории видеть в нем одного из просвещеннейших и передовых представителей своего века, как не помешали воспоминанию о нем сохраниться в благодарной памяти австрийского крестьянина, освобожденного им от кре-

¹ Предлагаемый очерк представляет содержание публичной лекции, читанной в Москве 17 декабря 1890 г. и появившейся отдельным изданием в 1893 г.

постной зависимости. Если всякому знакомо изображение Фридриха II на коне, окруженного сонмом полководцев, то и теперь еще, в глухих уголках Австрии, можно встретить популярную гравюру, изображающую Иосифа II, пахущего плугом.

Постоянная забота Иосифа II о насущных потребностях самого многочисленного класса его подданных выразилась, между прочим, в одном его действии, конечно, не встретившем большого сочувствия в рядах его врагов — спесивых австрийских аристократов. В 1784 г. он возвел в дворянское достоинство Иоганна Христиана Шубарта. Поводом к тому были не какие-нибудь выдающиеся подвиги на поле брани, не блестящая деятельность на поприще дипломатии или администрации, — нет, вся заслуга Шубарта заключалась только в том, что он деятельно, печатным словом и примером, пропагандировал возделывание клевера и тем, по словам историка земледелия, «положил краеугольный камень благосостоянию немецкого поселения». Так как немецкий дворянин должен быть непременно *von*, то Иосиф II дал Шубарту титул *von Kleefeld* (клеверного поля), а в герб пожаловал ему клеверный лист.

Сто лет прошло с тех пор, как значение культуры клевера было так торжественно признано; эта культура проникла всюду, куда только достигли здравые сельскохозяйственные понятия; и едва ли в истории найдется много открытий, которые были бы таким благодеянием для человечества, как это включение клевера и вообще бобовых растений в севооборот, так поразительно увеличившее производительность труда земледельца. Но если польза, получаемая от культуры клевера, была так очевидна, что она встречала восторженных сторонников почти в каждом, кто решался

ее испытывать, то потребовалось целое столетие научных исследований для того, чтобы выяснить причину этого факта. Почти через сто лет после Шубарта, в 1886 г., на съезде немецких натуралистов в Берлине Гельригелль сделал сообщение о своем блестящем открытии, разрешавшем вековую загадку, бросившем, наконец, яркий свет на роль бобовых растений в экономии природы, а следовательно, и в практике сельского хозяйства. Разъяснение этого явления имеет не только несомненное значение для сельского хозяина, но в то же время представляется одним из интереснейших приобретений физиологии растений и с этой двоякой точки зрения, конечно, вполне заслуживает внимания всякого образованного человека.

Понятно, что здесь было бы неуместно вдаваться в подробности, и потому мы остановимся только на выдающихся моментах развития и на центральном интересе занимающего нас вопроса.

Вводя бобовые растения в круг своих культур, сельский хозяин в значительных размерах увеличивает производительность земли, т. е. с той же площади собирает более органического вещества, чем при исключительной культуре, например, злаков. Но можно было бы подумать, что при помощи этих более интенсивных культур мы только вымогаем лишнее у почвы, расходует заключенный в ней капитал питательных веществ, живем на счет завтрашнего дня, т. е. попросту запускаем руку в карманы будущих поколений. Оказывается, что нет. Оказывается, что разумною культурою бобовых растений мы не истощаем, но, наоборот, улучшаем почву, так что после этих культур, нас более обогащающих, сдадим почву грядущим поколениям не в ухудшенном, а в улучшенном положении. У сельских хозяев, на основании векового опыта, сложилось убеж-

дение, что бобовые растения обогащают почву. Ученые неоднократно объявляли это воззрение ересью, но сельские хозяева стояли на своем, и оказалось, что правда, разумеется, в известном ограниченном смысле, была на их стороне.

Обогащающая почву культура... С первого раза это положение представляется парадоксом, пожалуй, даже абсурдом, — расходы еще никого не обогащали. Ведь, удаляя с поля массу растительного вещества, мы, конечно, расходует часть веществ, заимствованных из почвы, — следовательно, в строгом смысле слова, всякая культура, очевидно, должна истощать почву. Но не может ли земледелец, истощая почву в одном направлении, обогащать ее в другом? Каким же образом возможно, в буквальном смысле, обогащать почву, увеличивать в ней запас питательных веществ, не делая соответственных затрат, не приобретая соответственных ценностей (в форме удобрения) на стороне? Существует предмет, не имеющий цены, — предмет, на который еще не предъявлялось права собственности; это — воздух. Можно сказать, что производительность труда земледельца, главным образом, зависит от того, что своим трудом из неимеющего цены воздуха при участии даровой силы — солнечного луча — он создает ценность, те бесконечно разнообразные органические вещества, которые удовлетворяют многочисленным потребностям человека. Ясно, что и землю обогащать в буквальном смысле можно только на счет воздуха.

Все это так очевидно, что, кажется, не нуждается в доказательстве, и, однако, мы увидим, каким длинным путем должна была пройти наука для того, чтобы доставить этому выводу полную достоверность.

Химический анализ учит нас, что в состав растения входят четыре элемента, которые образуют его сгораю-

щее вещество: это — углерод, водород, кислород и азот и еще несколько элементов, которые при сгорании образуют золу. Из каких источников и в какой мере обеспечена растению доставка этих элементов,— вот исходный, коренной вопрос, который прежде всего должен разрешить сельский хозяин.

Одни из этих элементов лежат неподвижно в почве: это — элементы золы *. Раз извлеченные из почвы, они сами не вернутся обратно,— их может вернуть только та же сила, которая их извлекла оттуда, т. е. человек. Отсюда зола, извлеченная любым растением,— злаком ли или бобовым,— есть затронутый капитал почвы, который должен быть возмещен так или иначе, если мы желаем сдать землю потомкам такую, какую получили ее от предков. Это знаменитый «закон возврата», провозглашенный Либихом и представляющий, как бы ни пытались ограничить его значение, одно из величайших приобретений науки.

Представителем другой категории питательных веществ служит углерод. Будучи собран с известной площади земли, он сам возвращается к ней в форме атмосферной углекислоты, из которой растения черпают

* В настоящее время из всех зольных веществ мы можем выделить серу. Ее круговорот очень во многом напоминает круговорот азота.

При сжигании каменного угля, торфа и многих других остатков жизни сера в значительной мере переходит в атмосферу. Выпадающие осадки возвращают серу в почву. Вблизи от городов выпадает до 80 килограммов серы на гектар в год. Вдали от городов выпадает серы меньше (около 8 килограммов), но этого количества все же достаточно, чтобы покрыть вынос ее с урожаем злаков.

Кроме того, микробиологические превращения серы в почве обнаруживают аналогию как с нитрификацией, так и с денитрификацией. Ред.

его своими листьями. Благодаря способности углерода органического вещества в каждом процессе горения, дыхания, тления принимать подвижную, газообразную форму углекислоты и таким образом возвращаться в атмосферу, устанавливается круговорот этого вещества, и растение всегда им обеспечено. В этом, как мы сказали, выражается одна из особенностей земледельческого производства: главный свой материал — углерод — земледелец даром и без хлопот получает обратно.

Таким образом, в числе питательных веществ, в которых нуждается растение, есть элементы, которые по своей неподвижности вовсе не представляют круговорота, и такие, круговорот которых обеспечен природой. Но между этими двумя помещается еще и третья категория: это — вещества хотя и подвижные, но с круговоротом несовершенным; относительно этих веществ только опыт, в каждом данном случае, может решить, насколько растение ими обеспечено.

Такова в известном смысле, например, вода. Ее круговорот всякому знаком. Но сельские хозяева слишком хорошо знают, как он мало обеспечен. Испарившаяся или сбегавшая вода рано или поздно возвращается в виде дождя и пр., но мы знаем, что этот механизм возврата действует не так безукоризненно и верно, как механизм возврата углекислоты. Метеорологи могут утешать нас своими годовыми средними, но земледелец знает, что важно доставить растению эту воду именно там и тогда, когда оно в ней нуждается.

В сходном положении находится растительность по отношению к азоту. На этот раз она имеет дело с элементом хотя отчасти подвижным, но представляющим круговорот необеспеченный, т. е. далеко не всякое растение и не всегда снабжено в окружающей его среде достаточно обильными источниками азота.

Здесь, следовательно, задача земледелия усложняется: вместо простого качественного разрешения вопроса, как по отношению к снабжению растения золой или углеродом, мы имеем перед собой количественную задачу.

Весьма естественно, что почти одновременно с возникновением научной агрономии возник и вопрос, не объясняется ли исключительная роль бобовых растений в культуре тем, что они находятся в каких-нибудь особенно благоприятных условиях по отношению к источникам азота. Не в состоянии ли они легче других растений добывать свой азот? Но если легко было поставить вопрос, то для получения основанного на точном опыте ответа потребовалась такая масса научного труда, которую в настоящее время, когда самые способы исследования стали так доступны и широко распространены, мы едва ли можем вполне оценить.

Этот труд предпринял и осуществил один человек. В конце тридцатых годов Буссенго задался для того времени колоссальной задачей — изучить вопрос о значении различных севооборотов с химическими веществами в руках, т. е. для сложного химического процесса, происходящего в поле в течение целого ряда лет, составить такое же уравнение, каким химик выражает реакцию, вызываемую в его реторте, или колбе. В своей «Economie rurale», положившей основание строго научной экспериментальной агрономии, Буссенго сознается, что на первых порах сам отшатнулся перед громадностью задуманного труда. Точно определить количество сухого вещества в зерне, соломе, сене, корневых остатках и пр. целого ряда разнообразных культур, взвесить количество сухого вещества, вывозимого в поле в виде навоза, сделать длинный ряд точных элементарных анализов всех этих разнообразных продуктов

и удобрений для того, чтобы получить возможность с полною уверенностью сказать, что за такие-то четыре, пять лет в это поле поступило столько-то и удалено с него столько-то килограммов углерода, водорода, азота и пр., это был научный подвиг, до той поры невиданный, и потому совершенно справедливо мнение Дюма, что Буссенго явился в области агрономии тем, чем был для химии Лавуазье.

В результате этого исследования получился вывод, что за период полного севооборота собирается в урожаях и пр. больше органического вещества и, в частности, больше азота, чем сколько доставлено было в форме удобрения. Этот избыток выступает особенно резко при введении в севооборот бобовых растений — клевера, люцерны и др.

Значит, при культуре бобовых мы получаем значительный избыток азота в сравнении с тем, который находится в удобрении. Этот избыток может происходить или из почвы, или из воздуха. Но если б он происходил из почвы, то эти культуры только успешнее истощали бы ее; — в чем же заключалась бы их польза? Остается заключить, что этот избыток азота бобовые растения берут из воздуха. Такова точка зрения Буссенго в его классическом произведении «Economie rurale», вышедшем в 1842 г.; но основной вывод из опытов был формулирован им еще ранее, в 1838 г., — следовательно, за два года до выхода в свет знаменитой книги Либиха. Это следует помнить тем, кто пытается в настоящее время ввиду новых открытий умалить значение деятельности Буссенго. Для полной оценки значения этого взгляда Буссенго стоит сравнить его с воззрениями его предшественника Тэера, от которого сельские хозяева любят вести начало рационального земледелия. По учению Тэера, как известно, истощение почвы изме-

рялось количеством органического вещества в урожае, и с этой точки зрения бобовые должны были, конечно, оказаться наиболее истощающими почву. Следовательно, ложные в основе представления Тэера о питании растений не могли дать объяснения для значения бобовых растений в плодосмене. Не менее выигрывает воззрение Буссенго и при сравнении с позднейшими воззрениями Либиха. Стоит сравнить главы о плодосмене у того и у другого. Увлеченный односторонностью своей минеральной теории, Либих по отношению к азоту стал, как известно, на совершенно неверную точку зрения, считая на основании неточных данных, что растение с избытком снабжается азотом в форме атмосферного аммиака. Буссенго показал, как поспешен этот вывод, и каким сложным оказался в действительности этот вопрос об источниках азота. Вообще можно сказать, что Тэер, хотя и сознавал значение для земледелия научных основ, но, не обладая ими сам, не мог самостоятельно применить их к сложным вопросам земледелия; Либих, наоборот, не обладал непосредственным знакомством с фактами земледелия и в своей деятельности шел почти исключительно дедуктивным путем, не проверяя достаточно своих дедукций прямым опытом¹. Один Буссенго совмещал агрономические знания Тэера с научными знаниями Либиха; у него одного опыты в поле и в лаборатории служили взаимною проверкой, причем для новых задач науки он сам находил новые пути, новые методы исследования. Но для того, чтобы вывод, сделанный Буссенго более чем полвека тому назад, получил строгое экспериментальное оправ-

¹ Стоит, например, припомнить ту роль, какую играла в минеральной теории Либиха кремневая кислота, между тем как ни один опыт не оправдывал придаваемого ей значения.

дание, наука должна была пройти еще длинный, утомительный путь, полный загадочных противоречий.

Прежде чем ознакомиться с строго научным способом разрешения вопроса, приведем несколько позднейших еще более убедительных данных, полученных, по примеру Буссенго, известными английскими исследователями Лоозом и Гильбертом¹. Эти результаты в особенно простой и поразительной форме обнаруживают громадное влияние культуры бобовых растений на увеличение производительности земли, несомненно, указывая в то же время, что их роль находится в связи с особенностями их питания на счет азота.

На одном полевом участке производилась культура пшеницы без всякого удобрения последовательно в течение десяти лет. Другой, совершенно сходный участок находился под пшеницей только в течение пяти лет, чередовавшихся с пятью годами пара. Наконец, на третьем подобном же участке в течение пяти лет сеялась пшеница, а в промежуточные пять лет — бобы. Оказалось, что в десяти урожаях пшеницы первого участка и в пяти урожаях последних двух участков содержались следующие количества азота:

	Получено азота (с акра)
В 10 (последовательных) урожаях пшеницы	234 ф.
В 5 (чередовавшихся с паром) урожаях пшеницы	219 ф.
В 5 (чередовавшихся с 5 урожаями бобов) урожаях пшеницы	от 225 до 244 ф. ²

Таким образом, пять урожаев пшеницы, чередующихся с пятью годами пара, дают такое же количество

¹ Последнего русские авторы обыкновенно столь же упорно, как и неправильно, называют Джильбертом.

² Этот опыт был произведен вдвойне.

азота, как и десять последовательных урожаев, что, пожалуй, до известной степени понятно. Но невольно поражает факт, что пять урожаев пшеницы после бобов содержат столько же и даже более азота, чем пять урожаев после пара¹. Едва ли какие цифры более красноречиво поясняют удивительное увеличение производительности земли при включении в культуру бобовых растений. Все количество органического вещества, добытое в пяти урожаях бобовых растений, является прямою прибылью, так как чередующиеся с ними урожаи злаков даже превышают урожай, снимаемые после пара.

Прибавим к этому, что урожаи бобовых заключают значительно более азота, чем урожаи злаков².

Этого еще мало. Бобовые растения, содержащие более азота, менее отзываются на азотистое удобрение, чем злаки. Удобрим селитрой или сернокислым аммиаком под злаки и получим поразительный, бросающийся в глаза результат³. Удобрим теми же веществами поле

¹ Позднее Лооз и Гильберт приводили пример, в котором 16 снятых подряд урожаев пшеницы содержали столько же азота, сколько 8, чередовавшихся с восемью урожаями бобов.

² В среднем выводе, Лооз и Гильберт считали на 24 фунта азота в урожае пшеницы — 47 фунтов в урожае бобов.

³ Мне случилось видеть эти результаты, между прочим, в самом Ротгамстедте. Участки, засеянные злаками и удобренные аммиачною солью, издали отличались ростом и густым зеленым цветом растений, так что, когда Гильберт обратил мое внимание на их особенности, я мог без ошибки указать на другие участки, получавшие то же удобрение. Впрочем, сельским хозяевам не мешает иметь в виду и тот случайный вред, который может нанести это удобрение. Производя в 1867 г. опыты, по поручению Вольного экономического общества, в Симбирской губернии, я был поражен теми отрицательными результатами, которые дало удобрение аммиачною солью: участки, получившие ее, были покрыты чахлою, очевидно, болезненною растительностью. В то

под бобовые растения, — и обыкновенно они не окажут почти никакого влияния на урожай.

Значит, бобовые растения как будто не нуждаются в почвенном азоте. Естественнее всего предположить, что они черпают свой азот из воздуха, — вывод этот сам собой напрашивается, — и, однако, до 1886 г. мы не имели права его сделать. Что же служило препятствием? Точно обставленные научные опыты. Для того, чтобы разъяснить себе этот парадокс, посмотрим, как же производятся эти опыты. Как разрешается строго научным образом вопрос, откуда получает растение свою пищу и, в частности, свой азот?

Для того, чтобы решить вопрос, чем питается растение и откуда берет оно эту пищу, существует один только путь — точного физиологического опыта. Для этого мы должны воспитывать растение в строго определенных, легко учитываемых условиях. Так называемый опыт, а в действительности только очень несовершенное наблюдение в поле, по большей части не удовлетворяет этому требованию. Окружающая растение среда и внешние влияния представляют такое сложное сплетение условий, что исключают возможность верного индуктивного заключения — нахождения действительной причины наблюдаемого явления или действительных последствий изучаемой причины.

время я не мог найти в литературе объяснения для этого факта, но когда, через несколько лет, упомянул о нем в разговоре с Буссенго, он меня перебил словами, что, вероятно, в тот год было мало дождя, — и действительно, лето 1867 г. отличалось сильною засухой. Следовательно, аммиачная соль, в обыкновенно употребляемых количествах, дающих превосходные результаты, в случае засухи может оказать прямой вред (1891 г.). Этот вопрос превосходно разъяснен Д. Н. Прянишниковым именно в том смысле, как предполагал Буссенго, — именно вредным действием серной кислоты.

Отсюда явилась в науке необходимость изучать жизненные явления в более простой, искусственной (но возможно более близкой к природе) обстановке, все составные факторы которой лежали бы в нашей власти и могли бы по произволу быть изменяемы или вовсе устранимы. Инициатором этого метода исследования должно также считать Буссенго; он первый воспитывал растения, в течение целой их жизни, в искусственно приготовленных почвах, состав которых был ему вполне известен, и в целях разрешения определенно поставленных вопросов. Этот метод он применял к разрешению занимающего нас вопроса еще в начале тридцатых годов, и можно сказать, что многие современные исследования, обнаруживающие притязания на новизну и оригинальность, представляют только повторение прежних работ Буссенго.

Укажем в кратких чертах, в чем заключаются основные приемы этих искусственных культур, и затем перейдем к изучению их роли в разрешении изучаемого вопроса.

Так как в почве питательные вещества находятся в сравнительно незначительных количествах, то понятно, что главная масса ее составных начал относится к питанию почти безучастно, т. е. служит только твердой основой или остовом,— таковы: песок, глина и пр. Питательные вещества почвы, выделенные из нее, также не могут непосредственно служить для питания,— такая пища была бы слишком концентрирована. В золе, например, нельзя выращивать растений. Отсюда другая роль веществ, образующих остов почвы: они разжижают, разбавляют собственно питательные вещества *. Из этих двух положений вытекает основной

* Вещества, образующие остов почвы, особенно разжижают или разбавляют собственно питательные вещества благодаря так

прием искусственных культур. Необходимо прежде всего получить среду абсолютно бесплодную и в нее вносить желаемые питательные вещества в достаточно разбавленном состоянии. Такою безучастною в питании средой может служить песок или перегнанная вода¹; отсюда два типа искусственных культур — песчаная и водяная. В этот песок или воду вносят в надлежащем количестве все необходимые питательные вещества. Так как относительно углерода, водорода и кислорода, несомненно, известно, что они получаются из воздуха и воды, то исследователю остается только озаботиться об элементах золы и об азоте. Первые так и берут в виде золы исследуемого растения (или навоза) или, еще лучше, в виде смеси химически чистых солей, представляющей состав золы. Остается азот. Только длинный ряд опытов мог ответить на вопрос, в какой форме и каким путем, т. е. через корни или через листья, поступает он в растение, так как в естественном состоянии и почва, и атмосфера могут одинаково служить источниками этого важного в экономии растения элемента.

В почве он находится в трех формах: в виде сложных органических веществ, в виде аммиачной соли и в виде селитры, т. е. соли азотной кислоты. В воздухе находятся следы аммиачных солей и азотной кислоты, и, наконец, 79% его состоит из свободного газообразного азота.

называемой поглотительной способности. А именно, питательные вещества в почве связаны в известной мере и только небольшая их часть находится в почвенном растворе. По мере того, как растение поглощает питательные вещества, новые их порции отщепляются из почвы. *Ред.*

¹ Вместо песка иногда берут, по примеру Буссенго, пемзу. Материал этот удобен тем, что его можно употреблять в различных состояниях измельчения, ближе подражая естественным почвам.

Таковы разнообразные источники, которые природа предлагает растению, — спрашивается, какие из них ему, действительно, доступны? Понятно, что для земледелия важнее всего узнать, черпает ли растение свой азот из неистощимого источника, каким представляется свободный азот атмосферы, или из гораздо более скудных источников — аммиачных и азотнокислых соединений в почве и атмосфере и органического вещества почвы.

На разрешение этого вопроса и было направлено все внимание исследователей.

Самые очевидные результаты получены по отношению к азотной кислоте, т. е. к селитре. В бесчисленных опытах удалось получить совершенно нормальные растения, воспитывая их в прокаленном песке или в воде, не содержащих других источников азота, кроме селитры. Селитра стала даже обычной формой азота, в которой этот элемент доставляется растению при искусственных культурах ¹.

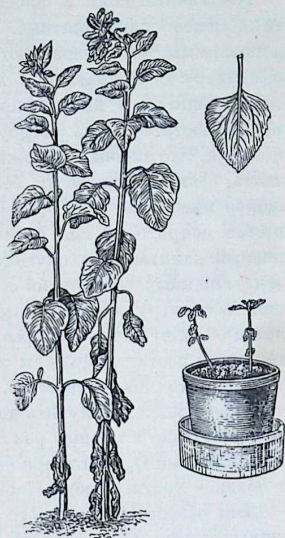


Рис. 1.

¹ Рис. 1 изображает результаты опытов Буссенго. Большие растения (вида подсолнечника, близкого к обыкновенному) вы-

Аммиачные соли в общей сложности дают результаты менее благоприятные, и остается еще не вполне доказанным, не превращаются ли они предварительно в селитру¹. Несравненно менее действия оказываются содержащиеся в почве сложные органические соединения азота. Весьма остроумными опытами Буссенго показал, что почвы, содержащие только этот источник азота, фактически почти бесплодны. Значит, находящаяся именно в этой форме большая часть азота почвы прямо непригодна для питания: она представляет запасный капитал, расходующийся по мере превращения этих сложных соединений в аммиачные соли и, наконец, в селитру. Следовательно, лучшим, вполне удовлетворяющим *потребностям* растения почвенным источником азота мы должны считать селитру: доставляя ее в достаточном количестве, мы на любой искусственной почве можем получить нормальные урожаи. Это положение было в первый раз блистательно доказано исследованиями Буссенго при помощи песчаной культуры и позднее подтверждено Кнопом на водной культуре.

Для обеспечения полного успеха подобных искусственных культур, на которых основано все учение о питании растения, а следовательно, и рациональное земледелие, необходимо, чтобы воспитываемые растения оставались все время под открытым небом, при нормаль-

ращены на счет азота селитры. Рядом для сравнения помещен лист нормального растения. Растеньица в горшке выращены без селитры, хотя они и цвели (цветки были в 3 миллиметра), но это очевидно карлики или, как Буссенго предложил их назвать, предельные растения — *plantes limites*.

¹ Впрочем, последние опыты Мюнца, повидимому, доказывают возможность питания растения аммиачными солями и без предварительного превращения в селитру (1891 г.); позднейшие опыты Д. Н. Прянишникова еще более подтверждают этот вывод (1919 г.).

ных условиях освещения и пр. Но так как подвергать их в течение опыта всем случайностям ненастья, бурь, ветра и т. д. было бы непрактично, — в несколько минут можно было бы потерять труды целых месяцев, — то опыты эти производятся в особых, специально для того приспособленных теплицах. Существенная черта этих теплиц заключается в том, что сосуды, в которых выращиваются растения (горшки с песком или банки с раствором, обыкновенно очень многочисленные), помещаются на столах, снабженных колесиками. Столы эти по рельсам легко выкатываются на открытый воздух и только ночью или в ненастье возвращаются под защиту своей стеклянной крыши. Первая образцовая теплица этого типа была построена в Таранде для профессора Ноббе в 1869 г. Возвратившись в 1870 г. из-за границы, я обратился к бывшему в то время министром государственных имуществ А. А. Зеленому с просьбой о постройке подобной же теплицы в Петровской академии. Если не ошибаюсь, теплица эта и до сих пор единственная в России *. Приложенный рисунок [2] изображает эту теплицу и общую обстановку подобных опытов. В последние годы учебные заведения, находящиеся в городах (как, например, берлинская *Landwirtschaftliche Hochschule*), устраивают эти безусловно необходимые для растительно-физиологических работ помещения на крышах своих зданий. Подобною теплицей, но более обширную, чем берлинская, обладает с настоящего года и Московский университет.

* В настоящее время многие вузы и исследовательские институты Советского Союза располагают несравненно более благоустроенными и мощными теплицами («вегетационными домиками»). Широко распространены также теплицы с искусственным освещением, позволяющие иметь за год несколько урожаев, что крайне важно для ускорения селекционной работы. *Ред.*

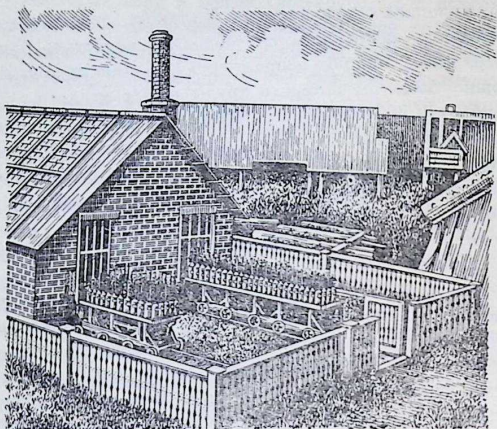


Рис. 2.

Полный успех при питании растения селитрой еще не исключает возможности, что при естественных условиях растение черпает весь свой азот, или хотя часть его, из воздуха, и в этом заключается самый узел вопроса.

Еще в 1838 г., следовательно, одновременно с изучением химической статики плодосменной системы, Буссенго предпринял и прямые опыты для разрешения вопроса, усваивают ли непосредственно растения свободный азот воздуха. На первый раз опыт был произведен таким образом. В горшках, содержащих прокаленный песок или глину (прокаливание необходимо для того, чтобы получить уверенность, что в песке не сохранилось никаких соединений азота), выращивались

пшеница и горох. Растения развивались, хотя ненормально¹. Для разрешения вопроса, сопровождалось ли развитие усвоением азота, Буссенго здесь, как и во всех последующих опытах, употреблял такой прием. Опыт показал, что по возможности однородные семена того же вида растения представляют постоянный элементарный состав. Этого, конечно, могло и не быть, но благодаря этому драгоценному для физиолога и тщательно проверенному свойству семян, мы, на основании химического исследования взятых для анализа семян, можем знать состав семян, послуживших для опыта. Таким образом, зная, сколько было азота в семени, и произведя по окончании опыта анализ развившегося растения, узнают, обнаружилась ли прибыль этого элемента.

Опыт показал, что пшеница не усвоила азота, а горох усвоил, если и не в значительном, то, во всяком случае, в заметном количестве.

В начале пятидесятых годов Буссенго повторил эти опыты в более совершенной форме: растения получили в качестве почвы прокаленную пемзу и золу и были покрыты стеклянными клетками, под которые были подложены брусочки, так что воздух имел свободный доступ к растениям. Стеклянные клетки были необходимы для того, чтобы в горшки не попадала дождевая вода, которая всегда содержит аммиак и азотную кислоту. Результат опытов был тот, что растения, хотя в очень малых количествах, усваивали азот, причем бобовые оказались в более благоприятных условиях: в общей сложности они усвоили втрое больше азота, чем злаки.

¹ Это объясняется, между прочим, и тем, что в этих самых старых опытах растениям не было доставлено необходимой золы.

Наконец, еще позднее, в конце пятидесятих годов, Буссенго произвел, хотя с иною целью, ряд опытов, в которых брал, как всегда, прокаленный песок и золу, но с примесью небольших количеств *высушенной* огородной земли с определенным содержанием азота. Во всех этих опытах, за одним исключением, можно было обнаружить небольшую прибыль азота, наибольшую заметную, когда культивировались бобовые, ничтожную, когда культивировался маис. Поверочный опыт в песке с золой (следовательно, без примеси огородной почвы) обнаружил прибыль азота, когда культивировалась фасоль, и убыль, когда культивировался маис. На основании всех этих опытов Буссенго пришел к заключению, что растения (а также и почва) заимствуют часть своего азота из атмосферы, но высказывает этот вывод с крайней осторожностью ¹.

Но в этих опытах оставалось невыясненным одно обстоятельство, и притом самое существенное. За исключением нескольких случаев в последнем ряде, растения находились в сообщении с воздухом ². Если они и поглощали азот, то оставалось невыясненным, из какого источника брался этот азот, — из неисчерпаемого источника свободного азота или из скудно рассеянных в атмосфере аммиака и азотной кислоты. Вычисления показывают, что всего количества этих соединений, доставляемых почве дождем, неостало бы (в круглых цифрах) на покрытие одной десятой потребностей наших обыкновенных культурных

¹ Эти последние опыты Буссенго весьма схожи с опытами Бертоло, Франка, Акуотера и др., произведенными уже в восьмидесятих годах.

² О тех случаях, когда растения находились в закрытых сосудах, нам придется еще упомянуть в дальнейшем изложении.

растений¹. Следовательно, если бы приведенные только что опыты Буссенго объяснились усвоением азота из его соединений, доставляемых атмосферой, они не объяснили бы результатов приведенных выше опытов в поле. Напротив, объяснение было бы очень просто, если б оказалось, что бобовые растения способны пользоваться азотом воздуха. Отсюда понятно то внимание, которое Буссенго сосредоточил на этом последнем вопросе.

Вопрос этот: усвоит ли растение свободный азот атмосферы, был, можно сказать, злобой дня для ботаников и агрономов-химиков в пятидесятых и начале шестидесятых годов.

При помощи опытов, представляющих и до сих пор классический образец такого рода исследований как по тщательности выполнения всех подробностей, так и по определенности постановки вопроса и полученных результатов, Буссенго разрешил этот вопрос в отрицательном смысле. Ни одно из исследованных растений не оказалось способным усвоить азот. Опыты были произведены так: семя, с известным содержанием азота, помещалось в искусственную почву из песка или немзы, как всегда прокаленных и с примесью золы. Поливка производилась тщательно дистиллированной водой, не содержавшею следов аммиака. Для устранения источников связанного азота растения в течение всего опыта находились в закрытых больших стеклянных баллонах, воздух которых (обогащенный углекислотой) не возобновлялся, или же в стеклянных приборах, также тщательно закрытых и получавших при-

¹ Сколько может их поглощать почва прямо из воздуха, до настоящего времени, к сожалению, не выяснено; по крайней мере, Шлезинг и Бергто приводят совершенно несогласные между собой цифры.

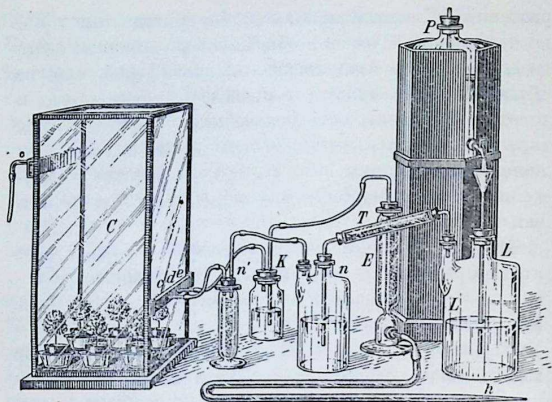


Рис. 3.

ток воздуха, обогащенного углекислотой, но лишенного содержащегося в нем аммиака. Рис. 3 дает общее понятие о постановке такого опыта. Растениям, находящимся в клетке, доставляется (путем $h-d$) воздух, лишенный аммиака, и (путем $L-c$) необходимая для питания углекислота. Не вдаюсь в дальнейшие технические подробности, так как без знания химии они были бы непонятны, а для обладающих этими знаниями — излишни. Таким образом, растение было снабжено всеми необходимыми питательными веществами, в качестве же азотистой пищи получало только свободный азот атмосферы. Результат был неизменно отрицательный, — растения получались чахлые, хилые; если они достигали цветения и даже плодоношения, то всегда представляли карликовые формы — предельные растения, *plantes limites*, как их называл Бюссенго. Увеличение

органической массы было ничтожно, усвоения азота вовсе не оказывалось. Тщательный анализ показывал в продукте: в растении, корневых остатках, почве, измельченном горшке и пр. то же количество азота или даже менее его, чем было в семени. Буссенго было сделано возражение, что его растения не могли развиваться потому, что находились в неестественной, спертой атмосфере. Для устранения этого возражения он повторил свои опыты в той же самой обстановке, с тем только различием, что вносил в свою искусственную почву, сверх золы, еще известное количество селитры, и получил вполне благоприятное развитие растений. Значит, отрицательный результат должен быть всецело приписан отсутствию азота в усвояемой форме, свободный же азот, находившийся постоянно в избытке, не может быть признан пригодным для питания растений.

Этот вывод Буссенго скоро был подвергнут сомнению. Противником его выступил Жорж Вилль. Трудно было бы найти контраст более резкий, чем между этими двумя исследователями, имена которых встречаются обыкновенно рядом в истории занимающего нас вопроса. Точный и неутомимый экспериментатор-скептик, обнимавший вопрос со всех его сторон, постоянно изобретавший новые пути исследования, строго и беспристрастно взвешивавший степень убедительности своих результатов, Буссенго был идеалом ученого в этой едва початой области, можно сказать, им же созданной молодой науки. Самоуверенный, хвастливый и падкий на рекламу и бесцеремонно смешивавший свой более чем скромный научный багаж с приобретениями своих предшественников Буссенго и Либиха, Жорж Вилль выдвинулся вперед исключительно благодаря поддержке Наполеона III. Блестящая обстановка, которую представлял ему его могущественный патрон, играла не-

малую роль в том значении, которое приписывалось его работам и далеко не соответствовало их внутреннему содержанию¹. Наполеон III, как известно, любил изображать из себя покровителя земледелия; но так как это покровительство, на первых же порах, выразилось в закрытии Версальского агрономического института и так как отношение Буссенго к декабрьскому перевороту было ему известно, то он с удовольствием поспешил выставить Буссенго соперника в лице Жоржа Вилля. Такими-то, чуждыми науке соображениями объясняется та роль, которую играл Вилль в пятидесятых и шестидесятых годах, — правда, более за пределами научных кругов.

На основании своих опытов Вилль пришел к выводу, что все исследованные им растения усваивали свободный азот атмосферы и в значительных количествах.

Это резкое фактическое разногласие по вопросу такой капитальной важности — по вопросу, от правильного разрешения которого зависело не только понимание одной из главных сторон учения о питании растений, но и верная оценка одного из важнейших факторов рационального земледелия — побудило Парижскую академию избрать в 1854 г. комиссию для оценки достоверности фактов, предъявленных Виллем.

История деятельности этой комиссии поучительна как пример бесплодности подобного официального контроля научных истин и бесполезности коллективного труда в такой деятельности, где ничто не может

¹ Так, например, Севрская мануфактура поставляла ему цветочные горшки, и я очень хорошо помню, как однажды на лекции в Jardin des plantes он пояснял, что в иных даже и неудобно работать. Вообще, стоило только послушать гасконады Вилля хотя бы на его пресловутых Conférences на Венсенском опытном поле, чтобы составить себе ясное о нем представление.

заменить личной энергии и той преданности свободно избранному и излюбленному делу, которая одна может одушевить исследователя, с удовольствием переносящего тяжелые стороны труда, для постороннего являющиеся непосильным бременем ¹.

В состав комиссии вошли почти все химические знаменитости, заседавшие в то время в академии: Шеврёль, Дюма, Реньо, Пайен, Пелиго и ботаник Декен. Под их наблюдением, в *Jardin des plantes*, Вилль повторил свои опыты. Результат был согласен с его утверждением: из четырех растений кресса три обнаружили усвоение, четвертое, напротив, только потеряло известное количество азота. Правда, усвоение было в десять раз слабее, чем в собственных опытах Вилля, но и этот скромный результат терял всякое значение при ближайшем знакомстве с, так сказать, житейской обстановкой исследования. Над ним оправдалась поговорка: у семи нянек ребенок без глаза. Шесть ученых пригласили себе на помощь седьмого, также известного химика Клоеза, и возложили на него главный надзор над опытами. Но случилось так, что Клоезу понадобилось отлучиться из Парижа, и он сдал опыты на попечение своего помощника. В один злосчастный день и этому помощнику потребовалось ненадолго отлучиться в город, и он возложил одну ответственную операцию на сторожа. В результате этого рокового стечения случайностей, оказалось, что когда Пелиго прислали для анализа дистиллированную воду, предназначенную для поливки, он нашел в ней такое количество аммиака,

¹ Большую часть своих, уже по одному количеству труда, капитальных исследований Буссенго производил обыкновенно без посторонней помощи, в свободное от официальных занятий vacationное время, в той небольшой лаборатории, которую он себе устроил в своем Эльзасском имении Бехельброн.

которое, если б эта вода получила свое назначение, могло бы вполне объяснить полученные результаты ¹. Одного этого обстоятельства, в котором Шеврёль, как докладчик комиссии, должен был покаяться перед академией, достаточно, чтобы судить о степени доверия, которое внушал результат опытов. Хотя комиссия сама довольно скептически отнеслась к своей деятельности, но, тем не менее, ее окончательное заключение было то, что опыты подтверждают будто бы выводы, сделанные Виллем из его прежних работ. Много лет спустя, в 1887 г., когда появились новые исследования, совершенно изменившие воззрения на отношения растения к свободному азоту, Шеврёль рискнул напомнить академии, что ее комиссия еще в 1855 г. пришла к сходному результату. Почтенный, стодвухлетний ученый забыл только прибавить, что и Вилль, и комиссия получали усвоение азота при таких условиях (у таких растений, в такой почве), при которых, по новейшим исследованиям, *этого именно не должно быть* ².

Хотя доверие к исследованиям Буссенго, веденным с исключительною точностью, не могло быть поколеблено такими сомнительными опытами, тем не менее,

¹ Непонятное содержание аммиака объяснилось тем, что сторож рядом с предназначенной для анализа дистиллированной водой выпаривал какой-то аммиачный раствор. Комиссия утешала себя тем, что *эта* вода, вероятно, не употреблялась для поливки, но самый факт подобной неосторожности говорит за себя. Сверх того, оказались и другие упущения: так, например, по свидетельству Грандо, Вилль для получения углекислоты, доставляемой растению, употреблял *азотную кислоту*, т. е. из всех кислот именно ту, которой следовало избегать.

² Так, в первых своих исследованиях Вилль получал усвоение у различных растений, за исключением бобовых, и притом в прокаленной почве, чего, как мы увидим, новая теория не допускает.

важность вопроса побудила двух английских исследователей и горячих сторонников Буссенго — Лооза и Гильберта — подвергнуть этот вопрос новой экспериментальной проверке. Лооз, как известно, крупный землевладелец, пожертвовавший громадные средства на организацию одной из первых опытных станций, пригласил к себе в сотрудники химика Гильберта, так что их имена в течение почти полувека неизменно встречаются рядом на заголовках ученых трудов, выходящих из Ротгамстедтской лаборатории ¹. Произведенные ими в 1857, 1858 и 1859 гг., по широко задуманному плану, роскошно обставленные и тщательно выполненные опыты дали результаты, совершенно согласные с выводами Буссенго ². Когда был устранен доступ к растению каких-нибудь соединений азота, усвоения этого элемента не происходило; значит, в условиях опыта свободный азот не может быть признан пищей для растения.

Но ввиду указаний сельскохозяйственной практики (подкрепленных, как мы видели, ими же добытыми точными и красноречивыми цифрами) Лооз и Гильберт в заключении своего труда весьма осмотрительно делают оговорку, что необходимо было бы произвести

¹ Трудно решить, которая из двух станций — Бехельброн Буссенго или Ротгамстед Лооза — должна быть признана первой по времени опытной станцией. См. статью: «Полвека опытных станций».

² Так как Вилль настаивал на особенностях его приборов, то Лооз и Гильберт обратились к нему с просьбой ссудить им его аппараты, и часть опытов произвели в условиях, тождественных [тождественных] с его опытами. Это не поменяло, однако, Виллю впоследствии, как я это сам слышал из его уст, говорить, что его удивляет только одно, каким образом Английское королевское общество могло присудить за такое жалкое исследование свою высшую награду.

опыты над бобовыми растениями при условиях, допускающих более нормальное их развитие.

Таким образом, в начале 60-х годов точные опыты в поле и еще более точные опыты в лаборатории приводили к непримиримому противоречию. С одной стороны, вековая практика, подкрепляемая химическими анализами Буссенго и Лооза и Гильберта, невольно приводила к заключению, что роль бобовых растений в плодосменном хозяйстве объясняется тем, что для них доступен источник азота, недоступный для злаков, и что этот источник — свободный азот атмосферы. С другой стороны, точные физиологические опыты доказывали еще более очевидным образом, что этого источника азота для растения как бы не существует.

Более четверти столетия было потрачено на всевозможные попытки примирить это противоречие. Перечислим вкратце некоторые из этих неудавшихся попыток. Если растения не могут питаться свободным азотом, то не черпают ли они его из его соединений, хотя и скупо рассеянных природой в атмосфере, — тогда бобовые, представляющие более значительную листовую поверхность, будут находиться, очевидно, в более благоприятных условиях в сравнении со злаками? Но опыт показал, что этот источник азота нельзя считать существенным, т. е. этим путем растение может получить только очень мало азота, а главное — бобовые в этом отношении не представляют никакого преимущества перед злаками. Высказывалось предположение, что бобовые черпают свой азот не из воздуха, а из более глубоких слоев почвы, куда злаки не проникают своими сравнительно более короткими корнями. Понятно, что это различие могло бы только объяснить перемещение азота из одного слоя почвы в другой, а не продолжительное абсолютное ее обогащение. Наконец, быть может,

бобовые отличаются только тем, что в состоянии лучше использовать почвенный азот, что они будут препятствовать его потере из почвы. В этом отношении не подлежит сомнению их преимущество пред злаками. Известно, что в почве постоянно происходит непроизводительная трата азота вследствие вымывания из нее ценной, как мы видели, для питания растений селитры, что доказывают анализы дренажной воды. Главным средством, препятствующим этой трате, являются растения, своими корнями всасывающие селитру по мере ее образования. Естественно, что бобовые, как растения многолетние, сосущие своими более развитыми корнями в течение всего года и особенно осенью, когда вымывание селитры наиболее значительно, будут лучше служить этой цели, чем менее продолжительно остающиеся в почве злаки. «Как нельзя требовать от человека, чтобы он в четыре месяца произвел такую же работу, какую другой производит в восемнадцать, — остроумно замечает Лооз, — так, очевидно, и ячмень не может извлекать почвенную селитру в равной степени с клевером»¹. Но и это объяснение, предложенное Лоозом, хотя оно и сохраняет свое значение, не разъясняло, очевидно, всех сторон вопроса и не удовлетворяло вполне даже самого предложившего. Загадка оставалась загадкой, пока разрешение ее не пришло с той именно стороны, в которую уже давно обращались взоры ботаников и агрономов, ожидавших услышать веское слово ученого, избравшего этот вопрос предметом своих многолетних исследований.

¹ Я не касаюсь здесь предположения об усвоении азота под влиянием атмосферного электричества, во-первых, потому, что оно оказалось несостоятельным, а во-вторых, потому, что не могло объяснить различия между злаками и бобовыми растениями.

Деятельность Гельригеля. — Его рабочая гипотеза. — Роль микроорганизмов. — Подтверждение гипотезы. — Желвачки на корнях бобовых растений. Доказательство их связи с усвоением азота. — Другие исследования, подтвердившие теорию Гельригеля. Объяснение происхождения желвачков, данное Ворониным. — Возражение берлинских ботаников и его опровержение. — Исследования Празмковского. — Изучение бактерий, вызывающих появление желвачков. — Доказательство, что именно они определяют усвоение азота. — Существуют ли различные бактерии, свойственные различным бобовым растениям? — Удобрение почвы бактериями. Своеобразие отношений между бактерией и заражаемым ею растением. — Не паразитизм и не симбиоз. — Вероятная причина клеверного утомления. — Неизвестность относительно того, где и как усвоется азот. Заключение. — Относительная роль различных ученых в этом открытии. — Нуждается ли земледелие в науке?

Ключ к загадке, одинаково занимавшей и ученых физиологов, и практиков сельских хозяев, предъявил скромный немецкий ученый в сообщении, сделанном на Берлинском съезде натуралистов в 1886 г. Это был Гельригель, чей авторитетный голос по этому вопросу ученый мир давно уже желал услышать. После Буссенго, которого уже не было в живых, конечно, никто более Гельригеля не имел права на это открытие. Было бы несправедливостью судьбы, если б это открытие ушло из его рук. Какой-нибудь француз, охотник до фраз, не преминул бы сказать про него, что — *la providence lui devait cette découverte*¹. Более тридцати лет занимается он вопросом об источниках азота, необходимого для растения, и когда в 1883 г. появилась его интересная книга «*Beiträge zu den Naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus*»², знакомые с делом были очень разочарованы, не найдя в ней того, чего ожидали, — именно свода его исследований по вопросу об азоте. Это разочарование было с избытком вознаграждено через

¹ Провидение было обязано ему предоставить, а не кому иному, сделать это открытие.

² Материалы к научным основам земледелия.

несколько лет появлением в 1888 г. небольшого томика, заключавшего подробное изложение работы, с главнейшими результатами которой Гельригель успел уже познакомить ученых на Берлинском съезде.

Причина, почему Гельригель ранее не публиковал своих исследований, относящихся до бобовых растений, внушает глубокое уважение к ученому. Результаты по отношению к этим растениям в течение долгих лет были неясны, неопределенны, даже прямо противоречивы, и почтенный исследователь считал излишним появляться перед читателем с длинными рядами цифр, которых сам еще не был в состоянии связать руководящей идеей. Какое редкое явление в настоящее время, когда наука так бесцеремонно загромождается сырым материалом, нередко еще носящим название «ценного вклада», — массой наблюдений и опытов, не приведших самого наблюдателя ни к какому определенному заключению и тем более обременяющих беспомощного читателя. Гельригель предпочитал оставить ученый мир в неведении о потраченном им многолетнем труде скорее, чем выступить с черновыми лабораторными журналами, не славившимися в его собственном представлении в какую-нибудь определенную теорию.

Еще в начале шестидесятых годов предпринял он обширное исследование, представляющее, собственно, развитие работы Буссенго над влиянием селитры как источника азота. Мы уже видели, что благодаря исследованиям Буссенго установлен факт значения селитры как наилучшего источника азота для растения. Буссенго доказал, что в известных пределах, — т. е. пока селитра не будет в избытке, — развитие растения, количество образуемого им органического вещества, пропорционально количеству доставленной селитры. Этот вывод Гельригель подтвердил рядом опытов над ячменем и

овсом. Здесь в очевидной форме обнаружился закон Либиха, известный под названием закона *minimum*'а. Развитие растения оказывается пропорциональным количеству того вещества, которого будет недостаточно при условии, понятно, чтобы другие вещества находились в избытке. Наблюдая это условие, мы можем найти численное выражение для питательного значения исследуемого вещества, предсказать, насколько известное количество этого вещества повысит урожайность исследуемого растения. Гельригелю это вполне удалось по отношению к селитре, в применении к овсу и ячменю. На каждый фунт азота в селитре (все с тою же оговоркою: пока она не будет в избытке) получается в круглых цифрах сто фунтов органического вещества растения ¹. Эти цифры нагляднее всего показывают, как точны могут быть результаты искусственных культур, как полна, в известном направлении, власть экспериментатора над испытываемым растением.

Но как только от злаков Гельригель перешел к бобовым, картина совершенно изменилась. Получались совершенно неожиданные и, что еще хуже, капризные результаты. Исследователь никогда не мог их предвидеть, а следовательно, и управлять ими, — утрачивал тот дар пророчества и ту власть над природой, по которым только и узнается истинная наука. Эти продолжительные неудачи, конечно, остановили бы человека, ищущего в науке только средства прославиться, а предстателей неовитализма, который после долгого молчания вновь затягивает свою старую песнь о том, что жизнь своевольна и не подчиняется физическим законам, — эта капризность явления, пожалуй, даже заставила бы возликовать. Но не так, по счастью, отнесся к делу

¹ Точнее — для ячменя 93 фунта, для овса 96.

Гельригель. Как истинный ученый, он работал для себя, а не для других, и в неудаче находил только стимул к дальнейшему труду, тот пробуждающийся во всяком истинном ученом инстинкт борьбы, — непреодолимое желание подчинить себе строптивую природу. Не могу не припомнить по этому поводу слов, слышанных много лет тому назад из уст одного из величайших мастеров экспериментального искусства — Клода Бернара, обратившегося на одной из своих лекций с таким увещанием к своим слушателям-студентам: «Surtout, messieurs, craignez jamais les faits contraires—car chaque fait contraire est le germe d'une découverte»¹.

Противоречие, от которого заурядный ученый отвернулся бы с досадой, в руках Гельригеля стало именно зародышем одного из блестящих открытий современной физиологии.

А противоречие это заключалось в следующем. Когда к песку, в котором культивировался горох, прибавлялись различные количества селитры, нельзя было усмотреть не только пропорциональности между этими количествами и урожаем, но даже постоянного определенного действия. Большие количества селитры давали всегда хорошие результаты, но незначительные количества *нередко* давали результаты более удовлетворительные, чем можно было ожидать, а иногда и в полном отсутствии селитры горох развивался благоприятно, во много раз увеличивал органическую массу и содержание азота. Прилагаемый рисунок (рис. 4) наглядно показывает это различие между злаками и бобовыми растениями. Между тем как овес, не получивший селитры (сосуды обозначены КР), совсем не развивается,

¹ Главное, господа, не бойтесь противоречащих фактов: в каждом противоречащем факте — зачаток нового открытия.

а овес, получивший ее (сосуды обозначены KPS), даст нормальные растения, на горохе присутствие или отсутствие селитры (обозначение то же) не обнаруживает никакого различия. Откуда же берется этот азот? Не из песка, потому что, хотя он и не был прокален, но содержал ничтожные, точно известные количества, которыми можно было даже пренебречь. И чем объяснить противоречие этих опытов с опытами Буссенго? Там или вовсе не было усвоения, а в тех случаях, где оно замечалось¹, было ничтожно, и растения получались чахлые, предельные, между тем как у Гельригеля получился горох, иногда не отличавшийся от средних экземпляров, выращенных в поле.

Никакое из ранее предложенных объяснений не могло быть применимо к фактам, открытым Гельригелем; оставалось только допустить, что бобовые растения действительно пользуются свободным азотом атмосферы.

Что же касается *причины*, определяющей такой результат, то было очевидно, что она не заключалась в числе тех строго определенных условий, которыми были обставлены опыты. Колеблющийся, случайный исход опыта прямо указывал на случайность вызывающей его причины и на то, что она до той поры ускользала от контроля исследователя.

Эти два положения нашли себе выражение в гипотезе,— рабочей гипотезе, как ее характеризует сам Гельригель, которая должна была осветить и направить дальнейший ход работы.

Стоило вспомнить, что в почве существуют микроорганизмы, связывающие свободный азот,— факт этот незадолго перед тем был установлен исследованиями

¹ Как в опытах с огородной почвой.

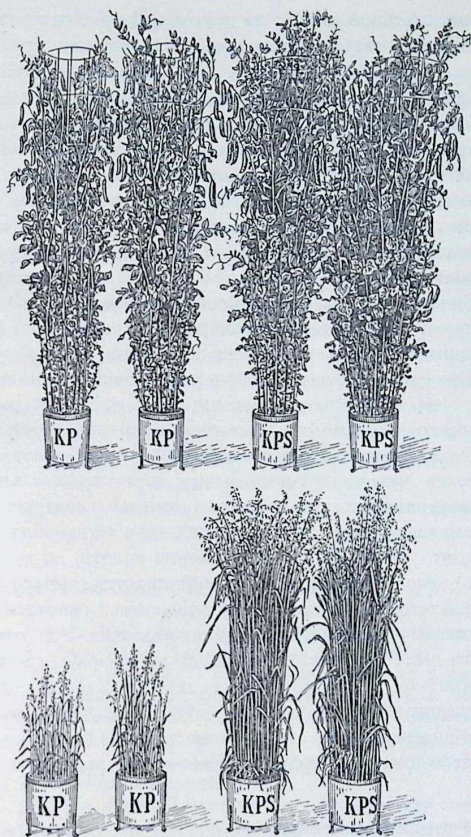


Рис. 4.

Бертло¹. Стоило вспомнить другой факт, — что на корнях бобовых растений уже давно было замечено присутствие особых образований, клубеньков или желвачков, происхождение которых давно приписывалось заражению микроорганизма. Стоило сопоставить эти факты и допустить, что существуют микроорганизмы, способные усвоить свободный азот атмосферы и в то же время обладающие способностью заражать только бобовые растения, но не злаки, — и весь сбивчивый хаос противоречивых фактов превращался в стройную научную теорию.

Смелая гипотеза была приложена к делу, и вся последующая деятельность Гельригеля представила ряд остроумных доказательств ее справедливости.

Прежде всего, чем объясняется, с точки зрения этой гипотезы, различие в результатах классических работ Буссенго и только что описанных опытов Гельригеля? Буссенго брал для своих опытов песок или пемзу, абсолютно лишенные азота и для этого прокаленные. Гельригель брал песок, только промытый и содержащий следы азота, определяемые анализом и столь ничтожные, что они не могли существенно влиять, но во всяком случае принимались во внимание при вычислении результатов. С точки зрения испытываемой гипотезы эти две среды представляли коренное различие. У Буссенго почва была стерилизована, не могла содержать микроорганизмов, у Гельригеля она не была стерилизована и, следовательно, могла содержать, но случайно могла и не содержать их, отсюда — капризные, не только количественно, но порой и качественно, различные ре-

¹ Строго говоря, исследования Бертло, послужившие исходной точкой для работ Гельригеля, едва ли обладают такою степенью убедительности, как эти последние.

зультаты ¹. Требовалось и этот случайный фактор подчинить власти экспериментатора.

Гельригель рассуждал так: если все дело в микроорганизмах, поселяющихся на бобовых, но не на злаках, то злаки должны давать неизменно отрицательные результаты на почве, не содержащей азота, — все равно, будет ли она стерилизована или нет; наоборот, бобовые на почве стерилизованной должны давать отрицательные, а на почве нестерилизованной, хотя и не содержащей азота, должны дать результат положительный, так как будут заимствовать свой азот из воздуха.

Стерилизация песка достигалась его нагреванием до 150—200 градусов. Но для того, чтобы устранить элемент случайности по отношению к песку нестерилизованному, Гельригель прибегнул к прямому его заражению предполагаемыми микроорганизмами. Для этого он брал немного почвы, на которой культивировались бобовые, взбалтывал ее с водой и несколько кубических сантиметров этого почвенного настоя, конечно, содержавшего микроорганизмы, приливал к стерилизованному песку ². Количество азотистых соединений,

¹ В особом объяснении нуждаются еще опыты Буссенго, произведенные, хотя и с другою целью, в 1858—1859 гг., когда он брал сверх прокаленного песка еще известное количество огородной почвы. Почва эта, понятно, не прокаливалась, но зато тщательно высушивалась, а такое высушивание почти неизменно, по наблюдениям Гельригеля, вызывает стерилизацию. Отсюда крайне ничтожное, но все же заметное усвоение, обнаруженное Буссенго в этой серии и зависевшее, вероятно, от неполной стерилизации, что и подтверждается присутствием на некоторых корнях упомянутых желвачков.

² Из того, что было сказано ранее о методах искусственных культур, понятно, что Гельригель прибавил к своему песку все необходимые минеральные вещества; во всем дальнейшем изложении это подразумевается.

которые могли содержаться в этой жидкости, было так ничтожно, что само по себе не могло оказать никакого влияния на ход опыта, но, тем не менее, оно определялось и принималось во внимание при окончательной оценке опытов.

Результаты опытов, произведенных в 1886 и 1887 гг., вполне оправдали ожидания Гельригеля. По отношению к злакам (а равно и гречихе) оказалось, как и прежде, что растения эти неспособны заимствовать азот из другого источника, кроме доставляемой селитры. Одинаковые количества селитры вызывали, как и прежде, одинаковое возвышение урожая, причем даже миллионная часть азота (по отношению к весу песка), внесенная в форме селитры, уже отражалась на повышении урожая. Стерилизация песка или, наоборот, заражение почвенным настоем не сопровождалась никакими последствиями.

По отношению к бобовым растениям обнаружилось коренное различие между песком стерилизованным и зараженным. К песку стерилизованному бобовые относились совершенно так же, как злаки и гречиха, т. е. без селитры не развивались и не увеличивали содержание азота. В присутствии же селитры они развивались благоприятно и пропорционально ее количеству. Совершенно иначе относились бобовые к песку зараженному. На этот раз *и без селитры развитие было совершенно нормальным*; усвоение азота достигало значительных размеров, — очевидно, растение черпало его из источника, недоступного для злаков. Прилагаемый рисунок (рис. 5) изображает результат одного из наиболее убедительных опытов Гельригеля. Почва в сосудах, обозначенных цифрами 22, 23, 24, 28, 29 и 30, была стерилизована, в остальных — не стерилизована, но и не содержала азота.

Не оставалось, следовательно, сомнения в том, что к почве стерилизованной, не содержащей микроорганизмов, и злаки, и бобовые относятся совершенно одинаково; различие обнаруживается только с появлением на сцену предполагаемых микроорганизмов. А что в почвенном настое действующим началом является именно нечто живое, Гельригель доказал сравнительными опытами, причем в одном ряде сосудов к песку приливался почвенный настой, приготовленный, как уже сказано, а в другом — тот же настой, предварительно прокипяченный. Оказывалось, что после кипячения он утрачивал свое действие. Растения 28, 29, 30 (рис. 5) получили настой прокипяченный и ничем не отличались от 22, 23, 24, вовсе его не получивших.

Посмотрим теперь, точно ли эта способность бобовых растений заражаться предполагаемыми микроорганизмами обнаруживается присутствием тех давно известных образований на их корнях, которые обыкновенно называют клубеньками, а правильнее — шишечками или желвачками¹. Мысль, что эти желвачки стоят в связи с усвоением азота и, следовательно, в связи с ролью собирателей азота, которую эти растения играют в плодосмене, была в первый раз высказана Шиндлером. Опыты Гельригеля доставили этому предположению убедительные доказательства. Когда почва была стерилизована и поддерживалась в этом состоянии в течение опыта (для чего поверхность горшков покрывалась ватой, для ограждения от случайного заражения через атмосферу), корни были всегда лишены желвачков. В почвах же нестерилизованных и особенно в почвах, умышленно зараженных, на корнях появлялись обиль-

¹ Клубнями (как, например, у картофеля) ботаники, как известно, называют подземные стеблевые органы; здесь же мы имеем дело с наростами на корнях.

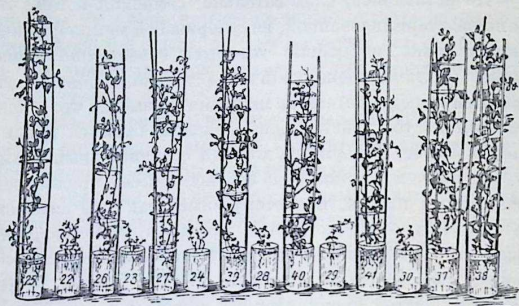


Рис. 5.

ные желвачки. В первом случае, как мы видели, не было усвоения азота, во втором — он усвоился. Зависимость появления желвачков от инфекции почвенным раствором Гельригель доказал еще следующим красивым опытом. Корни гороха, выращенного в стерилизованной почве, были разделены на две приди, так что одна из них была погружена в сосуд с раствором, содержащим немного неизмененного почвенного настоя, а другая — в сосуд, получивший немного почвенного настоя, предварительно прокипяченного. На первой приди появились вскоре обильные желвачки, на второй они не образовались вовсе.

Другим убедительным доводом в пользу причинной связи между присутствием желвачков и усвоением азота представляется ход развития растения в бесплодной (т. е. не содержащей селитры) почве. Прорастающее растение вначале питается на счет запасов семени; когда они истощены, его развитие останавливается; оно начинает чахнуть, обнаруживая явные признаки голодания.

Но это продолжается недолго; растение вдруг оправляется: начинавшие желтеть листья вновь зеленеют, образуются новые нормальные листья и т. д. Эта перемена в общей картине, представляемой воздушными органами, наступает только после образования желвачков.

Таким образом, устраняется всякое сомнение относительно главного положения, что бобовые растения при участии своих корневых желвачков усваивают азот из атмосферы и одним этим источником могут покрыть всю свою потребность в этом элементе.

Уже одного этого факта почти достаточно, чтобы сделать маловероятным предположение, что источником этого азота могли служить соединения его, так скудно рассеянные в атмосфере и оказывающие, как мы видели ранее, такое слабое непосредственное действие. Гораздо вероятнее, что этим источником служит неиссякаемый запас свободного атмосферного азота.

Гельригель поставил, однако, и это положение вне всякого сомнения. Остановимся на одном его опыте, едва ли не самом замечательном по своей простоте и наглядной очевидности.

Опыт был совершенно подобен одному из опытов Буссенго, с тою только разницею, что Буссенго брал песок прокаленный, а Гельригель — парочно зараженный. В большой стеклянный баллон (рис. 6) горкой насыпался песок, как всегда смоченный раствором питательных солей, но без селитры, и зараженный почвенным настоем, и вносилось три семени — овса, гречихи и гороха. В течение трех месяцев, пока длился опыт, баллон оставался тщательно закрытым, только несколько раз припускалась необходимая для питания углекислота. Таким образом, в течение всего своего развития растение находилось в присутствии одного свободного азота, так как количество его соединений, заключавшееся в бал-

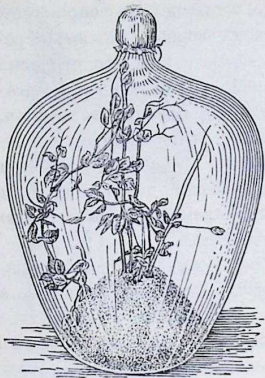


Рис. 6

лоне, по ничтожности своей не может даже идти в расчет. Результат опыта был следующий: получилось хорошо развитое растение гороха, содержащее в пятьдесят раз более органического вещества, чем было в семени, и почти в тридцать раз более азота. Не стоит и говорить, что корни были покрыты желвачками. Находившиеся при совершенно одинаковых условиях семена овса и гречихи

дали чахлые, предельные растения и не увеличили своего содержания азота¹. Едва ли какой другой опыт может сравниться с этим по своей убедительности, так как он одновременно доказывает оба положения: что только бобовые растения усваивают свободный азот и что это усвоение находится в связи с присутствием на их корнях желвачков.

Таковы образцовые, по ясной постановке вопроса и точности выполнения, исследования Гельригеля; они, конечно, займут место наряду с классическими трудами Соссюра, Буссенго и др., положившими основание учению о питании растений. Подтверждения полученных им результатов не замедлили последовать. Во Фран-

¹ Рис. 6 представляет верную копию подлинного рисунка Гельригеля. К сожалению, и подлинник не особенно ясен; во всяком случае, видно, что горох прекрасно развит, а гречиха и овес не развились вовсе.

ции Бреаль, в Англии Уорд привели новые факты в защиту теории Гельригеля. Вскоре после появления первого сообщения Гельригеля физико-математический факультет Московского университета предложил этот вопрос — о происхождении азота бобовых растений — как тему на соискание золотой медали. Ответом на эту тему явилось исследование студента университета г. Коссовича, удостоенное медали и напечатанное в «Известиях Петровской академии» за 1890 г. Опыты г. Коссовича были произведены в описанной выше физиологической теплице Петровской академии, так как Московский университет в то время не обладал еще этим важным пособием для физиологических работ. Результаты, полученные г. Коссовичем, были вполне согласны с фактами, установленными Гельригелем.

В 1890 г. опубликованы результаты обстоятельных опытов, произведенных в 1888 и 1889 гг. Лоозом и Гильбертом в Ротгамстеде и приведших их авторов к заключениям, вполне подтверждающим теорию почтенного немецкого ученого. К тому же выводу пришел и один из наиболее опытных наблюдателей в этой области Ноббе.

Мы уже неоднократно повторяли, что определяющие усвоение свободного азота желвачки на корнях бобовых должны быть признаны за образования, вызванные заражением какими-то микроорганизмами, встречающимися в почве. И действительно, этот вывод неизбежно вытекает из опытов заражения почвенным настоем и еще более из утраты заразительных свойств настоем, предварительно прокипяченным. Посмотрим теперь, что удалось непосредственно узнать о природе этих микроорганизмов и их отношении к бобовым растениям.

Хотя эти желвачки (рис. 7) были известны уже двести лет тому назад творцу анатомии растений Марчелло

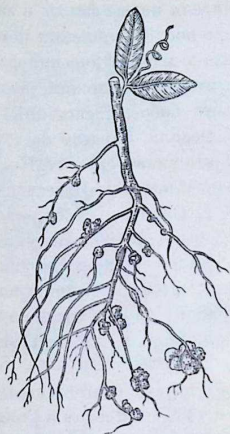


Рис. 7.

Мальпиги и упоминались даже древними писателями, но природа их была выяснена только в 1866 г. нашим известным микологом М. С. Ворониным. Воронину удалось несомненным образом показать, что известная ткань этих желвачков содержит в своих клеточках несметные мельчайшие тельца, которые по внешнему виду и движениям совершенно похожи на бактерии. Воронин и признал их за бактерии, а самые желвачки — за болезненные образования, вызванные зараже-

нием корней, что в настоящее время и признается всеми основательными исследованиями¹.

Но это воззрение не так легко привилось в науке, благодаря, главным образом, достойным лучшей цели усилиям ботаников Берлинского сельскохозяйственного института — профессора Франка и его учеников Брунгорста и Тчирха. Эти исследователи, отчасти ранее, но главным образом вслед за появлением работы Гельригеля, пытались доказать, что желвачки вовсе не вызываются заражением бактериями и что, следовательно, открытие Гельригеля не имеет приписываемого ему

¹ Следует припомнить, что, когда появилась работа Воронина, вопрос о безвредном значении бактерий почти не был затронут, это еще более увеличивает значение открытия нашего уважаемого ученого.

значения. Они утверждали, что образования, принимаемые за бактерии, представляют только внешнее сходство с бактериями, и предложили назвать их «бактериоидами», видя в них не патологические, а нормальные физиологические образования клеточной плазмы — запасы белковых питательных веществ, отложенные для дальнейших потребностей растения. Уже в своей капитальной работе Гельригель возражал Франку, что трудно понять, каким образом растение в среде, лишенной азота, проявляя, несомненно, признак голодания, будет непроизводительно слагать в запас эти недостающие для его питания вещества, рискуя погибнуть прежде, чем воспользуется плодами этой неуместной запасливости. И почему, наоборот, в почве, богатой азотом (в форме селитры), но стерилизованной, растение не образует этих запасов белкового вещества. Вскоре со всех сторон посыпались наблюдения, подтверждавшие верность фактов, установленных Ворониным, и обнаруживавшие всю несостоятельность теории берлинских ботаников, тщетно пытавшихся отнять у блестящего открытия Гельригеля его значение¹. Исследования эти были двух родов: одни экспериментально подтверждали несомненный инфекционный характер процесса, проявляющегося в образовании желвачков, другие, на основании тщательного микроскопического исследования, раскрывали шаг за шагом историю их развития и обнаруживали, что заражающее начало и

¹ Впрочем, и сам Франк должен был в последнее время отказать от своих воззрений и весьма развязно дал свое название микроорганизму, установленному другими и существование которого он сам упорно отрицал. Вообще, в его отношении к Гельригелю сквозят досада и скрытое недоброжелательство, вызванные блистательным разрешением вопроса, в изучение которого сам Франк внес только путаницу и хаос противоречий.

результат его — тельца, отлагающиеся в ткани желвачка, действительно бактерии или очень сходные с ними, несомненные организмы.

К числу первых исследователей должно отнести Маршала Уорда и Бреалья, подтверждавших факт возможности непосредственной прививки желвачка от одного растения другому посредством укола зараженною иглой или иными способами.

Ко второй категории должно отнести таких исследователей, как Вюильмен, Лундштрем и Бейеринк. В особенности последний представил несомненное доказательство бактериальной природы организмов, вызывающих заражение. Ему первому удалось культивировать их обыкновенным способом, употребляемым при исследовании бактерий, и, таким образом, получить их в чистом состоянии. Он назвал организм этот *Bacillus radicola* и показал, что бактериоиды берлинских ботаников — только выродившиеся, метаморфозированные и утратившие дальнейшую способность развития формы этих бацилл.

Тем не менее, и после работ Бейеринка многое оставалось неразъясненным. Большая часть этих темных сторон выяснена появившимся в 1890 г. исследованием профессора Пражмовского. Исследование это, по своим достоинствам, занимает второе место после работы Гельригеля. Уступая, конечно, последней в оригинальности и новизне, оно имеет преимущество в деталях исполнения, в параллельной обработке микроскопической и экспериментальной стороны.

Пражмовский давно известен, как точный исследователь в области бактериологии: он внес в изучение вопроса специальное знание и умение, которыми не обладал Гельригель, почему его работа и является желательным дополнением работы Гельригеля, так что

после этих двух капитальных трудов всю последовательность и ход явления можно считать удовлетворительно выясненными.

Еще в 1885 г. приступил Пражмовский к своему исследованию, но болезнь заставила его на время отказаться от исполнения широко задуманного плана. Труд его распадется на две части: тщательное изучение вызывающей образование желвачков бактерии и доказательство, что именно она обуславливает открытую Гельригелем способность бобовых усваивать свободный азот атмосферы. Отсюда видно, что задача Пражмовского была гораздо сложнее и тоньше задачи Гельригеля. Последний только желал доказать и доказал, что оба процесса зависят от присутствия в почве чего-то, что *должно быть микроорганизмом*, так как уничтожается нагреванием, стерилизацией почвы или ее настоя. Пражмовский, как бактериолог, пожелал увидеть это *нечто*, убедиться, что это — бактерия, проследить ее участь в растении до образования желвачков и доказать, что именно *эта бактерия*, а не что иное способствует усвоению азота.

Познакомимся сначала с первою частью его работы. Прежде всего он снова и с особенною тщательностью подтвердил факт, так неудачно подвергнутый сомнению берлинскими ботаниками, что в почве, стерилизованной и охраняемой от заражения в течение всего опыта, желвачков никогда не образуется, а также, что заражение происходит только в молодых растущих частях корня. Затем он озаботился получением так называемой чистой культуры бактерий, чтобы при помощи этих изолированных несомненных бактерий вызвать образование желвачков в стерилизованной почве. Для этой цели бактерии, взятые из желвачков, разводились в жидкости (понятно, предварительно стерилизованной).

Каплей этой жидкости заражалась другая порция и т. д. до двенадцати раз. Если эти последовательные культуры обозначить номерами 1—12, то затем брались № 1, 3, 6, 9, 12 и ими заражались посевы гороха в стерилизованной почве. Во всех опытах получились желвачки. На этот раз заражение вызывалось не чем-то предполагаемым, не неизвестным, а определенной бактерией.

Далее Пражмовский проследил судьбу этой бактерии в зараженном растении. Самое заражение происходит только через корневые волоски или поверхностные клетки молодых частей корня. В тех и других можно заметить движущиеся бактерии, но, как проникают они сквозь оболочку клеточек, — Пражмовскому не удалось показать. Он полагает, что они образуют поры в оболочке, что согласно с мнением, ранее высказанным Уордом¹. Попав в волосок, колонии бактерий облекаются чехлом, вытягивающимся в длинные трубки². Трубки эти разрастаются, ветвятся, прободают встречающиеся на пути стенки клеток, проникая вглубь корня, и там бактерии, быстро размножаясь, выполняют собой клетки особой ткани, которые энергично делятся, обуславливая

¹ В последнее время, исследуя первые моменты заражения одного бобового растения (извешника — *Anthyllis vulneraria*), я мог наблюдать целые колонии бактерий (так называемые Zoogloea) на наружной поверхности корневых волосков. В некоторых случаях они встречались почти на каждом кончике волоска в виде кисточки, следовательно, заражение идет весьма энергично.

² Из чего состоят эти оболочки, еще не выяснено; по мнению одних, — из плазмы, по мнению других, — из клетчатки. Вообще организмы эти представляют некоторые особенности, отличающие их от типических бактерий. В недавнее время (в ноябре 1890 г.) появилось исследование Лорана, сделанное в институте Пастера; Лоран предлагает образовать для этих организмов новую группу под названием *Pasteuriaceae*.

тем разрастание желвачков (рис. 8)¹. Объяснение анатомического строения этих органов было бы неуместно, так как пришлось бы вдаваться в технические подробности. Особенно любопытен главный результат этой части работы Пражмовского, что бактерии сохраняют свой характер и способность к движению и размножению, только пока заключены в свои чехлики. Но как только, вероятно под напором размножающихся бактерий, сдерживающий их чехлик разрушается и они приходят в прямое соприкосновение с плазмой клеточек, они начинают изменяться, увеличиваться в размерах, принимают необычайные, коленчатые, искривленные формы, получают особый блеск, утрачивают способность окрашиваться пигментами, характеризующими настоящие бактерии, — словом, вырождаются, превращаются в «бактериопиды», — тела, только с виду напоминающие бактерии, но существенно от них отличающиеся. Это перерождение их происходит, вероятно, под влиянием из-

¹ Рисунок, заимствованный из работы Пражмовского, изображает часть ткани желвачка. Одни клетки переполнены бактериями, в других — видны пронизывающие их трубки.

[Картина заражения клубеньковыми бактериями и образования клубеньков в настоящее время детально изучена. Из приведенных К. А. данных особенно подтвердился его собственные наблюдения над корневыми волосками язвенника. Бактерии скопляются в виде зооглей у корневого волоска и, прободая его оболочку, попадают внутрь. Бактериальный тяж прорастает одну клетку за другой. Плазма клеток растения-хозяина не остается безучастной и отгораживается от бактерий, выделяя вокруг бактериальных тяжей оболочку из клетчатки. Таким образом, «чехлы» или «трубки» образуются не бактериями, а растением-хозяином. На известной глубине корневой ткани в зависимости от того, с каким растением мы имеем дело, бактериальные тяжи перестают встречать сопротивление клеток растения-хозяина. Здесь бактерии размножаются, клетки растения-хозяина разрастаются и энергично делятся. Так образуется опухоль, которая и является началом клубенька. *Ред.*]

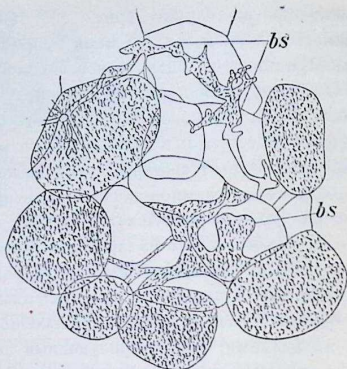


Рис. 8.

быточного питания. Праймковский полагает, — главным образом на счет крахмала, в обилии отлагающегося в соседних клетках и в самых клеточках, содержащих бактериониды. Можно даже видеть зерна крахмала, как бы обглоданные, т. е. растворяющиеся под влиянием окружающих их бактерий.

Как бы то ни было, но «бактериониды», повидимому, далее неспособны размножаться; их деятельности положен предел ¹. Тогда обнаруживается воздействие на них плазмы клеточек: мало-помалу они дезорганизуются, растворяются, и так как ткань желвачков обильно снабжена сосудами, то продукты растворения легко всасываются растением. Желвачки становятся дряблыми, клетки их почти опоражниваются, но часть бактерий, которые остались под защитой своих чехликов, сохра-

¹ Это относится к бактерионидам в тканях желвачков. Культивируя их на желатине, Праймковскому удавалось получить из них обратно бактерии.

няются в неизменном состоянии. Наконец, под влиянием внешних условий — нападения животных организмов или других растительных паразитов или по каким другим причинам — наружные ткани желвачка разрушаются, и уцелевшие бактерии возвращаются в почву, распространяя заражение на новые корешки, на новые растения¹.

Поставив вне сомнения инфекционный характер желвачков, проследив судьбу бактерий с момента их поступления в растение до момента их возвращения в почву, Пражмовский перешел ко второй своей задаче — доказательству, что именно эта бактерия и есть то неизвестное начало, которое, находясь в почвенном настое, вызывало явление, открытое Гельригелем.

Для этого он взял сосуд со стерилизованным песком (понятно, содержащим необходимые зольные вещества) и заразил его полученными при помощи чистых культур бактериями. Это еще не было самой хлопотливой стороной дела. Необходимо было еще позаботиться, чтобы в почву, поливаемую и проветриваемую в течение нескольких месяцев, пока длился опыт, не проник какой-нибудь другой микроорганизм. Пражмовский блистательно справился с своей задачей. Глухой сосуд, через крышку которого проходили только стебель и две трубки для поливки и проветривания, был так тщательно изолирован от проникновения посторонних тел извне, что по окончании опыта в почве не оказалось *ни одного микроорганизма, кроме внесенной бактерии*².

¹ Установление этого факта, уже указанного Уордом, весьма существенно, так как ботаники берлинской школы утверждали, что желвачки всегда покрыты неразрушающеюся пробковою тканью, устраняющею возможность возвращения бактерий в почву.

² Это доказывается тем, что жидкость, взятая из сосуда после опыта, вызывает в питательном растворе только образование этой *Bacillus* или, как Пражмовский ее называет, *Bacterium radiclecola*.

Раз не подлежит сомнению, что явление усвоения азота бобовыми растениями должно быть приписано деятельности известной бактерии, естественно возникает вопрос, — одни ли только бобовые растения обладают способностью заражаться этою бактерией, и одна ли бактерия заражает безразлично все бобовые растения, или, быть может, существуют различные бактерии, заражающие только известные бобовые растения. В первой своей работе, как мы видели, Гельригель доказал, что ни злаки, ни гречиха свободного азота не усваивают; в новом ряде опытов (в 1888 г.) он показал, что этой способности лишены капуста, конопля и подсолнечник. Так как из всех культурных растений только у бобовых известно образование желвачков, то, вероятно, только им и присуща способность усваивать азот *. По отношению ко второму вопросу, одна ли бактерия заражает все бобовые растения или должно допустить существование нескольких таких бактерий, уже исследования 1887 г. наводили Гельригеля на мысль, что неудачи опытов с более редко культивируемым желтым лупином могли зависеть от того, что для заражения его необходим был бы настой почвы, на которой уже ранее культивировалось это растение. Опыты, нарочно произведенные Гельригелем с этою целью в 1886 г., вполне подтвердили верность его предположения. В двух параллельных рядах опытов лупин культивировался

* Позднейшие исследования других авторов показали, что симбиоз высших растений с азотоусвоятелями распространен гораздо шире. Так, например, желваки с азотоусвоятелями развиваются у черной и белой ольхи (*Alnus glutinosa*, *Alnus incana*). Кустарники из семейства лоховых (*Elaeagnaceae*), — различные виды лоха и облепихи, — также способны к симбиозу с азотоусвоятелями. Симбиотические организмы лоховых и ольховых изучены относительно неполно. Повидимому, они относятся не к бактериям, а к актиномицетам (*Actinomyces*). *Ред.*

в песке, зараженном настоем с поля, в котором лупин прежде не возделывался, и в песке, зараженном настоем с лупинового поля. В первом случае не было ни образования желвачков, ни усвоения азота, во втором — обнаружилось и то, и другое. В появившейся позднее работе Бейеринк подтверждает тот же факт на основании опытов прямого заражения чистыми разводками соответственных бактерий. Корни гороха не заражаются бактериями сераделлы (птиценожки — *Ornithopus sativus* и *perpusillus*), и наоборот. Следовательно, факт специфического различия бактерий, вызывающих способность того или другого бобового растения образовывать желвачки, не подлежит сомнению. Факт этот представляет существенное практическое значение для сельского хозяина, доказывая, что бактерии, необходимые для того или другого растения, не представляют повсеместного распространения, и что, следовательно, для успешности некоторых культур, очевидно, необходимо прибегать к предварительному заражению почвы *соответственной* бактерией, т. е. простою примесью почвы, уже производившей данное растение. Попытки подобных заражений уже делались и давали, повидимому, благоприятные результаты. Так, Залфельд посыпал торфяную почву другою почвой, в которой он предполагал присутствие необходимых микроорганизмов, и тем почти вдвое увеличивал урожай гороха и бобов. Сходные результаты в недавнее время сообщены Франком по отношению к лупину *. Не останавливаясь далее на этих опытах *удобрения бактериями*, так как нельзя быть достаточно осторожным при переходе хотя бы

* Из позднейших русских сводок можно указать на книгу В. П. Израильского «Клубеньковые бактерии и нитрагин» (Сельхозгиз, 1933), монографию проф. М. В. Федорова «Биологическая фиксация азота атмосферы» (Сельхозгиз, 1948 г.) и другие.

от самого верного теоретического положения к его практическому приложению *. Ничто так не подрывает кредита науки, как слишком поспешное, опрометчиво-преувеличенное возбуждение надежд и следующее за ним неизбежное разочарование. За примерами ходить недалеко.

* * *

Теперь, когда нам известна общая картина деятельности этих бактерий, мы можем подвести общий итог взаимодействию между двумя организмами. Проникнув в бобовое растение, бактерия быстро размножается, но только пока ведет образ жизни, в известной степени обособленный от своей жертвы, пока отгорожена от его плазмы оболочками своих трубок. Как только вследствие разрушения этих оболочек бактерии приходят в непосредственное соприкосновение с этой плазмой, они от чрезмерного питания начинают вырождаться, подвергаются какому-то процессу ожирения и утрачивают свои боевые свойства: подвижность и способность к размножению. С этого момента они становятся жертвой своей жертвы. Старая история про Аннибаловы войска и Капуу ¹.

* Бактериальное удобрение, так называемая нитрагенизация, в настоящее время важное хозяйственное мероприятие. Как показали опыты последних лет, применение нитрагина часто бывает полезно и на старопахотных почвах, где вообще культуры соответствующего бобового имели место, но где по тем или другим причинам бактерии выродились. *Ред.*

¹ Не представляет ли это явление более широкого распространения в различных инфекционных болезнях? Не может ли зараженный организм избавляться от своих врагов именно тем, что их *закармливают*? Известно, что в растительных организмах вегетативное развитие и размножение находятся в антагонизме; способствуя первому, можно ограничивать второе. А главный вред бактериальных организмов и заключается именно в их быстром размножении.

Таким образом, в явлениях развития и разрушения желвачков на корнях бобовых растений мы имеем нечто совершенно своеобразное. Это не *паразитизм*, в котором бывает одна жертва, один эксплуататор. Это и не *симбиоз*, т. е. не мирное сожительство, ассоциация двух организмов, связанных обоюдною пользой. Это какая-то своеобразная борьба, из которой обе стороны выходят поочередно победителями, обе стороны извлекают свою долю пользы. Бактерии, просуществовав некоторое время в растении и пользуясь его пищею, возвращаются обратно в почву и, конечно, в большем числе, чем сколько их проникло в корни,— следовательно, с точки зрения сохранения вида процесс этот не может не быть для них выгоден. Но они оставляют за собою еще более многочисленные трупы своих отяжелевших товарищей, которые идут на питание одолевающего их растения. Повидимому, бывают, однако, случаи, по счастью для сельского хозяина очень редкие, когда окончательная победа остается на стороне бактерий. Упомянем и об этой стороне дела, хотя она едва только затронута и не может даже считаться вполне выясненною. Известно, что на первых же порах восторги, возбуждаемые результатами, которые давала культура клевера, были омрачены наблюдением, что клевер нельзя долго культивировать на той же площади, что при плодосменной системе он не должен слишком часто возвращаться на то же место. Даже сам Шубарт, как известно, отчасти разочаровался в надеждах, возлагаемых на клевер, и советовал возвращаться на то же место не ранее трех-четырех лет. Немецкие агрономы обозначают это явление термином *клеверного утомления*— *Kleemüdigkeit*. Самые тщательные опыты, как, например, производившиеся в течение длинного ряда лет в Ротгамстеде, могли только подтвердить факт, не да-

вая ему никакого объяснения. После нескольких лет бессменной культуры клевера почва отказывается его производить, и никакие удобрения — ни азотистые, ни минеральные — не возвращают ей этой способности; остается одно средство — прекратить на время эту культуру. В настоящее время весьма основательно высказывается предположение, что при долговременной культуре клевера почва слишком загрязняется остатками желвачков, переполняется бактериями в количествах, быть может, уже вредных нормальным отправлениям растения ¹. Если это объяснение «клеверного утомления» почв оправдается, то придется вернуться, хотя в несколько иной, ограниченной форме, к старой теории Декандоля, объяснявшей пользу плодосмена тем, что одно и то же растение не может долго оставаться на том же месте, вследствие накапливающихся будто бы в почве ядовитых выделений его корней. Против этого объяснения весьма основательно возражали, что предполагаемые (но недоказанные) ядовитые выделения эти, во всяком случае, должны быть вещества органические и, следовательно, не могут сохраняться в почве, не разлагаясь. Но это возражение утрачивает свою силу в том случае, когда этот яд — живой, способный к размножению ².

Остается выяснить еще один вопрос: как же происходит усвоение атмосферного азота при содействии этих бактерий? На этот коренной и самый естественный воп-

¹ Описанные выше наблюдения над корнями *Anthyllis*, почти все волоски которых были покрыты колониями бактерий, делают для меня вероятным, что при еще более обильном загрязнении почвы бактериями нормальное развитие и отправление корней может быть нарушено, и вредное влияние окажется прежде, чем успеет обнаружиться польза от образования желвачков.

² В настоящее время теория Декандоля вновь становится модной (Примечание 1919 г.).

рос мы пока не в состоянии дать не только удовлетворительного, но даже какого бы то ни было ответа. Мы видели, что опыты Гельригеля вполне оправдали основное положение Буссенго, что высшие растения сами по себе не способны усваивать свободного азота. Мало того, такими же точными опытами Буссенго доказал, что этою способностью не обладают и такие простейшие организмы, как плесень. Остается допустить, что бактерии представляют исключение, что они одни обладают способностью, которой лишены все другие растения. Но имеем ли мы какое-нибудь прямое основание для такого допущения? Что говорят прямые опыты над самими бактериями? Пока еще очень мало. Из трех исследователей, пытавшихся при помощи чистых культур *Bacterium radicum* решить вопрос, может ли этот микроорганизм покрывать свою потребность в азоте на счет свободного азота воздуха, один — Лоран — приходит, повидимому, к положительному результату, но откладывает подробное обсуждение вопроса, другой — Пражмовский — не решается высказать окончательное суждение и обещает вскоре вернуться к этом вопросу; наконец, последний — Бейеринк — категорически отрицает возможность культивировать эту бактерию без соединения азота. Зато он ей приписывает способность выискивать в окружающей среде и усваивать малейшие следы каких бы то ни было соединений азота. Таким образом, исключительную способность этих бактерий усваивать азот воздуха еще далеко нельзя считать доказанной, и это составляет пока самую уязвимую сторону всей теории¹. Но, конечно,

¹ Позднее Виноградскому удалось найти бактерии, усваивающие свободный азот. Наконец, Мазе удалось доказать непосредственное усвоение азота бактерией желвачков в чистых культурах.

отсутствие такого прямого доказательства роли бактерий в процессе усвоения азота не может несколько пошатнуть доверия к основному факту усвоения азота при совокупном действии бобового растения, бактерий и почвы. Если бы могла явиться тень сомнения, то и она устраняется следующим блестящим опытом Шлезинга — сына. Во всех до сих пор нами описанных случаях усвоение азота доказывалось так называемым *непрямым* путем — из разности в количествах азота в семени и в полученном из него растении. Зная, что в распоряжении растения не было иного азота, кроме свободного, мы неизбежно приходим к заключению, что усвоение его растением произошло на счет этого источника. Шлезинг попытался доказать *прямым* путем, что азот этот, действительно, взялся из воздуха. Для этого опыт Гельригеля он произвел в замкнутом пространстве и после опыта сделал анализ оставшегося в сосуде воздуха. Оказалась очевидная убыль в азоте и почти полное совпадение между количеством азота, исчезнувшим из воздуха и отложившимся в растении ¹.

Представляется еще вопрос: если не подлежит сомнению, что азот усваивается при совокупном действии растения, бактерий и почвы, то не можем ли мы узнать, где именно происходит этот процесс? В своей последней работе, в которой он вынужден признать важность теории Гельригеля, Франк утверждает, но не приводя никаких доказательств, что заражение не ограничивается одними желвачками, а распространяется далее и сообщает всему растению, со включением листьев, способ-

¹ Исчезло азота: в одном опыте — 36, в другом — 32 миллиграмма. Усвоено растением: в первом случае — 40, во втором — 34. Принимая во внимание сложность опыта, более полного совпадения трудно было ожидать.

ность усвоить азот, которою оно ранее не обладало. Ввиду голословности этого предположения представляется более вероятным, что способность к усвоению принадлежит подземным частям. Это предположение подтверждается новейшими (1892 г.) исследованиями Коссовича. Весьма тщательными опытами, произведенными также в описанной выше опытной теплице в Петровской академии, Коссовичу удалось доказать, что, когда из почвы будет устранен азот (почвенный воздух заменяется искусственною смесью кислорода и водорода), то растение (горох) не развивается. Следовательно, для усвоения азота необходимо, чтобы он находился именно в почве.

Остается сделать еще один шаг — задаться вопросом: где же лежит очаг деятельности этих бактерий? Всею естественнее предположить, что в самих желвачках. С этой точки зрения интересно было непосредственно изучить отношение этих желвачков к атмосферному воздуху, убедиться прямым опытом, поглощают ли они азот. Из частного разговора с Бертолю мне было известно, что подобный опыт не дал ему результатов, но возможно, что его прием анализа газов не был достаточно чувствителен, и потому летом 1892 г. я предпринял это исследование при помощи более чувствительного приема, который давал мне превосходные результаты в других областях физиологии. Опыты производились как над желвачками, отделенными от корней (что достигается без их повреждения), так и над корнями, покрытыми желвачками, и ни в одном случае нельзя было показать поглощения азота из атмосферы¹. Чувствитель-

¹ Всех опытов было произведено 40. Подробности изложены мною в реферате, сделанном в Петербургском ботаническом обществе в декабре 1892 г. [«Газовый обмен в корневых желвачках бобовых растений». См. Сочинения, том X. *Ред.*]

ность приема исследования в десять и даже во сто раз превышала потребную для обнаружения явления, если б оно существовало.

Таким образом, ближайшая сущность процесса остается для нас еще неясной. Мы не знаем, где и как происходит этот еще загадочный с химической точки зрения процесс усвоения свободного азота. Ввиду приведенных результатов становится более вероятным, что он происходит в самой почве, а не в растении¹. Во всяком случае, отсутствием сведений о том, *где и как* усваивается азот атмосферы, нимало не подвергается сомнению самый факт, что при взаимодействии бактерий и почвы свободный азот атмосферы служит для питания бобовых растений.

Как бы то ни было, по вековой вопрос о роли бобовых растений в плодосменной культуре получил блестящее и неожиданное разрешение. Этим значением своим, способностью увеличивать производительность земли, способностью обогащать земледельца на счет дарового источника удобрения — воздуха, бобовые ра-

¹ Возможно, что полный жизненный цикл этих бактерий связан с разномыслием, т. е. со странствованием из растения в почву и обратно, причем в одной среде микроорганизм питается преимущественно на счет азота, а в другой — на счет углерода, — это до некоторой степени напоминало бы так называемые фракционированные культуры, где растения получают все питательные вещества не одновременно, а последовательно. До известной степени даже мало вероятно, чтобы бактерии для усвоения азота проникали в ткани растения, где его находится приблизительно в 50 раз менее, чем в воздухе. Профессор Крашенинников повторял эти опыты и получил положительные результаты, т. е. желвачки усваивали азот, но опыты эти еще мало убедительны, так как количества поглощаемого азота были ничтожны, результаты иногда противоречивы, а главное, условия ненормальны. Желвачки получали такие количества кислорода, каких в природе не бывает.

стения обязаны одной из тех бактерий, в которых до сих пор мы привыкли видеть только страшных неотразимых врагов.

Но кому же из ученых, с деятельностью которых мы ознакомились в этом очерке, отведем мы первенствующее место в истории занимающего нас вопроса? Под впечатлением вновь открытых фактов является весьма естественное, но едва ли справедливое стремление преувеличить заслуги того, кто сказал последнее слово, завершающее стройное здание теории. Заслугу Гельригеля превозносят, — что было бы только справедливо, — но рядом с этим проскользает стремление унижить значение другого ученого, имя которого навеки связано с историей этого вопроса: я разумею Буссенго. Нередко можно услышать такое осуждение: «А все же эти хваленые, признанные классическими опыты Буссенго оказались неверными, привели к ложному заключению, сбили науку с настоящего пути». Я полагаю, тех фактов, с которыми мы ознакомились, достаточно для того, чтобы обнаружить всю несостоятельность такого мнения.

Не только все опыты Буссенго сохранили полное значение и остаются классическими образцами такого рода исследований, — Гельригель и Пражмовский сами о том свидетельствуют, — но едва ли можно сомневаться в том, что и общее направление, которое получил вопрос о роли бобовых растений, дал именно Буссенго. Он, и никто другой, более чем полвека тому назад, опираясь на цифры, высказал мысль, что *вопрос о бобовых растениях есть вопрос об азоте*, вопрос об его утилизации из единственного дарового источника — из воздуха. Но, скажут, всеми своими последующими опытами он доказал обратное — невозможность усвоения свободного азота растением. Конечно, но эти опыты были

необходимым и самым важным шагом, без которого немислимы были бы и дальнейшие шаги Гельригеля. Положение, установленное трудами Буссенго, что ни одно растение, не исключая и бобовых, *само по себе* не усваивает азота атмосферы, остается более широким законом природы, чем положение, выясненное Гельригелем, что *при известных условиях* бобовые приобретают эту способность. Факт, установленный трудами Буссенго, — общее правило; факт, открытый Гельригелем, — только исключение. Не будь правила, не была бы понятна и та *исключительная роль*, которую играют бобовые растения в экономии природы. Наконец, только повторяя и подтверждая исследования Буссенго над усвоением селитры, встретился Гельригель с уклоном, представляемым бобовыми растениями. Ключом, объяснившим это противоречие, послужило ему, по его собственному заявлению, мнение Берто, что в почве совершается под влиянием микроорганизмов усвоение азота.

Но откуда эта мысль явилась у Берто? Толчком к тому, очевидно, было замечательное открытие Шлезинга и Мюнца, что образование селитры в почве — не простой химический процесс, как полагали до тех пор, а результат деятельности микроорганизмов ¹. Но что же могло, в свою очередь, навести этих двух ученых на мысль искать в деятельности микроорганизмов причину этого явления? Конечно, прежде всего влияние идей Пастера, который еще в 1862 г. указывал на необходимость пересмотреть вопрос о нитрификации с новой точки зрения. Но несомненно, что и Буссенго фактически

¹ Сам Берто, как известно, сначала склонялся более в пользу влияния атмосферного электричества в процессе связывания азота почвой.

этому способствовал. В своей последней работе по этому вопросу он показал, что для успешного образования селитры необходимо именно присутствие органического вещества почвы. Это вещество служит как бы ферментом, без которого нельзя быть уверенным в образовании селитры. Не подлежит сомнению, что этот факт, между прочим, обратил на себя внимание Шлезинга и Мюнца (учеников и ревностных последователей Буссенго) и побудил их применить идеи Пастера к вопросу о нитрификации¹. Итак, вот последовательность научной мысли, приведшей к открытию Гельригеля. Пастер указывает, что нитрификация, вероятно, находится в связи с присутствием микроорганизмов; Буссенго показывает на опыте, что для нее необходимо присутствие органического вещества почвы. Шлезинг и Мюнци доказывают верность идеи Пастера и объясняют факт, открытый Буссенго. Бертольд приходит к заключению, что микроорганизмы, вероятно, усваивают азот в почве. Гельригель доказывает, что такие же микроорганизмы, поселяясь на бобовых растениях, сообщают им способность усваивать атмосферный азот.

Итак, вполне признавая упорный труд, проникаемость и экспериментальное искусство Гельригеля, не станем выдвигать заслугу этого ученого в ущерб заслугам Буссенго, более разносторонним даже в области занимающего нас частного вопроса, не говоря уже о широком значении этого деятеля, как творца современного научного метода исследования в смежной области рациональной агрономии и физиологии растений.

¹ Дегерен свидетельствует, что в разговорах Буссенго постоянно высказывал мысль, что в этих явлениях играют роль, как он выражался в шутку, «*Les champignons de Pasteur*» — «грибы Пастера».

В последнее время у нас нередко ставился вопрос: нуждается ли земледелие в науке и каковы должны быть их взаимные отношения? Я полагаю, что в приведенном очерке найдется материал, на основании которого желающие могут себе составить по этим вопросам определенное суждение.





ФАКТОРЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ¹



24 ноября 1859 г. лондонский издатель Муррей выпустил в свет небольшой зеленый томик, посвященный специальному, естественно-историческому вопросу. Издание разошлось в тот же день — пример, кажется, небывалый в летописях науки, так что 1 января 1860 г. потребовалось новое издание книги. С небольшим через год, уже в этих стенах², в 11-й аудитории, покойный Степан Семенович Куторга на одной из первых лекций нам, первокурсникам, с отличавшею его обстоятельностью, изобразил на черной доске длинное и несколько неуклюжее название этой книги: The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life-by Charles Darwin *. «Книга новая, но хорошая», помнится,

¹ Речь, произнесенная в третьем общем собрании VIII съезда русских естествоиспытателей и врачей [в январе 1890 г. *Ред.*]. По недостатку времени на общих собраниях, речь была произнесена в сокращенном виде; здесь она печатается по тексту Сочинений, в первоначальной форме.

² Т. е. в Петербургском университете, где первоначально назначено было заседание съезда.

* «Происхождение видов путем естественного отбора или сохранение благоприятствуемых рас в борьбе за существование». *Ред.*

прибавил Степап Семенович и вслед затем, со свойственным ему мастерством, в ясных, сжатых чертах изложил содержание этой удивительной книги, показавшей нам органический мир в совершенно новом свете. Пользуясь случаем, чтобы в этих же стенах принести запоздалое покаяние перед тенью талантливого учителя, так как едва ли какое из многочисленных поколений его учеников принесло ему столько огорчений, как именно наше. Мы, помнится, вполне искренно считали его отсталым — и от этого-то отсталого старика слышали мы, почти вслед за ее появлением, первую трезвую, объективную оценку теории, своим новаторством приводившей в негодование людей, которых мы ему ставили в пример.

Я сказал: на этой памятной лекции перед нами развернулось совершенно новое мировоззрение, — но это выражение нуждается в оговорке. Дарвинизм, как и все в науке, не был, конечно, внезапным откровением, не вышел, как Минерва, из чела Юпитера, — он был только гениальным, двадцать лет продуманным ответом на запросы науки, на стремления, глухо таившиеся и бродившие в умах передовых представителей естествознания. По крайней мере, один из здесь присутствующих, наш уважаемый председатель, Андрей Николаевич Бекетов, мог бы смело предъявить одно свое литературное произведение, совпавшее с появлением книги Дарвина и доказывающее на какую подготовленную почву упало у нас это учение ¹.

Тридцать лет прошло со дня появления книги Дарвина. Казалось бы, все, что можно было сказать о ней и ее авторе, уже сказано. Оказывается, что нет, — оказывается, что это имя не сходит с уст мыслящих людей. Посмотрите председательские речи и целый ряд спе-

¹ Гармония в природе. «Русск. Вестник». 1860 г.

циальных сообщений на последнем съезде британской ассоциации; прочтите президентскую речь на международном в этом году съезде французской ассоциации — везде вы встретитесь с этим именем. Появившаяся в настоящем году блестящая и талантливая книга Уоллеса *Darwinism* представляет сжатый очерк теории во всеоружии вновь приобретенных фактов, а вышедшие в прошлом году автобиография и переписка возбуждают новый интерес к лицу. Особенно любопытно, что едва ли не наибольшее сочувствие пробуждается именно в той стране, которая почти враждебно отнеслась к учению при его первом появлении. Париж учреждает кафедру трансформизма ¹. Французские ученые, как бы желая загладить холодность приема, оказанного идеям отца, делают горячий, задушевный прием его сыну. Французская академия — не наук, а словесности — устами Ренана и Тэна приветствует и награждает премией перевод автобиографии и писем. И действительно, со страниц этой книги на нас смотрит, как живая, эта светлая личность, которую в нравственном отношении Гёксли не задумался сравнить с Сократом. Как бы в подтверждение этого сравнения, нашелся и Аристофан, с театральных подмостков бросивший в него обвинение, — старое, как свет, но неизменно действующее на толпу, — обвинение в повреждении нравов ².

Рядом с постоянно возрастающим успехом учения, слышатся, конечно, и возражения, делаются попытки выставить на вид его недостатки, указать на его неполноту. В настоящем случае я бы желал остановиться на одном общем возражении, разбор которого мне представляется особенно уместным, так как он даст нам повод к беглому обзору некоторых из самых характери-

¹ Называет даже именем Дарвина новую улицу.

² Альфонс Доде.

ческих направлений нашей науки; а именно в таких ретроспективных обзорах, по примеру западных образцов, и должны, мне кажется, состоять наши речи на этих заседаниях.

Общее возражение против дарвинизма, которое я имею в виду, высказывается и философами, каковы Гартман и Спенсер, и натуралистами, каковы Негели, Кооп (Cope), Жиар; останавливаясь на этих выдающихся именах, к которым я мог бы присоединить много других. Это обвинение сводится к упреку, что дарвинизм не дал нам, будто бы, того, что обещал.

Гартман, соглашаясь, что дарвинизм дает нам механическое, т. е. причинное, объяснение сохранения наиболее совершенных существ, прибавляет, что учение это не объясняет, как же возникли эти совершенные существа. Ту же мысль Кооп выставляет прямо в заголовке своей книги: *The origin of the fittest* (Происхождение наиболее приспособленного). «Дарвин и Уоллес,— говорит Кооп,— берутся объяснить «сохранение наиболее приспособленного»; их закон только ограничивает, сохраняет или истребляет нечто уже существующее. Я же пытаюсь раскрыть законы, по которым отбору доставляется этот материал, другими словами, раскрыть причины происхождения наиболее приспособленного». Сходные мысли встречаем и в толстой книге Негели, пытающегося дать свое объяснение эволюционному процессу, и у Спенсера в небольшой, как всегда прекрасно изложенной статье, носящей то самое название, которое я позволил себе воспроизвести в заголовке своей речи. Спенсер проводит мысль, что Дарвин и особенно дарвинисты впади в односторонность и, увлекшись учением об естественном отборе, если не проглядели, то не придали должного значения факторам не менее важным и в особенности влиянию среды.

Рассмотрим, основателен ли этот общий упрек. Действительно ли Дарвин неверно оценил значение этого фактора, входил ли в его задачу более подробный анализ этого фактора и, наконец, возможна ли какая-нибудь общая теория действия этого фактора? ¹

Но, прежде всего, установим, в чем заключается главная особенность учения, которое мы называем дарвинизмом.

Представим себе две сходные по внешнему виду картины: с одной стороны, густо заросший клочок земли, поражающий нас бесконечным разнообразием растительных форм и их окраски; с другой стороны — один из тех фантастических ландшафтов, которые мороз рисует на наших окнах. Во втором случае мы увидим те же травчатые узоры, напоминающие листья папоротника или пальмы, то же бесконечное сплетение самых причудливых форм, а станем их рассматривать в лучах поляризованного света, — и они вспыхнут такими цветами, с которыми, конечно, не сравнится игра всех красок растительного мира. Картины сходные, но как различен строй мыслей, вызываемых той и другой. Если бы, во втором случае, исследователь, исходя из основной формы кристалла льда, мог объяснить все разнообразные сочетания сложных, переплетающихся узоров, если бы, исходя из законов интерференции света, он мог объяснить все разнообразие цветов в любой точке этого

¹ Значение другого фактора — упражнения органов — я здесь не касаюсь, как не имеющего отношения к растению. Замечу только, что в этом направлении новейшие дополнители и совершенствователи дарвинизма — неоламаркисты и вейсманисты — взаимно уничтожаются. Первые желали бы упразднить дарвинизм в пользу ламаркизма, а вторые — своею поправкой дарвинизма доказывают невозможность ламаркизма. Одни только трезвый дарвинизм уделяет ламаркизму принадлежащее ему по праву место в науке.

пестрого ковра, он мог бы считать свою задачу разрешенной, — он обладал бы объяснением этих форм и их окраски. Но представим себе, что и ботаник мог бы в такой же мере проследить механизм образования форм, химический процесс образования составляющих их веществ, — почел ли бы он свою задачу разрешенной? Конечно, нет.

Перед ним оставалась бы еще другая задача, которой минералогия не знает. Кристалл представляет части, самое слово организм указывает, что его части — органы, т. е. орудия. Организмы суть тела орудийные, как выражались в старину. Но если слово организм включает понятие об орудии, то понятие об орудии предполагает понятие об употреблении, об отправлении, о служебном значении, или, как говорилось также в старину, о цели. Никому, конечно, не приходило в голову задаваться вопросом, для чего служат кристаллу его части, какое отправление исполняют те или другие комбинации кристаллических форм. Наоборот, ботаники все более и более убеждаются в бесплодности говорить о формах и частях растения, не имея в виду их ближайшего отправления. Еще недавно пытались смотреть на растение с двоякой точки зрения: с морфологической — как на форму, имеющую члены или части, и с физиологической — как на организмы, имеющие органы. Напомним, как сравнительно недавно и каким коренным образом изменились в этом направлении воззрения, например, Сакса.

Следовательно, деятельность ботаника, задающегося вопросом о происхождении растений, представляется по существу двоякой. Он должен объяснить, как, почему сложились эти формы и их части, и в этом его задача, пожалуй, сходна с задачей минералога; но вслед затем он должен объяснить, почему эти части — не

просто части, а орудия, а их обладатели — не просто формы, а организмы.

Между тем как по отношению к кристаллу исследователю никогда не приходила на ум мысль о приспособлении частей или целого к условиям существования, эта мысль о приспособлении преследует биолога, или, выражаясь точнее, руководит им решительно на каждом шагу. Если бы кто-нибудь задал себе труд статистически проверить, какое слово всего чаще за последнюю четверть века встречалось в устах биологов, то, я не сомневаюсь, оказалось бы, что это слово — приспособление, *adaptation*, *Anpassung*. В этом, несомненно, выражается влияние дарвинизма. Из двух задач, представляющихся биологу, т. е. объяснения возникновения форм и объяснения их приспособления, дарвинизм сосредоточился, главным образом, на труднейшей и, казалось, не разрешимой — на второй. Это ему даже ставится в укор. Роменз, например, выражается так: дарвинизм объяснил не происхождение видов, а приспособлений. На это ему возражали, что еще не доказано, чтобы все видовые признаки не были адаптивными или не находились в связи с таковыми. Но если бы дарвинизм объяснял только одни приспособления, то и тогда он оставался бы теорией происхождения организмов, т. е. всего того, что делает живые формы телами, исполняющими в целом и частностях известные отправления.

Итак, дарвинизм, прежде всего и главным образом, стремится объяснить ту именно черту, которая отличает живые формы от неживых, ту черту, которая заставляет называть их организмами. Спрашивается: четверть века исследований, произведенных в этом направлении, послужили ли подтверждением или опровержением этого стремления? Оправдала ли природа ис-

ходную точку дарвинизма или нет? Мне кажется, ответ может быть один. Те, кто лет 20—30 не заглядывали на страницы ботанических сочинений, были бы поражены, как изменилась вся физиономия науки, до чего возросло число новых приспособлений, открытых и ежедневно открываемых, начиная с внешних форм и кончая микроскопическими подробностями строения.

Одни из них, совершенно новые, явились результатом поисков, другие — и это факт еще более знаменательный — были известны давно, но затирались, замалчивались вследствие того, хорошо известного всякому, знакомому с историей биологии, отвращения, которое испытывали самые серьезные натуралисты при малейшем намеке на целесообразность в природе. Только дарвинизм, освободивший умы от этого отвращения ко всему, отзывавшемуся телеологией, спас от забвения целые категории фактов, прежде упоминавшихся разве как примеры заблуждения умов, погрязших в телеологии. Только создав новую, рациональную телеологию, дарвинизм мог победить этот научный предубеждение.

Попытаюсь представить краткий, беглый очерк успехов ботаники на этом пути раскрытия новых приспособлений, новых органов, новых функций. Вперед прошу снисхождения ботаников, так как им придется выслушать перечень давно знакомых фактов, но, как я сказал уже ранее, мне кажется, что на этих общих собраниях мы должны иметь в виду не специалистов, а тех, кто желал бы узнать, что творилось в последние годы за пределами избранной специальности.

Прежде всего констатируем общий факт, что целая отрасль нашей науки корейным образом изменила свой характер. Я разумею анатомию или гистологию растений. Еще недавно она руководилась исключительно

морфологическими принципами, видела в элементарных органах только формы. В настоящее время она видит в них не одни только формы, не геометрические факты, а прежде всего физиологические орудия. Переворот этот совершился в краткий, менее чем десятилетний промежуток, отделяющий появление «Физиологической анатомии растений» Габерланда от выхода в свет «Анатомии растений» Де-Бари. Как всякое нововведение, этот переворот во взглядах был встречен недоверчиво, почти враждебно, но победа осталась, несомненно, на стороне нового направления. Теперь гистолог не довольствуется одним наблюдением того или другого строения у различных существ (пусть сравнительно-анатомический) или на различных стадиях развития того же существа (пусть эмбриологический), он доискивается его смысла, его физиологического значения и, где может, дополняет свои наблюдения опытом. Приведу один пример, укажу на факт недавнего раскрытия физиологической функции микроскопического органа, более чем два века известного ботаникам. Я разумею так называемые окаймленные поры, особенно характерично выраженные в древесине наших хвойных. Кто их не видал? Их можно узнать уже на рисунках Мальпиги. На них показывали свое искусство все корифеи анатомии в настоящем столетии — Моль, Шлейден, Шахт, Санио, Страсбургер и др.; с них же начинается свои упражнения каждый учащийся. Я примерно высчитал, что за двадцать лет своей педагогической практики видел этот объект, по крайней мере, на 10 000 препаратов. Сколько же миллионов раз проходил он перед глазами ботаников, учащихся и учащихся всех времен и народов? И, однако, только в 1884 г. профессор Руссов объяснил физиологическое значение этого органа и только в прошлом году Папенгейм доказал на опыте верность этого

ходную точку дарвинизма или нет? Мне кажется, ответ может быть один. Те, кто лет 20—30 не заглядывали на страницы ботанических сочинений, были бы поражены, как изменилась вся физиономия науки, до чего возросло число новых приспособлений, открытых и ежедневно открываемых, начиная с внешних форм и кончая микроскопическими подробностями строения.

Одни из них, совершенно новые, явились результатом поисков, другие — и это факт еще более знаменательный — были известны давно, но затирались, замалчивались вследствие того, хорошо известного всякому, знакомому с историей биологии, отвращения, которое испытывали самые серьезные натуралисты при малейшем намеке на целесообразность в природе. Только дарвинизм, освободивший умы от этого отвращения ко всему, отзывавшемуся телеологией, спас от забвения целые категории фактов, прежде упоминавшихся разве как примеры заблуждения умов, погрязших в телеологии. Только создав новую, рациональную телеологию, дарвинизм мог победить этот научный предубеждение.

Попытаюсь представить краткий, беглый очерк успехов ботаники на этом пути раскрытия новых приспособлений, новых органов, новых функций. Вперед прошу снисхождения ботаников, так как им придется выслушать перечень давно знакомых фактов, но, как я сказал уже ранее, мне кажется, что на этих общих собраниях мы должны иметь в виду не специалистов, а тех, кто желал бы узнать, что творилось в последние годы за пределами избранной специальности.

Прежде всего констатируем общий факт, что целая отрасль нашей науки коренным образом изменила свой характер. Я разумею анатомию или гистологию растений. Еще недавно она руководилась исключительно

морфологическими принципами, видела в элементарных органах только формы. В настоящее время она видит в них не одни только формы, не геометрические факты, а прежде всего физиологические орудия. Переворот этот совершился в краткий, менее чем десятилетний промежуток, отделяющий появление «Физиологической анатомии растений» Габерланда от выхода в свет «Анатомии растений» Де-Бари. Как всякое нововведение, этот переворот во взглядах был встречен недоверчиво, почти враждебно, но победа осталась, несомненно, на стороне нового направления. Теперь гистолог не довольствуется одним наблюдением того или другого строения у различных существ (пусть сравнительно-анатомический) или на различных стадиях развития того же существа (пусть эмбриологический), он доискивается его смысла, его физиологического значения и, где может, дополняет свои наблюдения опытом. Приведу один пример, укажу на факт недавнего раскрытия физиологической функции микроскопического органа, более чем два века известного ботаникам. Я разумею так называемые окаймленные поры, особенно характерично выраженные в древесине наших хвойных. Кто их не видал? Их можно узнать уже на рисунках Мальпиги. На них показывали свое искусство все корифеи анатомии в настоящем столетии — Моль, Шлейден, Шахт, Санио, Страсбургер и др.; с них же начинается свои упражнения каждый учащийся. Я примерно высчитал, что за двадцать лет своей педагогической практики видел этот объект, по крайней мере, на 10 000 препаратов. Сколько же миллионов раз проходил он перед глазами ботаников, учащихся и учащихся всех времен и народов? И, однако, только в 1884 г. профессор Руссов объяснил физиологическое значение этого органа и только в прошлом году Папенгейм доказал на опыте верность этого

объяснения. Оказалось, что эти окаймленные поры можно уподобить фильтрам химиков, но гораздо более совершенным, так как они действуют в обе стороны и, притом, пока давление слабо — как простые фильтры, а когда давление в клетках возрастает — автоматически превращаются в подобия фильтров с платиновыми конусами, которые химики употребляют при фильтрации под значительным давлением. Спрашивается, почему ранее не явилось попытки, повидимому, не обнаруживалось даже потребности, объяснить себе значение так широко распространенного образования? Не благодаря ли исключительно морфологическому складу мышления гистологов? Увидеть, сравнить, проследить развитие, описать, срисовать — не исчерпывалась ли этим в былое время его задача? Мысль же о том, что в малейшей черте строения мы вправе видеть не замысловатую только фигуру, а орудие, служащее известным отправлениям, — эта мысль, очевидно, новейшего происхождения, и внушена она дарвинизмом.

Наш беглый обзор открытых наукой новых приспособлений растения мы начнем, как делают систематики, с корня и окончим семенем.

В корне, конечно, всегда видели орган прикрепления к почве и извлечения из нее пищи, но сколько новых подробностей, направленных к более совершенному отправлению этой двоякой функции, открыли последние десятилетия! Прежде всего, корень прорастающего семени для того, чтобы пробивать себе путь в почве, должен иметь точку опоры, иначе своим ростом он будет только выталкивать семя наружу. Эту точку опоры ему сообщают волоски, срастающиеся с частицами почвы. Таким образом, помимо функции всасывания пищи из почвы, мы открываем в волосках еще механическую функцию, — они служат как бы якорем. Соответственно

этому, Бриози у целого ряда растений, в особенности у эвкалиптов, нашел особый орган — густое кольцо волосков, наподобие старинной фрезы, обхватывающих шейку корня и с первых же моментов прорастания дающих растеньицу прочную точку опоры. В менее резкой степени подобное приспособление встречается у многих растений. Нередко подобную же функцию играют слизистые волоски, развивающиеся из оболочек самых семянков и плотно слипающиеся с частицами почвы. Кроме давно известного движения корня, направляющего его в его естественную среду — почву, мы узнали еще много других целесообразных движений растущей верхушки корня. Она направляется из более сухой в более влажную среду, из более теплых поверхностных в более прохладные глубокие слои почвы; наконец, встречая какое-нибудь раздражение, механическое или химическое, кончик корня представляет так называемое Дарвиново движение, т. е. уклоняется в сторону от раздражающего тела. Не менее поразительны движения корня, представляющие явление, как бы обратное росту, т. е. зависящие от его укорачивания. Мы видели, что точкой опоры в почве, как бы якорем, на котором держится молодой корень, служит пояс, покрытый волосками, прилипающими, прирастающими к частицам почвы. Но этот пояс волосков с ростом подвигается вперед; на более старых частях волоски отмирают. Если молодая растущая часть корня получает в поясе волосков точку опоры, опираясь на которую, она проталкивается вперед между частицами почвы, то части более старые, нередко сокращаясь, притягиваются к этому якорю и втягивают за собой в почву надземные стеблевые части. Этот механизм имеет большое значение. Зимующие стеблевые почки зарываются, таким образом, в землю и предаются зимней спячке,

не подвергаясь опасностям от непогоды. Это явление, замеченное первый раз у моркови и тщательно изученное у клевера, представляется особенно поразительным у ежевик, побеги которых как бы гигантскими стежками протегивают почву, каждую зиму сохраняя верхушечную почку под землею для того, чтобы весною выйти снова на свет.

Во внутреннем анатомическом строении корней исследование раскрыло много любопытных приспособлений, но их описание неудобно без пояснительных рисунков.

Роль стебля, как известно, главным образом, архитектурная: это — твердый остов всей постройки, несущий шатер листьев и в толще которого, подобно водопроводным трубам, заложены сосуды, проводящие соки.

И действительно, благодаря Швенденеру и его школе, именно на стеблях узнали мы целый ряд поразительных фактов, доказывающих, что они построены по всем правилам строительного искусства. Учение Швенденера о так называемых механических тканях положило основание указанному выше физиологическому направлению анатомии растений. Прежде всего Швенденер показал, что материал, из которого построены эти ткани, мало уступает кованому железу — факт, замечу мимоходом, получающий подтверждение и с совершенно противоположной стороны — в изготовлении вагонных колес из бумажной массы. Затем Швенденер показал, что распределение этих тканей меняется соответственно с меняющейся механической задачей, но всегда соответствует архитектурным требованиям данного случая, оказывая наиболее выгодное сопротивление изгибу, излому, растяжению и т. д. Так, например, в стебле, соответствующем по значению колонне, задача иная,

чем в корне, который можно уподобить снастям, удерживающим мачту,— и в том, и в другом случае распределение элементов соответствует данной задаче, причем оказывается, что это распределение управляется не морфологической природой органа, а физиологической потребностью. Так, например, когда стебель поступает в условия существования корня, т. е. становится подземным корневищем, соответственно изменяется и распределение тканей.

Не менее обогатились мы сведениями относительно другой функции стебля — проведения соков. Вопреки странной мысли Сакса, отрицавшего и продолжающего отрицать в сосудах то, чем они должны с первого взгляда представляться всякому непредубежденному уму, т. е. водопроводные трубки, за ними, несомненно, признана эта роль. Их действие в значительной степени уподобляется действию обыкновенных насосов, так как заключенный в них воздух периодически разрежается.

Не в одной только области внутреннего строения стеблей раскрыла наука новые приспособления. Внешние формы выющихся и лазающих растений, опять с легкой руки Дарвина, стали предметом многочисленных исследований, раскрывших много любопытных частных особенностей, основная же польза этой формы стеблей для их обладателей очевидна: благодаря ей, растение при незначительной трате строительного материала в состоянии поддержать и вынести на свет значительную поверхность листьев.

Переходим к этим самым типическим органам растения,— органам, в которых выражается основной характер растительной жизни — способность жить на счет атмосферной углекислоты и солнечной энергии.

Несомненно, к числу наиболее широко распространенных особенностей растений должно отнести их

зеленый цвет. Уоллес, в своей недавно появившейся книге, категорически высказывает мысль, что в этом цвете мы не можем видеть физиологического приспособления, как мы видим, например, в окраске цветов и плодов. Зеленый цвет растений, по мнению Уоллеса, такой же простой физический факт, как и цвет, например, драгоценных камней. Но мы знаем, что это неверно, мы знаем, что в зеленом цвете должно видеть едва ли не одно из самых поразительных приспособлений растения. Характеристический цвет листьев, т. е. хлорофилла, зависит от поглощения известных лучей света, — тех лучей, которые, оказывается, обладают наибольшею энергией¹. Из бесчисленных световых волн, проникающих на дно нашей атмосферы, растение поглощает именно те, которые по своей энергии особенно способны вызывать разложение углекислоты, составляющее функцию хлорофилла. Еще десять лет тому назад, на последнем съезде в Петербурге*, я высказывал эту мысль, как вероятное предположение. С тех пор, благодаря физическим исследованиям Ланглея и Абнея, предположение это стало несомненным фактом.

В листе мы встречаемся с двумя функциями: с процессом одновременного усвоения углерода и солнечной энергии и с процессом испарения воды. Эти две функции полезны в весьма различной степени, находятся в различных отношениях к внешним деятелям, откуда становится понятным, как сложно могут переплетаться между собою приспособления в этих двух, можно ду-

¹ Факт этот был подвергнут сомнению Энгельманом, но эти сомнения основываются только на недостаточном знакомстве Энгельмана с физической литературой.

* Ср. речь К. А. на VI съезде русских естествоиспытателей и врачей «О физиологическом значении хлорофилла». [См. Сочинения, том I, стр. 343. *Ред.*]

мать, порою антагонистических направлениях. Для растения выгодно возможно полно утилизировать падающий на него свет, но, в то же время, ему выгодно, по возможности, оградить себя от излишнего, убыточного для него, порою прямо грозящего его жизни, испарения.

На первом плане, конечно, стоит функция улавливания солнечных лучей для утилизации их в процессе разложения углекислоты; отсюда — целый ряд приспособлений, направленных к тому, чтобы зеленая поверхность эксплуатировала солнечный свет самым выгодным образом. Здесь, прежде всего, обращают на себя внимание крайне простые, но в высшей степени любопытные факты, удачно сопоставленные в последнее время Луббоком и Кернером, касательно положения, форм и размеров листьев — того, что Кернер называет «листовою мозаикой». Оказывается, как это, впрочем, высказывали и ранее (между прочим, А. Н. Бекетов), что листовые поверхности в горизонтальной проекции плотно примыкают одна к другой, не оставляя просветов, но и не затеняя друг друга.

Рядом с этими очевидными приспособлениями для возможно полного использования света мы встречаем и другие, направленные, можно думать, к совершенно обратной цели — к уклонению от интенсивной инсоляции. И это станет нам понятно, когда мы вспомним о другом отпирвлении листа, об испарении воды.

Какую роль играет процесс испарения в экономии растения? Является ли он безусловно необходимым процессом или только неизбежным злом, результатом условий существования? На эти вопросы едва ли можно дать вполне удовлетворительный ответ. Во всяком случае, в тех размерах, в каких оно часто проявляется, испарение приносит несомненный вред, определяя самую возможность или невозможность растительной

жизни при данных климатических и почвенных условиях. Отсюда понятно, что большая часть приспособлений в этом направлении имеет характер оборонительный, характер скорее защиты от возможного вреда, чем обеспечения возможной пользы. Эти меры защиты от убыточного испарения выражаются, как мы давно знаем, с одной стороны, в уменьшении испаряющей поверхности листьев, порою до ее полного уничтожения, как в кактусах и молочаях, и еще более, как мы также давно знаем, в химическом превращении вещества стенки у клеточек кожицы и пробки. Благодаря последнему приспособлению, эти ткани, подобно нашей клеенке или каучуковой одежде, облекают растение покровом, почти непроницаемым для воды и водяного пара и, следовательно, сдерживающим испарение. Но здесь, очевидно, сталкиваются два противоположных интереса растения: если поверхность листьев будет непроницаема для воды и газов, то будет понижена способность получать необходимую углекислоту из атмосферы; если же эта поверхность будет проницаема, то растение погибнет от испарения, как погибают вынутые из воды водяные растения, почти лишенные этого приспособления. Компромисс между этими двумя противоположными потребностями растения достигается, как известно, присутствием, среди малопроницаемой кожицы, отверстий, известных еще первым анатомам устьиц. В строении, распределении и механизме этих давно известных микроскопических органов последнее десятилетие (опять благодаря почину основателя физиологической анатомии — Швенденера) открыло целый ряд поразительных приспособлений. Привожу для примера одно из самых совершенных. Растению, конечно, всего опаснее испарять воду, когда ему уже грозит недостаток в ней, и, наоборот, безразлично тратить ее,

когда она находится в избытке, — и вот Швенденер обнаруживает нам в устьицах крайне простой и остроумный автоматический клапан, раскрывающийся, когда растение переполнено водой, и закрывающийся, когда оно начинает страдать от ее недостатка, т. е. начинает завядать. Интенсивность испарения зависит от целого ряда внешних факторов, и для противодействия почти каждому из них растение выработало специальные приспособления. Сухость воздуха, ускоряющая испарение, вызывает у многих растений свертывание листовой пластины в трубку, устьицами внутрь, и тем уменьшает поверхность испарения. Ветер, по наблюдению Визнера, значительно ускоряет испарение; для противодействия этому устьица оказываются погруженными в углубления, защищаемые волосками, задерживающими движение воздуха по поверхности листа. Наконец, одним из важнейших факторов является солнечный свет, поглощаемый зелеными поверхностями листьев и вызывающий их нагревание. Французские ботаники предложили для этого процесса специальный термин — хлоровапоризации. В борьбе с этим фактором лист, очевидно, должен избегать сильного освещения, и здесь-то мог бы всего резче обнаружиться антагонизм между двумя его функциями — разложением углекислоты и испарением.

Для ослабления влияния инсоляции на испарение, растение обнаруживает два рода приспособлений, выражающихся в изменении темного зеленого цвета поверхностей и изменении положения листовой пластины. Первого рода приспособление достигается белым восковым налетом, опушением или, наконец, целым войлоком волосков, благодаря чему зеленый цвет приближается к белому, т. е. значительная часть лучей отражается, — словом, достигается тот же результат,

который мы имеем в виду, предпочитая летом светлые цвета в своей одежде. Второе приспособление осуществляется двояко: или постоянным положением листа, обращенного не плоскостью, а ребром к зениту, как, например, у австралийских акаций и у еще более поразительного растения-компаса, располагающего свои листья вертикально по меридиану, или периодически движениями листочков некоторых сложных листьев, принимающих это вертикальное положение только в полуденные часы.

Приспособления эти, особенно изменяющие цвет листа, очевидно, очень занимали Дарвина в последние годы его жизни. Я хорошо помню, что, показывая мне свою тепличку, он не раз задавал мне вопрос: «Ну, что вы, ботаники, думаете об этом приспособлении, для чего оно служит?» Конечно, я мог ответить только то, что ответил бы любой ботаник, что это — приспособление для ослабления испарения. Но неудовлетворительная неполнота ответа уже и тогда бросалась в глаза. Если при помощи этих приспособлений, ослабляя проникающий в него свет, растение ослабляет испарение листа, то можно подумать, что оно в такой же мере будет ослаблять и зависящее от света разложение углекислоты, и тогда в итоге едва ли может оказаться большая польза. Что бы сказали мы, например, о человеке, который обеспечил бы себя обильным питьем в ущерб пище? Но оказывается, что такого антагонизма между двумя функциями листа — испарением и питанием — на деле не существует. Оказывается, что растение для максимального разложения углекислоты не нуждается в таком количестве света, которое соответствует непосредственной инсоляции в летние полуденные часы, даже в наших широтах. От половины до трети этого количества почти достаточно для получения максималь-

ного химического действия; значит, весь избыток, бесполезный в смысле питания, по отношению к испарению прямо вреден. Только исходя из этого закона, мы можем вполне понять значение вертикального положения листьев. Воспользовавшись актинометрическими наблюдениями Крова, которые я сам имел случай повторять, я сделал примерные вычисления и получил любопытный результат, что обращенные ребром к зениту листья, спасаясь от палящих полуденных лучей, в дневном итоге ничего не теряют от этого положения в смысле разложения углекислоты, а все выигрывают в смысле понижения испарения. Вероятно, в этом лежит польза вертикального положения многих листьев и объясняется разгадка этих, лишенных тени, австралийских лесов, о которых так часто упоминают путешественники. Таким образом, исчисленными приспособлениями самым поразительным способом примиряются, с первого взгляда, казалось бы, непримиримые, антагонистические потребности растения ¹.

Рядом с понятием о нормальном питании зеленых листьев возникло — уже исключительно под влиянием Дарвина — новое представление о так называемых насекомоядных растениях. Не стану распространяться о них — кто о них не слышал, до кого не доходили эти поразительные факты? Замечу только, что пример насекомоядных растений нагляднее всего показывает, как радикально, благодаря Дарвину, изменилось воззрение на это явление, упоминая о котором, в течение целого века только скептически пожимали плечами. Еще в исходе 60-х годов Дюшартр мог высказывать та-

¹ Изложенное здесь основывается на моих исследованиях, доклад о которых был представлен на секции ботаники. [См. Сочинения, том X, а также «Космическую роль растения» в I томе Сочинений. *Ред.*]

кое мнение: «Эллис и Куртис не боялись утверждать, что схваченное мухоловкой насекомое служит ей пищей, а последний ученый даже утверждал, что пойманное насекомое обволакивается какою-то слизью, способствующей растворению и всасыванию этой пищи. Но эта мысль до того противоречит всему, что мы знаем о функции листа и питании растения, что *даже не заслуживает серьезного обсуждения*». Через сто лет после открытия Эллиса считали неуместным даже входить в обсуждение так тщательно и верно изученного им факта, а теперь, через десять лет после исследования Дарвина, мы насчитываем уже до 30 насекомоядных растений. Не обнаруживается ли в этом коренное, вызванное дарвинизмом, изменение в самом складе умов? То, от чего систематически отворачивались, как от непонятного, чудесного, теперь так же систематически разыскивают, и поиски неизменно речнаются успехом.

От листьев переходим к цветам. В этой области, за последнюю четверть века, благодаря Дарвину, картина еще более изменилась; здесь мы встречаем стройную совокупность фактов, по справедливости называемую физиологической теорией цветка. Во всех частях цветка, еще так недавно слывших несущественными, простыми украшениями, мы теперь видим ряд приспособлений, изумительных по своей целесообразности и отчетливости действия. И на этот раз, как и в примере насекомоядности, много фактов было давно известно и верно понято, но до появления дарвинизма они оставались в стороне от главного течения науки. Кто не читал, кто не слышал о тех просто озадачивающих наблюдателя приспособлениях, которые вынуждают нас видеть в формах, окраске, запахе цветов лишь средства для привлечения насекомых и обеспечения при их содействии полезного растению перекрестного

оплодотворения? Немного найдется биологических учений, опирающихся на такой подавляющий ряд самых тщательных свидетельств. Д'Арси Томсон, переводчик известного сочинения Германа Мюллера, еще в 1883 г. насчитывал 825 специальных исследований по этому вопросу. Теперь (1889 г.) это число, конечно, далеко превосходит тысячу. Но едва ли еще не лучшим доказательством прочности этого учения служат неудачные попытки его опровержения, как, например, попытка Бонье, в свое время разбитая на всех пунктах Германом Мюллером. И действительно (как в этом сознаются и беспристрастные соотечественники Бонье), нужно удивляться, что такой серьезный ученый мог выступить с такою жалкою аргументацией: одни из его возражений просто поражают своею несообразностью, другие не касаются вопроса, наконец, третьи оказались фактически неверными. Конечно, я не имею возможности привести хотя бы самые выдающиеся примеры для иллюстрации этого учения, — да это едва ли необходимо, так как многие относящиеся сюда факты, наравне с насекомоядными растениями, пользуются широкою известностью. Перечислю только основные категории аргументов, на которые опирается современная теория цветка. Растения, опыляемые ветром, имеют, в общей сложности, цветы мелкие, невзрачные; цветы, оплодотворяемые насекомыми, в подавляющем большинстве случаев снабжены яркими покровами, пахучи, содержат нектар. Самые покровы большинства цветов представляют органы, построенные непрочно, с малою затратой строительного материала, и потому эфемерные, появляющиеся и исчезающие только в период оплодотворения, между тем как, например, покровы лучевых цветов в соцветиях сложноцветных сохраняются и по оплодотворении, так как служат приманкой для позднее рас-

пускающихся цветов в диске. Бесчисленный ряд замысловатых, специально приспособленных форм цветка, равно как и явления ди- и триморфизма, тщательно изученные экспериментальным путем, решительно не допускают иного толкования, кроме данного Дарвином и его последователями. Все это подтверждается прямыми опытами, показывающими, что цветы с удаленными покрывами уже не посещаются насекомыми в такой мере, как посещаются цветы, снабженные покрывами. Но едва ли где значение покровов выступает с такою очевидностью, как у растений, приносящих цветы двоякого рода: одни — летние, с яркими покрывами, *открытые* для посещения насекомых, и другие осенние, невзрачные, *закрытые*, подлежащие самооплодотворению. Растения эти, очевидно, выработали летние цветы, приспособленные для получения при посредстве перекрестного опыления более могучего поколения, но, на случай неудачи этого более сложного процесса, обеспечили себя и потомством, полученным более верным процессом самооплодотворения, так как, очевидно, лучше иметь какое бы то ни было потомство, чем остаться вовсе без потомства.

Переходя от цветов к плодам, мы встречаемся с не менее изумительными и широко распространенными, но еще далеко не в такой степени изученными приспособлениями. На первом плане стоят приспособления для широкого обсеменения при посредстве механического разбрасывания, рассеивания ветром или разноски животными. Растрескивающиеся, взрывающиеся плоды, летучки, хохолки, приценки, яркие съедобные околоплодники — вот простые основные мотивы этих приспособлений, поражающие бесконечным разнообразием вариаций, точностью выполнения и целесообразностью распределения у различных растений. Кры-

латки,— как замечает Луббок,— встречаются у крупных древесных форм, потому что, только падая с значительной высоты, они могут исполнять свою роль парашюта. Для низкорослых форм полезнее хохолки, которые легко подхватываются ветром, или прицепки, хватающиеся за шерсть одинакового с ним роста животных. Прицепки эти бесконечно разнообразны по форме, начиная с «цепкой череды» и кончая грозными плодами *Harpagophyton*, как уверяют, убивающими льва. Плоды мясистые, пожираемые животными, представляют не менее удивительные подробности: они обыкновенно становятся привлекательными только в зрелом состоянии, когда развившиеся твердые семенные оболочки или внутренние части плода делают безопасным прохождение семени через пищеварительный канал животного. Выброшенные с извержением животных семена, прорастая, находят вокруг себя богато удобренную почву. Таким образом, природа предвосхитила мысль тех агрономов, которые предлагали вносить в почву удобрения, обволакивая ими семена, так как этим достигалось бы самое экономное и рациональное их распределение.

Но недостаточно только разбросать семена, их нужно еще заделать в землю, и вот, соответственно новой задаче, является новый ряд, решительно озадачивающих своей простотой и точностью исполнения, механизмов для самозарывания. Едва ли не во главе их стоит изумительный, так тщательно изученный Франсисом Дарвином, механизм самозарывания снабженных длинным пером зерновок нашего степного ковыля.

Пожалуй, еще замысловатее те удивительные приспособления, которые обеспечивают участь паразитных растений, например, у омелы и родственных ей растений. У самой омелы, как известно, семена, раз-

брасываемые с испражнением птиц, прилипают к стволам и ветвям благодаря присутствию особого клейкого вещества — висцина. У соседнего ей рода — семена разносятся не птицами, а выстреливаются на расстояние нескольких футов, прилипая к предмету, о который ударяются. У другого — плоды снабжены тремя длинными придатками, которыми, как руками, охватывают ветвь своей жертвы. Наконец, у третьего рода прильнувшее семя пускает корешок, который, если не найдет удобной почвы, упирается дугой и, выпрямляясь, открывает липкое семя и перебрасывает его на новое место, шагая, таким образом, несколько раз, пока не найдет удобного места для прорастания; так иногда семя сползает с листьев на ветви, где и присасывается.

Как по отношению к оплодотворению мы видели запасливость растения, выраженную в двоякого рода цветах, приспособленных к более полезному, перекрестному и более обеспеченному самооплодотворению, так и по отношению к обсеменению рядом со стремлением к завоеванию возможно широкой площади мы встречаем приспособления для более верного сохранения за потомством уже завоеванного клочка земли. Отсюда целый ряд плодов, которые, не теряя связи с материнским растением, тут же у ног его зарываются в землю. Таков тщательно исследованный Дарвином механизм одного клевера (*Trifolium subterraneum*), в своих движениях, можно сказать, подражающий кроту. Примеры таких плодов известны уже в нескольких, притом далеко отстоящих в систематическом отношении семействах. В большей части случаев подобные растения приносят оба рода плодов — воздушные и зарывающиеся в землю, — причем в плодах воздушных семена многочисленны и мелкие, а в подземных их мало, чаще

одно, крупное. Значение этого факта понятно: скученные в одной точке под землей растения только напрасно гибли бы, и вот мы видим, что растение завещает завоеванный клочок наиболее упитанному, выхоленному детищу, а других пускает искать счастья на все четыре стороны. Боюсь, как бы практические *struggleforlifer*'ы¹ не вывели из этих фактов, что дарвинизм санкционирует учреждение майората!

Наконец, в организации самого семени, в особенности его оболочек, можно найти целый ряд целесообразных строений, какова, например, наличность в очень многих семенах особой разбухающей ткани, превращающейся в слизь, которая обеспечивает на первых порах росток необходимою для него влагой и т. д., но сюда относящиеся факты также не поддаются краткому описанию без необходимых пояснительных рисунков.

Мы завершили обычный цикл растительной жизни, но этим далеко не исчерпывается число самых замечательных приспособлений, открытых за последние годы в растительном мире. Стоит произнести слово *симбиоз* — слово такого еще недавнего происхождения, — чтобы перед нами развернулась картина еще более удивительных явлений союза или ассоциации живых существ, принадлежащих к различным царствам природы, и основанного на взаимности интересов, на обоюдной пользе этого сожития. Упомянем только о первом, ошеломившем ботаников, открытии Швенденера и Де-Бари, что целый обширный класс лишайников вычеркивается из списков, как не представляющий самостоятельных организмов, а лишь союз гриба с водорослью, и об одном из новейших открытий в этой области, о блестящем исследовании Гельригеля, касающемся

¹ Безграмотное английское слово, состряпанное Альфонсом Доде для вящего уязвления дарвинизма.

симбиоза между мотыльковыми растениями и бактериями,— симбиоза, обеспечивающего мотыльковые растения недоступным, по видимому, для других растений источником азота.

Приведенный краткий перечень, который ботаники, без сомнения, пополнили бы почти бесчисленными, не менее красноречивыми фактами, я надеюсь, покажет не ботаникам, как расширился за последнюю четверть века круг приспособлений, открытых в растениях, начиная с внешних форм и окраски и кончая микроскопическим строением клеточной стенки. Обращу внимание только на два обстоятельства. В этом беглом очерке мы заглянули почти во все уголки растительной жизни и останавливались не на единичных случаях, а лишь на целых группах однородных фактов, на целых новых направлениях научного исследования, плодотворно обработанных и ожидающих еще многого от будущей работы. Я полагаю также, едва ли можно сомневаться, что в этих успехах науки, во всех этих новых направлениях научного исследования прямо или косвенно отразилось влияние дарвинизма. Как будто стоило только Дарвину высказать мысль, что понятно в природе только полезное, и эти полезные приспособления десятками и сотнями стали всплывать перед изумленным наблюдателем¹.

Итак, едва ли можно сомневаться, что развитие науки за четверть века блистательно подтвердило вер-

¹ Многим до сих пор непонятна строгая логическая связь между теорией Дарвина и всею его последующею научною деятельностью, представлявшей только приложение его теории к практике, т. е. к исследованию природы. Эти специальные работы, в свою очередь, послужили примером для почти бесчисленных исследований. Дарвин сам неоднократно и вполне определенно высказывал эту мысль. Так, предлагая Муррею свою

ность точки отправления дарвинизма. Но теперь ему предъявляют новое требование: это учение, говорят, объясняет нам сохранение полезных форм, а мы желаем знать их происхождение; дайте нам объяснение, настоящее, физическое объяснение, первоначального возникновения этих форм. Дарвинизм не дает этого объяснения. Но, мне кажется, *он и не может и не должен давать его*. Оно лежит за пределами его задачи.

Дарвинизм задается одною общею для всех организмов задачей — раскрыть такой исторический процесс их образования, который прежде всего объяснял бы нам их коренную, основную черту — их целесообразность, и для этой общей задачи дает общее разрешение — естественный отбор. Первою посылкой, на которую опирается это разрешение, является факт изменчивости существ; он принимается этою теорией за данный. Но теперь предъявляют требование глубже анализировать этот исходный фактор. Требование законное, но предъявляемое не по надлежащему адресу. От всякой теории должно требовать только того, что она дает. Дарвинизм

монографию об орхидеях, он, между прочим, писал: «Она, быть может, послужит иллюстрацией, как следует работать в естественной теории с точки зрения учения о превращении видов». Его сын Франсис совершенно верно замечает по этому поводу: «Одна из главных заслуг, оказанных естествознанию моим отцом, заключается в пробуждении к новой жизни телеологии». «Эволюционист изучает значение и смысл органов с увлечением старинной телеологии, но задача его представляется более широкой и связной. Им руководит бодрящее убеждение, что он приобретает не отрывочные факты, касающиеся лишь экономии природы в настоящем, а связное представление об ее настоящем и ее прошлом». В одном из своих последних писем к Дайеру сам Дарвин выражается еще определеннее: «Многие немцы презрительно относятся к попыткам раскрывать значение органов; но они могут потешаться сколько им угодно, — я останусь при своем убеждении, что это самая интересная часть естественной истории».

не может отвечать на то, как и почему изменялись органические существа, *потому что такой общей задачи, такого общего ответа нет и быть не может. Таких задач несметное число и отвечать на них призван не дарвинизм, учение общебиологическое, а экспериментальная физиология.* Дарвинизм не может ответить на все эти частные вопросы, но, в свою очередь, и все частные исследования, допустив даже, что при их помощи удалось бы со временем вполне выяснить физический процесс образования форм, не дадут ответа на тот общий вопрос, на который отвечает дарвинизм. В этом смешении двух задач и двух различных методов и кроется недоразумение, побуждающее новых критиков делать Дарвину незаслуженный упрек, что он недостаточно оценил действие фактора изменчивости.

Упрек этот вдвойне неверен. Во-первых, ни один натуралист до него не собрал такого свода фактов, касающихся изменчивости организмов, как это сделал Дарвин в своем сочинении «Прирученные животные и культурные растения», а во-вторых,— неверно, что он не отводил этому фактору должного места. Он только не придавал ему того значения, которое так безуспешно желают придать ему Негели и другие неудачные критики дарвинизма. Мысль эта ясно и определенно выражена у него уже на второй странице введения его знаменитой книги. Он говорит: не трудно притти к заключению, что органические существа произошли одни от других, но этого далеко не достаточно. «*Всякое подобное заключение, даже если б оно было прочно обставлено, было бы неудовлетворительно, пока не было бы доказано, что бесчисленные виды, обитающие нашу землю, изменялись именно таким образом, что приобретали то совершенство строения и взаимного приспособления, которое справедливо приводит нас в восхищение.*

Натуралисты постоянно ссылаются на внешние условия, каковы климат, пища и пр., как на единственную возможную причину изменчивости. *В известном ограниченном смысле это, может быть, и верно, как мы увидим далее, но было бы нелепо (preposterous) приписывать действию одних внешних условий такие строения*, как вся организация дятла или омелы.

Следовательно, с первых же строк своей книги Дарвин принимает в разумном смысле влияние среды, не задумывается он только называть «нелепыми» попытки при помощи одного этого фактора объяснять целесообразное строение организмов. А именно попыткам этого рода предаются вновь Негели и некоторые другие критики дарвинизма, — попыткам упразднить или свести на *minimum* значение естественного отбора и объяснить совершенство организмов непосредственным целесообразным воздействием одних внешних и еще более темных внутренних факторов¹. Прочтите третью главу пресловутой книги Негели, прочтите появившийся в прошлом году целый томик Генсло «О происхождении цветка» — и на вас пахнет чем-то затхлым, каким-то давно исчезнувшим из обихода науки праздным выдумыванием невозможных объяснений. Обратите, например, внимание, у Негели на неведомые притяжения и отталкивания половых элементов, заставляющие их располагаться то в два яруса у диморфных, то в три яруса у триморфных цветов, или у Генсло на эти голословные притекания пластических соков к нижней губе венчика, под влиянием топчущихся на ней, и к верхней губе, под влиянием долбящих в нее лбом насекомых, и вам невольно захочется повторить с Дарвином: *preposterous!*

¹ Любопытно, что у Негели в качестве внутреннего фактора фигурирует пища.

не может отвечать на то, как и почему изменялись органические существа, потому что такой общей задачи, такого общего ответа нет и быть не может. Таких задач несметное число и отвечать на них призван не дарвинизм, учение общебиологическое, а экспериментальная физиология. Дарвинизм не может ответить на все эти частные вопросы, но, в свою очередь, и все частные исследования, допустив даже, что при их помощи удалось бы со временем вполне выяснить физический процесс образования форм, не дадут ответа на тот общий вопрос, на который отвечает дарвинизм. В этом смешении двух задач и двух различных методов и кроется недоразумение, побуждающее новых критиков делать Дарвину незаслуженный упрек, что он недостаточно оценил действие фактора изменчивости.

Упрек этот вдвойне неверен. Во-первых, ни один натуралист до него не собрал такого свода фактов, касающихся изменчивости организмов, как это сделал Дарвин в своем сочинении «Прирученные животные и культурные растения», а во-вторых, — неверно, что он не отводил этому фактору должного места. Он только не придавал ему того значения, которое так безуспешно желают придать ему Негели и другие неудачные критики дарвинизма. Мысль эта ясно и определенно выражена у него уже на второй странице введения его знаменитой книги. Он говорит: не трудно притти к заключению, что органические существа произошли одни от других, но этого далеко не достаточно. «Всякое подобное заключение, даже если б оно было прочно обставлено, было бы неудовлетворительно, пока не было бы доказано, что бесчисленные виды, обитающие нашу землю, изменялись именно таким образом, что приобретали то совершенство строения и взаимного приспособления, которое справедливо приводит нас в восхищение.

Натуралисты постоянно ссылаются на внешние условия, каковы климат, пища и пр., как на единственную возможную причину изменчивости. *В известном ограниченном смысле это, может быть, и верно, как мы увидим далее, но было бы нелепо (preposterous) приписывать действию одних внешних условий такие строения*, как вся организация дятла или оелы.

Следовательно, с первых же строк своей книги Дарвин принимает в разумном смысле влияние среды, не задумывается он только называть «нелепыми» попытки при помощи одного этого фактора объяснять целесообразное строение организмов. А именно попыткам этого рода предаются вновь Негели и некоторые другие критики дарвинизма, — попыткам упразднить или свести на *minimum* значение естественного отбора и объяснить совершенство организмов непосредственным целесообразным воздействием одних внешних и еще более темных внутренних факторов¹. Прочтите третью главу пресловутой книги Негели, прочтите появившийся в прошлом году целый томик Генсло «О происхождении цветка» — и на вас пахнет чем-то затхлым, каким-то давно исчезнувшим из обихода науки праздным выдумыванием невозможных объяснений. Обратите, например, внимание, у Негели на неведомые притяжения и отталкивания половых элементов, заставляющие их располагаться то в два яруса у диморфных, то в три яруса у триморфных цветов, или у Генсло на эти голословные притекания пластических соков к нижней губе венчика, под влиянием топчавшихся на ней, и к верхней губе, под влиянием долбящих в нее лбом насекомых, и вам невольно захочется повторить с Дарвином: *preposterous!*

¹ Любопытно, что у Негели в качестве внутреннего фактора фигурирует пища.

Но, отрицая *целесообразность воздействия среды*, Дарвин никогда не умалял ее действительного физического действия, и это всего лучше видно из его писем, относящихся к последним годам его жизни. Так, в письме к химику Гильберту он просит совета, как организовать культуры с искусственными средами, полагая этим влиять на изменение растительных форм; Гукеру сообщает он о своих опытах над образованием чернильных орешков без участия насекомых, а под влиянием непосредственного впрыскивания различных веществ; наконец, в одном из своих последних писем он пишет Семперу: «Я все же (т. е. вопреки опытам Гофмана) убежден, что измененные условия дают толчок изменчивости...», и далее: «хотел бы я быть помоложе да посылнее,— теперь передо мной уже выясняются новые пути исследования». Эти пути, очевидно, заключались в экспериментальном изучении явлений изменчивости¹. Из всего этого, я полагаю, мы вправе сделать один только вывод, что проживи этот человек два века, он и второй сумел бы наполнить такую же полезную для науки деятельностью, какою наполнил и первый. Но из этого ни мало не следует, что и без мелькавшей перед его взором новой деятельности задача его жизни, его теория не представляет полного ответа на поставленный вопрос. Итак, повторяю, значение изменчивости Дарвин всегда признавал, не признавал он только за ним того целесообразного действия, которое совершенно безуспешно пытаются приписать этому фактору новейшие неудачные критики дарвинизма.

Таким образом, задача ботаника, стремящегося объяснить себе происхождение растительных форм, распа-

¹ Сверх того, Дарвин был вполне прав, постоянно напоминая, что в значительном числе случаев действие может оказаться только посредственным, трудно уловимым.

дается на две, отличные и по содержанию и по методу исследования. Встречаясь с какою-нибудь сложной формой, он, прежде всего, пытается объяснить себе ее значение, ее пользу. Раскрыв эту пользу, он разыскивает, какими промежуточными степенями прошла эта форма до ее полной выработки. Если это ему удалось, он может считать задачу выполненною с общей биологической точки зрения. Если же он хочет пойти далее, получить физическое объяснение самого процесса изменения, он, очевидно, должен передать задачу в руки физиолога-экспериментатора.

* * *

Но может ли и физиология дать желаемый ответ? Жизнь организма складывается из трех явлений: превращения вещества, энергии, формы. До недавнего времени экспериментальная наука ограничивалась почти исключительно химизмом и динамизмом живых тел. Третий процесс — формообразования или «морфоза» — продолжал оставаться предметом только наблюдения, а не опыта. Но физиолог начинает уже проникать в эту, казалось, запретную для него область.

Можем ли мы дать объяснение той или другой форме? Можем ли надеяться овладеть формообразовательным процессом, как овладели, например, питанием? Можем ли по произволу не только уменьшать или увеличивать растительную массу, но и сообщать ей ту или другую форму? В известной мере — да. То, что сделано в этом направлении, конечно, первые робкие шаги, но, несомненно, на верном пути.

Остановим наше внимание сразу на одном из наиболее сложных случаев. Мы убедились, благодаря Дарвину, что в цветочных покровах обнаруживается очевидное

приспособление к перекрестному оплодотворению при посредстве насекомых. Весьма распространенное приспособление, как известно, заключается в симметрической форме венчика: лепестки, вместо того, чтобы располагаться лучисто, распределяются в две группы, в самом совершенном случае образуя две губы: нижнюю, служащую балкончиком, на который садится насекомое, и верхнюю, служащую колпачком для защиты тычинок и рыльца. Все это, очевидно, обеспечивает полезное для растения перекрестное оплодотворение и могло сохраниться и усовершенствоваться путем отбора. Сохраниться и усовершенствоваться,— но еще ранее того все это должно было возникнуть. Какой из физических деятелей, нам известных, мог превратить первоначально правильный цветок в симметрический и, наконец, двугубый? Давно были замечены случаи, что цветки, сидящие на вертикальных цветоножках, бывают правильные, а цветки того же вида на поникших цветоножках обнаруживают стремление к симметрии, а также, что боковые цветы в кисти симметричны, а верхушечный — лучистый, правильный. Очевидно, форма цветка зависит от его положения по отношению к горизонту, откуда деятелем, вызывающим это изменение, должна быть сила тяжести. Это давно высказанное Спенсером предположение недавно получило блестящее экспериментальное подтверждение. Базельский профессор Фехтинг показал, что в нашей власти изменять форму симметрических цветов,— стоит только устранить их от действия силы тяжести. Этого, как известно, достигают, помещая растение в прибор, который приводит его в медленное вращательное движение вокруг горизонтальной оси. Прием этот давно применялся с другими целями; Фехтинг первый применил его к исследованию форм цветка. Ему удалось целый ряд цветов,

в том числе и цветы нашего копорского чая, превратить из симметрических в лучистые, т. е. доказать, что своею обыкновенною формой они обязаны действию силы тяжести. Разве это не смелый шаг по пути к тому, чтобы лепить органические формы, или, во всяком случае, по пути к объяснению, как лепит их природа? ¹

Тот же внешний фактор — земное притяжение — в значительной мере объясняет нам происхождение другой в высшей степени целесообразной формы — тех выющихся стеблей, которые также обратили на себя внимание Дарвина. Польза их очевидна. Так как эта форма стеблей очень распространена в растительном царстве, то это побудило Дарвина искать причину этого кругового движения их вершин в каком-нибудь также широко распространенном явлении растительной жизни, и ему удалось показать, что стеблевая верхушка почти любого растения при внимательном наблюдении обнаруживает такие же движения, только в малом масштабе. Следовательно, движения и происходящие от того формы выющихся стеблей представляют только выраженное в резкой степени явление, присущее почти всем растениям; а так как эта форма полезна, то она и

¹ Мне, может быть, возразят, что Фехтингу удалось далеко не все симметрические формы превратить в правильные. Но дело в том, что большую часть опытов он начинал очень поздно, за несколько дней до распускания цветов, а позднейшие исследования Шумана показывают, что первая наклонность к симметрии обнаруживается уже очень рано косвенным усечением первого бугорка, из которого развивается цветок. Очевидно, можно ожидать и не таких результатов, если выращивать растение на вращающемся аппарате с молодого возраста. С другой стороны, понятно, что более глубокие изменения формы должны были явиться результатом влияний, накопившихся в длинном ряде поколений, а потому они не так-то легко поддаются обратному превращению.

выработалась при помощи отбора. С дарвинистической точки зрения опять задача здесь, можно сказать, кончается, но задача физиолога только начинается. Это явление — все равно в его специальной резкой или менее заметной общей форме — от какого внешнего фактора оно зависит?

Конечно, здесь не место входить в подробный анализ сложного явления, довольно сказать, что Визнер, с одной стороны, Швенденер и профессор Баранецкий — с другой, на опыте доказали, что главнейшим фактором и здесь является сила тяжести. А если так, то, значит, стоит устранить действие этой силы — и мы превратим выющийся стебель в прямой, заставим его развернуться? Это и удалось почти в одно время Швенденеру и профессору Баранецкому. Поместив растение на вращающийся прибор, они заставили его расти прямо и даже развернуть последние образовавшиеся обороты. Разве это не насильственное формирование организмов, разоблачающее, какая сила формует их в природе?

Не менее поразительный ряд превращений осуществил совсем недавно Визнер еще более простым средством. Только регулируя испарение листьев, сводя его на *minimum*, он мог повлиять на характер разветвления, ход развития или замирания почек, размеры стеблевых колен и связанное с ними распределение листьев, — словом, мог изменять весь внешний облик взятых для опыта растений. С особенным ударением указывает Визнер на то, что все эти признаки всегда считались прирожденными, закрепленными наследственностью, и, тем не менее, удалось показать, что они зависят от такого простого фактора, как испарение.

Этих примеров достаточно, чтобы показать, как может влиять физиолог на внешние формы растений. Но

может быть его власть этим и ограничивается, не распространяясь на их внутреннее строение? Посмотрим, что дает опыт и в этом направлении.

Самую определенную физиологическую функцию представляют ткани, так называемые, покровные, служащие защитой, одеждой растения, и ткань механическая, служащая ему твердым остовом или опорой. В области анатомии это наиболее ясно выраженные полезные приспособления.

Остановимся на приспособлениях для защиты от вредного для растения излишнего испарения. Растение борется с этим вредом, облекая листья кожицей с утолщенными стенками клеточек, состоящими, притом, из вещества, непроницаемого для воды. Средством, умеряющим действие света и ветра, является опушение поверхностей, доходящее иногда до образования как бы белого войлока. Знаем ли мы, какие физические факторы вызвали первоначальное образование этих полезных приспособлений, затем уже, конечно, закрепленных отбором? В этом направлении наши сведения более полны, чем в каком ином. В особенности недавние, крайне любопытные, опыты Коля показывают, что все эти приспособления в значительной мере вызываются самым актом испарения. Изменяя условия влажности почвы и атмосферы, Коль достиг глубокого изменения в тканях испытуемых растений. В сухой атмосфере, при недостатке воды в почве, растение сильно утолщает стенки клеток своей кожицы и лежащих под нею тканей, а также обнаруживает стремление к образованию волосков,— словом, вырабатывается тип растения, приспособленного к борьбе с сухим климатом. Наоборот, воспитывая растение в атмосфере, насыщенной парами, получаем совершенно обратный тип. Возможность превращения гладких листьев в волосистые под влиянием

сухости воздуха подтверждается еще целым рядом наблюдений.

На смену кожице, покрывающей молодые стебли, появляется, как известно, пробка. О ней мы давно знаем, что ее образование можно вызывать по произволу на пораненных местах, но только недавние обстоятельные исследования Кни показали несомненно, что фактором, вызывающим образование пробки, должно считать кислород. Эти два приспособления, кожица и пробка, выработанные организмом для противодействия испарению, особенно любопытны в том отношении, что представляются, так сказать, автоматическими. Сухость атмосферы и кислород воздуха сами создают растению оружие для борьбы с наносимым ему вредом. Очевидно, что в связи с этим основным химическим свойством растительной клетки находится самая возможность наземной растительности. Без этого простого свойства растение никогда не выбралось бы на сушу.

Покровные ткани занимают поверхность органов,—отсюда можно подумать, что на них легко влияют внешние деятели; но можем ли мы по желанию действовать на ткани, заложенные в глубине организма? Такова ткань механическая. Мы встречаем ее там именно, где в ней представляется надобность, как, например, в стеблях; наоборот, она очень слабо представлена в подземных и подводных частях, где в ней не представляется такой надобности. Возьмем для сравнения воздушный стебель и корневище, т. е. подземный стебель: как могло случиться, что стебель обладает одним строением, а корневище другим и, притом, оба соответственно своему отпращиванию? В прекрасном исследовании Костантен показывает, что действующею причиною и здесь являются внешние условия и, прежде всего, вероятно, свет. Исследования Раувенгофа, профессоров

Баталина, Коха и др. ставят вне сомнения, что свет способствует утолщению клеточных стенок и, таким образом, определяет выработку толстостенных прочных элементов механической ткани. Как бы то ни было, но, при культивировании воздушных стеблей под землей, Костантену удалось вызвать в них гистологические изменения, характеризующие корневища. Подобно Визнеру, и он с особенным ударением указывает на значение этого факта. Казалось бы, что способность производить корневища, подземные стебли с запасами питательных веществ, должно отнести к явлениям прирожденным, исключительно управляемым наследственностью, и, однако, мы видим, что это приспособление может быть вызвано непосредственным воздействием среды. Ту же молодую клетку, заложенную в глубине ткани, мы по желанию можем превратить в толстостенный механический элемент стебля или в клетку корневища с ее тонкою стенкой и обильным запасом питательных веществ.

За клеточкой остается только протоплазма, это начало всякой жизни. Давно ли мы считали ее неприкосновенной, боялись дотронуться до нее иглой, — а теперь мы насильственно заставляем отставать от стенки и производить новую оболочку, фактически подражая процессу обновления; мало того, мы ее выпускаем из клетки, заставляем разбиваться на комки, которые облекаются оболочкой, т. е. фактически размножаем клетки. Порою кажется, что физиологу, в этом направлении, недоставало только смелости и что впредь ему только остается принять за правило знаменитое изречение Дантона: «*de l'audace, encore de l'audace, toujours de l'audace*» *.

* Смелость, еще раз смелость, всегда смелость. *Ред.*

Ограничусь этими примерами, — ботаники, конечно, припомнят десятки не менее убедительных. Я полагаю, сказанного уже достаточно, чтобы оправдать положение, что физиология уже начинает разоблачать тайну образования растительных форм, что она понемногу научается сама руководить образованием этих форм.

В самом деле, представим себе, что нам было бы дано растение с выющим стеблем, гладкими рассеянными листьями и симметрическими цветами, а мы, при помощи одних физических сил, превратили его в растение с корневищем и прямостоячим стеблем, скученными волосистыми листьями и правильными цветками. Это, конечно, было бы сочтено за чудо. Сделать это чудо мы пока еще не в состоянии, но все *элементы* этого чуда уже в нашей власти, и этого, конечно, вполне достаточно для того, чтобы мы могли понимать, как это чудо совершалось в природе. Если, едва взявшись за дело, в краткий промежуток жизни индивидуального растения мы вызываем такие глубокие изменения в его строении, то чего не могли вызвать те же физические факторы на просторе несметных веков, которые насчитывает растительный мир?

Меня может быть упрекнуто в том, что между тем как мои предшественники на этой кафедре выступили перед этим блестящим собранием с результатами уже совершенных наукою завоеваний, я позволил себе остановить ваше внимание на первых, робких шагах в совершенно новой области. Но мне кажется, что в этом я остался верен духу нашей науки. Мы, биологи, питаем особенно нежные чувства ко всему молодому, зарождающемуся, только вступающему в жизнь. Для нас особенно ценны начальные стадии развития. Мирбелевское «*voir venir*» давно стало нашим лозунгом. А в настоящем случае мы,

действительно, присутствуем при зарождении новой отрасли науки.

Четверть века назад наш глубоко уважаемый председатель, Андрей Николаевич Бекетов, учил нас, что задача морфологии — «исследовать законы и *причины* форм», но еще десять лет тому назад возможность исследовать причинность органических форм отрицалась даже такими учеными, как Клод Бернар. «Физиолог, — писал Клод Бернар, — констатирует морфологические законы, но не изучает их. Эти законы зависят от причин, которые лежат вне его власти». И далее: «Мы должны провести *абсолютную границу* между феноменологией живых существ, составляющей предмет физиологии, и морфологией организмов, законы которой изучают ботаники и зоологи, но которая вне нашей власти и ускользает от экспериментального изучения». Абсолютная граница, о которой так недавно говорил Клод Бернар, для ботаников, по крайней мере, очевидно исчезает¹. Форма несомненно начинает признавать над собою нашу власть и подчиняться нашим экспериментальным методам. Рядом с физиологией процессов уже зачинается физиология форм, рядом с экспериментальной феноменологией возникает *экспериментальная морфология*. Если мы уже научились при помощи земного притяжения, влаги и света свертывать и разворачивать стеблевую спираль, скупивать, или рассыпать по стеблю листья, снабжать растения необходимыми покровами, изменять внешнюю форму цветка и внутреннее строение скрытой в глубине тканей клетки, — не очевидное ли это доказательство, что новая отрасль ботаники выдерживает ту пробу экспериментальной науки, кото-

¹ В этом отношении также обнаружилась проницательность Дарвина; он ясно сознавал, что ботаника в этом отношении должна опередить зоологию.

рую тот же Клод Бернар, а еще ранее его Огюст Конт так красноречиво выражали двумя словами — *agir et prévoir* *.

Но допустим, что нам удалось достигнуть на этом пути самых неожиданных результатов, овладеть вполне физическими условиями этого формообразовательного процесса, подчинить себе эту, так сказать, кристаллизацию органических существ, — получим ли мы право вместе с Вагнером сказать о природе:

...«was sie sonst organisiren liess
Das lassen wir kristallisiren» **.

Конечно, нет. Конечно, мы не вправе заключить, что организмы образовались исключительно под влиянием этих физических деятелей, без участия других факторов, и это нас окончательно возвращает к нашему основному вопросу — к оценке роли различных факторов эволюции и их отношения к фактору, выдвинутому вперед дарвинизмом, т. е. к отбору.

Несомненно, что среда изменяет организмы. Также несомненно, что наследственность накапливает эти изменения, — усложняет организмы ¹. Но напрасно пы-

* Действовать и предвидеть. *Ред.*

** То, чему она (природа) раньше предоставляла организоваться, то мы кристаллизуем. *Ред.*

¹ Не останавливаясь на рассмотрении этого второго фактора — наследственности, так как для этого потребовалось бы несоответственно длинное отступление от основной темы, замечу только, что господствующее стремление немецких ученых создать *общую теорию* наследственности едва ли удачно и едва ли даже соответствует действительной потребности науки. Общая теория наследственности представляется мне столь же мало возможной, столь же мало нужной, как общая теория изменчивости. Факт наследственности, смотря по тому, как на него взглянуть, или очень прост, или крайне сложен. Крайне прост — как общее представление, крайне сложен — при детальном применении к

тались бы мы в этих двух факторах, взятых порознь или вместе, искать разгадки основного свойства организмов — их целесообразных приспособлений. Все попытки в этом направлении, старые и самые новейшие, неизменно терпят крушение.

любому частному случаю. Здесь исследователю пришлось бы проследить шаг за шагом непрерывную механическую связь между наблюдаемым явлением и его отдаленною причиною, выполнить длинный промежуток, чтобы не иметь перед собой непонятного действия на расстоянии, раскрыть все крючочки и петельки, связывающие исчезнувшую причину с продолжающимся действием. А для этого нужно начать с изучения явлений, где эта передаточная цепь не так длинна, как в сложных явлениях наследственности. В ботанике уже имеются некоторые приближения к разрешению подобных задач. Надеюсь в другой раз вернуться к этому любопытному вопросу, а пока, повторяю, нам нужны не общие схемы действия наследственности, а строго экспериментальные исследования над непосредственною связью между жизненными явлениями и вызвавшими их, но уже отсутствующими причинами, — исследования, конечно, более удачные по замыслу, чем обрубание сотен крысиных хвостов. Потому-то мне кажется, что многочисленные современные немецкие теории в этом направлении совершенно противны духу положительной науки, и, к сожалению, должно сознаться, что толчок этому движению сообщил также Дарвин. Таково уже значение гения: даже ошибки его оставляют за собой широкий след. Едва ли кто позволил себе так резко осуждать «пангенезис» Дарвина, как это сделал я, почти вслед за появлением этого учения, и потому с особенным удовольствием узнал я из «писем» Дарвина, как встретили его «временную гипотезу» Гёксли, Гукер, Аза Грей и др. и как колебался сам Дарвин. Назидательно читать, каким шутивно заискивающим тоном вымаливает он сочувствие своих друзей к этому единственному порождению своей фантазии и вслед за тем сам переходит в скептический тон — спрашивает, не «смешно» ли оно, и порой доходит до категорического отрицания смысла подобных спекулятивных построений (It is all rubbish to speculate as I have done) [Дрянное дело пускаться в спекуляцию, как я это сделал. *Ред.*]. Здравый английский ум оказался непреклонным, зато эти измышления раздули искру,

Среда изменяет, но изменять не значит совершенствовать. Наследственность усложняет, но усложнение — еще не усовершенствование. Из всех нам известных естественных факторов совершенствует только то критическое начало, которое из этого измененного и усложненного материала сохраняет полезное, устраняет вредное. Совершенствует организмы то сочетание безграничной производительности и неумолимой критики, которое мы иносказательно называем естественным отбором.

Отсюда понятна неосновательность упрека, делаемого Дарвину, зачем он не сосредоточил своего внимания на явлениях изменчивости. У него на первом плане стояло объяснение того именно, что отличает организмы от неорганизмов — их целесообразности, условия же изменения органических форм в основе, как мы видим, вероятно, подчиняются общим для всех тел физическим законам¹. Одним словом, *Дарвин мог заниматься яв-*

глухо тлевшую в умах немецких натуралистов, и в этом, конечно, обнаружился любопытный пример атавизма в умственной сфере. Дети и внуки людей, воспитанных на Шеллингах и Окенах, почувствовали что-то родственное в этих беспочвенных умозрениях, и вот как из решета посыпались различные «пластидули» (Геккель), «идиоплазмы» (Негели), «зародышевые плазмы» (Вейсман) и пр. и пр., для того, чтобы через двадцать лет вернуться к «зачаткам» Дарвина, но под более щекочущим слух названием «панген» (Де-Фризе, 1889 г.).

¹ В пределы настоящей задачи, понятно, не входит выяснение значения другой стороны дарвинизма, составляющей, после объяснения целесообразности органического мира, следующую по значению заслугу Дарвина и громадное превосходство его учения перед теориями Ламарка и других его предшественников. Я разумею начало *расхождения признаков* (divergence of character), объясняющее другие две главные особенности современного строя органического мира: его разнообразие и почти полное отсутствие живых переходных форм — этот камень преткновения

лениями изменчивости, но изучение этих явлений не составляет необходимой части дарвинизма.

Позвольте пояснить эту мысль сравнением. Положим, что я, ничего не понимая в житейских делах, очутился вдруг сначала в театре и вслед затем в убогом балагане. В первом я увидел бы изящный зал, позолоту, бархат, потоки электрического света и, в этой рамке, безукоризненно одетых людей — фраки, кружева, бриллианты, — словом, блестящую публику в ее блестящей обстановке. Перейдя в балаган, я нашел бы дощатые стены, висящие лохмотьями обои, едва мигающие керосиновые лампы, а на скамьях — зрителей в чуйках и платочках, а в воздухе запах смазного сапога и полушубка, — словом, серый люд в его обычной серой обстановке. Положим, мне задали бы вопрос — объяснить этот основной факт гармонии этих двух категорий существ с их окружающей обстановкой. Я бы, конечно, постоял у входа, походил по коридорам и, наконец, наткнулся бы на окно, а в нем увидел бы кассира, отбирающего у приходящих в театр рубли, а от приходящих в балаган копейки. Указав на этот процесс отборки, я бы счел задачу разрешенной. И, спрашивается, был ли бы прав тот, кто стал бы мне возражать, что это не ответ, что я должен еще объяснить, почему у этого человека в пальто рубли, а у другого в полушубке копейки? Я бы ответил, что это выходит за пределы моей задачи: мне задан общий вопрос, и я дал общий ответ, для разрешения же частных во-

всех прежних теорий. Мне всегда казалось, что даже сами дарвинисты недостаточно ценят эту сторону его учения (см. мой очерк «Ч. Дарвин и его учение»). Как смотрел на нее Дарвин, мы опять узнаем из его «автобиографии и писем». Он с радостью напоминает даже то место, где, по дороге в Даун, в карете, ему пришла эта гениальная мысль.

просов необходимо изучить биографию и родословную каждого отдельного зрителя.

Так поступил и Дарвин: он нашел в природе неумолимого кассира — отбор и предоставил науке будущего изучить биографию и родословную отдельных организмов.

Значит, дарвинизм, имеющий в виду одну общую биологическую задачу, и экспериментальная морфология, преследующая свои несметные частные задачи, вот два равноправных, взаимно дополняющих направления науки, от которых мы должны ждать полного ответа на наш вопрос об относительной роли факторов органической эволюции. А этих факторов мы пока знаем только три: среду — изменяющую, наследственность — накапливающую эти изменения и отбор — приспособляющий, организующий, налагающий на живые формы ту печать совершенства, которая представлялась назойливой загадкой с той минуты, как человек только начал мыслить.

В этом, боюсь, затянувшемся и бледном очерке я пытался характеризовать два течения нашей науки: одно — могучим разливом своим отметило вторую половину девятнадцатого столетия, другое — едва пробивается одинокими струйками и сольется в широкий поток уже, вероятно, за порогом двадцатого.

Двадцатое столетие! Только десять лет отделяют нас от него. Через десять лет наш кичливый девятнадцатый век смиренно предстанет перед судом истории. Я полагаю, в этот день, рядом с покаянием во многих тяжких своих прегрешениях, он приведет себе в защиту и то, что много и честно потрудился в области науки и, прежде всего, в области изучения природы. И когда старшие братья, химики и физики, предъявят свои блестящие завоевания: свои периодические законы эле-

ментов, учения о сохранении энергии и тождестве физических сил, и биологи выступают не с пустыми руками; они предъявят не менее блестящее, широко захватывающее эволюционное учение, в первый раз почувствовавшее под собой твердое основание на почве *дарвинизма*. Если восемнадцатый век сохранил за собой гордое прозвище века разума, то девятнадцатому, конечно, не откажут в более скромном прозвище — века науки, века *естествознания*.

1890 г.





ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ ¹



М.м. гг.

Цель стремлений физиологии растений заключается в том, чтобы изучить и объяснить жизненные явления растительного организма и не только изучить и объяснить их, но путем этого изучения и объяснения вполне подчинить их разумной воле человека, так чтобы он мог по произволу видоизменять, прекращать или вызывать эти явления. Физиолог не может довольствоваться пассивной ролью наблюдателя; как экспериментатор, он является деятелем, управляющим природой. Но не такова ли, *м.м. гг.*, и цель стремлений, по отношению к растению, сельского хозяина и лесовода: тот и другой стремятся подчинить растительный организм своей власти, направить его деятельность так, чтобы он давал возможно большее количество продуктов возможно лучшего качества. И те пути, которыми стремятся к выполнению своей задачи и ученые, и практик, не существенно ли они сходны? Знание, основанное на наблюдении и опыте, вот единственный верный путь в том и другом случае, и если существует различие между

¹ Речь, читанная на акте Петровской земледельческой и лесной академии (в 1878 г. и в основе представляющая переделку вступительной лекции в курс физиологии растений 1870 г.).

той и другой деятельностью, то оно заключается лишь в том, что ученый видит в знании цель своих стремлений, практик же — только средство, ведущее его к цели — к увеличению общественного и личного благосостояния.

Этих самых общих соображений, я полагаю, достаточно для того, чтобы показать, как тесно связаны между собою задачи и стремления земледелия и лесоводства, с одной стороны, и физиологии растения — с другой, и какую роль должна играть эта последняя наука в общем цикле знаний, которым посвящена деятельность нашей академии.

Итак, цель физиологии — объяснить жизненные явления. Но объяснять, — значит приводить менее известное к более известному, сложное к простому, частное к общему. Всякое объяснение предполагает сравнение с более простым и общим. Но за пределами живого мы знаем только область неживого, за пределами мира органического лежит мир неорганический, менее сложный, менее запутанный в своих проявлениях. Мы должны, следовательно, стремиться к тому, чтобы разложить сложные жизненные явления на простейшие явления, свойственные миру неорганическому, мы должны сравнивать первые с последними или ни с чем их не сравнивать, т. е. отказаться от их объяснения. Но для этого мы должны быть убеждены в возможности, в законности такого сравнения. Если в жизненных явлениях мы будем вынуждены признать конечные факты, не распадающиеся на простейшие факты, не подчиняющиеся анализу, то тогда, конечно, возможно только их описание, а не объяснение. Постараемся же сравнить жизнь с нежизнью; посмотрим, в чем заключается их сходство и различие. Для этого мы не станем прибегать к определению жизни. Все бесчисленные попытки в этом

направлении достаточно доказывают их бесплодность. Мы можем перебрать бесконечный ряд таких определений и ни одно из них не скажет нам более того, что мы уже знаем, т. е. что жизнь есть жизнь или жизнь не есть смерть. Уже давно пора понять, что все наши определения — только условные определения *слов*, несколько не разоблачающие скрывающихся под словами сущностей. А в смысле слова жизнь едва ли кто когда сомневался; едва ли кто применял это слово не в надлежащем смысле. Итак, не гоняясь за невозможными определениями, постараемся вкратце описать, охарактеризовать то, что мы называем жизненными явлениями, в отличие от явлений безжизненной природы.

Чем отличается живое тело от неживого? Присутствием ли особого, единичного, деятельного, руководящего начала, действующего независимо или даже вопреки физическим законам, которые управляют неорганическим миром, начала, не подчиняющегося даже закону причинности, лежащему в основе всех наших представлений о естественных явлениях? Характеризуется ли жизнь присутствием особого такого начала, которое, переменив множество названий, еще и в настоящее время порою появляется в науке под именем жизненной силы? Еще и теперь можно найти явных или тайных, откровенных или скрытых поборников этой таинственной жизненной силы. Об этом можно судить по тому плохо скрываемому негодованию, которым они встречают попытки объяснения физическими причинами того или другого жизненного явления, по тому злорадству, с которым встречают неудачные попытки этого рода. С какою-то ликующей беспомощностью разводят они руками и повторяют на различные лады, что тут анализ науки бессилен, что в области жизни нет места физическим законам, что здесь есть свои законы

или, вернее, их вовсе нет. Но что же это за жизненная сила? В чем заключаются ее атрибуты, где ее сфера деятельности, могут ли ее защитники дать нам удовлетворительный ответ? В том-то и дело, что не могут. Ее атрибуты, ее сфера деятельности чисто отрицательного свойства. Главный ее атрибут — не подчиняться анализу, скрываться там, куда еще не проникло точное исследование; ее область — все то, что еще не объяснено наукой, тот остаток, с каждым днем уменьшающийся остаток, фактов, которые еще ждут объяснения. Каждый раз, когда анализ науки проникает в новую, еще не завоеванную область, явление, приписывавшееся единичному жизненному началу, оказывается результатом взаимодействия организма и известных нам внешних физических условий. Можно сказать, что каждый новый шаг, каждый успех науки урезывает от этой темной области неизвестного, в которой царил эта жизненная сила. Мы и не пойдем за нею в эту область неизвестного. Наука может заниматься только тем, что она знает сегодня, а не гадать о том, что узнает завтра. Оставаясь в области известного, посмотрим, подчиняются ли те жизненные явления, которые поддаются изучению, подчиняются ли они основным физическим законам, управляющим миром неорганическим, или уклоняются от них, или даже противоречат им.

Основное свойство, характеризующее организмы, отличающее их от неорганизмов, заключается в постоянном деятельном обмене между их веществом и веществом окружающей среды. Организм постоянно воспринимает вещество, превращает его в себе подобное (усваивает, ассимилирует), вновь изменяет и выделяет. Жизнь простейшей клеточки, комка протоплазмы, существование организма складывается из этих двух превращений: принятия и накопления — выделения и траты вещества.

Напротив, существование кристалла только и мыслимо при отсутствии каких-либо *превращений*, при отсутствии всякого *обмена* между его веществом и веществами среды. Первый из признаков, характеризующих жизнь, т. е. принятие и накопление веществ, мы можем рассматривать с двоякой точки зрения: с химической и механической; в первом случае мы его называем питанием, во-втором — ростом. Питание и рост в сущности только две стороны одного и того же явления. Обыкновенно полагают, что при увеличении массы неорганических тел не происходит ничего подобного питанию и росту тел органических. Вещество организма происходит из вещества с ним несходного; прежде чем войти составною частью организма, вещество это должно претерпеть превращение. Масса кристалла увеличивается через накопление вещества, находящегося уже в маточном растворе. Рост кристалла происходит через наслоение, наложение новых частиц, или, выражаясь технически, через *аппозицию* — кристалл растет с своей поверхности. Рост же организмов, полагают, происходит посредством вставки новых частиц вещества между уже существовавшими, посредством внутреннего отложения, или, употребляя освященный обычай терминов, посредством *интуссусцепции*. Но это, с первого взгляда коренное, существенное различие почти исчезает ввиду любопытных опытов с так называемыми *искусственными клеточками*, открытие которых принадлежит Морицу Траубе. Значение этого открытия и до сих пор не вполне оценено многими авторитетными ботаниками, зато оно тотчас по появлении было оценено по достоинству таким физиологом, как Гельмгольтц. Траубе берет каплю одного вещества, приводит его в прикосновение с раствором другого вещества, и эта капля облекается оболочкой. Это подобие клеточки

перед удивленным глазом наблюдателя начинает расти, т. е. увеличивать свой объем и свою массу. Это явление искусственного роста представляет нам две основные черты сходства с ростом действительным. Оно происходит только в силу взаимодействия разнородных веществ, т. е. только пока вещество клеточки в состоянии изменять вещество окружающей среды и превращать его в себе подобное, т. е. ассимилировать его. Оно происходит посредством вставки новых частиц вещества между частицами уже существующего, т. е. посредством *интуссусцепции*. С нарушением химизма, или разрушением формы, организации нашей клеточки, прекращается и ее характеристичная деятельность, ее рост; она, если так можно выразиться, умирает. Итак, в процессе питания и роста едва ли возможно установить какое-нибудь коренное принципиальное различие между организмом и неорганизмом.

Но мы видим, что в организмах совершается не только процесс созидания, т. е. питания и роста, но, рука об руку с ним, идет процесс разрушения и выделения, выражающийся, главным образом, в окислении вещества организма кислородом воздуха, в процессе дыхания. Организм неассимилирующий теряет в весе, — этим обнаруживается его разрушение; но оно идет и одновременно с ассимиляцией, о чем мы судим по продуктам выделения. Без этого процесса разрушения невозможны проявления жизни. Жизненная деятельность находится, разумеется, в известных пределах, в прямом отношении с этим процессом разрушения. Чем энергичнее трата, тем энергичнее жизненная деятельность. Понижая трату, угнетая жизненную деятельность, приводим организм в состояние оцепенения; таково, например, состояние некоторых теплокровных животных во время зимней спячки, покоящихся семян, засушенных

животных, оживающих при смачивании их водой. Только совокупность двух процессов, созидания и разрушения, характеризует живое тело. Организм живет только пока разрушается. «Жизнь,— говорит Клод Бернар,— это — смерть», и в этих словах заключается и меткая истина, и тонкая ирония над погоней за звонкими определениями.

Но, конечно, и эта связь между *жизненными явлениями* и *тратой* (вернее *превращением*) *вещества* не составляет особенности живых тел; мы ее встречаем и в мире неорганическом. Живые тела всегда охотно сравнивали с механизмом; и всего ближе сравнение с паровой машиной. Брюкке, указывая на сходство между организмом и механизмом и желая показать на существующее между ними различие, говорит: «организм — это такой механизм, который сам себя строит», но в только что описанных искусственных клеточках мы видим именно пример простейшего механизма, который сам себя строит.

Посмотрим же этот двоякий, прогрессивный и регрессивный метаморфоз, характеризующий организмы, но не исключительно им присущий, подчиняется ли он общим физическим законам — и прежде всего самым общим, лежащим в основе всех наших представлений о природе — законам постоянства или вечности материи и закона сохранения или вечности энергии.

Во-первых, займемся законом, относящимся до вещества. Откуда берется вещество растения? В настоящее время ответ на этот вопрос прост, но он предполагает в нас убеждение, что закон Лавуазье: «в природе ничто не создается, ничто не исчезает» — применим и к живому телу — к растению. Это убеждение есть результат великих открытий конца прошлого столетия, — открытий, одновременно положивших начало и современной химии и физиологии растений. Мы знаем, что

жизненная сила не в состоянии ни создать, ни уничтожить ни малейшей частицы вещества, из которого состоят растения. Но если она, эта сила жизни, не способна изменить количество вещества, то, быть может, она способна превращать одни элементы в другие? Мы знаем, что и этого она не может. Быть может, наконец, только эта жизненная сила обладает тайной группировать элементы в те сложные органические соединения, из которых построено растение? Синтетическая химия и здесь дает отрицательный ответ. Химикам уже удалось воспроизвести значительную часть этих тел вне организма. Могут возразить: *значительную часть*, но не все. На это ответим, во-первых, что между тем, что сделано, и тем, что остается сделать, нет существенной, коренной разницы, а во-вторых, и химия с каждым днем приобретает новые синтетические приемы. Давно ли Бертло удалось преодолеть пресловутую инертность азота и при содействии тихого электрического разряда присоединить азот к самым сложным органическим телам, а Грандо, рядом остроумных опытов, произведенных прошлым и настоящим летом, удалось если еще не доказать, то сделать в высшей степени вероятным существование таких процессов в растении под влиянием атмосферного электричества¹. Говоря, что нет никакого основания предполагать какое-либо различие в химических процессах, совершающихся в организме и вне его, мы вовсе не желаем утверждать, что в клеточке явления должны совершаться именно так, как они совершаются в стеклянном стакане или колбе. Мы даже знаем поразительные примеры, что вещества могут обнаруживать совершенно различные

¹ Последующие опыты не подтвердили результатов Грандо, но вопрос об участии атмосферного электричества в связывании азота атмосферы еще остается открытым.

животных, оживающих при смачивании их водой. Только совокупность двух процессов, созидания и разрушения, характеризует живое тело. Организм живет только пока разрушается. «Жизнь,— говорит Клод Бернар,— это — смерть», и в этих словах заключается и меткая истина, и тонкая ирония над погоней за звонкими определениями.

Но, конечно, и эта связь между *жизненными явлениями* и *тратой* (вернее *превращением*) *вещества* не составляет особенности живых тел; мы ее встречаем и в мире неорганическом. Живые тела всегда охотно сравнивали с механизмом; и всего ближе сравнение с паровой машиной. Брюкке, указывая на сходство между организмом и механизмом и желая показать на существующее между ними различие, говорит: «организм — это такой механизм, который сам себя строит», но в только что описанных искусственных клеточках мы видим именно пример простейшего механизма, который сам себя строит.

Посмотрим же этот двоякий, прогрессивный и регрессивный метаморфоз, характеризующий организмы, но не исключительно им присущий, подчиняется ли он общим физическим законам — и прежде всего самым общим, лежащим в основе всех наших представлений о природе — законам постоянства или вечности материи и закона сохранения или вечности энергии.

Во-первых, займемся законом, относящимся до вещества. Откуда берется вещество растения? В настоящее время ответ на этот вопрос прост, но он предполагает в нас убеждение, что закон Лавуазье: «в природе ничто не создается, ничто не исчезает» — применим и к живому телу — к растению. Это убеждение есть результат великих открытий конца прошлого столетия, — открытий, одновременно положивших начало и современной химии и физиологии растений. Мы знаем, что

жизненная сила не в состоянии ни создать, ни уничтожить ни малейшей частицы вещества, из которого состоят растения. Но если она, эта сила жизни, не способна изменить количество вещества, то, быть может, она способна превращать одни элементы в другие? Мы знаем, что и этого она не может. Быть может, наконец, только эта жизненная сила обладает тайной группировать элементы в те сложные органические соединения, из которых построено растение? Синтетическая химия и здесь дает отрицательный ответ. Химикам уже удалось воспроизвести значительную часть этих тел вне организма. Могут возразить: *значительную часть*, но не все. На это ответим, во-первых, что между тем, что сделано, и тем, что остается сделать, нет существенной, коренной разницы, а во-вторых, и химия с каждым днем приобретает новые синтетические приемы. Давно ли Бертло удалось преодолеть пресловутую инертность азота и при содействии тихого электрического разряда присоединить азот к самым сложным органическим телам, а Грандо, рядом остроумных опытов, произведенных прошлым и настоящим летом, удалось если еще не доказать, то сделать в высшей степени вероятным существование таких процессов в растении под влиянием атмосферного электричества¹. Говоря, что нет никакого основания предполагать какое-либо различие в химических процессах, совершающихся в организме и вне его, мы вовсе не желаем утверждать, что в клеточке явления должны совершаться именно так, как они совершаются в стеклянном стакане или колбе. Мы даже знаем поразительные примеры, что вещества могут обнаруживать совершенно различные

¹ Последующие опыты не подтвердили результатов Грандо, по вопросу об участии атмосферного электричества в связывании азота атмосферы еще остается открытым.

реакции, смотря по тому, будут ли они приходить в прикосновение непосредственно или через узкие отверстия, например, через поры органической перепонки. Я имею в виду поразительные, так называемые электро-капиллярные явления ¹, которые должны иметь место в растительном организме почти на каждом шагу, как, например, при взаимодействии щелочного сока сосудистых пучков с кислым соком окружающей паренхиматической ткани. Заметим кстати, что при подобном медленном обмене через перепонки или в органической среде — и неорганические вещества имеют наклонность принимать формы, характеристические для организованных тел. Таковы, например, любопытные опыты Гартинга — Фаминцына над получением углекислой извести в форме крахмальных зерен. Итак, по отношению к превращениям веществ, то, что уже сделано наукой, служит ручательством, что то, что остается сделать, только дело времени. Все прошлое науки служит ручательством, что метаморфоз вещества совершается в организмах по тем же законам, как и вне их, разумеется, при прочих равных условиях. Следовательно, первая задача физиологии заключается в том, чтобы проследить происхождение, поступление и все превращения вещества в растении, постоянно руководясь мыслью, что эти явления должны подчиняться основным химическим законам. Нигде цели стремлений физиолога и агронома не прикасаются так близко, как именно в разрешении этой задачи. Доказательством справедливости этих слов может служить вся научная деятельность таких ученых, как, например, Буссенго, которого наша академия избрала в настоящем году своим почетным членом: и физиолог, и химик-агро-

¹ Изученные Эдмондом Беккерелем.

ном считают его своим — и с одинаковым правом, потому что его деятельность относится именно к той области исследований, в которой не знаешь, где кончается физиология растений и где начинается агрономия.

В параллель с законом Лавуазье о вечности материи, положившим основание всему учению о питании растений, девятнадцатый век, устами Майера и Гельмгольца, предложил сходный закон по отношению к силе — закон вечности или сохранения энергии. Посмотрим, как относится он к живым телам и преимущественно к растению. С первого взгляда деятельность организмов, повидимому, представляет исключение из этого закона. Постоянно движущаяся протоплазма и животное, производящее механическую работу, повидимому, черпают из себя самих, как бы создают необходимый на то запас энергии. Но физиология животных давно убедительным образом доказала, что этот источник энергии заключается в том запасе работы, которую представляет химическое напряжение вещества, способного к окислению и действительно окисляющегося в процессе дыхания. Без кислорода прекращается движение протоплазмы, — задерживается прорастание, мимоза утрачивает свою раздражительность, явления роста прекращаются или замедляются. Таким образом на основании этого закона выясняется связь между деятельностью организма и тратой его вещества. Каждое явление в организме необходимо связано с тратой части его вещества, которое, окисляясь или разлагаясь, развивает теплоту, служащую источником механической деятельности. И эта связь управляется строго количественным законом механического эквивалента теплоты. Я сказал, что вещество организма может служить источником энергии, не только окисляясь, но и вообще разлагаясь, и к этому заключению действительно

приводят исследования последних лет. Очевидно, что источником энергии может быть всякая *экзотермическая* реакция, т. е. реакция, сопровождающаяся выделением тепла. К числу таких реакций принадлежит распада-ние виноградного сахара на спирт и углекислоту, со-провождающееся освобождением тепла. Эта реакция, считавшаяся долго исключительною жизненною осо-бенностью дрожжевого грибка, оказывается присущею и клеточкам высших растений, когда они лишены ки-слорода. В этом отношении особенно любопытны опыты Мюнца, показавшего, что живые зеленые растения, по-мещенные в атмосферу, лишенную кислорода, начинают вырабатывать из своего сахара алкоголь. Весьма воз-можно, а по отношению к дрожжевому грибку едва ли подлежит сомнению, что в этом процессе разложения сахара мы должны видеть, если так можно выразиться, *суррогат* дыхания, и в этом случае должны обобщить наши понятия и не считать дыхание, т. е. окисление, единственным химическим источником энергии, так как таковыми же могут служить и другие *экзотермические* реакции ¹. Итак, закон сохранения энергии оправды-вается вообще над животным и растительным организ-мами, объясняя нам связь между деятельностью орга-низма и тратой его вещества. Но по отношению к расте-нию он имеет еще и другое, более важное применение.

Жизнь растения характеризуется постоянным уве-личением его массы, постоянным накоплением вещества. Это органическое вещество способно гореть, — пред-ставляет, следовательно, запас работы (потенциальной энергии), который расходуется при горении. Но это органическое вещество вырабатывается из неоргани-ческого вещества окружающей среды: из углекислоты,

¹ Предположение это вполне оправдалось.

воды, азотной кислоты и т. п. веществ, вполне окисленных. Питание растения состоит, следовательно, в постоянном превращении вещества вполне окисленного, не представляющего запаса химической энергии, в вещество не вполне окисленное, представляющее запас химической энергии,— происходит накопление энергии и превращение ее в запас работы. И мы можем выразить этот запас в цифрах: каждый грамм, например, хлебного зерна представляет запас работы в 945 килограммометров; грамм капусты — 184 килограммометров. Жизнь растения, в итоге, представляет нам реакцию эндотермическую, т.е. сопровождающуюся поглощением тепла. Из этого можно сделать только один вывод: или жизнь растения представляет исключение из закона сохранения энергии, или она должна находиться в постоянной зависимости от внешнего источника энергии. Это заключение оправдывается опытом — жизнь растения зависит от лучистой энергии солнца. Солнце доставляет растению энергию, необходимую для разложения углекислоты. Мы знаем, где и как происходит этот процесс, — он происходит в зеленых органах, под влиянием хлорофилла. Хлорофилловое зерно и есть тот орган, та лаборатория, в которой вырабатывается органическое вещество, служащее для потребностей всего растительного и животного мира. Солнечные лучи, улавливаемые хлорофиллом, затрачиваются на эту работу разложения углекислоты и образования органического вещества и, таким образом, слагаются в запас в виде химического напряжения, которым мы пользуемся, когда употребляем это вещество, как пищу или топливо. Это превращение лучистой энергии солнца в химическое напряжение должно управляться строго количественным законом. Если один грамм хлебного зерна выделяет при горении количество тепла, равняющееся 945 кило-

граммометрам, то из этого мы заключаем, что для образования этого грамма зерна должно быть затрачено, по меньшей мере, такое же количество солнечной энергии. Как ни один атом углерода не создан растением, а проник в него извне, так ни одна единица тепла, выделяемого растительным веществом при сгорании, не создана жизнью, а заимствована, в конечном результате, у солнца. Следовательно, как по отношению к веществу, мы стремимся к строго количественному учету совершающихся в растении явлений, так и по отношению к энергии мы должны стремиться к такому же строго количественному учету отношения между энергией, действующею на растение, и энергией, накапливающейся в нем в виде запаса работы. И, по всей вероятности, не далеко время, когда, благодаря, с одной стороны, актинометрическим исследованиям, составляющим в настоящее время один из предметов забот метеорологов, с другой стороны — исследованиям физиологов над разложением углекислоты и вообще над отпращиванием хлорофилла в растениях, мы будем в состоянии разрешить вопрос, касающийся не только физиолога, но и практика, и экономиста, и вообще человека, интересующегося судьбами человечества. Я разумею вопрос, находящийся в связи с учением Мальтуса, — вопрос о пределе производительности земли, о предельном количестве органического вещества, которое человек в состоянии получить с известной площади земли, при помощи растения. Нередко можно слышать мнение, что вопрос этот не имеет даже отдаленного значения, что к тому времени, когда население достигнет предела, определенного производительностью земли, химия откроет средства искусственного приготовления питательных веществ. Подобный взгляд еще несколько месяцев тому назад был высказан одним из наших уважаемых

экономистов на страницах одного из наиболее уважаемых литературных журналов. Но очевидно, что такой взгляд основан на совершенном незнании физических условий задачи. Что химия со временем, — конечно, не скоро еще, — осуществит синтез и таких веществ, как крахмал, как белковые вещества, сомневаться в этом едва ли есть какое логическое основание. Но, для осуществления этого превращения неорганического вещества: углекислоты, воды, азотной кислоты — в органическое вещество, химик не менее растения будет нуждаться во внешнем источнике энергии, и этим источником останется то же солнце. Химик будущего, в своей деятельности, должен будет подражать растению, может быть, он превзойдет его, но все же, как и в растении, предел его деятельности будет положен количеством солнечной энергии, выпадающим на землю. Как бы то ни было, в настоящее время физический предел производительности земли определяется количеством солнечной энергии, которое затрачивается растением на этот химический процесс: зная, сколько единиц тепла выпадает на известную площадь, зная, какая доля этого количества поглощается зеленым органом, т. е. хлорофиллом, какая доля утилизируется на разложение углекислоты, мы будем в состоянии сказать, какое максимальное количество органических веществ можно ожидать с этой площади. Таким образом, вы видите, мм. гг., что этот вопрос об отношении деятельности хлорофилла к лучистой энергии солнца, — вопрос, теперь занимающий физиологов и, повидимому, представляющий исключительно теоретический интерес, — со временем может приобрести практическое экономическое значение. Еще новое доказательство той глубокой связи, которая соединяет деятельность физиолога с деятельностью агронома. Чисто научные, физиологические исследования

прольют со временем свет на вопросы практической важности, а между тем обширные исследования, предпринятые по одному общему плану на германских опытных станциях для определения массы органического вещества, производимого культурными растениями, — исследования весьма простые по содержанию — обещают, в связи с метеорологическими наблюдениями, снабдить физиолога весьма ценными данными для обсуждения этого вопроса. Итак, по отношению к энергии, задача физиолога должна заключаться в том, чтобы достигнуть такого же строго количественного учета, как и по отношению к веществу. Мы должны стремиться к тому, чтобы узнать, какое количество энергии получается растением, какое слагается в запас (а для того должно ознакомиться с самым механизмом этого процесса) и затем какая доля этого запаса истрачивается растением на свои собственные потребности — в процессе дыхания и других ему аналогических. Мы уже видели, что всякому организму, растительному и животному, свойственны оба процесса — созидание и разрушение; но общий результат, итог этих двух процессов, в том и другом случае, весьма различен, и этот итог лучше всего характеризует представителей того или другого царства. Если приход превышает расход, мы имеем перед собою *растение*; если он уравновешен более или менее чувствительно, мы имеем *животное*. Это различие, эта особенность выражается в самом названии растения; растение растет, пока живет, животное же скоро достигает момента, когда процессы уравниваются, когда почти весь избыток пищи затрачивается на развитие энергии, на ту многообразную механическую деятельность, которую в растении мы встречаем только в зачатке. Различие между животным и растением, следовательно, не коренное, качественное, а только

количественное, основанное на преобладании одной из сторон деятельности, характеризующих живые тела. Некоторые ученые придают более значения динамической стороне явления и полагают возможным формулировать различие между животным и растением следующим образом: «Если результат всего жизненного процесса — превращение живой силы в напряжение, то мы имеем растение, если обратно — превращение напряжения в живую силу, то мы имеем животное». Таково, например, определение, предлагаемое Брюкке. Но это определение страдает односторонностью: оно не обнимает всех растений. Способность превращать живую силу солнечного луча в химическое напряжение, — другими словами, способность разлагать углекислоту, — не составляет особенности, атрибута растения, как целого, а только отправление известного органа — хлорофилльного зерна. Отождествлять отправление растения с отправлением хлорофилла значит забывать о существовании обширного класса растительных организмов — грибов.

Но если в этом процессе превращения живой силы в напряжение мы не можем видеть признака, присущего всякому растению, то не подлежит сомнению, что в этом отправлении заключается самая выдающаяся особенность растительного мира, взятого в целом, — она определяет космическую роль растения как посредника между солнцем и жизнью на нашей планете. Усвоение углерода растением или, употребляя выражение Клод Бернара, «функция хлорофилла», самое важное, самое характеристическое отправление растения. «Хлорофилл, — сказал мне величайший из живущих натуралистов, Дарвин, — хлорофилл это быть может самое интересное из веществ во всем органическом мире». Отсюда понятно, что это тело и его отправление составляют в течение

последнего десятилетия один из главнейших предметов, привлекающих на себя внимание ботаников-физиологов.

Итак, мы видим, что и превращение вещества, и превращение энергии совершаются в растительном организме по тем же законам, как в неорганической природе. Это законы строго количественные, а там, где является число и мера — там нет места для какой-нибудь капризной жизненной силы. Растение является результатом взаимодействия веществ и сил, которые оно встречает в окружающей среде. Задача физиолога, в идеальной форме, сводится как бы к разрешению уравнения, в котором, с одной стороны, стоит растение, с другой — доступные ему вещества, действующие на него силы.

До сих пор мы имели в виду только две категории превращений — превращение вещества и энергии, но жизнь организмов представляет нам еще третью категорию — превращение формы, и это, быть может, самая характеристическая сторона жизненных явлений. Жизнь представляет нам последующее чередование, смену форм: мы называем это *развитием*, или *эволюцией*. В этом процессе развития нас поражает одна общая, широкая черта, заключающаяся в том, что путем этого развития слагаются формы, целые организмы, или отдельные органы, поразительно прилаженные, приспособленные к их среде и отпавлению, представляющие то, что мы называем гармонией, совершенством, целесообразностью. Все отдельные химические и механические процессы как бы направлены к одной определенной цели — к образованию целесообразной формы. В этом-то *целесообразном развитии* охотно усматривают характеристическую особенность организмов, отличающую их от неорганизмов. Это-то начало развития, присутствующее, как полагают, в зародыше каждого организма, связующее и согласующее все химические и физические

процессы, в нем совершающиеся, направляя их к определенной цели,— это уже не просто физика и химия,— говорят виталисты,— это и есть начало жизни.

Но, ограничивая таким образом сферу действия жизненной силы, ее защитники, как удачно выражается Клод Бернар, «превращают витализм в чисто-метафизическое представление, разрывают последнюю связь, которая связывает его с физическим миром, с физиологической наукой. Говоря, что жизнь есть идея или начало, руководящее развитием существа, мы только выражаем мысль об известном единстве тех одновременных и последовательных превращений, химических и морфологических, через которые проходит организм с начала и до конца жизни. Наш ум пытается выразить это в одном общем представлении и называет его силой, но было бы ошибочно предполагать, что эта метафизическая сила деятельна на подобие сил физических». Жизненное начало, таким образом понимаемое, по меткому выражению того же Клода Бернара, «есть начало законодательное, а не исполнительное». Исполнительным, деятельным началом в живом организме остаются все те же химические и механические деятели и с ними одними физиология может иметь дело.

Но если объяснение при помощи одной особой силы не верно, то самый факт целесообразного развития остается фактом. Может ли физиология пролить какой-нибудь свет и на эту темную сторону жизненных явлений, может ли она дать объяснение для этого целесообразного развития? В попытке такого объяснения и заключается одна из характеристических сторон современной биологии. Она не остановилась перед задачей, которую предшествовавшие века считали неразрешимой¹.

¹ Это ясно выражено в физиологии Сенебье, представляющей состояние этой науки на пороге XIX века. (См. мою брошюру «Столетние итоги физиологии растений».) [См. стр. 271 *Ред.*]

Положим, перед нами три, по виду совершенно неразличимые, клеточки, зародышевые пузырьки трех различных растений. Развиваясь, при сходных внешних условиях, они дадут начало трем совершенно различным организмам: из одной разовьется кускута, вся организация которой приспособлена для того, чтобы паразитировать на других растениях, так что, если она не найдет своей жертвы, то несомненно погибнет; из другой разовьется какая-нибудь орхидея, цветы которой так устроены, что она может оплодотворяться только при помощи насекомых; наконец, третья превратится в росянку, весь склад которой делает ее способной улавливать и пожирать насекомых. Спрашивается: можем ли мы надеяться когда-нибудь объяснить происхождение этих загадочных целесообразных форм одним взаимодействием веществ и сил, влияющих на них во время их развития? Очевидно, нет. Если по отношению к метаморфозу вещества и энергии мы можем и должны прибегать исключительно к физическим объяснениям, то по отношению к метаморфозу формы, очевидно, эти объяснения недостаточны. Мы должны допустить еще влияние причин *исторических*. Посмотрим, какой смысл придаем мы этому понятию. Говоря о жизни, мы, обыкновенно, даже не отдавая себе в том отчета, имеем в виду жизнь неделимых, т. е. до некоторой степени произвольно выхватываем отдельный эпизод, отдельный момент из целого явления, начало и конец которого теряется во мраке прошлого и будущего. Но понятно, что мы этого не вправе делать; мы не вправе рассматривать единичный организм, как самостоятельное, замкнутое явление: это — только звено в цепи явлений, связанное причинною связью с бесконечным рядом предшествовавших звеньев и, в свою очередь, влияющее на последующие звенья. Для из-

вестных целей мы можем становиться на такую искусственную точку и изучать жизнь неделимого, как самостоятельное явление, точно так же, как мы идем еще далее и изучаем отдельно различные процессы, совершающиеся в организме. Но жизнь вообще мы не поймем, не проникнувшись мыслью о преемственности, о единстве формы, не запечатлев в себе мысль, что жизнь есть одно общее целое явление, охватывающее весь органический мир, в пространстве и во времени. Жизнь есть непрерывное, никогда не перемежающееся явление, при начале которого нам никогда не случалось присутствовать, или, употребляя картинное сравнение, к которому прибегает Гельмгольц в одной из своих лекций, это волна, в каждую минуту приводящая в движение новые частицы вещества; жизнь неделимого — это один гребень, один всплеск этой волны, неизвестно откуда и куда бегущей.

Изучая движение какого-нибудь тела, например, полет ядра, мы, для его объяснения, не можем довольствоваться одним выхваченным моментом и не станем объяснять его исключительно действующими на него в этот момент внешними силами, — мы знаем, что оно движется и под влиянием этих сил и вследствие инерции. Вот эту-то инерцию, это влияние предшествовавшего состояния (*état antérieur* Клод Бернара) мы и должны постоянно иметь в виду при изучении организмов. Если мы сравниваем жизнь с движением, то для понятия инерции в применении к жизненным явлениям, для этой органической инерции мы имеем особый термин — *наследственность*. Сознание необходимости ввести в науку, — или, вернее, не ввести вновь, а только выставить в надлежащем свете это понятие о преемственности, о непрерывности жизненных явлений, — породило в последние годы целый ряд гипотез и новых терминов. Теория

«пангенезиса», предложенная Дарвином, как *временная, вспомогательная гипотеза*, учение о «памяти», как общем свойстве органических тел, предложенное Герингом, и сложная гипотеза «перигенезиса пластидул», предложенная Геккелем, принадлежат к попыткам этого рода ¹. Здесь невозможно, за недостатком времени, входить в подробности обсуждения этих попыток. Против «пангенезиса» можно, главным образом, возразить, что это учение предполагает существование *готовых материальных зачатков* вместо того, чтобы предположить, что в зародыше даны только *условия* развития в том или другом направлении ². Объяснять же наслед-

¹ К этой же категории гипотез — копий «пангенезиса» — относится и гипотеза Негели об «идиоплазме».

² С точки зрения «пангенезиса» зародыш является как бы морфологическим сокращением, редукцией готового организма, между тем как правильнее предположить, что в материальных, динамических и морфологических условиях зародыша представляется только возможность или необходимость того или другого хода развития, т. е. заключается та или другая форма, но только *in potentia*. [В возможности. *Ред.*] Постараюсь объяснить эту мысль сравнением, вполне сознавая, что, как всякое сравнение, оно может грешить со многих сторон. Частицы воды, выбрасываемые фонтаном, располагаются в какую-нибудь сложную причудливую форму, — следует ли из этого заключать, что *эта форма* предсуществует, вылетает готовой из трубки фонтана? Напротив, в тот момент, когда водяные частицы вылетают из отверстия, они имеют совсем иное распределение; но направление струи, скорость движения, форма отверстия и множество других условий необходимым образом влияют так, что водяные частицы, пройдя известный путь, должны расположиться известным образом, воспроизвести известную общую форму. Вообще мне кажется, что объяснить форму — значит указать, каким сочетанием материальных и динамических условий она может быть вызвана; объяснять же форму *предсуществованием готовой зачаточной формы*, а в той — другой зачаточной формы и т. д., как это делается в гипотезе «пангенезиса», значит не разрешать, а только отстранять, отодвигать разрешение вопроса.

ственность, сравнивая ее с памятью, значит объяснять темное еще более темным. Называя наследственность *органической инерцией*, мы, по крайней мере, подводим частное понятие под более общее.

Итак, если одно из основных свойств организмов заключается в их способности находиться в постоянном взаимодействии с веществами и силами окружающей среды, находиться в подвижном равновесии с этой средой, постоянно изменяться, то рядом с этим свойством — с *изменчивостью* — мы должны поставить другое — *наследственность*, т. е. свойство сохранить влияние прежде действовавших условий. Нередко в этих двух свойствах усматривается будто противоречие. Но понятно, что закон *наследственности* так же мало противоречит закону *изменчивости*, как понятие инерции не противоречит понятию движения. В силу означенной инерции, т. е. наследственности, форма может неизменно передаваться из поколения в поколение; в силу той же наследственности, изменение, однажды вызванное, будет также передаваться, не может исчезнуть бесследно, не отразившись на отдаленных поколениях, пока не будет уравновешено другими влияниями. Таким образом, *изменчивость*, как необходимое следствие подвижности состава организма, и *наследственность*, т. е. преемственность всех процессов, передающихся из поколения в поколение и делающих из всего живущего и жившего одно причинное целое, — вот что характеризует организм по отношению к неорганизму. Твердо отстаивая, что жизненные явления управляются теми же *физическими* законами, как и явления неорганические, мы ни на минуту не должны упускать из виду и действия причин *исторических*, как необходимого следствия этого единства жизни.

Но говоря, что жизненные явления кроме причин физических управляются еще причинами историческими, не вводим ли мы тем самым постороннего элемента, нового понятия, не прилагающегося к явлениям в мире неорганическом? Ни мало. Во-первых, наши исторические причины — те же физические, но действовавшие в прошлом; если они действуют теперь, то действовали и прежде, и, однажды отразившись на организме, влияние их не могло исчезнуть бесследно. А затем, разве и за пределами жизненных явлений мы можем обойтись, не прибегая к историческим причинам? Скажут, химия и физика не нуждаются в истории; — да, пока они имеют дело с общими законами или со случаями, искусственно вызываемыми, но не тогда, когда им приходится применять их к случаям, *данным* самой природой. Астрономия всегда служит образцом, идеалом положительной науки, но разве она может объяснить все настоящее нашего планетного мира, не прибегая к его прошлому? Разве гипотеза Лапласа не основывается на таких же приемах, как те, которые употребляются в биологии? На основании различных форм, встречаемых в пространстве, заключают о той последовательности форм, которая должна была совершиться во времени. Разве туманные пятна, кольцо Сатурна, застывшие спутники не то же, что зачаточные, переходные, атрофированные органы, на основании которых мы пытаемся восстановить историю организмов, их прошлое, долженствующее объяснить нам их настоящее? ¹.

Но вернемся к нашей задаче. Посмотрим, насколько эти исторические причины могут объяснить основной

¹ Совершенно сходную параллель высказал позднее известный астроном Фей и еще позднее (в 1887 г.) более определенно — Жансен.

факт целесообразности форм. Эту целесообразность в развитии организмов мы теперь объясняем себе, исходя из двух свойств организмов — *изменчивости* и *наследственности* — и еще третьего их свойства, т. е. *быстрой прогрессии размножения*. Это объяснение дано Дарвином и в нем заключается главное значение его учения для физиологии. В самом деле, как объяснить себе эти основные факты биологической гармонии? Одни говорили, что органы созданы таковыми ввиду потребностей, но такое разрешение вопроса ничего не объясняло. Другие пытались объяснить, но также безуспешно, что сама потребность могла вызвать удовлетворяющее ей изменение. Только Дарвин нашел настоящий ключ, объяснив, что изменения, как вызываемые слепой игрой физических сил, сами по себе безразличны и могут клониться как в пользу, так и ко вреду организма, но что вследствие исторического процесса, названного им метафорически *борьбой за существование* и *естественным отбором*, всякое полезное отклонение, всякое усовершенствование будет сохраняться, всякое же вредное и бесполезное отклонение пресекаться, истребляться. Таким образом, не организм прилаживается к среде, под ее непосредственным влиянием, как предполагали некоторые из предшественников Дарвина, а в бесконечном ряде поколений накапливается все то, что согласно, и устраняется все то, что противоречит этой гармонии органического мира. Следовательно, по отношению к объяснению целесообразного развития органических форм, мы едва ли можем, едва ли должны стремиться к полному объяснению отдельных частных случаев, — мы должны довольствоваться возможностью их общего логического объяснения. Для того, чтоб объяснить себе происхождение самого сложного, самого совершенного органа или приспособления, достаточно показать,

что в самых простейших, элементарных формах они могли возникнуть под влиянием физических условий ¹, затем указать, через какие ступени усовершенствования они прошли, чтобы достигнуть совершенства, и, наконец, доказать, что они полезны для организма. Раз мы докажем эти три положения, то станет очевидно, что подобные формы могли и должны были сложиться с течением времени под влиянием естественного отбора.

Почти излишне напоминать, насколько учение Дарвина обязано фактам, приобретенным практическими деятелями на поприще садоводства и скотоводства; всем известно, что одна из главных заслуг этого ученого заключается именно в том, что он воспользовался этим громадным запасом фактических знаний для построения своей теории, что самой основной мыслью своего учения он обязан практикам. Едва ли в истории наук можно найти более разительный пример плодотворности взаимного влияния этих двух отраслей человеческого знания — теоретической и практической.

Итак, изучая жизненные явления, мы постоянно должны иметь в виду непрерывность, преемственность жизненных явлений, мы не вправе выхватывать жизнь неделимого, рассматривать ее независимо от общей жизни органического мира. Каждый организм складывается не только под влиянием настоящего, но и всего прош-

¹ Так, например, Герберт Спенсер указывал, что *первоначальное* превращение правильного цветка в симметрический могло совершиться под влиянием силы тяжести. Дальнейшее же усовершенствование — дело отбора вследствие полезности симметрической формы для перекрестного оплодотворения при помощи насекомых. Так, Дарвин высказывал мнение, что образование вьющихся растений может быть обязано своим происхождением довольно распространенному свойству стеблей искривляться под влиянием внешнего раздражения. Позднее он объяснял его явлениями «круговой нутации».

лого, вплоть до скрывающегося во мраке времён начала жизни. Это невольно приводит нас к обсуждению вопроса о начале жизни. Если органический мир имеет историю, то откуда начинается она, или быть может организмы возникают и теперь на нашей планете? Случается ли нам быть свидетелями начала жизни, или мы только видим волну, бегущую из мрака прошлого? Понятно, что в сравнении с этим моментом всякий другой представляет второстепенный интерес; изучив этот момент возникновения жизни, превращения неживого в живое, мы, конечно, лучше всего поняли бы различие между ними. Очевидно также, что все сказанное об историческом процессе образования организмов исключает возможность возникновения форм сколь угодно сложных; но вопрос является иным по отношению к формам простейшим, стоящим на низшем пределе организации. Это вековой, спорный вопрос о самопроизвольном зарождении («*Generatio spontanea*», *heterogenesis*, *abiogenesis*). * Существует ли оно? Доказано ли оно в настоящем? Если еще не доказано, то вероятно ли в настоящем? Если не вероятно в настоящем, то может быть необходимо допустить его существование в прошлом или, наконец, быть может, логически мыслимо вовсе обойтись без этого предположения? Вот ряд вопросов, который представляется сам собою и невольно занимает умы современных натуралистов. Попытаемся ответить на них и мы, и тем завершить этот беглый обзор основных задач современной физиологии.

Во-первых, следует строго различать фактическую, экспериментальную сторону вопроса от теоретической

* «Самопроизвольное зарождение», зарождение из неживого. *Ред.*

или логической. До настоящей минуты защитники самопроизвольного зарождения не привели в подтверждение существования этого явления ни одного экспериментального доказательства. Отступая шаг за шагом, они ограничивали сферу этого явления все более и более простыми организмами, — теперь эта область ограничивается исключительно бактериями, но и здесь не констатировано до сих пор ни одного случая появления бактерий при таких условиях, при которых нельзя было бы предполагать присутствия их зародышей. Защитники самостоятельного зарождения говорят: положим, что оно еще не доказано фактически, но логически, а priori оно неизбежно, оно необходимо для полноты нашего мирозерцания; оно связало бы органический мир с неорганическим. Но точно ли это заключение логически обязательно для нас? Точно ли органический мир необходимо должен был возникнуть из неорганического? Доказательством тому, что и другое разрешение этого вопроса *мыслимо*, служат сомнения, в последнее время высказываемые с различных сторон такими учеными, как Прейер, Наке, Фехнер, Вильям Томсон и, наконец, Гельмгольтц. Всего подробнее и оригинальнее развивает свой взгляд Фехнер; привожу его не потому, чтобы разделял его, но как пример возможности целостного мирозерцания без допущения самопроизвольного зарождения. Фехнер прежде всего задается вопросом, в чем заключается различие живого тела от неживого, и отвечает на это следующим образом: «Я не могу себе представить этого различия, — говорит он, — иначе, как приняв, что в неживом твердом веществе частицы не изменяют того порядка, в котором расположены, не могут меняться местами, что не мешает им быть в постоянном колебательном движении. Состояния же организованной материи, пока она одарена жизнью, я

не могу себе представить иначе, как допустив, что частицы ее находятся в постоянном движении, вследствие инерции и взаимного притяжения, и при этом описывают круговые или гораздо более сложные пути. Что подобное движение возможно, примером служат небесные тела; различие только в масштабе». Сравнивая эти две формы движения, Фехнер называет одно *космически-органическим*, а другое *молекулярно-органическим*. Частицу живого вещества можно уподобить солнечной системе, с тем различием, что в ней нет одной особенно преобладающей массы, и потому движение составляющих ее частиц бесконечно сложнее и разнообразнее. Подобное представление об органическом веществе, в сущности, не что иное как описание комка живой протоплазмы. Такое представление об организованном веществе обнимает все его свойства: его произвольное движение, обмен вещества, рост посредством интусусцепции и находится в связи с его полутвердым, полужидким состоянием и необходимостью присутствия воды. Удаляя воду, приводим живое тело в состояние покоя или оцепенения (как в опыте с высушиванием некоторых животных), возвращая ее, возобновляем движение. Точно так же при действии низкой температуры замедляется и, наконец, прекращается это движение; с повышением температуры оно вновь возобновляется. Почему же не предположить, — говорит далее Фехнер, — что первоначально вся материя была одарена как космически, — так и молекулярно-органическим движением. Но мы знаем, что это молекулярно-органическое или жизненное движение совершается только в известных пределах температуры. Когда космическая материя, сгущаясь, достигала этой температуры, она утрачивала это движение, превращалась в неорганическую и только позднее на охладившуюся поверх-

ность этих небесных тел, из сравнительно холодного мирового пространства, осела часть вещества, сохранившая это движение, — доказывают же В. Томсон и Гельмгольтц возможность занесения на нашу планету зародышей организмов при помощи метеоритов. Таким образом, видя между живой и неживой материей чисто физическое различие, сводящееся на их молекулярную динамику, на форму их молекулярного движения, Фехнер обращает вопрос и спрашивает, какая же форма движения древнее. Может быть жизнь предшествовала нежизни, и тогда вопрос о *generatio spontanea* падает сам собою. Повторяю, я привожу эту гипотезу Фехнера только как образец мышления, логически возможный и совершенно противоположный господствующим воззрениям, а следовательно, подрывающий логическую неизбежность заключения о необходимости самопроизвольного зарождения. Итак, по отношению к началу жизни мы можем повторить слова Гельмгольца: «или жизнь когда-нибудь возникла или она современна материи».

Но если возникновение организмов из неоживленного вещества когда-нибудь во времени является вообще более вероятным, то рождается еще вопрос, необходимо ли допустить, что это явление совершается и в настоящую минуту на нашей планете, и что мы только были несчастливы в наших экспериментальных поисках за ним. К подобному заключению уже очевидно нас ничто не вынуждает. В чем бы ни заключалось различие между организмом и неорганической природой, мы одинаково можем допустить, что условия этого перехода могут существовать, но могут и не существовать в настоящую минуту на нашей планете. Мне кажется, даже можно привести доводы, делающие современное существование этого явления, на поверхности земли, мало веро-

ятным и, следовательно, являющиеся объяснением постоянной неудачи всех поисков за ним. Защитники этого учения обыкновенно говорят, что открытие произвольного зарождения венчало бы здание теории Дарвина: эта теория объясняет нам, как одни организмы произошли от других, — здесь мы увидели бы, как первый организм происходит из неорганизованного вещества. Мне кажется, наоборот, существование произвольного зарождения в настоящую геологическую эпоху, а следовательно, и во все предшествовавшие эпохи, явилось бы почти непреодолимым препятствием для этой теории, т. е. обстоятельством, которое весьма трудно, почти невозможно, было бы с ней согласовать. Постараюсь быть кратким: вся теория Дарвина сводится к тому, что все организмы, живущие и когда-либо жившие, находятся в *кровном* родстве; идеал стремлений этого учения — выразить родство всех живых существ в виде *одного* родословного *дерева*, — и должно заметить, что современная система, по крайней мере растительного царства, несколько не противоречит этой возможности: два наиболее глубоко различающиеся между собою отдела растительного царства — растения споровые и растения семенные — представляют такую очевидную гомологическую связь, что в настоящее время едва ли может быть сомнение в единстве происхождения *всех* растительных организмов¹. Но спрашивается: какая же *кровная* связь возможна между организмами, независимо возникшими из неорганизованного вещества в какую-нибудь Силурийскую эпоху и в настоящее время. Какое единство возможно без *одного* общего начала? Какое родословное дерево воз-

¹ Все, что открыто в этом направлении за последние сорок лет, является подтверждением этого положения. (Примечание 1918 г.)

можно, когда несметное число родоначальников возникло и возникает в каждый момент на каждой точке земного шара? Очевидно, если самопроизвольное зарождение существует и существовало, то все органические существа представили бы в совокупности не одно родословное дерево, а целый непроходимый дремучий лес с крупными старыми деревьями и мелкою порослью, и тогда никакая естественная система организмов не была бы возможна. Допустить же, что все возникшие посредством самопроизвольного зарождения организмы, несмотря на различие в условиях их появления, давали начало сходным рядам форм,— значило бы вводить новые, бездоказательные посылки, лишать теорию Дарвина ее главного достоинства — ее строго реальной почвы.

Итак, кажется, всего вероятнее предположить, что самозарождение организмов не совершается при современных естественных условиях, что оно совершалось в отдаленном прошлом и, быть может, со временем вновь осуществится при искусственных условиях в наших лабораториях. По крайней мере, только такое разрешение вопроса действительно удовлетворило бы всем требованиям — венчало бы здание биологической науки.

Следовательно, вопрос о первоначальном возникновении жизни, вопрос об образовании организма из неорганизованного вещества, остается еще в области гипотез и неопределенных стремлений. Синтетической биологии пока еще не существует. А что если ей никогда не суждено осуществиться, что если жизнь современна материи? Что ж, и тогда направление и методы физиологии несколько не изменятся,— она будет видеть в жизни, в организме, нечто заранее данное, но тем не менее подчиняющееся определенным законам, общим для всего вещества. Она будет в таком же положении, как и астрономия, которая, изучая законы дви-

жения планет, изучая физические и химические явления, совершающиеся на солнце, объясняя историческими причинами, т. е. гипотезой Канта и Лапласа, происхождение и развитие нашей планетной системы, не заботится о том, откуда взялся первоначальный толчок, приведший ее в движение, и совершился ли он во времени ¹.

Подводим краткий итог всему, до сих пор сказанному. Для осуществления своей задачи, для объяснения явлений растительной жизни, физиология растений не нуждается ни в каких произвольных посылках, от которых давно отказались науки, имеющие предметом неоживленную природу. Она не нуждается, как в былые времена, в допущении существования особой органической материи, — для нее достаточно и той, из которой состоят неорганизованные тела, и тех общих законов, которые управляют последними. Она не нуждается в допущении существования особой жизненной силы, неуловимой и своевольной, ускользающей от закона причинности, не подчиняющейся числу и мере, — для нее достаточно основных физических законов, управляющих и неорганическим миром ². Она не нуждается, наконец, в допущении существования неопределенного метафизического начала целесообразного развития — этого последнего убежища виталистов, — для нее достаточно действительного, указанного Дарвином, исторического процесса развития, неизбежным, роковым образом направляющего органический мир к совершенству и гармонии. До тех пор, пока нам не докажут

¹ В настоящее время она подвинулась и в этом направлении; см., например, книгу Льюэли *The Evolution of Worlds*. (Примечание 1918 г.)

² Только Бергсон утешал себя, что будет найден еще какой-то третий закон, не подчиняющийся числу и мере, и на этом строил надежду на воскресение витализма. (Примечание 1918 г.)

противного, мы вправе видеть в растении — «механизм, сам себя обновляющий» и обладающий историей. Мы вправе требовать от этой науки, при ее современном состоянии, чтобы при объяснении явлений жизни она прибегала только к троякого рода причинам: химическим, физическим и историческим. Эта троякая задача вполне соответствует трем эпохам в развитии естествознания вообще — трем эпохам, которые характеризуются тремя общими законами, лежащими в основе нашего мирозерцания, тремя руководящими именами. Эти законы: закон постоянства материи, закон сохранения энергии и закон преемственности или единства жизни. Эти руководящие имена — имена Лавуазье, Гельмгольца и Дарвина.

Итак, мм. гг., вы видите, что, для осуществления своих современных задач, физиология растений не нуждается в большем числе посылок, чем другие науки, получившие беспорное название положительных. Она требует не менее, но и не более того, чего требует, например, астрономия для объяснения всей совокупности подлежащих ей фактов; как та, так и другая нуждаются в причинах химических, физических и исторических. Если же мы пока бессильны по отношению к объяснению начала жизненных явлений, то, я полагаю, и астрономия находится в таком же отношении к началу космических явлений, к началу мирового процесса, и это ей несколько не мешает идти своим путем, расширять область положительного знания, не прибегая ни к каким гипотезам, лежащим за пределами науки.

1878 г.





СТОЛЕТНИЕ ПТОГИ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ¹



Die ächte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntniss und überlässt es willig dem Poeten und Naturphilosophen die Auflösung ewiger Räthsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen.

R. Mayer, Die Mechanik der Wärme S. 24.²

Девятнадцатый век отошел в вечность; молодой двадцатый выступил ему на смену. Воскликнуть ли просто, как в доброе старое время во Франции: *Le roi est mort. Vive le roi!*³ или остановиться в раздумье и на пороге веков; в последний раз пристально всмотреться в черты уходящего, вникнуть глубже в то, что он с собой принес, что по себе оставил, и отдать ему справедливую дань уважения и благодарности. Очень часто говорят: какой смысл отличать подобные искусственные грани в жизни ли неделимого или всего человечества; ведь первый день нового столетия ничем не отличается от последнего дня истекшего? Едва ли это возражение основательно. Какие же грани не искусственны, не созданы умом ради подчинения себе необъятного единства всего существующего, а какое знание было бы возможно

¹ Речь, читанная на акте Московского университета 12 января 1901 г.

² Истинная наука довольствуется положительным познанием, охотно предоставляя поэтам и натурфилософам разрешение вечных загадок при помощи фантазии. Р. Майер. «Механика теплоты». Стр. 24.

³ Король умер. Да здравствует короли!

без этих искусственных граней? С другой стороны, успеха в жизни достигает только тот, кто, поставив себе самые широкие задачи, умеет разбить ведущий к ним путь на этапы, чтобы следить за тем, насколько в течение каждого из них он успел приблизиться к намеченной далекой цели. Столетие — достаточно длинный этап даже в жизни науки, в своем поступательном движении никогда не видящей перед собой конца.

Истекший столетний период особенно знаменателен в применении к физиологии растений, не потому только, что это наука вообще молодая, но и потому, что с окончанием XIX века завершается, можно сказать, первый век ее существования и это обстоятельство делает ее, может быть, наиболее удобным объектом для оценки научного движения века.

На восьмом году республиканского календаря, т. е. 1800 г. по нашему летоисчислению, в Женеве появился первый полный трактат физиологии растений, принадлежавший женевскому ученому, пастору, позднее хранителю городской библиотеки, — Сенебье. Женеву справедливо считают колыбелью физиологии растений, а пять томов «*Physiologie végétale*» * представляют драгоценный памятник того, чем была эта поворожденная наука при вступлении в девятнадцатый век. Сенебье сам заявляет, что, по его мнению, излагаемая им наука находится в колыбели, и заканчивает свою книгу перечнем *desideranda* **, т. е. вопросов, разрешение которых он завещает будущему. Оправдал ли истекший век надежды физиолога? Мы можем смело сказать, не только оправдал, но и превзошел все его ожидания и даже, как всегда бывает, разрешил ряд коренных вопросов, которые ему представлялись неразрешимыми.

* «Физиология растений». *Ред.*

** Пожелания. *Ред.*

Но что же примем мы за меру успехов знания, за критериум его совершенства? Конечно, не один количественный рост, не одно накопление фактов, хотя и этот чисто внешний признак его развития, как мы увидим, поразителен. Таких критериумов успеха в нашей области мы можем выставить три.

Первая и самая общая мера, применимая ко всякой области знания, это степень его обобщения, его объединения. По лаконическому определению Спенсера, *Philosophy is unnified knowledge*¹. Всякое философское знание есть знание объединенное, и степень осуществления этого объединения — лучшее мерило совершенства. Второй, и еще более верный, критериум совершенства нашего знания применим только в опередившей другие отрасли известной его области, которую мы по праву можем назвать точной. Это — возможность, на основании этого знания, подчинить себе действительность, давать ей желаемое направление, когда объект доступен нашему воздействию, или только предвидеть, предсказать течение явлений, когда он ускользает от этого воздействия. Возможность *prévoir et agir*², по лаконической формуле Конта и Клода Бернара, — вот этот второй, единственный точный и неотразимый аргумент, определяющий совершенство наших знаний с точки зрения философии науки — философии положительной. Наконец, третьей, хотя и не наиболее глубокой, но зато наиболее наглядной и наиболее ценимой, с точки зрения практической, житейской философии, мерой совершенства наших знаний служит степень их приложимости к удовлетворению материальных потребностей человека. Этот критериум имеет всегда выдающееся значение в глазах людей, для которых непонят-

¹ Философия — объединение знания.

² Предвидеть и действовать.

на, породившая эти приложения, внутренняя жизнь науки.

С этих трех точек зрения мы и рассмотрим столетние успехи нашей науки.

Если количественный рост знаний и не служит мерой их совершенства, зато он наглядно обнаруживает возрастающее количество прилагаемого к ним труда. Вместо каких-нибудь 30 000 отдельных растительных форм (видов), которые насчитывает Сенебье, современная наука знает их с лишком 175 000, и, тем не менее, возможность найти путь в этом колоссальном лабиринте единичных фактов значительно увеличилась, благодаря их систематическому соподчинению, благодаря их объединению. Если в прошлом задача биологии более сводилась к различению форм, то выдающейся чертой настоящего является стремление к их сближению, к установлению их сходства и взаимной связи. Я могу здесь бегло остановиться только на нескольких примерах, указывая на те случаи, где ботаники шли во главе движения. Самым глубоким коренным различием в пределах растительного царства, которое XIX век унаследовал от XVIII, представлялось предложенное еще Линнеем деление на растения *явнобрачные*, т. е. представляющие половой способ размножения, и *тайнобрачные*, его не представляющие. Исследованиями первой половины этого столетия было устранено это различие, и у растений тайнобрачных был найден этот процесс, но он был так отличен от того, что наблюдалось у явнобрачных, что служил скорее к установлению более глубокого различия, чем к сближению этих двух полуцарств растений. Ровно полвека тому назад Гофмейстер задался колоссальным трудом; он проследил историю развития представителей главнейших групп растительного царства и показал, каким образом

кажущееся различие может быть сведено на более глубокое сходство. Он предсказал, где, у каких растений должно найтись окончательное подтверждение его воззрения. Почти через полвека его пророчество исполнилось вполне и — замечательная особенность, которую едва ли кто-нибудь мог предвидеть сто лет тому назад, — подтверждение пришло из далекой Японии, теперь уже принимающей заметное участие в движении научной мысли. На днях Навашин доставил еще новое блестящее подтверждение верности этой теории. Таким образом, выражаясь словами самого Гофмейстера, удалось перебросить мост через самую глубокую пропасть, делившую растительное царство надвое ¹.

Главный успех химии в исходе прошлого столетия заключается в том, что бесконечное разнообразие тел природы ей удалось свести на ограниченное число образующих их простых тел, элементов, причем в течение всего века перед химиком витал соблазнительный образ одного элемента, путем усложнения дающего начало всем другим. Биологам удалось найти такой единственный элементарный орган, через бесчисленные видоизменения и сочетания которого слагаются все части самых сложных организмов. Здесь на первом месте мы должны поставить заслуги ботаников Шлейдена, Моля, Роберта Брауна. Первый из них был, если не в буквальном смысле основателем, то первым «глашатаем» учения о *клеточке*, а другие два открыли ее две важнейшие составные части — *протоплазму* и *ядро*. Исследования над клеточкой, протоплазмой и, в особенности, начиная с 70-х годов, разросшиеся до колоссальных размеров

¹ Уже в XX веке (1903 г.) получено новое, еще более интересное, доказательство в пользу теории Гофмейстера на основании изучения ископаемых растений. (Примечание 1918 г.)

исследования над ядром установили такую глубокую аналогию в строении представителей обоих царств природы, о которой ранее нельзя было и помышлять. Шедшее параллельно с раскрытием внутреннего строения сложных организмов изучение простейших микроскопических существ из обоих царств устанавливало такое близкое сходство между ними, что самая граница между ними мало-помалу сглаживалась; промелькнула даже мысль, вскоре покинутая, о выделении третьего промежуточного царства, через дихотомическое распадение которого появились царства растений и животных.

Эти блестящие результаты широкого объединения, достигнутые при помощи характеристичного для биологии *сравнительного* метода, настоятельно призывали научную мысль остановиться, наконец, на причине этого единства. Идея, высказанная в начале века Ламарком, но недостаточно обоснованная и встреченная с недоверием, ровно через полвека торжествует окончательно в учении Дарвина, сообщившем этому объединяющему движению биологии реальное содержание. Единство строения явилось только результатом единства происхождения, связывающего все существующие организмы, через посредство существовавших, в одно неразрывное целое. Замечу мимоходом, какие права имеет ботаник считать своими эти два громких имени. Автор «*Philosophie Zoologique*»¹ был прежде автором «*Flore française*»², и несомненно наиболее удачными, как мы увидим далее, были его мысли, высказанные в применении к растению; что же касается Дарвина, то после выхода его капитальных трудов «*Origin of species*» и «*Descent of Man*»³ вся деятельность его была сосредоточена на применении

¹ «Философия зоологии».

² «Французская флора».

³ «Происхождение видов» и «Происхождение человека».

его теории, как рабочей гипотезы, к задачам исключительно физиологии растений.

Таковы, в самых общих, широких чертах, главнейшие завоевания наблюдательной, описательной ботаники. Что же давала в это время другая отрасль этой науки, которая нас собственно интересует,— физиология, стремящаяся к тому, чтобы объяснить себе совершающиеся в растении процессы, совокупность которых мы обозначаем собирательным словом жизнь?

Здесь объединительный процесс, очевидно, должен идти далее; он не может ограничиваться одним объединением только собственного содержания науки, а должен стремиться к объединению этого содержания с содержанием наук более общего порядка, т. е. физики и химии. Это, как мы увидим, понимал и Сенебье. Физиология, очевидно, стремится не к одному только описанию, а к объяснению жизненных явлений и путем этого объяснения к подчинению их власти человека. Эти столь ясные, всякому понятные выражения: описание, объяснение, к сожалению, в самое недавнее время подали повод к весьма прискорбному смещению понятий. Знаменитый физик Кирхгоф как-то выразился, что механика, этот идеал точной науки, имеет своей задачей лишь описание изучаемых ею явлений. Нашлись биологи, которые из этого сделали заключение: и нам не зачем идти далее; если уже механика наука описательная, то ботанике и зоологии и следует оставаться описательными. Нужно ли выяснять всю ошибочность этого умозаключения? Всякое объяснение предполагает переход от более сложного к более простому, от менее известного к более известному, от менее доступного изучению к более доступному. Всякое объяснение есть сравнение с более простым. Механике, оперирующей с простейшими понятиями движения, пространства,

времени, уже некуда восходить к простейшим; для нее объяснение может совпадать с описанием, но, конечно, явления питания, роста, воспроизведения не так просты и довольствоваться их внешним описанием не значит давать им объяснение.

Объяснение жизненных явлений, в указанном смысле, мы, очевидно, получаем только тогда, когда, разлагая их, сводим их к явлениям более общего порядка, физическим и химическим, обнимающим и живые, и неживые тела. Но возможно ли это? С начала века, что было понятно ввиду недостаточности фактических данных, и до конца его, что уже трудно себе объяснить, раздавались голоса, упорно утверждавшие, что такое объяснение невозможно, что явления, совершающиеся в организмах, иного порядка, что они не разложимы на простейшие, не подчиняются законам механики, физики, химии, которым подчинены явления в телах неживых. Это голоса так называемых *виталистов*. Я не делаю различия между каким-то особым, *нео-* и *палео-витализмом*, потому что его на деле не существует. Достаточно обратиться к истории физиологии растений, например, Сакса, чтобы увидеть, каким вредным тормозом это беспочвенное воззрение было в течение почти всей первой половины века; стоит заглянуть в классические произведения одного из великих основателей современного научного мировоззрения, Р. Майера, чтобы понять то смешанное с презрением негодование, которое вызывало в нем это злосчастное учение. Можно смело сказать, что вся столетняя история физиологии — только одна повесть о победе химико-физических воззрений над воззрением виталистов, и замыкается она, как сейчас увидим, одним из самых решительных поражений этого последнего.

Наш обзор успехов физиологических знаний мы можем всего лучше сгруппировать, как это обыкновенно делается, вокруг трех основных точек зрения, трех категорий явлений, исчерпывающих собою всю совокупность растительной жизни. Все эти явления, несмотря на их бесконечное разнообразие, сводятся к троякого рода превращениям. Это будут или превращения вещества, или превращения энергии, или превращения формы. Конечно, всего чаще все эти три ряда превращений будут совпадать, и мы их рассматриваем в отдельности только ради упрощения обзора.

Начнем с рассмотрения того, что было известно в начале века и что мы знаем теперь о химизме растения, т. е. составляющих его веществах и их превращениях. Химии растительного организма как самостоятельной задачи не существовало. Сенебье пытался составить какое-нибудь о ней представление на основании отрывочных сведений о различных технических и сельскохозяйственных продуктах, указывая, что этим путем мы можем приблизиться к пониманию того, что находится в растительных тканях. Даже по вопросу об элементах, входящих в состав растительного вещества, сведения еще долго после Сенебье были смутны и сбивчивы. Так, например, хотя Сенебье ясно указывал на присутствие в растении азота, еще долго после него — правда, более у химиков, чем у физиологов, — господствовало убеждение, что азот не входит в состав растения; так что в конце двадцатых годов Огюст Конт основательно ставил вопрос — если его нет в растении, откуда же он взялся в животном, — и еще в тридцатых годах Бунзен ссылался на недавние исследования Буссенго, как на доказательство, что азот действительно входит в состав

растения. Мало того, в начале этого века Берлинская академия предложила на соискание тему: проникают ли химические элементы золы растений извне или создаются самим растением, и полученный ответ разрешал вопрос во втором смысле. Несмотря на синтез мочевины, осуществленный Вёлером еще в конце двадцатых годов, до половины этого столетия, образование, синтез органического вещества провозглашались тайной жизненной силы, чем-то недостижимым для химика. Этот догмат витализма рухнул, можно сказать, на наших глазах с появлением знаменитой книги Бертло «Chimie organique fondée sur la synthèse»¹. Понятно, что поколение, которое было свидетелем этого поражения витализма, не убедят возгласы современных виталистов, что то или другое явление составит навеки тайну организмов. Из трех важнейших групп, входящих в состав организмов, жиры и углеводы уже получены синтетически — очередь за белками, и, конечно, ни один химик не сомневается, что их получение только вопрос времени, задача гораздо более сложная, но не представляющая какого-нибудь коренного различия от того, что уже осуществлено наукой.

Ознакомившись с составом органического растительного вещества, доказав, что оно может получаться *in vitro*², без участия какой-нибудь таинственной жизненной силы, наука, особенно в последние годы, сделала громадный шаг по пути к объяснению совершающихся в растении превращений этого вещества. Остановимся и здесь на самой выдающейся черте этих явлений. В организме давно был подмечен ряд процессов, которым химик мог подражать в лаборатории только

¹ «Органическая химия, основанная на синтезе».

² В стекле, т. е. в стеклянной посуде химика, а не только в живом существе.

при действии очень энергических деятелей и при высокой температуре. Ни того, ни другого условия в живом организме не существует, — как же совершаются там эти явления? У виталистов, конечно, был готов ответ — это тайна жизни. Но еще в 1833 г. Пайену удалось найти ключ к этой тайне; он выделил из солода вещество *диастаз*, которому суждено было сделаться типом целой группы веществ, получивших название *ферментов*. Эти ферменты воспроизводят вне организмов, в колбе химика, те явления, которые до тех пор наблюдались только в живом организме. Значение этих тел растет с каждым днем; Клод Бернар видел в них *четвертое условие жизни*. Первые три: теплота, вода и кислород воздуха. В самом деле, что отличает покоящееся семя, которое может, как мы знаем, оставаться в оцепенении годы, столетия, тысячелетия, — может быть, неограниченные периоды времени, — не утрачивая своей способности, при наступлении благоприятных условий, вновь пробудиться к жизни? Отвечаем: отсутствие фермента и условий, при которых этот фермент может действовать. Только под влиянием ферментов, отложенные в семени запасные питательные вещества пускаются в оборот. То же оказывается и во взрослом организме; чем ближе мы знакомимся с его химизмом, тем больше места мы должны отвести этим ферментам. Главная их особенность заключается в том, что они вызывают энергические реакции, находясь сами в ничтожных количествах, и химики объясняют это тем, что одно и то же количество фермента, вступая в соединение с изменяемым им телом и выступая из него, может действовать на неограниченное его количество. Сходные явления представляет нам не только органическая, но и неорганическая химия. Но рядом с этими процессами, в которых удалось разоблачить тайну жизни, воспроизведя их и

вне организма, наблюдался и другой ряд процессов, в которых тайна упорно не поддавалась исследованию. В науке, особенно благодаря авторитету Пастера, возникло убеждение, что существует ряд процессов, объясненных действием *ферментов-веществ*, подобных диастазу, процессов, воспроизводимых и вне живого организма, и другой ряд процессов, вызываемых действием живых *ферментов-сущест*, — процессов, не воспроизводимых вне живого организма, составляющих его неотъемлемую тайну, тайну жизни. Самым типическим примером этих последних служило спиртовое брожение, происходящее под влиянием дрожжевого грибка. Рядом с этим дуалистическим воззрением Пастера, Бертло с начала шестидесятых годов утверждал, что для такого дуализма нет никакого повода; с развитием науки, говорил он, нам удастся из этих *ферментов-сущест* выделить ферменты-вещества, как мы выделили диастаз из прорастающих семян, инвертин из тех же дрожжей. Но это открытие, с такой уверенностью предсказанное Бертло, замедлило почти на сорок лет, — и в течение сорока лет виталисты ликовали. В пользу научного взгляда говорила строго логическая аналогия; на стороне витализма был грубый, эмпирический факт. Трудно было бы найти более удобной почвы для разрешения спора. Еще в 1897 г. Фишер-ботаник в своих лекциях о бактериологии заявлял о несомненности учения Пастера ¹, но, когда печаталась его книга, это учение уже было опровергнуто. Бухнеру удалось, наконец, извлечь этот фермент спиртового брожения — *зимаз*, как он его назвал, получение которого для людей науки было только вопросом времени, а для виталистов

¹ Еще увереннее выражался русский ботаник — Ивановский.

громовым ударом. Нельзя без смеха читать всего крючкотворства, наблюдать те усилия, которые до сих пор делаются виталистами, чтобы подвергнуть сомнению блестящие результаты Бухнера. И получил их Бухнер буквально при помощи тех *Hebeln und Schrauben*¹, над которыми когда-то так напрасно глумился Гёте. Именно тиски, давление в несколько сот атмосфер, вымогли в первый раз у дрожжевой клеточки эту тайну жизни.

Существовал и другой ряд химических превращений, и еще более важных, который, к радости виталистов, также не мог быть воспроизведен вне живых существ. Это процессы окисления, лежащие в основе процессов дыхания и ему подобных. Вещества, которые легко окисляются в живом организме, в живой клеточке, не представляют того же явления вне ее. Этот факт служил большим утешением для виталистов, в особенности для их русского защитника, профессора Бородина. Он подавал ему повод утверждать, что процесс дыхания так же таинственен в наше время, как был и во времена Лавуазье. Но с ним случилось то же, что с Фишером: когда он произносил эти слова, и даже ранее, был открыт фермент, который вызывает реакцию окисления с выделением углекислоты вне организмов. И на этот раз снова свет пришел из страны восходящего солнца — из Японии. Изучая химический процесс образования их знаменитого лака, японские ученые натолкнулись на факт, который в руках талантливого французского химика Бертрана послужил к открытию целой новой группы ферментов — *оксидаз*, вызывающих ряд окислительных процессов, аналогичных тем, которые до той поры наблюдались только в живых организмах.

¹ Рычагами и тисками.

Все рассматриваемые нами до сих пор явления, вызываемые ферментами, имеют один общий характер: все это явления деградации, распада более сложных тел на более простые. А между тем химизм живого тела складывается из двух противоположных явлений: из распада анализа и из образования сложных соединений насчет простых, т. е. синтеза, и, конечно, это последнее явление более существенно. И это обстоятельство виталисты старались учесть в свою пользу, но судьба снова над ними подшутила. Не успел почти один английский химик, Мелдола (в речи на заседании британской ассоциации), высказать ту мысль, что ферменты разлагают, одна жизнь созидает, как другой английский химик, Крофт Гиль, сделал открытие, громадное значение которого, если оно оправдается и в других случаях, трудно даже оценить ¹. Он показал, что орудием синтеза могут являться те же ферменты, которые нам были до сих пор известны по их реакциям разложения. Все зависит от взаимного отношения, от известных равновесий между телом, на которое действует фермент, и продуктами распада. Давно было замечено, что накопление продуктов распада задерживает дальнейший распад, что реакция имеет предел. Крофт Гиль объяснил это обратной реакцией. Оказалось, что тот же диастатический фермент, который вызывает распад одного сложного сахаристого вещества на составляющие его простые, может эти простые обратно превратить в сложные; все зависит от количеств взаимодействующих веществ. Тот же фермент является разрушителем и созидателем, смотря по условиям.

Но что такое эти ферменты? По мнению химиков, их ближе изучавших, это или белковые вещества, или бли-

¹ Оно вполне оправдалось и составляет одно из важнейших приобретений науки. (Примечание 1918 г.)

жайшие производные белковых веществ. Таким образом, исследования последних лет раскрывают перед нами соблазнительную перспективу такой цельной, объединенной картины химизма живых тел. Где есть белки, а они образуют основу того вещества, которое мы называем протоплазмой, мы имеем не только материал — самое сложное органическое вещество, но и орудие — фермент, обуславливающий возможность бесконечного ряда продуктов его распада и их обратного синтеза. В комке белкового вещества потенциально дан весь разнообразный химизм живого тела ¹.

Этот первый пример не доказывает ли нам, что вся столетняя история физиологии в этом направлении, с начала века и до последних дней, не только одна непрерывная повесть о бесплодных стараниях витализма стать на пути положительного знания, загородить ему дорогу, отбить энергию у исследователей, вперед запугав их бесплодностью их попыток. Победа неизменно оставалась на стороне химиков, которым Сенебье доверил заботы о своем детище.

* * *

Но откуда берется это вещество, в изучении которого мы так успели продвинуться? Химики школы Лавуазье — а Сенебье в последние годы принадлежал к ним — могли дать, конечно, только один ответ — оно

¹ При этом невольно возникает представление об основном дуализме клеточки, о параллельном существовании протоплазмы и ядра. Даже такой осторожный физиолог, как Клод Бернар, высказывал мысль, не играет ли ядро роль фермента. Его участие в образовании клетчатки и другие факты только подтверждают эту мысль. С такой точки зрения протоплазма представляла бы *материал*, а ядро — *орудие*.

берется извне. Но что же побуждает это вещество поступать в растение, скажем, в простейшем случае всасывания пищи из земли. Самое простое представление, что растение всасывает пищу, как светильня масло. Несостоятельность такого грубого представления была доказана Соссюром, одним из величайших химиков-физиологов нашего века, положившим в своих «*Recherches chimiques sur la végétation*» * прочные основы всему учению о питании растения. Он показал, что поступление веществ в растение не объясняется одним током воды, испаряемой листьями. Растение воспринимает их не в тех количествах и не в тех отношениях, в которых они будут ему доставлены. Оно обладает способностью выбирать одно предпочтительно перед другим, и физического объяснения для этого факта нельзя было предложить. Налицо был факт, обладавший двумя драгоценными для витализма чертами — явление не допускало физического объяснения и в то же время носило видимость какого-то сознательного, инстинктивного поступка. Но наука шла своим обычным путем, и к началу второй половины столетия для этого инстинктивного действия нашлось физическое объяснение. История этого крупного шага в понимании и объяснении жизненных явлений крайне поучительна. Это открытие составляет гордость физиологии растений, так как совершилось в порядке, обратном обыкновенной, научной преемственности, вопреки иерархическому подчинению наук. На этот раз не физики объяснили физиологу наблюдаемое им явление, а физиолог, в поисках за объяснением, которым не могла снабдить его физика, сам обогатил физику новой плодотворной областью исследования. Около двадцать шестого года Дютроше,

* «Химические исследования над растительностью». *Ред.*

один из самых светлых умов, которых видало девятнадцатое столетие в области биологии, был поражен сделанным им микроскопическим наблюдением. У какого-то микроскопического водяного растения существуют продолговатые мешочки, а в этих мешочках клеточки, так называемые споры. На известной стадии развития организма, на глазах у наблюдателя, мешок на вершине лопается, и споры выбрасываются наружу. Почему они выбрасываются? Физики того времени не могли дать на это ответа. Будь Дютроше виталистом, он просто возликовал бы, — физика бессильна объяснить это явление, значит это тайна жизни, а будь он современным нам *фитопсихологом*, он нашел бы объяснение в психологии и стал бы убеждать, что они движутся потому, что хотят, потому что знают, что им на воле будет лучше ¹.

По счастью, Дютроше не был ни тем, ни другим и решил, что если физика не дает готового объяснения, то нужно искать нового, неизвестного физикам, но физического же объяснения. Плодом этих поисков было учение об *осмозе*, составляющее, как я уже сказал, гордость физиологии растений, так как оно возникло на ботанической почве, и только значительно позднее обработанное, сначала в форме более простых явлений диффузии жидкостей и газов, вернулось обратно в физиологию уже в виде стройного физического учения. Дютроше вполне сознавал значение своего открытия. «La découverte de l'endosmose lie désormais la physique à la physiologie»², — говорит он в замечательном введении к

¹ Почти буквальные выражения, в которых один современный нам русский ботаник (Коржинский) объяснял направление роста корня в землю и стебля в воздух.

² «Открытие эндосмоза навсегда соединяет физику с физиологией».

собранию своих мемуаров, и далее: «Ces premiers essais de l'application des phénomènes physigues á l'explication des phénomènes physiologiques tendent a faire disparaître le *mysticisme* que les physiologistes *vitalistes* ont introduit dans la physiologie»¹. Почти через полвека после открытия Дютроше, ботанические исследования Траубе, Пфеффера, Де-Фриза снова обратили внимание физиков на эту область и привели к теории осмотического давления Вант-Гоффа. Наконец, не далее, как в прошлом году, исследование Гораса Брауна над диффузией углекислоты в листья растений разрослось в целый физический трактат, разъясняющий один частный случай, еще не обработанный физиками. Трудно было бы найти более наглядный пример плодотворности объединения задач физики и физиологии и практической злобредности виталистических стремлений. Примененное к ботанике учение об осмосе и диффузии дало общий ключ для объяснения механизма поступления вещества в организм и его перемещения в нем. Так, опираясь на данные Грэма, Дегерен в шестидесятых годах мог дать физическое объяснение и для той способности к *выбору*, которую, как мы видели ранее, готовы были приписать какому-то несуществующему инстинкту.

Изучение явлений диффузии и осмоса дает нам возможность заглянуть в самую глубь различия между растением и животным. Пища растения, газы и кристаллоиды, легко подвижна — потому растение может быть неподвижно; его пища сама идет к нему навстречу.

¹ «Эти первые попытки применения физических явлений для объяснения явлений физиологических изгонят из них тот мистицизм, который пытались ввести в физиологию физиологи-виталисты».

Наоборот, пища животного — нерастворимое или трудно подвижное коллоидальное вещество — животное вынуждено идти ему навстречу; отсюда органы хватания, привлечение пищи, органы движения, чувств — и, координирующая их деятельность, — нервная система¹. Мы не видим еще конца объяснениям и обобщениям, которые принесла с собою одна гениальная мысль Дютроше, тем более, что, как увидим далее, осмотические процессы доставят нам главные объяснения в области явлений роста, а также сравнительно редких явлений движения растений.

* * *

Явления осмоса объяснили нам, как поступает пища в растение, но что же должны мы признать за его пищу? Быть может, ни в одной области физиологии строгий, индуктивный, экспериментальный метод не дал таких ясных, определенных и блестящих результатов, как в этом учении о питании. Отправляясь от той сложной и до сих пор плохо известной среды, какой является почва, постоянно упрощая эту среду, выработав крайне простые приемы так называемых искусственных культур, физиологи пришли к тому поразительному выводу, что растение для своего питания нуждается только в углекислоте воздуха да в небольшой щепотке четырех-пяти солей. В современных физиологических лабораториях мы можем любоваться совершенно нормальными растениями, никогда не выдавшими под собой другой почвы, кроме дистиллированной воды, в которой растворена эта щепотка соли.

¹ Это подтверждается и теми исключениями, когда растение вынуждено получать, например, свой азот в твердой форме. Тогда оно снабжено органами хватания — насекомоядные растения.

Трудами целого ряда исследователей, между которыми мы должны упомянуть Соссюра, Буссенго, Кнопа и Гельригеля, выяснилось, что из числа тех 80 элементов, которых, кажется, насчитывает современная химия, растение безусловно нуждается в каких-нибудь десяти. Один из них, и самый важный, углерод, доставляется углекислотой воздуха, остальные девять: водород, кислород, азот, сера, фосфор, калий, магний, кальций, железо — водой и почвой.

Установление факта, что углерод растение черпает из углекислоты, собственно принадлежит XVIII веку и составляет неотъемлемую заслугу Сенебье, несмотря на попытки немецких ученых ее у него отнять. Доказав, что разложение углекислоты совершается в зеленой мякоти листа и в других зеленых органах, Сенебье предсказал, что именно в этой ткани должно искать отложения того вещества, которое представляет собой первый продукт этого синтетического процесса; он даже высказал мысль, что это тело будет тройное соединение углерода, водорода и кислорода. Сакс и Годлевский, опираясь на ранее полученные данные Моля и Гри, уже в шестидесятых и семидесятых годах доказали экспериментально верность предсказания Сенебье ¹. Это тело, тройное соединение углерода, водорода и кислорода, оказалось углеводом-крахмалом, образующимся в зеленых зернах хлорофилла. Позднее, блестящее открытие Бутлерова, доказавшего возможность производить углеводы или сахаристые вещества от муравьиного альдегида, — открытие, составившее исходный пункт всех наших современных представлений об этой группе, заставило усомниться, точно ли крахмал бу-

¹ Мысль о синтезе углеводов в листе была высказана Рекуле, что и послужило важным толчком для исследований Сакса.

дет первым продуктом синтеза, но и до настоящего времени он остается первым, несомненно доказанным и появляющимся через несколько минут за разложением углекислоты. Таким образом девятнадцатый век разъяснил в подробностях этот удивительный факт питания растения на счет атмосферной углекислоты, и, тем не менее, мысль о питании воздухом до того противоречила обычным представлениям, что к ней не могли привыкнуть даже ученые, продолжавшие еще долго называть этот газовый обмен дыханием. Еще в пятидесятых годах Шлейден мог остроумно замечать, что люди, повторяя, в качестве неотразимого аргумента, ходячую фразу: «не могу же я питаться воздухом», и не подозревают, что говорят прямо противное истине. В конце концов, все мы питаемся именно воздухом, и эту задачу превращения воздуха в пищу разрешает для нас растение.

По отношению к другому важнейшему элементу — азоту растение также представляет резкое отличие от животного. Животные принимают его в форме сложного белкового вещества, причем, перерабатывая это вещество, они постоянно тратят азот, выбрасывая его в громадных количествах в своих извержениях. Наоборот, растение распоряжается азотом крайне экономно, не тратя его, не выбрасывая, а постепенно вновь пуская в оборот. При этом первым источником его служат ему простейшие соединения, азотная кислота и аммиак. Некоторые незеленые микроскопические растения, как показали исследования Бертло, Гельригеля и Виноградского, способны утилизировать и свободный несоединенный азот атмосферы.

В этой способности растения превращать неорганическое вещество в органическое мы должны видеть самую типическую особенность растительного мира,

отличающую его от мира животного. Только растение, в строгом смысле, является производителем; весь животный мир, с человеком во главе, является исключительно потребителем, эксплуататором или паразитом, предлагая эти термины на выбор. Зато как бы в отместку за такую эксплуатацию и некоторые растения, отступая от обычного образа жизни и следуя примеру животных, т. е. утратив способность самостоятельного питания, выработали другой тип жизни на счет готовой органической пищи. Здесь, на первом плане, мы должны поставить обширный класс *грибов* и особенно его, получившую такую громкую и грозную известность, группу *бактерий*. Эти последние, принося сравнительно ничтожный вред растениям, почти исключительно эксплуатируют эксплуататоров, т. е. животных и человека. Мало того, некоторые из растений, как, например, *бобовые*, заманивают к себе этих бактерий, тех именно, которые способны жить на счет свободного азота, и, пожирая их, косвенно пользуются этим почти неограниченным источником азота, который представляет атмосфера.

Таким образом учение о питании растений устанавливает два их типа: один — характеристический для всего растительного мира как целого, другой, составляющий как бы исключение, уклонение в сторону животного типа. К первому принадлежат все высшие зеленые растения, ко второму, главным образом, микроскопические и полумикроскопические формы, лишенные этой окраски. Если изучение процесса питания первой группы составило главную задачу первой половины века, то изучение второго типа продвинулось вперед только во второй половине и может быть приурочено к имени Пастера. Я разумею здесь область науки, обыкновенно неудачно называемую *микробиологией*

и еще менее удачно *бактериологией*. Первое название слишком широко, второе — слишком узко. То, что называется микробиологией, почти или даже исключительно имеет в виду растительные организмы, *микробиоты* — это, следовательно, *микробиотология*, а с другой стороны, эта область далеко не ограничивается одними бактериями, можно даже сказать, что самые выдающиеся приобретения сделаны за пределами бактериологии; сто́ит указать хотя бы на исследования Роллена над питанием плесени, всегда приводимые как образец, и на открытие *зимаза* у дрожжей. Не трудно убедиться, что эта быстро разросшаяся область исследования представляет не особую науку, как это нередко предполагают, а только главу физиологии растений, принявшую громадные размеры, благодаря широкому ее приложению. Методы чистых культур и приемы изучения питания, хотя бы в только что указанной работе Роллена, прямо заимствованы из культурных опытов, еще ранее применявшихся к высшим растениям; наконец, такие выдающиеся деятели в этой области, как Кон и Виноградецкий — ботаники, да и самому Пастеру, как мы видели, можно, пожалуй, сделать упрек, что он слишком склонялся в сторону биологии, т. е. ботаники, и недостаточно в сторону химии. Своеобразие явлений, которые приходится изучать *микробиотологию*, заключалась в том, что самые процессы изменения вещества, т. е. явления брожения, гниения, патологического изменения тканей, были известны задолго до открытия их виновников — микроорганизмов, откуда и могло сложиться представление, что эти процессы составляют область химии или патологии. И не следует забывать, что в этом направлении патология растений в руках таких исследователей, как Тюлан, Де-Бари, Воронин, Брефельд, достигла уже высокой

степени совершенства, прежде чем вопрос о болезнях животных организмов, вызываемых бактериями, выступил на научную почву.

Таковы в самых широких чертах вековые успехи физиологии растений по вопросу о превращении вещества.

2

Посмотрим теперь, что же сделал истекший век по отношению ко второму поставленному нами коренному вопросу, — по отношению к явлениям превращения энергии. Самая возможность такой постановки вопроса дана, конечно, только успехами физики в конце первой половины века, но, как мы увидим, в смутной, неясной форме эта мысль мелькала в уме и представителя XVIII века — Сенебье. Кто не слышал ставшей заурядной параллели между наукой XVIII и наукой XIX века? Закон, который Лавуазье высказал по отношению к веществу, Роберт Майер и Гельмгольц распространили на силу. Вещество не создается, не исчезает, а только превращается, провозгласил XVIII век, а XIX добавил: и сила, или, выражаясь современным языком, энергия, тоже не исчезает, не создается, а только превращается. Отсюда каждый раз, когда мы видим как бы проявление вновь явной, *актуальной* энергии, мы ищем, из какой скрытой формы она могла преобразиться, и, наоборот, когда мы видим, что она как бы исчезает, мы ищем ту скрытую, *потенциальную* форму, которую она могла принять. Какое же отношение имела эта плодотворнейшая из идей века в приложении к жизненным явлениям в растении? Остановимся, прежде всего, на самом широком, самом существенном не только для растения, но и для человека, для философского понимания всей природы, всего со-

вершающегося на земле. Из жолудя, упавшего на землю, вырастает могучий дуб, т. е. образуется громадная масса органического вещества. Мы уже знаем, из чего оно образовалось,— из углекислоты воздуха и воды. Если мы сожжем жолудь, мы получим немного тепла; если мы свалим и распилим дуб, мы этими дровами долго протопим печь. Откуда взялась эта теплота? Как всякая другая форма энергии, она не создается,— а ее не было ни в воде, ни в углекислоте; ни та, ни другая не горит. Как ни один атом углерода не возник в растении, а проник извне, так ни одна единица теплоты, ни одна калория не создавалась в растении, а в какой-нибудь форме должна была поступить извне. Ту роль, которую весы сыграли в XVIII веке, калориметр сыграл в XIX. Задача физиологии объяснить, каким образом из негорючего, неорганического вещества образуется всегда горючее, органическое, которое, превращаясь обратно в неорганическое — в воду и углекислоту, снова освобождает находившийся в нем скрытый запас тепла. Для того, чтобы превратить негорючее вещество в горючее, нужно произвести с ним операцию, обратную горению,— нужно «to undurn it», по удачному, к сожалению, не поддающемуся переводу, выражению Одлинга. Нужно разорвать связь углерода и водорода с кислородом, а для этого, как учит термохимия, нужно затратить такое же количество тепла, какое освобождается при их соединении. Это, выражаясь языком термохимии, реакция *эндотермическая*, идущая с поглощением теплоты. Откуда же заимствует растение эту теплоту, эту необходимую энергию? Наука XIX века отвечает просто и ясно — от солнца. Но предоставим лучше слово одному из первых глашатаев этого учения, Роберту Майеру.

«Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte in starre Form umgewandelt aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen».

«Diese Organismen sind die *Pflanzen*»¹. А вот и дополнительная характеристика животного мира: «Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer andern Klasse von Geschöpfen anheim, die den Vorrath durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden. Es sind dieses die *Thiere*»².

Конечно, мысль, высказанная в этих строках, не была абсолютно нова, но никогда еще она не была выражена в такой ясной, категорической форме,— в форме, прямо указывающей на количественное отношение между внешним фактором и совершающимся процессом. Справедливость требует заметить, что Сенебье, открывший факт разложения углекислоты, сделал из него и этот вывод; только выразил он его на несовершенном языке своего времени. В эпоху своего откры-

¹ «Природа поставила себе задачей уловить налету притекающий на землю свет, превратить эту подвижнейшую из сил природы в твердую форму и собрать ее в запас. Для этого она покрыла земную кору организмами, которые в течение своей жизни поглощают солнечный свет и превращают потребляемую таким образом силу в непрерывно нарастающий запас химической разности. (Майер употребляет это выражение вместо более обычного — химическое средство.) Эти организмы — *растения*».

² «Накопленная деятельность растений физическая сила выпадает на долю другого класса существ, которые путем грабежа присваивают себе этот запас и затрачивают его на свои личные нужды. Это — *животные*».

тия Сенебье был сторонником учения о флогистоне. Известно, что эта теория отошла в область истории с очень недоброй славой, и только в шестидесятых годах нашего столетия второй творец учения о сохранении энергии Гельмгольц и английский химик Одлинг сделали попытку реабилитации этого незаслуженно обесславленного учения. Подставим, говорили эти ученые, на место флогистона современное выражение потенциальная энергия, и нам станут понятны и глубокая мысль творца этого учения, и упорство его горячих сторонников. Сенебье был действительно убежден, что солнечный луч превращается в флогистон, содержащийся в органическом веществе, и снова вспыхивает лучом света, когда мы сжигаем это вещество. Мы теперь передали бы его мысль так: лучистая энергия солнца переходит в химическое напряжение, освобождаясь снова в форме живой силы, когда мы сжигаем растительное вещество. Сделаем еще шаг назад, и мы, быть может, найдем первый зачаток этой мысли у того мирового гения, который, по словам поэта, явился на землю затем, чтобы показать, на что способен ум человека. В «Оптике» Ньютона встречается такой вопрос: «не совершается ли взаимного превращения между грубыми телами и светом?» Что же такое это взаимное превращение, как не переход лучистой энергии в химическое напряжение и обратно?

Указав на сущность отношений между солнечным светом и растением, Р. Майер, тем не менее, видел, что это положение нуждается в прямом, экспериментальном доказательстве, и очень ясно поставил задачу. «Мы должны доказать, что свет, падающий на живое растение, действительно получает иное назначение, чем тот, который падает на мертвые тела». Это доказательство, которого ожидал от физиологии Роберт Майер, было

доставлено через тридцать лет исследованиями, произведенными здесь, в Москве. Призма, спектроскоп, позволившие анализировать луч света, посылаемый солнцем, разъяснили, и окончательно, судьбу этого луча, падающего на зеленую поверхность листа. Луч света, превращаясь в химическую работу, должен потухать, исчезать как свет; луч, прошедший через лист, не поглотившись в нем, не может произвести в нем никакой работы, — это прямой вывод из учения о сохранении энергии. Но зеленое вещество растения именно и дает в спектре резкие полосы поглощения света, представляет характеристичный, абсорбционный спектр. Если мы будем рассматривать микроскопическое зеленое зерно хлорофилла в микроскопическом же спектре, мы заметим, что прозрачное в одних частях спектра, в других оно становится черным, как уголек. Эти-то поглощаемые лучи, очевидно, и должны превращаться в химическую работу. Опыт подтвердил это ожидание в самой несомненной форме. Если поместить зеленые части в спектре, то убедимся, что именно в этих лучах будет происходить разложение углекислоты. Если отбросить спектр на лист, то он начертит в нем, в форме крахмала, абсорбционный спектр хлорофилла. Мало того, этот процесс удалось изучить и с количественной стороны, учесть, какая часть энергии солнца превращается в химическую работу, какая тратится на испарение воды, какая, наконец, вызывает нагревание, как и в телах неживых. Современный физиолог, в своей темной комнате, освещенной одним, сверкающим всеми цветами радуги, лучом, прошедшим через призму Ньютона, следит шаг за шагом за тем процессом превращения солнечного луча в «грубые тела», о котором только мог мечтать величайший из мыслителей.

Эта связь между солнцем и зеленым листом приводит нас к самому широкому, самому обобщающему представлению о растении. В ней раскрывается перед нами *космическая* роль растения. Зеленый лист, или, вернее, микроскопическое зеленое зерно хлорофилла, является фокусом, точкой в мировом пространстве, в которую с одного конца притекает энергия солнца, а с другого берут начало все проявления жизни на земле. Растение — посредник между небом и землею. Оно истинный Прометей, похитивший огонь с неба. Похищенный им луч солнца горит и в мерцающей лучине, и в ослепительной искре электричества. Луч солнца приводит в движение и чудовищный маховик гигантской паровой машины, и кисть художника, и перо поэта.

Науку девятнадцатого века не раз упрекали в том, что она убивает поэтическое представление о природе, что, благодаря ей, наш взгляд становится все более близоруким; привыкнув к наблюдению мелких фактов, он утрачивает впечатление целого. Рёскин где-то в своих «Modern Painters»¹ жалуется, что мысль о листе, разлагающем углекислоту, вызывает в его уме только представление о каком-то газовом заводе. Великий эстетик, любивший и чувствовавший природу, быть может, как никто, конечно, не сказал бы этого, если бы знал поболее. Мысль о связи между солнцем и растением являлась уже Данте, но посмотрите, в какой узкой, можно сказать, буднично-тривиальной форме:

Guarda'l calor del sol che si fa vino
Giunto al umor che dalla vite colla²

¹ «Современные художники».

² «Смотри, как солнечная теплота превращается в вино, соединяясь с соком, текущим из лозы».

Он не пошел далее поверхностного сопоставления теплоты солнечного луча с той теплотой, которую «сок лозы» разливает в нашем теле. Нет, ни поэт средневековья, совмещавший все знания своего века, ни великие солнцепоклонники начала нашего, ни Байрон, вложивший свои дивные гимны солнцу в уста халдейского жреца или умирающего Манфреда, ни Тернер, сам умиравший, обратив к солнцу прощальный взгляд, со словами «the sun is God»¹, ни поэт кисти, ни поэт пера не говорят нашему воображению, не создают перед нашим умственным взором такой величественной, безграничной, всеобъемлющей картины солнца, как та, которую разворачивает современная наука. И уж, конечно, не жалким поэтикам *fin de siècle*², не простирающим своего искусства далее подбирания диковинных эпитетов или просто щекочущего ухо сочетания звуков, не им пристало упрекать науку в иссушении мысли. Скорее наука могла бы укорить конец века в том, что он не дал второго Байрона, второго Шелли, который сумел бы воплотить в поэтические образы широкий полет его научной мысли.

Но эти идеи имеют не одно только умственно-эстетическое, философски-обобщающее значение, благодаря чему они, кажется, в первый раз проникли даже на страницы истории философии (Гегдинга). Они имеют еще глубокое практически-экономическое, я готов сказать этическое, далеко не достаточно оцененное, значение. Количество солнечной энергии, усвояемое нашими культурными растениями, служит лучшей, в сущности единственной точной мерой производительности этих культур. С другой стороны, количество солнечной энер-

¹ «Солнце — бог».

² Конца века.

гии, заключенной в продуктах, количество ее в пище, необходимой для производства известной работы, и т. д., все это, выраженное в калориях, может служить общей мерой ценности¹. Некоторые экономисты, как, например, Захер, пытались даже построить на этом целые экономические системы. Производительность земледелия зависит от того, что даровой фактор, солнечный луч, оно превращает в ценность. Растение, говорит Захер, это единственный капитал, который растет согласно законам природы; все другие растут вопреки им. Максимальное количество продукта, получаемого с известной площади, определяется выпадающей на данную площадь солнечной энергией; это единственный фактор, увеличить который не во власти человека. Мы уже теперь в состоянии примерно вычислить, насколько мы приблизились к этому пределу, а превосходные опыты, предпринятые недавно в Англии при помощи актинометра Календара, вероятно, скоро снабдят нас более определенными данными. Только тогда, когда земледелие достигнет этого предела, оно исполнит свое назначение; человек выполнит свой долг перед современниками и потомством. Нордау где-то ядовито заметил, что при всем нашем отвращении к коммунизму мы очень охотно делимся со своим потомством — своими долгами. Мы, не задумываясь, обременяем их тяжестью наших займов², но так ли мы заботимся о

¹ Понадобилась проклятая война, чтобы эти теоретические воззрения получили практическое признание. Благодаря немецкому голодному пайку, слово «калория» стало общеизвестным. [Примечание 1918 г. *Ред.*]

² Нордау забыл обратить внимание на обратную сторону его шутки. Народы должны уплачивать завещанные им миллиарды долга, а наследники укравших у народа эти миллиарды должны их унаследовать, — такова буржуазная этика. [Примечание 1918 г. *Ред.*]

передаче им нерастраченными тех несметных богатств, которые само небо посылает на необъятный простор нашей родины? Луч солнца — ценность, главная, основная, быть может, единственная ценность. И каждый луч солнца, непроезжительно отразившийся обратно в мировое пространство, это ценность, бесповоротно, окончательно потерянная. Это часть наследия наших потомков, бесценно нами растраченная. Эти потомки нас когда-нибудь осудят, и мы не вправе сказать, что поступаем так по неведению.

* * *

Таково главное применение закона сохранения энергии к той колоссальной, эндотермической реакции, которую нам представляет облекающий нашу планету зеленый покров растений. Но рядом с ним в растениях совершаются и явления обратного порядка: оно растет, причем производит значительную работу; оно порою движется, хотя эти явления и отступают на второй план; оно, наконец, представляет избыток температуры над окружающей средой, обыкновенно ничтожный, измеряемый только при помощи термоэлектрических приборов и лишь порою заметный даже на ощупь. Откуда же берется это тепло, эта энергия, затрачиваемая на механическую работу роста и движения? Исследования целого века показали, что, как и в животном организме, таким источником будет прежде всего *экзотермический* процесс дыхания. Растение постоянно дышит, хотя не так энергично, как животное, и тратит при этом примерно $\frac{1}{10}$ выработанного им органического вещества. С другой стороны, было доказано, что рост и движение прекращаются в отсутствии кислорода. Наконец, калориметрические исследования Родевальда показали, что развивающегося при этом процессе тепла

было бы с избытком достаточно для производства механической работы роста. Зависимость роста от дыхания казалась настолько очевидной, что, когда Пастер открыл случай роста без кислорода, он встретил презрительный отпор со стороны некоторых немецких ботаников (Сакса, Брефельда). Пастер фактически был прав, но зато учение о химических источниках энергии в организме пришлось значительно расширить, обобщить. Еще в 60-х годах Бертло указывал на то, что рядом с дыханием, т. е. окислением углерода и водорода, мы должны принимать во внимание и целый ряд иных *экзотермических реакций*, т. е. сопровождающихся, как и окисление, выделением тепла. Такой, очень распространенной и нередко заменяющей дыхание, реакцией оказалось, например, спиртовое брожение. Любопытные исследования Виноградского позволили еще более обобщить понятие о химических источниках энергии в растении. Оказалось, что, между тем как мы дышим только на счет углерода и водорода, растение может дышать и на счет других элементов — азота, серы, даже железа, окисляя их некислородные соединения или переводя их из одного окисла в другой.

Химическими, экзотермическими процессами [не ограничиваются, однако, доступные растению внутренние источники энергии. Анри С. Клер Девиль в одном из своих последних мемуаров (одновременно с ним Тольвер Престон) указывал, какой могучий источник энергии заключается в явлениях диффузии газов и жидкостей, и высказывал удивление, что он, повидимому, не нашел себе применения в природе. Но ботаники, со времени Дютроше, а позднее еще определеннее, привлекали эти явления (в форме осмоса) в качестве объяснения явлений роста. Осмотическая разность между клеточным соком растущего органа и водой может

вызывать в клеточках давление в 10—20 и более атмосфер, и, наоборот, окружая растущий орган раствором с большим изотоническим эквивалентом, чем клеточный сок, мы можем вызвать явления, обратные росту, можем заставить растение пойти назад, сократиться, не нарушая этим его дальнейшей жизнеспособности. Таким образом, не только в химической разности (выражаясь языком Р. Майера), но и в физической неоднородности веществ мы имеем источник энергии, с избытком покрывающий потребности растения для осуществления механической работы роста. В какой-нибудь особой жизненной силе и здесь не оказалось надобности.

Другая механическая работа, находящаяся в связи с ростом, т. е. с увеличением размеров растения, это подъем воды в растении. Высшее растение мы можем себе представить в виде такой простой схемы. Две сильно развитые поверхности, приспособленные для питания в двух разнородных средах — поверхность корневая и листовая, — и соединяющий их промежуточный орган — стебель. Между этими поверхностями, получающими вещества, одинаково необходимые для жизни каждого элемента, каждой клеточки, должен установиться обмен. Этому отправлению отвечает система канализации, система сосудов, по которой совершается движение соков. Хотя вопрос о движении воды один из первых, еще в начале восемнадцатого века, подвергся экспериментальному исследованию, благодаря трудам Стивена Гельза, но можно сказать, что только благодаря исследованиям ученых девятнадцатого века, особенно Дютроше и Гофмейстера, он получил должное обобщение. С незапамятных времен было известно, что у некоторых деревьев весной из надрезов коры вытекает сок — это явление поэтически называли плачем растений. Гофмейстеру удалось обобщить это явление,

указав, что оно существует у всех растений во всякое время года. Двигатель, производящий эту работу, по Дютроше и Гофмейстеру, мы находим в осмотических свойствах тканей корня; они действуют как нагнетательный насос, оказывающий давление в несколько атмосфер. Но всякий знает, с другой стороны, что отрезанный стебель, отрезанная ветвь в воде не завядают; здесь мы входим в сферу деятельности другого двигателя — листа, который, испаряя воду, играет роль насоса, засасывающего воду. Таким образом, два концевых двигателя — лист и корень и соединяющий их, пассивно участвующий, стебель — вот схема, выработанная наукой к началу второй половины века. Но во второй половине в это ясное и простое учение внесены были усложнения, возникли сомнения, недоразумения и, как всегда бывало в моменты замешательства, из-за угла вновь показался призрак витализма. Главными препятствиями в глазах немецких физиологов являлось присутствие в сосудах пузырей воздуха. Одни, как Сакс, думали обойти это препятствие, предположив, что вода движется не в полостях каналов, а в их стенках, причем одаряли эти последние свойствами, прямо недопустимыми здоровой физикой. Другие, исходя из неумелого применения физического начала, так называемой Жаменовской цепочки, утверждали, что стебель оказывает такое сопротивление, которого не в силах преодолеть концевые двигатели, и призывали в качестве объяснения какое-то таинственное действие протоплазмы клеточек стебля. Большую заслугу в смысле устранения этой смуты понятий оказал Вотчал. Применив в первый раз в ботанике приемы исследования движений и давления жидкостей, принесшие такие блестящие плоды в физиологии человека, он показал, что никакой Жаменовской цепочки в растении не существует.

вует, так как и в физике она составляет только частный случай — исключение, и дал совершенно новое толкование этому чередованию воздуха и жидкостей в растительных сосудах. Благодаря именно этому сочетанию, ткани стебля уподобляются пружине, какому-то, если можно так выразиться, буферу двойного действия, который, принимая давление концевых двигателей, распределяет их не только в пространстве, но и во времени. К числу крупных приобретений в этой области движения воды должно отнести и разъяснение, данное Швенденером механизму действия устьиц, т. е. тех микроскопических отверстий, через которые происходит испарение. Мы можем видеть в них клапаны, раскрывающиеся, когда растение переполнено водой, и закрывающиеся, как только оно начинает завядать, — клапаны, автоматическое действие которых управляется самим избытком или недостатком воды.

Что касается до скудных явлений движения в растительном организме, играющих такую подчиненную роль в жизни растения, то и здесь удастся проследить его механизм до явлений перемещения воды и осмоса. Что же касается движения протоплазмы, которому прежде придавали какое-то особенное, таинственное, а теперь готовы отрицать за ним даже всякое жизненное значение, то и по отношению к нему Гофмейстеру, и особенно Квинке, удалось применить весьма остроумные гипотезы. По мнению этого физика, мы имеем право видеть здесь случай движения, вызываемого изменением поверхностного натяжения жидкостей.

Таковы те общие объяснения, которые исследования века выработали в области энергетики растений. Если, за исключением, может быть, превращения лучистой энергии солнца в процессе разложения углекислоты (и процесса дыхания) мы еще далеки до строго

количественного учета совершающихся превращений энергии, то мы всегда и везде можем указать наличный ее источник, притом *всегда с избытком* покрывающий потребность в нем растения. К услугам особой жизненной силы физиологу нет более надобности прибегать.

3

Переходим к третьей категории явлений, обуславливающих собою жизнь растения как неделимого и как вида. Все эти процессы превращения вещества и энергии имеют своим результатом образование форм, в свою очередь прилаженных к наилучшему использованию окружающего вещества и доступных источников энергии. Как неделимое, растение питается для того, чтобы расти; растет для того, чтобы питаться. Как вид оно, можно сказать, существует для того, чтобы размножаться, и размножается для того, чтобы существовать. Это круговое сילетение функции и органа, кажущейся цели и средства, а в действительности скрытой за ними причины и следствия, составляет сущность органической жизни, выражается самым словом — организм. Виталисты, защитники мистического взгляда на задачи физиологии, всегда особенно усердно подчеркивали эту черту физиологических явлений. Допустим, говорят они, что все жизненные процессы в основе состоят из химических и физических явлений, но вся эта ваша химия и физика клонится к известной цели. Не содержание процесса, а его направление и результат, его целестремительность и целесообразность — вот где загадка. Перед этой загадкой остановился и Сенебье. Ставя вопрос, почему растительные формы, их органы так прилажены к своему отправлениям, он считает себя вынужденным признать, что они так *предначертаны*, и вы-

сказывается за модную еще тогда теорию его соотечественника Бонне, которая объясняла, или в сущности ничего не объясняла, а обходила затруднение, предположением о какой-то преформации или *emboitement*, т. е. предположением, что все несметные представители каждой живой формы уже были включены в первом зародыше, первом яйце этой формы. Сенебье пытается даже оправдываться и говорит, что не его, везде искавшего физических причин, конечно, заподозрят в добровольном отказе от объяснения. Эти строки наглядно доказывают, что мы вступаем здесь в круг идей, почти всецело присущих XIX веку. И действительно, не прошло десяти лет со времени выхода «Физиологии растений» Сенебье, как сделана была первая смелая попытка разрешения этой вековой загадки, попытка, правда, мало кого убедившая, а еще через полстолетия позже явилось и то ее разрешение, которое привлекло на свою сторону весь ученый мир и отразилось не только на развитии естествознания вообще, но наложило свою печать на весь умственный склад второй половины века. Я разумею здесь деятельность Ламарка и Дарвина.

Между теориями этих двух мыслителей нередко, особенно за последние годы, полагают усматривать несогласие, даже прямое противоречие. В этом, несомненно, проявляется известная доля национального антагонизма, и всякому хладнокровно смотрящему на дело наблюдателю видно, что никакого противоречия здесь не существует и что только в гармоническом сочетании обоих направлений заключается залог успехов физиологии растений, как я не переставал указывать на это в течение почти тридцати лет ¹.

¹ В своей речи «Основные задачи физиологии растений». [См. стр. 238. *Ред.*]

Чего успела достигнуть до сих пор физиология растений по отношению к объяснению растительных форм и процессу их образования? Еще не так давно все касающееся формы было изъято из области экспериментальной физиологии. Лет десять тому назад¹ я указал на новое нарождающееся направление и предложил дать ему название «Экспериментальной морфологии», название, отзывавшееся чем-то в роде *contradictio in adjecto*², так как с морфологией был неразрывно связан эпитет описательной науки. Этому выражению повезло, теперь оно стало обиходным, и наука все более и более обогащается фактами в этом направлении³, так что теперь я с бóльшим еще правом могу повторить то, что говорил ранее: «Мы положительно научились непосредственно лепить растительные формы; мы можем изменять формы стеблей, листьев, цветов, мы можем даже изменять форму клеточек в глубине тканей, и все это при помощи простых физических деятелей: света, тепла, влажности, земного притяжения. В некоторых случаях мы можем даже выяснить ближайший механизм воздействия этих условий на формообразовательный процесс». «Я полагаю, сказанного уже достаточно, чтобы оправдать положение, что физиология уже начинает разоблачать тайну образования растительных форм. В самом деле, представим себе, что нам было бы дано растение с вьющимся стеблем, гладкими рассеянными листьями и симметрическими цветами, а мы при помощи одних физических сил превратили бы его в рас-

¹ В речи «Факторы органической эволюции». [См. стр. 193. *Ред.*]

² Противоречие между прилагательным и существительным, к которому оно относится.

³ См. речь проф. Палладина «Изменчивость растений». Варшава, 1900 г.

тение с подземными корневищами, прямостоящими стеблями, скрученными розеткой волосистыми листьями и правильными цветами. Это, конечно, было бы сочтено за чудо. Сделать это чудо мы еще не в состоянии, но все *элементы* этого чуда в нашей власти; и этого, конечно, достаточно для того, чтобы мы могли понимать, как это чудо совершалось в природе». Новейшими результатами в этом направлении мы обязаны целому ряду ученых: Леваковскому, Аскенази, Визнеру, Фехтингу, Бонье, Костантену, Клебсу и др.; но основания тем методам, которые применяются в этих опытах, положены Найтом и Деканделем уже через несколько лет после появления книги Сенебье. Первый обнаружил зависимость явлений роста растений от земного притяжения, а второй дал объяснение их зависимости от влияния света. Позднейшие исследования присоединили к этим двум факторам целый ряд других. Наконец, в самое последнее время учение о зависимости форм от внешних условий получило особое значение в новой области рациональной географии растений. Это уже не простой перечень растительных форм, распределенных по областям их распространения, а попытка вывести эти формы из условий их существования, что особенно успешно удается Вармингу.

Это-то экспериментально морфологическое направление нередко, особенно французские физиологи, приурочивают к имени Ламарка и совсем неуместно противопоставляют учению Дарвина. Что Ламарк первый настойчиво указывал на зависимость растительных форм от влияния среды, не подлежит сомнению. В этом громадная его заслуга и причина, почему его учение более привилось в ботанике, чем в зоологии. Но также несомненно, что ламаркизм не разрешает той основной задачи, которую в первый раз разрешил Дарвин. Организм

изменяется действием среды — прекрасно, но почему получающиеся этим путем организмы будут отмечены той чертой, которая в них поражала человека с той поры, как он стал задумываться над окружающей природой? Почему эти формы так совершенны, так целесообразны — ведь изменения могли возникнуть и благоприятные и неблагоприятные, а чаще всего безразличные? Все, что мы знали до Дарвина, и особенно то, что узнали после него, однако, убеждает нас в этом поразительном совершенстве организма как стройного целого и каждой его части, как орудия для известных отправлений. Только Дарвин объяснил естественным законом реальную причину, происхождение этого совершенства; но еще прежде он дал точное определение для этого совершенства. Ни того, ни другого не дал Ламарк. По Дарвину, совершенство — это только наиболее полное соответствие с условиями существования — это *приспособление*; далее этого органическое совершенство не идет. Но самые условия могут представлять различные степени осложнения — отсюда и различные ступени сложности *приспособления*. Это слово *приспособление* стало после Дарвина лозунгом биологической науки¹. Но как же объяснял Дарвин возникновение этих *приспособленных* организмов? — *Историей*. Вся его заслуга заключалась в том, что, благодаря ему, естественная история не на словах только, а на деле стала *историей*. Он применил к биологии метод истории. Если мы обратимся к писателям, лучше всего изобразившим состояние естествознания в первой половине века, к Юэлю или Конту, то увидим, что ни тот, ни другой не усматривали возможности применения истори-

¹ См. мою речь «Факторы органической эволюции». [См. стр. 193. *Ред.*]

ческого метода к современной им биологии. Дарвин назвал этот исторический процесс *естественным отбором*; позднее Спенсер предложил более удачное выражение: «*переживание наиболее приспособленного*», а Конт еще ранее, с предвидением пророка, назвал его *элиминацией всего негармонирующего с условиями существования*. Известны три коренных фактора, на которых опирается этот исторический процесс. Изменчивость, наследственность и особенно отбор, как результат несоответствия между безграничным размножением организмов и ограниченными средствами существования. Печать совершенства, приспособления, соответствия с условиями налагает только третий фактор — процесс элиминации всего неприспособленного и тем самым обреченного на гибель — это и есть дарвиновский *естественный отбор*¹.

Очень часто высказывалась мысль и еще на днях повторил ее Гертвиг в своей речи *Die Entwicklung der Biologie im 19 Jahrhundert*², что и без дарвинизма, без учения об естественном отборе, учение об эволюции организмов стояло бы не менее прочно. Конечно, мы знали бы, что органический мир един, что то, что мы обозначали бессодержательным словом «сродство» — простое кровное родство, но это нимало не подвинуло бы нас в понимании основной черты, отличающей живую природу от неживой. Дарвинизм и только дарвинизм разрешил загадку, перед которой в конце XVIII века беспо-

¹ Другое, но уже второстепенное отличие ламаркистов и ультрадарвинистов заключается в их отношении к фактору наследственности. Так как, говоря о наследственности, мне пришлось бы принять точку зрения, совершенно отличную от господствующей, особенно в зоологии, и невольно вступить в полемику, то я отлагаю это до более удобного случая.

² Развитие биологии в XIX столетии.

очно остановился Кант, загадку кажущейся целесообразности органического мира. Кант сам заявил, что тот, кто совершил бы этот умственный подвиг, был бы вторым Ньютоном, и справедливое потомство, конечно, утвердит пророческий приговор предка, свободного от зависти и мелочных страстей современников. Вот почему ученого, совершившего этот беспримерный подвиг, и тот век, в котором он совершился, можно противопоставлять не тому или другому веку, а всем, предшествовавшим в этой области, мыслителям всех веков¹.

4

В предложенном очерке столетних успехов нашей науки мы ограничили все процессы растительной жизни трояким процессом: превращения вещества, энергии и формы. Но не скрывается ли за ними еще чего-нибудь; ощущений, чувства, сознания, воли, словом, психики — души? Как это ни странно, а конец века вновь воскресил эти вопросы, казалось, уже истощенные. При этом один из защитников этой идеи, академик Фаминцын, взывает к молодежи, указывая ей на открывающиеся будто бы новые горизонты, и находятся люди, которые видят в этом какое-то оздоровление науки, пробуждение в ней духа философии. Явление любопытное и для конца века знаменательное. Лет тридцать тому назад серьезный философ — Ланге — укорял своего легкомысленного собрата Гартмана в том, что тот проповедует существование души растений, не

¹ Уоллес совершенно справедливо замечает, что вообще успехи естествознания в XIX столетии можно сравнивать не с каким-нибудь отдельным веком, а со всеми предшествующими веками в совокупности.

справившись прежде у тех, кому это должно быть лучше известно, — у ботаников. А теперь ботаник, просвещая своих собратьев, черпает поучение из еще более легковесного произведения философа сороковых годов, из пресловутой «Nanna oder die Pflanzenseele»¹. Что же случилось, явился ли какой-нибудь новый факт для пересмотра этого, казалось, сданного в архив процесса? Едва ли. Нас прежде всего призывают прислушаться к заветам мудрости народов. Целые народы, индусы, например, верят, что у растений есть душа. Но ведь наш народ тоже верит, что у кошки не душа, а пар. Одно верование, по меньшей мере, уравновешено другим. Но оставим в стороне это непривычное для науки решение вопросов простым голосованием масс и посмотрим, нет ли фактов, которые вынуждали бы нас самих задуматься — не скрыт ли под объективной внешностью явлений какой-нибудь психический субстрат. Мы встречаем в растительном мире явления движения, которыми растение отвечает на внешние воздействия. К этим явлениям в последнее время, с легкой руки немецких физиологов, принято применять слово «раздражение», одно из тех слов, так метко осмеянных Гёте и еще ранее Мольером. Повидимому, слово вполне невинное, но между тем посмотрите, к каким оно ведет последствиям. Под явлениями раздражения мы правильно привыкли разуметь быструю реакцию животного на внешние воздействия, благодаря присутствию в нем нервной системы, и вот один из современных ботаников² уже ставит вопрос: какая же у растений система, цереброспинальная или простые ганглии? На деле мы не имеем никакого повода для допущения чего-либо подобного. Один из

¹ «Nanna или душа растения».

² Vines в его обзоре столетних успехов ботаники.

наших отечественных защитников теории раздражения (Ротерт) при пояснении этих явлений постоянно прибегает к сравнению с электрическим звонком, но ведь мы не говорим «я раздражил звонок», а просто «я подавил на кнопку». Оказывается, что и это сравнение с электрическим звонком слишком сложно. Если прибегать к сравнению со звонком, то скорее с воздушным. В наилучше изученном случае, у всем известной Недотроги, или Мимозы, эти «раздражения» передаются через трубки, наполненные жидкостью, гидростатически ¹, а не психически. Принимая всякое движение за признак чувства или воли, мы поступали бы, как котенок, бросающийся на каждый движущийся предмет, как на мышшь. Но скажут: а если эти движения носят ясный характер разумных, целесообразных? Это заключение не менее опасно. Мы видели, какое общее разрешение загадки органической целесообразности приняло современное естествознание. Несомненным доказательством, что внешняя целесообразность движения еще не аргумент в пользу тающего за ним психического акта, служит тот несомненный факт, что мы можем привести примеры чуть не самых разумных движений у частей растения, заведомо мертвых ². Итак, ни движения сами по себе, ни их порою кажущаяся разумность — не аргумент в пользу допущения души у растений. Но, говорят, эволюционное учение, а главное наш внутренний опыт, этот пресловутый интроспективный метод, нас к тому вынуждают. Этот аргумент от эволюции, мне кажется, еще слабее. Говорят: эволюционное учение доказало единство

¹ Это сравнение, предложенное одним немецким ботаником, оказалось неверным. [Примечание 1918 г. *Ред.*]

² См. мою «Жизнь растения» 8-е изд. — о движениях зерновок ковыля.

органического мира, а мой внутренний опыт свидетельствует, что я чувствую и мыслю, значит все, до крайних пределов органического мира, так или иначе чувствует, мыслит. Точно, так ли? Эволюционное учение считает одним из своих устоев положение, что индивидуальное развитие, онтогенезис, есть сокращенное повторение филогенезиса, т. е. истории существ, стоящих на различных ступенях органической лестницы. С другой стороны, к кому же применять этот внутренний опыт, как не к самому себе, как не к человеку? И, однако, я никогда еще не читал автобиографии или мемуаров, где бы автор посвящал первую главу впечатлениям из периода своей эмбриональной жизни. Пресловутый интроспективный метод, в том единственном случае, где бы он мог пригодиться, оказывается неприменимым. Если я не могу себе представить, что я чувствовал не только в состоянии клетки, но даже годовалого ребенка, то как же я буду угадывать психику растения? И откуда вытекает, что эволюционное учение, доказав единство органического мира, хоть на йоту сблизило его полюсы? Человек остался человеком, а протоплазма — протоплазмой. И, наконец, кто же сказал, что все проявления сложного должны встречаться и в простом? Когда я слышу сложное музыкальное произведение, ведь я не заключаю, что каждый голос, каждый инструмент воспроизводит то же, только не так громко? Все это понимал уже Сенебье. Он ясно высказывал дилемму: растение чувствует, как мы, и тогда у него должны быть сходные орудия, или оно чувствует совсем иначе, и тогда у нас нет орудия для его понимания. Огюст Конт ставил физиологии своего века скромную, двоякую задачу: дано отправление — найти орган; дан орган — найти отправление. Современная фитопсихология предлагает науке двадцатого столетия

третью задачу — изучать несуществующую функцию несуществующего органа ¹.

Те, кто двигали физиологию растений в истекшем веке, хорошо понимали, что именно отсутствием нервной системы, все регулирующей, особенно же отсутствием психики, почти еще не подчиняющейся научному детерминизму, и определяется значение этой науки в ряду других; ее, так сказать, промежуточное положение между миром безжизненным и миром чувства и сознания. В этой относительной простоте задачи и заключается ее главное преимущество. И благодаря именно этой простоте, наука эта успела в такой мере подчинить явления растительной жизни разумной воле человека.

Но если этот новый панпсихизм, являющийся, в лучшем случае, плохо переваренным эволюционизмом, а в худшем — метафизическим романом, не имеет прав на будущность, то что же сказать о витализме? После целого века поражений, еще можно сказать, на днях, выбитый из одной из его надежнейших позиций, он вновь пытается поднять голову. Обычный логический прием этих провозвестников бессилия науки почти всегда один и тот же. Смотрим мы в микроскоп, — говорят они, — смотрим и ничего не понимаем — значит наука несостоятельна, а жизнь — тайна. Но спросим

¹ Уже после произнесения этой речи появились работы чешского ученого Немца, пытающегося доказать наличность у растения органа чувства и нервной системы. Статьи эти пришлись особенно по вкусу некоторым фельетонистам и популяризаторам, по тем, кто имеет привычку и возможность относиться критически к тому, что читают, ясно, какое значение имеют работы Немца. В известном смысле они, пожалуй, очень типичны, как яркий пример того, с каким легкомыслием и отсутствием здоровой логики некоторые современные ученые цепляются за всякий призрак, по их мнению, подтверждающий их предвзятые идеи.

Их: пытались ли вы объяснить непонятное вам явление? А еще ранее, выработали ли вы в себе эту способность объяснять? Одно смотрение в микроскоп и срывывание того, что видишь, ее не дает. И кто вам сказал, что для данного явления уже наступила очередь объяснения? А если, наконец, и действительно готового объяснения не существует? Что же тогда? Бессмертный пример Дютроше нас научил, что делать. Он также смотрел в микроскоп и не понимал, что видит — современная физика ему не давала объяснения, но он не признал явления недоступным пониманию, а предпочел обогатить физику новой областью, которую целый век исследований еще не исчерпал. Впрочем, при оценке деятельности этих глашатаев бессилия науки и ее банкротства, может быть, действительно следует считаться с известным психологическим явлением. Бэн, в своей логике, справедливо замечает, что отвращение ко всему темному, необъяснимому, непонятному составляет один из естественных инстинктов человека, но, повидимому, приходится допустить возможность и патологического извращения этого инстинкта — какой-то мистический экстаз невежества, бьющего себя в грудь, радостно причитая. Не понимаю! Не пойму! Никогда не пойму!

Не подлежит сомнению, что наука и в наступившем столетии будет идти своим путем, не обращая внимания на старческое бормотание запоздалых эпигонов витализма, как, по счастью, не обратила внимания на ребяческий лепет их родоначальников начала века, и всех этих Дришей и Риндфлейшей ожидает судьба их предшественников, разных Кизеров и Ритов, имена которых поглотила Лета, а хитроумные теории, от времени до времени, историк науки извлекает из пыли архивов на забаву своим читателям.

Заключая свои пять томов, Сенебье на последней странице поясняет, что побуждало его к собиранию разбросанных, скудных сведений по науке, которая, он сам сознавал, находится еще в колыбели. Он говорит: мною руководило желание обратить на нее внимание химиков и физиков, убедить их, что они встретят широкое поле для своих исследований и найдут себе награду в той пользе, которую принесут своему отечеству, пролив новый свет на земледелие и другие полезные искусства.

Мы видели, как прав был Сенебье, доверив свое детище попечению химиков и физиков; под их надзором оно выросло и окрепло. Посмотрим теперь, насколько оправдалось его обещание нравственной награды тем ученым, которые взяли на себя этот тяжелый труд.

Это приводит нас к рассмотрению последнего критерия успеха наших знаний — их приложимости к запросам жизни. Запросы жизни всегда являлись первыми стимулами, побуждавшими искать знания, и, в свою очередь, степень их удовлетворения служила самым доступным, самым наглядным знаменем его успехов. Немногие в состоянии уловить философское значение успехов естествознания, другие умышленно желают его заслонить успехом материальным, успехом техники. Не стану останавливаться на ложности этой точки зрения; мне не раз приходилось доказывать мысль, что наука XIX века обязана своей силой, своим могуществом именно своему идеальному характеру, отличающему ее от узкоутилитарных стремлений прошлого, что именно, благодаря своему по преимуществу теоретическому характеру, она так много сделала для практики¹.

¹ См. мои речи «Общественные задачи ученых обществ», «Праздник русской науки», «Пастер». [Сочинения, том V, стр. 37, 51, 191. *Ред.*]

Какие же практические успехи определило развитие химии и физики в связи с физиологией растений? Оно создало *Рациональное земледелие*. Из эмпирического ремесла земледелие в течение века превратилось в искусство, опирающееся на точные данные науки. Сбылось изречение Бэкона: *что объяснение для теории, то средство для практики*. Научное объяснение явлений растительной жизни явилось *средством* подчинить себе природу растения и вынудить его давать необходимые продукты в большем количестве и лучшего качества. Конечно, не мне и не здесь подводить итоги вековым успехам земледелия; позволю себе остановиться только на одной красноречивой цифре. Деятнадцатый век вступал в жизнь под впечатлением гнетущего кошмара, только что появившегося учения Мальтуса. Известны послышки и выводы этого учения. Население растет в геометрической прогрессии, а средства пропитания только в арифметической — вот послышки, а вывод — не все люди имеют *право* на место за трапезой природы, значительная часть их обречена на голод, страдание, с их неизменными спутниками, пороками и преступлением. Бесплодна борьба с этим роковым законом природы; человек перед ним бессилен. Но точно ли этот закон так непреложен? Точно ли человек не в силах идти навстречу своим возрастающим потребностям? Столетие — достаточно большой срок для его проверки, и вот ответ, по крайней мере, по отношению к одной стране, к Германии. Заимствую его из речи Дельбрюка, произнесенной в присутствии германского императора по случаю уже отпразднованного, как известно, в Германии конца столетия. *Население Германии возросло в три раза, а средства пропитания увеличились в четыре*. Как далеки мы от зловещих предсказаний Мальтуса! Несомненную долю этого успеха автор, у которого я

заимствую эту цифру, приписывает содействию, которое наука оказала земледелию, и на нее же возлагает он свои надежды в будущем. А в ряду наук первое место отводит он физиологии растений. Для других стран отношение окажется, быть может, менее благоприятным, но не потому ли именно, что Германия ранее, глубже всех постигла связь науки с жизнью. Общий подъем богатства в какой-нибудь стране, конечно, ничего не говорит нам о его распределении, но ни один Крез, если только он не будет брать пример с Вителлия, не съест более хлеба или мяса, чем любой человек, и потому нет сомнения, что, способствуя установлению более благоприятного отношения между количеством пищевых веществ и населением (конечно, при одновременном уменьшении смертности), наука, по крайней мере на этот раз, пришла на помощь самой обездоленной части человечества.

Имя Мальтуса невольно вызывает на новую параллель между XVIII и XIX веком. Первый видел в его учении грозный закон природы, второй доказал власть человека и над этим законом. Но не он ли, не девятнадцатый ли век, в то же время в дарвинизме возвысил этот закон на степень мирового, определившего весь ход развития органического мира? Как выбраться из этого противоречия? Я систематически обходил несчастное выражение «борьба за существование», которое враги дарвинизма так бесцеремонно эксплуатируют, когда желают внушить предубеждение против этого учения. Еще недавно один русский ботаник, Коржинский, желая объяснить свое отпадение от дарвинизма, в качестве высшего аргумента приводил то соображение, что это учение, распространенное на человека, должно возмущать этическое чувство. Что слово «борьба» не принимается Дарвином только в смысле драки, единоборства,

направленного ко взаимному уничтожению, очевидно уже из того, что в таком смысле оно неприменимо к громадному большинству растительных организмов. Преобладание одной формы над другой определяется лишь степенью их соответствия с условиями существования, а не активным их взаимным истреблением. Но еще важнее никогда не упускать случая повторять, что ни Дарвин, ни один последовательный дарвинист не распространял этого учения на современного культурного человека. Объясняя этим учением темное прошлое человека, дарвинист никогда не предлагал его как кодекс для настоящего и еще менее для будущего. Учение о борьбе за существование останавливается на пороге культурной истории ¹. Вся разумная, культурная деятельность человека — только одна борьба, с борьбой за существование. И можно ли привести доказательство более убедительное, чем только что указанные цифры? Борьба за существование только результат закона Мальтуса, — результат несоответствия между числом существ и средствами существования, а деятельность человека в сфере материальной вся именно направлена к тому, чтобы увеличить эти средства, т. е. к ослаблению борьбы. Человек, как метко замечает Гёксли, «способствует не переживанию наиболее приспособленного, а приспособлению наибольшего числа к переживанию», и мы только что видели — с каким успехом. А в сфере умственной не забудем, что человек в сравнении с животным обладает гораздо более могучим оружием борьбы. Животное может уничтожить своего врага — и только. Один человек обладает высшей силой

¹ Я разумею термин культурного человека в том смысле, как его употребляет, например, Sutherland в своей интересной книге «Origin and growth of the moral instinct» (Сутерланд. «Происхождение и развитие нравственного инстинкта»).

превращать врага в союзника. Скажут, так рассуждать может только идеалист-мечтатель; и в человеческих делах победа всегда на стороне грубой силы. Едва ли это верно, и за примерами обратного ходить недалеко. Последний год истекшего столетия отмечен двоякой годовщиной: рождения Гутенберга и мученической смерти Джордано Бруно. Не символично ли это совпадение? Не наводит ли оно на мысль о борьбе двух сил, орудиями которых были костер и — книга? Которое из них было сильнее, страшнее и победоноснее вначале? Костер задушил голос Бруно, исторг отречение Галилея, вынудил малодушие Декарта. А что он боролся именно против книги, не доказывает ли этого тот факт, что еще долго после того, как палач перестал взводить на костер мыслителя, он продолжал бросать в огонь его орудие — книгу? Но победила книга. И победила потому, что на одного врага, которого истреблял костер, она превращала тысячи в единомышленников. Перед книгой исчезла та «*sancta simplicitas*»¹, которою поддерживался огонь костров. Пусть те, кто думают распространить биологический закон борьбы на современного человека, остановятся прежде перед этой антитезой: растение приспособляется, а человек приспособляет; животное истребляет, а человек убеждает. Нет, не дарвинизм, не естествознание XIX века могут упрекнуть в разладе с этикой. Эту славу они охотно уступают таким его практическим деятелям, как Бисмарк, таким философам, как несчастный Ницше.

Сенебье был прав, обещая будущим деятелям только что нарождавшейся науки награду в сознании той пользы, которую их труды принесут в области земледелия;

¹ «Святая простота». Слова, произнесенные Гуссом, стоя на костре, когда он увидел старуху, которая, крестясь, подбиравала дрова в огонь.

не мог он только предвидеть, что их труды окажутся не менее плодотворными и в области другого искусства, не менее древнего, не менее важного, чем земледелие, — в области медицины. Не то, чтобы он не придавал значения изучению микроскопических организмов, особенно из класса грибов; напротив, он не раз возвращается к этому вопросу, но, конечно, он не мог ожидать, чтобы несуществовавшая в то время глава физиологии разрослась до размеров современной микробиологии. Говорить ли здесь о перевороте в медицине, особенно в хирургии, происшедшем под влиянием этого учения? Позволю себе и здесь ограничиться одной цифрой. Мне всегда приходят на память слова одного из наших бывших уважаемых коллег по медицинскому факультету; он говорил мне, что статистика смертности за Крымскую кампанию и за последнюю восточную войну 1877 г. дала почти дополнительные цифры; сколько выносили трупов из лазаретов Севастополя, столько выходило живых из полевых лазаретов Болгарии. И это мы должны прежде всего приписать тому, что разделяющее эти два срока двадцатилетие совпало с деятельностью Листера и Пастера.

Познается древо по плодам его. Химия и физика, придя на помощь физиологии растений, в течение одного века дали человеку возможность расширить «права» жизни и сократить власть смерти — большего знамени своей полезности не может предъявить никакое знание. Такая наука может, без ложной скромности, сказать «*qu'elle a mérité*» не только «*de la patrie*», но и «*de l'humanité*»¹.

Чего же мы можем ожидать от нее в будущем? Смело можно сказать, что если бы она только продолжала идти

¹ «Что она заслужила благодарность не только отечества, но и всего человечества».

по уже намеченным путям, ей стало бы работы на целое столетие, но кто же осмелился бы утверждать, что человеческий ум иссяк, что новый век не даст своих Найтов и Дютроше, Соссюров и Буссенго, Гельмгольцев и Майеров, Пастеров и Бертло, Ламарков и Дарвинов. А с ними явятся и новые пути, новые методы исследования, новые умственные горизонты, о которых теперь бесплодно было бы гадать.

И вот почему, среди шатания умов, отметившего конец века, среди страстных порывов вперед и боевых кликов, призывающих назад, среди скептических попыток «переоценки всех ценностей», среди безотчетных отпадений и слишком расчетливого ренегатства, среди погранных идеалов и разбитых надежд, быть может, только наука — положительная наука, объединенная положительной философией, переступает порог столетия без колебаний и сомнений, в спокойном сознании исполненного долга и беспримерного успеха в прошлом и с бодрой уверенностью, что ничто не в силах остановить ее победного шествия в будущем.



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие. Акад. <i>А. Л. Курсанов</i>	5
Физиология растений как основа рационального земледелия	11
1. Растение и почва	18
2. Растение и вода	40
3. Растение и воздух	46
4. Растение и солнце	55
Борьба растения с засухой	63
Предисловие	63
1. Испарение воды растением	65
2. Значение испарения воды для растения	80
3. Самозащита растения от убыточного испарения	92
4. Автоматичность приспособления растения в борьбе с засухой	106
5. Выводы для сельскохозяйственной практики	111
Источники азота растений	127
Факторы органической эволюции	193
Основные задачи физиологии растений	238
Столетние итоги физиологии растений	271

Тимирязев Климент Аркадьевич
Земледелие и физиология растений

Редактор Г. А. Беднарская
Художник П. М. Кузнецов
Художественный редактор Н. М. Хохрина
Технический редактор М. М. Павлова
Корректор О. Н. Грудзинская



Сдано в набор 27/VII 1956 г. Подписано к печати 27/XI 1956 г. Т11219. Формат 84×108¹/₃₂. Печ. л. 20,5 (16,81). Уч.-изд. л. 13,79. Тираж 12 000 экз. Заказ № 2019. Цена 6 р. 15 к.



Сельхозгиз, Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., дом 3.

Министерство культуры СССР
Главное управление полиграфической промышленности
Первая Образцовая тип. имени А. А. Жданова
Москва, Ж-54, Валовая, 28.

6p.15