

И. И. Смольянинов
О. А. Климова

Как и чем питается лес



Москва
Издательство «Лесная промышленность»
1978

634.9

~~ББК 43~~

С51

УДК 630

- Смольянинов И. И., Климова О. А.
С51 Как и чем питается лес. — М.: Лесн. пром-сть, 1978.
120 с. с ил.

В книге рассказывается о почвенном и воздушном питании древесных растений, леса в целом, о связи фотосинтеза с почвенным питанием, о биологическом круговороте веществ в лесу, о необходимости охраны природы в целях сохранения этого важного в народнохозяйственном отношении процесса, о перспективах направленного решения проблемы «питания леса», о путях интенсификации биологического круговорота элементов питания в лесах системой хозяйственных, в том числе лесохозяйственных мероприятий.

Книга рассчитана на специалистов лесного хозяйства, может быть полезна студентам лесотехнических вузов.

С 21002—161
037(01)—78 100—78

ББК 43

Иван Иванович Смольянинов

Ольга Абрамовна Климова

КАК И ЧЕМ ПИТАЕТСЯ ЛЕС

Редактор издательства Л. В. Макарова
Художественный редактор В. Н. Тикунوف
Оформление художника Е. Суматохина
Технический редактор А. М. Бачурина
Корректор И. Б. Шеманская

ИБ 76011

Сдано в набор 26.07.78. Подписано в печать 20.11.78. Т-21516.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага для множительных аппаратов. Гарнитура
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,5. Уч.-изд. л. 7,92
Тираж 10 000 экз. Заказ 1157. Цена 40 коп.

Издательство «Лесная промышленность», 101000, Москва, ул. Кирова, 40а.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома Государственного
комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, 26

© Издательство «Лесная промышленность», 1978

*Ищите на стыках наук —
свет идет от сопредельных знаний.*
Г. М. Кржижановский

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

«...На каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом; не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от других существ, умеем познавать ее законы и правильно применять их»¹. Так писал в своей книге «Диалектика природы» Ф. Энгельс.

И в наш век межпланетных полетов и управления наследственностью, познания тайн материи и проникновения в глубины Земли, освоения богатств Мирового Океана и создания искусственной пищи, управления погодой и поисков контактов с внеземными цивилизациями эти слова Фридриха Энгельса подтверждаются все больше. Да, мы плотью и кровью своей принадлежим Природе, находимся «внутри» нее и можем ею управлять и господствовать над ней только тогда, когда умеем «познавать ее законы и правильно применять их».

Наша страна вступила в период создания материально-технической базы коммунизма, когда в области научно-технического прогресса пролегал сегодня один из главных фронтов исторического соревнования двух систем и «первоочередной задачей остается ускорение научно-технического прогресса»².

Научно-технический прогресс предопределяет необходимость увеличения природных ресурсов, повышения плодородия земли, умножения продуктивности растений и животных, а это, в свою очередь, требует умения познавать законы природы и правильно их использовать.

Большая доля природных ресурсов скрыта в таких сложных природных образованиях, которые именуются коротким и простым русским словом «лес».

¹ Энгельс Ф. Диалектика природы. 1952, с. 141.

² Брежнев Л. И. Отчетный доклад ЦК КПСС XXV съезду партии. — В кн.: Материалы XXV съезда КПСС. 1976, с. 47.

Лес — наше подлинное богатство. От переработки древесины и использования других даров леса народное хозяйство получает продукцию 20 тыс. наименований. В нашей стране ежедневно заготавливают более 1 млн. м³ древесины. В ближайшие десятилетия эта цифра сильно возрастет, как возросла она в мировом лесопотреблении: только за 10 лет (с 1963 по 1973 гг.) ежегодное мировое потребление древесного сырья выросло примерно на 600 млн. м³, а до конца века увеличится минимум вдвое и достигнет 5 млрд. м³ в год [1].

СССР — великая лесная держава. Площадь лесов нашей страны составляет более 915 млн. га. Запасы древесного сырья составляют примерно 80 млрд. м³. И хотя на долю Советского Союза приходится около четверти лесных ресурсов мира, многие районы относятся к лесодефицитным. Причина тому — большая неравномерность в распространении лесов и малая лесистость многих густонаселенных территорий.

Известно, что лес — это регулятор климата, санитар воздуха, хранитель вод, защитник земли, друг урожая. Не случайно поэтому то большое внимание, которое уделяется в нашей стране лесовосстановлению и лесовыращиванию. За 60 лет существования СССР усилиями всех братских народов на площади 25 млн. га заложены искусственные леса. Только за девятую пятилетку работы по лесовосстановлению и защитному лесоразведению проведены на 12 150 тыс. га, а за два года десятой пятилетки — уже более чем на 2,3 млн. га. Особенно быстрыми темпами восстанавливаются леса Украины и Белоруссии, где каждый четвертый-пятый гектар лесов — рукотворный.

Не всякий лес щедро одаривает человека высококачественной древесиной, а только высокопродуктивный, способный заслонить собой прилегающие поля от всеистребляющих знойных ветров, выдержать натиск метелей и суховеев, оползней и смывов, морозов и бурь.

Специалист лесного хозяйства обязан овладеть знаниями, которые накопило человечество в области ухода за лесом и управления его природой. Владимир Ильич Ленин высоко ценил труд и знания лесоводов. Уже в первые годы становления Советской власти, 5 апреля 1918 г. в Предписании всем Советам о недопустимости увольнения лесных специалистов он писал: «...лесных специалистов нельзя заменить другими без ущерба для леса и тем самым — для всего народа: лесное хозяйство требует специальных технических знаний»¹.

В настоящей книге рассмотрена только часть того, что составляет «технические знания лесовода», — круг вопросов, относящихся к очень сложной и интересной проблеме питания лесов. Значение этой проблемы не только теоретическое.

¹ Ленин В. И. Соч., 1959, т. 2, с. 54—55.

Ведь чем лучше питается растение, тем лучше оно растет, развивается, дает разнообразную продукцию, тем лучше условия «косной» среды для данного растения: лучше водоснабжение, обеспеченность светом и теплом, меньше выражено влияние болезней, вредителей и других неблагоприятных воздействий. Если что-то в этом перечне будет нарушаться, значит процесс питания растительного организма непременно ухудшится. Иначе и не может быть. Следовательно, питание леса может о многом рассказать, т. е., выражаясь научной терминологией, оно представляет собой высокорепрезентативный процесс.

В самом деле: как и чем питается лес? Казалось бы, ответ на этот вопрос известен: растение питается многими элементами из почвы и углеродом из воздуха.

Однако такой упрощенный ответ сейчас никого не устраивает, тем более, что в нем нет ответа на вопрос: «как?» Лес — весьма сложное многолетнее, устойчивое природное образование, вмещающее в себя непременно и часть окружающей среды: почвы, грунта, воздуха. Это сложное природное образование на своем однородном участке представляет собой лесной биогеоценоз — единый, по выражению академика В. Н. Сукачева, внутренне взаимообусловленный природный комплекс. В нем протекают многочисленные природные процессы, которые в какой-то мере можно объединить общими и собирательными терминами: обмен веществ или биологический круговорот веществ лесного биогеоценоза.

Питание лесного древостоя в лесном биогеоценозе определяется законами биологического круговорота веществ. Всякое воздействие человека на лес, на окружающую среду прежде всего может повлиять на эти законы, на процессы, из которых складывается такое великое природное явление, как биологический круговорот веществ в лесу. А это, в свою очередь, может иметь для леса (да и не только для леса, учитывая его разнообразные функции) далеко идущие последствия. Воздействуя на процесс питания леса, человек может повысить продуктивность лесных насаждений, но может и обречь лес на жалкое прозябание, ухудшив его защитную роль и влияние на окружающую среду.

Изменение процесса питания лесов — мощный рычаг воздействия человека на природу леса и Природу вообще.

*Жизнь нельзя уничтожить,
как нельзя уничтожить материю;
ее основной закон — превращение
из простого в сложное, затем распад
и снова созидание.*

С. Жемайтис

ЛЕС И БИОСФЕРА

Биосферу В. И. Вернадский называл «пленкой Жизни». Под биосферой понимается одна из геосфер (земных оболочек) — область распространения жизни на Земном шаре, населенная организмами поверхность и близлежащие к ней части земной коры, гидросферы и тропосферы. Ее рассматривают как особую оболочку Земли, имеющую не более 40 км в толщину, в основном над поверхностью почвы (в глубь Земли жизненные формы проникают в виде бактерий примерно на 3 км, в воду — до 11 км). И хотя эту оболочку в сравнении с размерами Земного шара действительно можно назвать «пленкой», наша планета в целом, если на нее смотреть из космоса, представляется именно биосферой (наиболее заметный из космоса облачный слой располагается примерно «в середине» биосферы). Биосфера моложе Земного шара. Если возраст Земли, по новейшим данным, составляет $4,6 \pm 0,03$ млрд. лет, то возраст биосферы, по-видимому, на целый миллиард (если не больше) лет моложе. Исследованиями А. Г. Вологодина [2] доказывается возможность существования бактериеподобных форм живых организмов 3, — 3,5 млрд. лет назад. А начало начал того сложного природного явления, которое стало именоваться Жизнью, относится к еще более раннему периоду. Где-то, когда-то в теплые воды «первичного бульона» какой-нибудь древней морской лагуны ударила молния и образовались первые белковоподобные капельки — коацерваты, обладающие способностью к гомеостазу — самостоятельному регулированию своего состава и поддержанию его постоянства. Далее произошло образование того чудесного вещества, которое называется «белок», знаменитой ДНК, которая умеет воспроизводить белок и в то же время сама не может без него обходиться при рождении новых единиц жизни.

Главнейшая проблема в изучении возникновения Жизни на Земле — познание и объяснение качественного скачка от неживого к живому — все еще не ясна до конца. Это приводит иногда к неоправданному пессимизму исследователей возникновения жизни на нашей планете. Так, один из основоположников современной молекулярной биологии профессор



Рис. 1. Лес девонского периода. Слева первые пять растений — псилофиты

Крик на Бюраканском симпозиуме в сентябре 1971 г. сказал: «Мы не видим пути от первичного бульона до естественного отбора. Можно прийти к выводу, происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании»¹.

Наука будущего, безусловно, снимет завесу незнания с этого «проклятого» вопроса. Начнем наше повествование о лесе с той «точки отсчета» в развитии Жизни, с которой начинается интересующее нас понятие «лес». «Точка» эта оказалась очень растянутой, если не на сотни, то по крайней мере на десятки миллионов лет. Лес как сообщество многолетних древовидных растительных организмов возник гораздо позже. Нужно было пройти над нашей планетой еще многим миллионам лет, прежде чем на суше развились, пусть примитивные, но уже высшие споровые растения — псилофиты, состоящие из вильчато разветвленного стебля, покрытого мелкими щетинками. Корней и листьев они еще не имели. Существовали эти удивительные растения с силурийского периода до среднего девона (рис. 1), т. е., по современным подсчетам, примерно 1,3—1,8 млрд. лет тому назад.

Скопления разросшихся псилофитов в какой-то мере по форме можно было бы и отнести к прообразу леса. В таком лесу не было ни корневых систем, ни листьев; псилофитные заросли не имели привычных нам голосеменных и особенно по-

¹ Информация о Бюраканском симпозиуме — Знание — сила, 1971, № 11, с. 24.

крытосеменных растений, которые появились гораздо позднее, соответственно в пермском и меловом периодах, хотя уже в карбоновом периоде (рис. 2) шумели поистине гигантские леса из удивительных, ныне вымерших растений. Становление современных лесов произошло совсем недавно, какие-то десятки тысяч лет назад, в послеледниковую эпоху четвертичного периода кайнозойской эры. Следовательно, то природное образование, которое впоследствии человек назвал лесом, развивалось вместе с развитием Жизни, биосферы как составной части единого, макроэволюционного процесса на нашей планете. Жизнь оказалась не только творцом, но и жестким контролером содеянного. Отбиралось и закреплялось только то, что способствовало устойчивости и прогрессу жизненных единиц.

Поистине неисчерпаемы резервы белковой жизни. Что ни организм, то особый мир, записанный еще до рождения на матрице генетического кода [3]. Код наследственности определяет разнообразие белковых существ, и оно поистине ошеломляющее: абсолютно похожих организмов на Земле может не быть даже среди 10^{18} жизненных единиц, т. е. среди миллиарда миллиардов отдельных особей. Это объясняется тем, что общее потенциальное разнообразие, заключенное в совокупном генетическом коде белковой жизни на Земле, поистине баснословно: оно достигает 10^{50} . Наследственность человека кодируется не менее, чем 5 млрд. комбинаций. А как кодируется наследственность леса? На этот вопрос трудно ответить, ибо

Рис. 2. Лес карбона (каменноугольного периода):

1 — лепидодендрон; 2 — древовидный наветртыник; 3 — драговидные хвощи — каламиты; 4 — кардант, рядом (справа) сигиларии



в лесах Земли обитает величайшее разнообразие видов белковых организмов, каждый из которых кодируется своими миллионами или миллиардами наследственных комбинаций.

Тайна совершенства — в свободе выбора. А природе есть из чего выбирать, у нее очень много запасов. По сугубо ориентировочным подсчетам, одновременно на планете могут существовать примерно 10^{21} — 10^{23} разновидностей систем живого. А могло бы быть еще 10^{70} разновидностей, но они «в запасе». В экстремальных случаях, когда живому угрожает опасность, из этого запаса могут «извлекаться» дополнительные разновидности систем, и Жизнь будет по-прежнему поддерживать свое совершенство, свой гомеостаз (саморегулирующееся постоянство своих признаков).

Природа позаботилась и о стражах своего постоянства. В организмах животных она выработала такое состояние, которое древние греки называли «сторожевым псом здоровья» и которое в русском языке зовется одним коротким словом «боль». Растения испытывают тоже нечто подобное боли.

Американский ученый Бэкстер¹ — специалист по электронным детекторам, — поливая комнатные цветы, столкнулся с интересным явлением: цветок при поливе «чувствовал», как вода поднимается по его стеблю. Самописец электронного детектора чертил под влиянием сигналов от датчиков, укрепленных на листе этого цветка, изменяющуюся кривую. Бэкстер решил проследить, как реагирует растение на более сильное воздействие. Он прижег листок цветка спичкой, и сразу же на записи произошел резкий скачок вверх. Это натолкнуло его на мысль, что растение таким образом «кричит о боли» или, во всяком случае, обладает каким-то практически мгновенным видом восприятия.

Профессор Тимирязевской сельскохозяйственной академии И. И. Гунар установил², что при ряде воздействий на растение биопотенциалы (слабые электротоки, под влиянием которых перо самописца вычерчивает определенные фигуры кривой) очень похожи на биопотенциалы животных. Точной электронной аппаратурой было установлено, что растения обладают электрическими импульсами, подобными нервным импульсам животных. Более того, у них, вероятно, есть особая «чувствующая» система, под контролем которой находятся все процессы их жизнедеятельности, включая процессы почвенного и воздушного питания.

Итак, лес — детище и неперенный компонент биосферы, составная часть этой грандиозной экологической системы. Познавая лес, мы в какой-то мере познаем и биосферу, как можно познать целое по его части и притом по существенной

¹ За рубежом, 1972, 7—13 апреля, с. 28.

² Газ. Правда, 1970, 20 октября.

его части. Остановимся на данных, характеризующих биосферу.

Объем нашей планеты 1080 млрд. км³, масса Земли 6²¹ т (средняя ее плотность 5,52 г/см³). Живое вещество, являясь, по выражению В. И. Вернадского, очень мощной геохимической силой, имеющей планетарное значение, насчитывает примерно 1,5 млн. различных видов живых организмов (²/₃ из них животные, ¹/₃ растения) общим весом 10¹³—10¹⁴ т. На суше первое место принадлежит биомассе, которая создается лесом. По последним сведениям, она составляет 10¹¹—10¹² т. т. е. сотни и тысячи миллиардов тонн [4].

Травянистая растительность образует биомассу примерно в 10 раз меньшую (10¹⁰—10¹¹ т). Биомасса животных (зообиомасса) составляет менее 1% фитомассы, т. е. биомассы растений. Основная доля зообиомассы (90—95%) приходится на беспозвоночных животных, обитающих в почве. Примерно такими же величинами (т. е. миллиардами тонн) исчисляется микробиомасса, т. е. вес «невидимок», которыми густо населены все части биосферы, и в том числе почвы наших лесов. Антропомасса, т. е. вес людей на Земле, в 1971 г. при среднем весе человека 60 кг и численности населения 3,5 млрд. человек составлял 210 млн. т.

Подсчитано, что если живое вещество биосферы равномерно распределить по поверхности Земли, то на каждый квадратный метр ее площади придется около 18 кг растений и 140 г животной массы, а толщина «пленки» этого равномерно распределенного живого вещества будет не более 2 см, и весить она будет почти в 600 млн. раз меньше всей планеты [5].

Однако «сила» живого вещества биосферы не в его размерах. Она прежде всего в тех процессах, которые протекают на Земле, в той роли, посредством которой жизнь освоила всю нашу планету и осваивает ближний космос. Почти вся масса живого вещества состоит в основном из 20—23 химических элементов. Главные из них С, О, Н, N, S, P, K, Ca, Mg, затем Na, Li, Ba, Fe, Ni, Cu, Zn, Al, Si, Cl, I, B, Mn и др. Из различных, иногда сложных комбинаций этих и других элементов состоит и неживое вещество нашей планеты (включая и так называемые «вымирающие» элементы: уран, торий, франций, радий, протактиний, актиний, полоний и др.). Но суть в том, что скорость, масштабность, специфика реакций между составляющими материю химическими элементами в живом веществе не идет ни в какое сравнение со скоростью, масштабностью, спецификой реакций в мертвых природных соединениях. Например, ферменты (белки глобулярной природы) могут осуществить в одну секунду такую химическую реакцию между различными веществами, на протекание которой в условиях мертвой природы потребовалось бы 3200 лет. Таким образом, химические реакции в живом веществе протекают быстрее

в 10^{11} , т. е. в 100 млрд. раз! Вполне возможно, что живому веществу присущи и еще более значительные ускорения реакций.

В связи с такими поистине безграничными возможностями ускорения хода химических реакций ничего нет удивительного в том, что скорость возможного заселения живым веществом поверхности Земли, или «напор жизни» [6, с. 53], достигает очень больших размеров.

*Скорость возможного заселения живым веществом
поверхности Земли*

Зеленый планктон (в среднем)	168—183 дня
Большие водоросли (в среднем)	49—79 лет
Бактерия (вибрион холеры)	около 1,25 суток
Инфузории (различные)	» 10,6 »
Диатомовые водоросли	» 16,8 »
Насекомые (различные)	203—366 »
Цветочные растения (клевер)	около 11 лет
Рыбы	4—12 »
Куры	15—18 »
Млекопитающие:	
крысы	около 8 »
домашняя свинья	около 8 »
дикая свинья	свыше 56 »
слон индийский	» 1000 »

Из вышеприведенных данных видно, что если дать возможность беспредельно размножаться любому организму, то для полного заселения планеты ему нужен небольшой или сравнительно небольшой срок. Вибриону холеры нужно для этого чуть больше одних суток, инфузориям и диатомовым водорослям 11—17 суток, насекомым около года, клеверу 11 лет, некоторым животным до 50—60 лет. И даже 1000 лет, необходимые индийскому слону для полного заселения земного шара, очень малое в сравнении с геологическим временем; оно составляет 0,000005 часть того времени, которое заняло развитие жизни на Земле.

Человеку очень нелегко познать работу «механизма» биосферы, который состоит из многих миллиардов отдельных явлений, процессов, перемещений веществ, энергии и т. п. Однако прав был Э. Н. Уайтхед, который говорил: «Ищите простоту и затем ставьте ее под сомнение»¹. Несмотря на бесконечную сложность взаимодействий в природе, все их многообразие сводится в конечном счете к очень небольшому числу функциональных сил и всего к одному глобальному процессу, который именуется круговоротом веществ в биосфере (рис. 3). Правда, такое обобщение лишь облегчает пути познания, но вовсе не упрощает научной картины всего происходящего и окружающего.

¹ Цитируется по книге Рэкера Э. Биоэнергетические механизмы. М., 1967, с. 97.

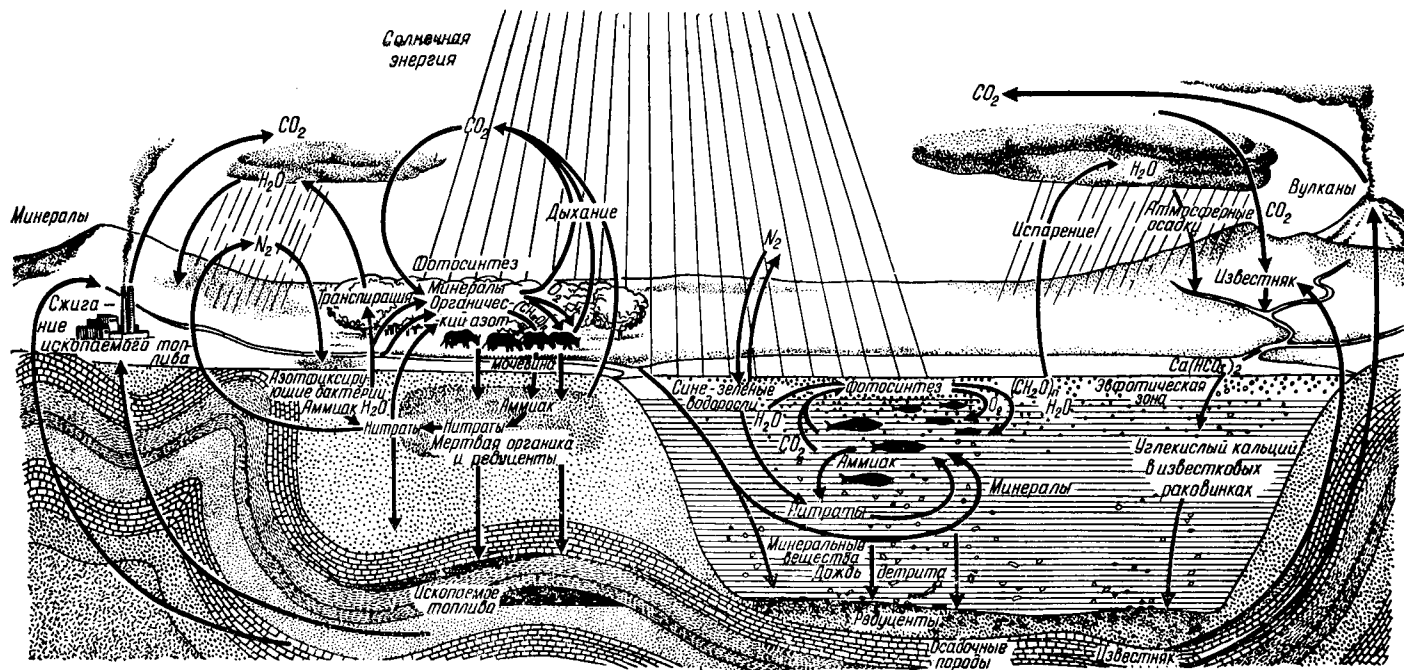


Рис. 3. Круговорот основных веществ в биосфере. В общих чертах существование биосферы основано на использовании солнечной энергии для фотосинтетического восстановления атмосферной двуокиси углерода с образованием органических соединений $(CH_2O)_n$ и молекулярного кислорода O_2 . Изображены также потоки других веществ и энергии в системе земная кора — почва — атмосфера [86]

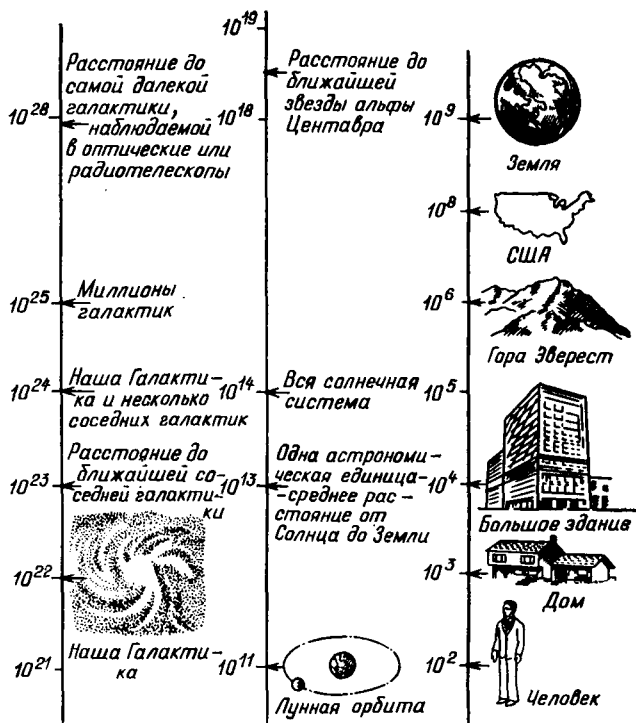
Функциональных сил насчитывают всего четыре: гравитационные, действующие на больших удалениях; электромагнитные, управляющие поведением атомов и молекул; ядерные, действующие в пределах атомного ядра, и так называемые «слабые взаимодействия», которые протекают в мире элементарных частиц. Под влиянием комбинаций этих сил с использованием огромного потока солнечной энергии совершаются бесчисленные процессы глобального биосферного круговорота. Круговорот этот замкнут не полностью. Земной шар, как известно, непрерывно теряет ряд легких химических элементов и прежде всего водород. Утверждения некоторых исследователей о существовании «круговорота энергии» ошибочны, такого явления не существует. Есть лишь явления поглощения Землей энергии Солнца и излучения, рассеивания ее в виде тепла с распределением потоков энергии на Земле путем движения воздуха и воды.

И тем не менее биосфера живет и «работает» по законам великого биологического (биогеохимического) круговорота веществ, подобие которого мы видим и «внутри» лесного биогеоценоза, о чем будет речь дальше. Вот некоторые цифры этой работы. Годичный прирост растений (фитоприрост) равен $n \cdot 10^{10}$ т, т. е. исчисляется десятками миллиардов тонн. Годичный оборот зольных элементов $n \cdot 10^8$ — 10^9 т. Ежегодно растительностью Земли потребляется 400 млрд. т углекислого газа с запасанием посредством фотосинтеза $21,3 \cdot 10^{16}$ кал солнечной энергии. Средняя продолжительность круговорота углерода 200—1000 лет; свободного кислорода на планете выделяется в год $2 \cdot 10^{11}$ т.

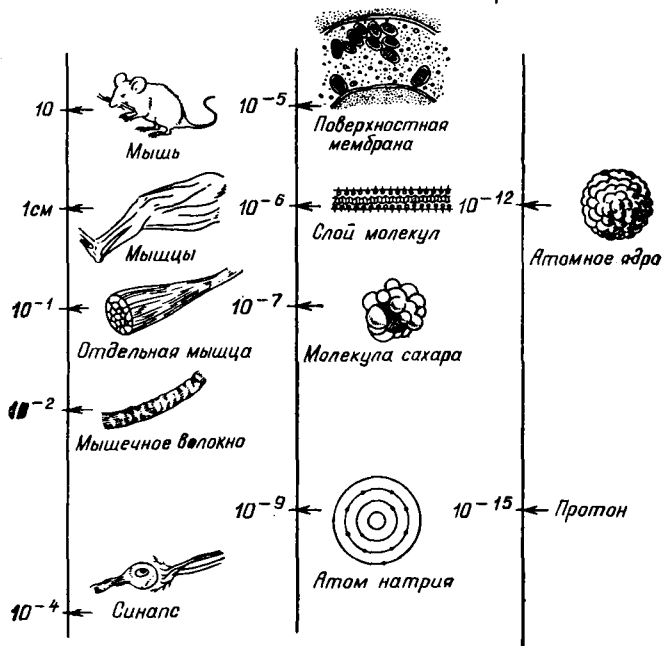
Каждый год на поверхности нашей планеты выпадает 520 км³ осадков. Столько же в общей сложности испаряется влаги за год с поверхности Земного шара. Геологический круговорот воды приводит к тому, что каждый год с химическим стоком в океан стекает 3 млрд. т растворенных и 16 млрд. т взвешенных веществ (продуктов водной эрозии почв).

Подсчитано, что с сельскохозяйственной продукцией из почв ежегодно выносятся 100—110 млн. т азота, а с удобрениями примерно 21,2 млн. т. Для компенсации подобных потерь, не всегда являющихся восполнимыми, в биокруговорот должны включаться разнообразные «механизмы» продуцирования веществ, многие из которых принадлежат лесу. Попытаемся взглянуть на интересующий нас компонент биосферы — лес с точки зрения масштабности. Сопоставим его размеры со всем разнообразием размеров в видимой части Вселенной. Для этого нужна точка отсчета. Возьмем ее на уровне размера мыши, как это сделал К. Гробстайн [7] (рис. 4). Тогда язык математики возвестит нам следующее: лес на нашей планете занимает все то, что меньше 10^4 см, точнее — он может занимать эти размеры. Его влияние про-

а



б



стирается, несомненно, на всю биосферу, т. е. до величин порядка 10^7 . Возможно, что влияние леса ощущается во Вселенной и в более крупных масштабах, если предположить, что Земной шар при общеизвестной потере водорода теряет те его ионы, которые уносятся атмосферными вихрями из транспирационных потоков влаги от лесной растительности.

На основании рисунка К. Гробстайна мы можем позволить себе сделать такой вывод, который не делался еще ни одним исследователем на Земле: во всех лесах Земного шара протонов меньше, чем разновидностей белков во всем мире. Это можно доказать следующим образом. Л. Берталанфи в своей книге «Проблемы жизни», изданной в Лондоне в 1952 г., сообщает, что число возможных белков исчисляется 10^{2700} , в то время как число электронов в доступной нам части Вселенной исчисляется только 10^{79} . Из атомной физики известно, что масса протона равна 1836 электронным массам, а это значит, что протонов не может быть больше, чем электронов. Если число электронов во Вселенной меньше, чем число возможных белков, то число протонов во всех лесах Земли, конечно, меньше числа возможных белков, поскольку к тому же видимая часть Вселенной необозримо больше всего того объема, который занимают леса Земного шара.

Сделанный вывод заставляет еще раз задуматься над тем, как велико разнообразие Жизни на Земле и как трудна проблема восполнения утерянных частей белкового организма, даже если в руках исследователя имеются такие же жизнеспособные части, но от других белковых организмов. Это общеизвестный «барьер тканевой несовместимости», который строго соблюдает законы постоянства белка для отдельно взятого организма. Он имеет прямое отношение не только к хирургическим операциям по пересадке сердца и других органов, но и к лесу. Дело в том, что еще не так давно некоторые лесоводы делали сенсационные сообщения о том, что «сосна породила ель» или «береза — рябину» и при этом приводили фотографии одних деревьев, растущих на других. На поверку выходило, что «порождения» одной лесообразующей породы другой никогда не было, было лишь совместное произрастание двух-трех разных видов растений, но при этом состав тканей, состав белка был всегда постоянен для того или иного организма, и он никогда не смешивался с другим. Белки у каждого организма различны, потому что возможное число их разновидностей больше, чем не только протонов во всех лесах Земного шара, но и электронов в видимой части Вселенной.

Рис. 4. Размерность нашей Вселенной:

а — шкала возрастающих величин; б — шкала уменьшающихся величин при базисе отсчета 10 см (размер мыши) [7]

Лесная растительность — мощный заслон на пути вымывания веществ из Суши в Океан. Именно в борьбе с разрушительной работой большого геологического круговорота веществ между Сушей и Океаном, как полагают некоторые ученые, и возникла лесная растительность. Так, В. В. Пономарева [8] считает, что леса возникли в далеком прошлом Земли и существуют по сей день потому, что на ней всегда имеются громадные площади суши, которые интенсивно промываются атмосферными осадками, способными вымыть из верхнего слоя земной коры элементы питания растений. Именно как реакция на явление элювиирования (вымывания) и возникла в процессе эволюции растений «многолетняя древесная жизненная форма», образующая леса и преобладающая в них.

Накапливая и постоянно удерживая в своей огромной вечной живой биомассе элементы органогены, леса создают мощное, практически непреодолимое препятствие их вымыванию из биогеоценоза.

По отчетным данным 1963 г. [9], общая площадь лесных земель мира составляет 4 229 167 тыс. га, или 32,2% территории суши. Продуктивная лесная площадь (собственно леса) составляет 2 190 824 тыс. га. На долю хвойных лесов приходится 35%, лиственных — 60%, на нечетко выделенную категорию смешанных лесов — 5%. Все эти леса производят в год примерно 1,6 млрд. м³ древесины, а человечество потребляет 2,2—2,5 млрд. м³, т. е. с каждым годом дефицит древесины увеличивается.

Лес участвует в разнообразнейших процессах биосферы. С уверенностью можно сказать, что без лесной растительности, которая, по мнению ученых, должна покрывать площадь Земли не менее чем на 30%, не происходило бы очищения, оздоровления биосферы на нашей планете.

Леса мира, по мнению А. А. Молчанова [10], являются не только главными потребителями угольной кислоты на Земле, они также — главный источник современной биологической фиксации углекислоты. Леса содержат около 400—500 блн. т углекислоты, что в свою очередь составляет примерно $\frac{2}{3}$ всей углекислоты, находящейся в биосфере.

Лес — великий преобразователь влаги, тепла, кислорода, азота и других веществ в биосфере, преобразователь паров океанов в дожди и снега. Зимой лесной «холодильник» запасает в себе для полей и лугов замороженные воды, которые являются большим добавком к осенним и весенним дождям.

Если учесть, что для производства центнера сельскохозяйственной продукции нужно до 1000 ц воды, то, по подсчетам, на зимних ее запасах можно выращивать до 150 млн. т хлеба (около половины всего производства зерна) и в нужной пропорции овощи, корнеплоды, фрукты, корма. Большой фонд воды создается при участии леса в летнюю пору, что дополнительно

обеспечивает производство 150 млн. т зерна и соответствующего количества других сельскохозяйственных продуктов.

Велика роль лесов в так называемой межбиогeoценoзной миграции воды и взвешенных частиц, а также продуктов жизнедеятельности растений — фитонцидов, плодов, семян, спор, пыльцы, частей растений и т. п. Очистка воздуха от пыли, многих газов и особенно от углекислоты — неоценимый вклад лесной растительности в работу всего биосферного механизма. А если учесть, что без влияния леса необратимый сток почвенно-грунтового материала на дно Мирового Океана был бы во много раз больше, значение леса для биосферы, для человечества не нуждается в доказательствах.

Два-три миллиона лет тому назад на «краю леса» (именно «на краю» и именно леса!) появился предок человека. Без леса это существо не могло обойтись, так как оно способно было жить в основном только в лесных условиях. Без «края леса» это существо также не могло обойтись, так как в связи с изменившимися в неблагоприятную сторону климатическими условиями оно было вынуждено слезть с дерева, освоить «прямостоячую» походку и познать то, что в будущем сделает его человеком: труд, целенаправленный, сознательный и полезный.

Вот как образно описывает это знаменательное начало Н. Ф. Реймерс. «Он родился на краю леса. Мать нежно прижимала его к черно-бурой волосатой груди, и он держался за нее руками и похожими на руки ногами. Он еще не был человеком, лишь его дальним предком. Два, возможно три миллиона лет отделяли его, уже ходившего вертикально, от общественной жизни, миллион лет — от выражения мыслей словами. Но его родители умели пользоваться дубинкой и подобными ей орудиями труда и даже ухитрялись получать заостренные камни.

Его стадо бродило по обширным безлесным пространствам и опушкам лесов, собирая плоды земли, ловя насекомых, ящериц и наслаждаясь свежими птичьими яйцами. Жизнь в лесу, откуда произошли все обезьяны, кончилась. Нынче там не было того обилия плодов, что миллионы лет назад. Да и сами тропические леса, могучие, непролазные, сменились на большей части района обитания обезьян лугами и перелесками.

Палка и камень помогали добывать пищу. Они превратились в грозное, не виданное до тех пор оружие. Стада вертикально ходивших обезьян с помощью его побеждали своих врагов из мира хищников, учились искусству охоты» [по 3, с. 23].

Итак, Жизнь породила биосферу, в биосфере возник лес, в лесу родился человек. Из стадии Гомо хабилис (человек умелый) это существо перешло в стадию Гомо сапиенс (человек

разумный). Численность его 200 тыс. лет назад не превышала 1 млн. В период так называемой «сельскохозяйственной революции» (10 тыс. лет назад), когда человек начал возделывать культурные растения, количество людей равнялась 5 млн. Во время «технической революции» (5 тыс. лет назад), когда стали использоваться первые технические средства, количество людей было в 5—10 раз больше. А уже 300 лет назад людей было в 100 раз больше, чем во времена «технической революции», — 500 млн. В 1850 г. население Земного шара составляло 1 млрд., в 1930 — 2, в 1970 — 3,6, весной 1975 г. — 4 млрд. человек. К 2000 г. население Земли будет исчисляться 5,2—7 млрд. чел.

Трудовой процесс привел не только к совершенствованию его творца, но и к существеннейшим перестройкам в биосфере. С развитием человеческого общества изменялись практически все отношения между предметами, процессами, вещами, компонентами биосферы («вещами» — если пользоваться обобщенными философскими категориями). Труд изменял свойства и форму веществ (проявлял, как принято говорить, технологическую функцию), перемещал предметы труда и готовую продукцию (транспортная функция), изменял потоки энергии при приведении в действие орудий труда (энергетическая функция) и усиливал свое влияние на окружающую среду в результате повышения производительности работающего, научившегося осуществлять контрольно-измерительную и логическую функции.

Перестройки в биосфере вначале были незначительными и не могли пагубно отразиться на развивающемся человечестве. Однако местами, в отдельных регионах «успехи» цивилизации давали себя знать. Прежде всего изменения касались леса. Вырубая лесá, человек, сам того не зная, иссушал местность, обезвоживал реки, изменял климат отдельных территорий в неблагоприятную сторону. Вот один пример. Пять тысяч лет назад многие склоны хребта Ливан древние ассирийцы называли «Кедровыми горами». Они были покрыты густыми лесами, состоящими из сосны, дуба, можжевельника и таких «жемчужин Востока», как ливанский кедр. Царь Соломон задумал строить свой знаменитый храм. Свыше 80 тыс. египтян по его приказу было направлено на вырубку этих гигантских деревьев. Храм тщеславного владыки был построен и сравнительно долго напоминал живущим соотечественникам и гостям о могуществе деспота. Но время сделало свое дело: храм разрушился, истлели кости и самого Соломона, а люди до сих пор испытывают в этих местах последствия варварской рубки лесов.

Последствия были настолько велики, что нашли отражение в библейских легендах: «Земля сетует, сохнет; Ливан постыжен, увял; Сарон похож стал на пустыню, и обнажены от

листьев Васан и Кармил... Вельможи посылают слуг своих за водой; они приходят к колодезям и не находят воды; возвращаются с пустыми сосудами; пристыженные и смущенные, они покрывают свои головы»¹.

Спустя 5 тыс. лет природа не смогла восстановить здесь бывшие кедрачи, а люди из-за отсталости, войн и междоусобиц не смогли ей в этом помочь. И не случайно безлесным местностям всегда сопутствуют «очереди из ведер» (рис. 5), как бы напоминая нам о четко работающих механизмах взаимосвязи в системе «биосфера—лес—человек». На копившиеся в этой системе к настоящему времени изменения уже именуются некоторыми исследователями «кризисом биосферы». Отходы цивилизации, по словам Бернара Лефевра [по 11], уже превратили мир в «огромную помойку», а саму цивилизацию — в «цивилизацию отходов». На эту тему написано много книг, порою с кричащими и угрожающими заголовками: «Оскальпированная Земля», «Самоубийство человека», «Путь к выживанию» и т. п. Если даже отбросить эмоциональность и сенсационную фальшь заголовков, присутствующих буржуазной прессе, конфликтная ситуация в проблеме «человек—природа», к сожалению, не уменьшится.

Приведем несколько цифр. За последние 100 лет уничтожено 240 млрд. т кислорода и выброшено в атмосферу 360 млрд. т углекислоты, 1,35 млн. т кремния, 1,5 млн. т мышьяка, более 1 млн. т никеля, 900 тыс. т кобальта, 0,6 млн. т цинка и столько же сурьмы.

Регулирующий уличного движения в центре Лондона пропускает в день через свои легкие столько газов, сколько он получил бы при выкуривании 100 сигарет. На долю США, занимающих всего 6% суши, приходится до 40% промышленных отходов, загрязняющих биосферу. Промышленность США

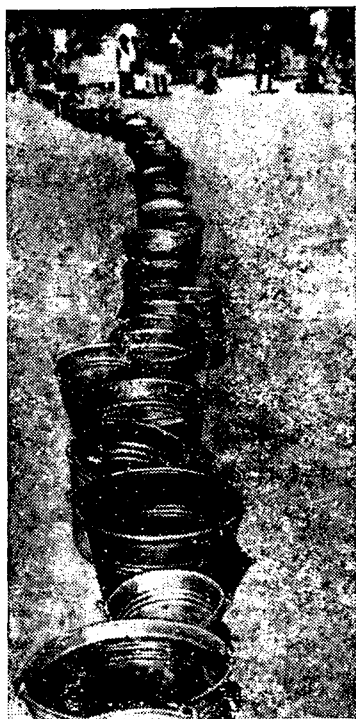


Рис. 5. «Очередь из ведер» — верный признак безлесных территорий [87]

¹ Дежкин В. В. Профиль равновесия. М., 1972, с. 30.

потребляет кислорода больше, чем может дать растительность всей этой страны. Следовательно, чтобы поддержать на должном уровне дыхание современного американца, на него должны работать леса чужих стран, поскольку биосфера единая. Отсюда данная проблема приобретает социально-политический аспект, возможность и необходимость устранения кризисных ситуаций в биосфере усилиями многих стран, усилиями всего человечества.

Лесная растительность в создавшихся условиях страдает, по-видимому, не меньше (если не больше!), чем травянистая и фитопланктон морей и океанов. Ежегодно в мире, как мы уже говорили, потребляется 2,2—2,5 млрд. м³ древесины (а прирост ее едва достигает 1,6 млрд. м³). Площадь лесов продолжает сокращаться. Особенно резко она сократилась в период развития капитализма. Только на Украине с 1854 по 1914 гг. лесная площадь уменьшилась на 2,17 млн. га, т. е. почти на одну треть.

И хотя в нашей богатой лесом стране на душу населения приходится более 350 м³ древесины (в США 90—98 м³), есть у нас и такие местности даже в условиях возможного естественного произрастания лесной растительности (лесостепь), где на душу населения приходится всего 40 м³ древесного запаса (например, Сумская обл.). Но не только уменьшением площади лесов и запаса древесины характеризуются кризисные ситуации в биосфере. Страны социалистического лагеря в значительной мере уже восполнили лесные ресурсы путем плановых мероприятий по лесовозобновлению и лесовыращиванию.

Тревогу вызывает другой аспект последствий: влияние загрязнений биосферы на питание леса. Загрязнение биосферы весьма ощутимо должно влиять на растения через нарушение питания, на жизнеспособность, устойчивость и долговечность наших лесов, поскольку без питания нет жизни, невозможно воспроизведение себе подобных, нет гомеостаза.

Чтобы рассматривать эти проблемы, надо познакомиться с вопросами питания растений в лесу и мероприятиями по его регулированию.

В живой природе часто работают системы более сложные, чем те, какими пользуются физики для проверки своих теорий.

Сент-Дьерди

МНОГО ЛИ ДЕРЕВУ НУЖНО?

Если вспомнить, что живое вещество — комбинация 20—23 химических элементов, ответить на вопрос, много ли нужно дереву, казалось бы, и несложно. Если познакомиться

с расчетами биогеохимиков, окажется, что живое вещество биосферы состоит в основном всего-навсего из четырех элементов — кислорода (70%), углерода (18%), водорода (10,5%) и азота (0,3%), в сумме составляющих 98,8%. Эти цифры получены главным образом путем учета данных по составу древесных фитомасс, поскольку в биосфере на первом месте стоят дендромассы (фитомассы деревьев), а «зоомассы» по сравнению с ними ничтожны.

Значит, наши лесные растения — в первую очередь кислородные существа. И объясняется это высокой устойчивостью кислорода как химического элемента, имеющего относительную легкость атома и четность составляющих атомного ядра (8 протонов и 8 нейтронов). Другие элементы с более тяжелым атомным весом и нечетным сочетанием ядерных составляющих (например, золото — 79 протонов и 118 нейтронов) не могли образоваться в больших количествах, так как их ядра в период разогретой «праматерии», из которой образовалась наша земная кора, были весьма неустойчивы. Таким образом, химический состав наших лесов несет на себе печать геологического наследия.

Однако дереву нужны не только те 20—23 химических элемента, о которых говорилось выше. Сейчас в составе растительных тканей обнаружено свыше 60 химических элементов. В настоящий момент нельзя отрицательно ответить на вопрос, нужны ли дереву все известные химические элементы таблицы Менделеева. Возможно, что нужны именно все.

Вода, энергия солнечных лучей, магнитное поле, силы «слабых взаимодействий» необходимы для рождения возбужденных электронов при фотосинтезе, без которого невозможно представить себе продолжение жизни в биосфере. Не может жить дерево без тепловой энергии, воздуха и прежде всего его составной части — углекислого газа. По-видимому, дереву нужно очень и очень многое. И вполне может быть, что число веществ, сил, условий, воздействий, которые необходимы для его нормальной жизни, исчисляется тысячами и даже миллионами названий. Приведем некоторые сведения о значении элементов почвенного питания для древесных растений.

Азот — важнейший питательный элемент, обуславливающий рост и практически все жизненные процессы растительного организма. Недостаток азота подавляет фотосинтез сильнее, чем недостаток какого-либо иного элемента. Да это и понятно, так как любая молекула аминокислоты, протеина, фермента не может быть построена без азота. А без этих веществ не может существовать само растение. Своими исследованиями Келлер, Кох, Лоусталот [по 12] показали, что при снижении содержания азота в листьях наполовину молодые тополя сбрасывают до $\frac{1}{3}$ листьев. Некоторые ученые установили, что при недостатке азота повышается сопротивление устьиц проникновению углекислого газа, вследствие чего нарушается воздушное питание растения. При низком содержании азота начинает хуже «работать»

хлорофилл — главный «двигатель» фотосинтеза, из-за чего превращение энергии света в энергию химических связей происходит слабее. Исследователи обнаружили также, что при недостатке азота происходит накопление продуктов фотосинтеза, а ростовые и связанные с ними процессы передвижения веществ замедляются, т. е. лист работает как бы «вхолостую». Без азотного питания не работают митохондрии — «клеточные легкие», в которых происходит запасание и превращение энергии.

Фосфор также входит в состав важнейших веществ, из которых состоят мембраны клеток. Он входит в состав таких удивительных соединений, как нуклеиновые кислоты, которые способны сохранять и передавать следующим поколениям накопленную информацию. Без фосфора невозможно образование соединений, обладающих запасом энергии.

Калий оказывает влияние на интенсивность ассимиляции углекислого газа, регулирует работу устьичного аппарата, помогает растению сохранять воду. Хорошая обеспеченность растения калием сказывается на повышении его морозостойкости. Он способствует лучшему использованию железа, которое необходимо для синтеза хлорофилла.

Кальций оказывает положительное влияние на рост корней.

Магний входит в состав хлорофилла, фитина, нуклеинов и других веществ. Велика его роль в повышении активности ферментных систем клетки. Он активизирует образование комплекса фермент — субстрат, который необходим для слаженного протекания обменных реакций.

Сера. Недостаток серы уменьшает количество хлорофилла в листьях, приостанавливает синтез белков, поскольку белковая молекула без этого вещества не может получить нормальную конфигурацию (недаром серу зовут «цементом» белка). Сера влияет на процесс дыхания через ферменты, в состав которых она входит.

Марганец повышает активность ферментных систем, является активным катализатором. Отсутствие его снижает фотосинтез в 2—4 раза. Он способствует более экономному использованию растением углерода, ускоряет фотохимическое (т. е. под действием света) разложение воды, происходящее при фотосинтезе, активизирует процессы синтеза витаминов, влияет на ассимиляцию нитратов и образование белков.

Железо входит в состав цитрохромов — ферментов, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях. Это вещество крайне необходимо при синтезе хлорофилла.

Медь входит в состав ферментов, принимающих участие в темновых реакциях фотосинтеза, защищает хлорофилл от разрушения.

Цинк влияет на дыхание, являясь компонентом многих «дыхательных» ферментов, принимает участие в синтезе хлорофилла, повышает жаро-, засухо-, холодо-, зимо- и солеустойчивость растений, а также устойчивость к грибным и бактериальным заболеваниям.

Молибден имеет большое значение при азотном обмене. Он защищает растение от токсического действия подвижного алюминия на кислых почвах.

Бор положительно влияет на дыхание и фотосинтез, способствует накоплению и передвижению углеводов, непосредственно участвует в нуклеиновом обмене. Недостаток бора сопровождается у растений отмиранием

точек роста, разрушением тканей стеблей, корней, ухудшением плодообразования.

Кобальт повышает активность ферментов, входит в состав витамина В₁₂, способствует увеличению содержания хлорофилла, повышает содержание белкового азота.

Литий положительно влияет на активность хлоропластов, на устойчивость растений к болезням.

Фтор улучшает условия питания растений. При несбалансированном отношении ионов в почве внесение фтора регулирует их равновесие.

Йод принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях. Исследования показывают, что внесение йодистых удобрений усиливает рост растений, улучшает обмен веществ.

Ванадий. Работами последних лет доказывается невозможность нормальных процессов дыхания белковых организмов без обязательного участия в этих процессах данного элемента.

Рутений. Химики Торонтского университета (Канада) выявили положительную роль рутения в азотфиксации, т. е. в связывании свободного атмосферного азота. Обнаружено, что рутений усваивают азотфиксирующие виды бактерий, способные поглощать инертный азот из атмосферы при обычных температурах и давлении. По-видимому, рутений действует в качестве катализатора этих реакций. Работами профессора Г. И. Редько [13] доказана высокая степень симбиоза (сожительства) азотфиксирующих бактерий и ольхи черной, которая таким образом хорошо удобряет почву азотом. В связи с этим в полной мере можно говорить и о том, что без рутения указанный процесс улучшения почв ольхой, по-видимому, не обходится.

В процессе питания (почвенного и воздушного) создается дерево, лесное насаждение, накапливается органическое вещество лесов, называемое фитомассой.

Знать — это измерить.

Кепплер

ИЗМЕРЕНИЕ — ПУТЬ УЧЕНИЯ

Сколько весит дерево, насаждение? Ответы могут быть самые различные. Журнал «Urania»¹ сообщил, например, что масса дугласии высотой 30 м достигает (вместе с почвой и поддерживающим устройством) 28 т 89 кг. Масса 1 км³ тропического леса в джунглях составляет около 60 тыс. т.

Лесоводы Белоруссии подсчитали, что на 4,5 млн. м³ древесины (размеры ежегодной заготовки) приходится 88 тыс. т тонких веток и лапок, 160 тыс. т хвои и листьев, 659 тыс. м³ коры². Интересные данные приводит А. А. Молчанов [14]. Масса

¹ Химия и жизнь, 1972, № 8, с. 39.

² Лесная промышленность, 1975, № 128, 19 мая.

сосны в 34 года в Архангельской обл. может быть в абсолютно сухом состоянии от 149 г (если ее диаметр меньше 1 см, что бывает у сильно угнетенных экземпляров) до 49,06 кг (при диаметре 12 см). В 200 лет сосновое дерево в тех же условиях может иметь следующий абсолютно сухой вес массы своих частей (кг): ствол — 820,6; ветви крупные — 58,6; ветви мелкие — 7; корни — 72,5; кора — 98,5; хвоя — 20,0. В Подмоскowie (Прокудин бор) питание сосны настолько интенсифицируется, что она «набирает» указанный вес уже к 80 годам, а то и раньше.

В пределах одной местности масса дерева зависит от богатства почв или, как называл академик Г. Н. Высоцкий [15], почвенной трофности. По данным Е. В. Рябухи [16], сосна обыкновенная 50—60 лет изменяет абсолютно сухую массу своей надземной части в зависимости от богатства лесных земель: в свежем бору¹ — 136,93 кг, свежей сугуби — 271,93, свежем сугрудке — 346,30 кг.

Химические элементы по-разному насыщают фитомассы, обуславливая, по удачному выражению А. Я. Орлова и С. П. Кошелькова [17], тот или иной «уровень снабжения» пищей отдельного органа или дерева в целом.

Уже добрую сотню лет лесоводы мира пытаются «нащупать» такое относительное содержание того или иного питательного элемента в «теле» дерева, которое позволило бы оценить оптимальные размеры почвенного питания лесообразующих пород и лесных насаждений, объективно определить потребности древесного организма в конкретном химическом элементе. Однако это очень трудное дело. Оценка почвенного питания древесного многолетника исключительно сложна. Казалось бы, исходя из указаний В. И. Вернадского [18] о том, что каждый вид живого организма на Земле насыщает себя химическими элементами в определенной и только определенной концентрации, необходимой ему для нормальной жизни, это сделать легко. Да, В. И. Вернадский прав: древесный организм имеет оптимальные концентрации каждого питательного элемента, определить которые — долг исследователей леса и биологов вообще. Но оказывается, что организм дерева может жить при широком диапазоне неоптимальных концентраций химических элементов в своем составе, причем могут быть случаи недостатка и избытка конкретного элемента. Выяснилось также, что оптимальные концентрации питательного элемента могут возникать не всегда, а, возникнув, могут сменяться ины-

¹ Народными словами «бор», «субор» лесоводы обозначают разные по богатству леса. Самый бедный тип условий — бор (чахлый сосновый лес на бедных песках), затем по степени возрастания богатства стоит субор (хороший сосняк на супесчаных почвах); сугрудок (смешанные хвойно-лиственные леса) и груд (дубрава) — лучшие по развитию леса из пород с высокой требовательностью к почвам.

ми концентрациями. Другими словами, процентный состав фитомассы не всегда устойчив во времени.

Интересна графическая зависимость между ростом растения (наращиванием фитомасс) и процентным содержанием отдельных элементов питания в тканях дерева [19] (рис. 6).

Если по оси абсцисс отложить нарастание биомассы дерева, а по ординате — увеличение процентного содержания какого-либо элемента в тканях этого дерева (например, в тканях листа), то вначале нет роста линии вверх. Это говорит о том, что в природе довольно часто можно наблюдать интереснейшее явление, которое получило название «эффект разбавления», или «эффект Лундгарда—Стеенберга—

Якобсона», названный по именам скандинавских ученых, которые впервые заметили его. Растение растет, т. е. фитомассы увеличиваются, а процентное содержание какого-то питательного элемента остается неизменным и даже может падать. Элемент, потребляемый растением, как бы «разбавляется» в увеличивающихся фитомассах. Такое явление бывает на начальных этапах бурного роста растений или если растение произрастает на бедных почвах. Оно впервые прослежено Стеенбергом у ржи, позже было обнаружено и у древесных пород. Очевидно, оно может быть у любого растения, а возможно, и у любого белкового организма.

Восходящие прямые линии на графике отражают такое положение, когда процентное содержание элемента питания в растении хорошо соответствует состоянию роста: чем больше прирастет растение, тем больше будет содержаться в нем питательного элемента. Такое благодарное для исследователя положение продолжается, однако, не бесконечно. Наступает такое состояние, когда процент содержания того или иного элемента становится оптимальным и этот элемент больше растению не нужен, но оказывается — растительный организм может поглотить данный элемент и сверх меры.

Когда насыщение элементом тканей дерева превысит состояние оптимального процента, данный элемент уже не сможет полностью усваиваться растительным организмом. В этом случае, как говорят физиологи, усвоение отстает от потребления. В тканях дерева в этом случае могут накапливаться не до

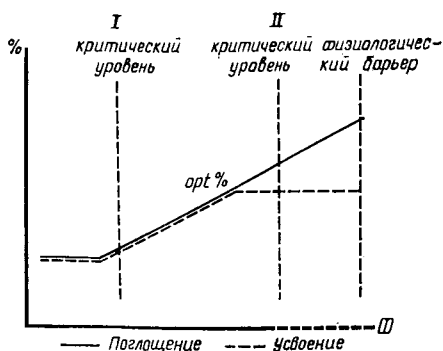


Рис. 6. Зависимость между содержанием питательного элемента в растении и ростом фитомассы

конца сформировавшиеся органические вещества, полуфабрикаты, многие из которых могут иметь токсический характер. И когда таких веществ накопится достаточно много, питание растительного организма не только этим, но и другими и даже всеми элементами может резко ухудшиться.

Наступит страдание растительного организма от избытка данного элемента. На рисунке это состояние обозначено II критическим уровнем (первым критическим уровнем называется такая концентрация элемента в растении, ниже которой растение страдает от недостатка данного элемента питания).

Избыточное накопление питательного элемента в растении, когда усвоение элемента отстает от его поглощения, не сразу приводит к видимому выражению страдания у растения. Это затрудняет прогноз, предсказания намечающихся ухудшений в питании растения и принятие соответствующих мер. Вот почему представляет исключительный интерес поиск показателей, помогающих определить точку оптимального процента, оценить ее хотя бы косвенно, чтобы своевременно на это среагировать.

При избытке элементов питания в лесу могут быть многие отрицательные явления. Возьмем, например, избыток такого нужного питательного элемента, как калий, что наблюдается при подстилании почв зелеными, так называемыми глауконитовыми песками. Клеточные оболочки в таких случаях сильно разрыхляются, растительные ткани становятся менее устойчивыми к проникновению в них гифов грибов и развитию раковых опухолей. Сосна, например, в таких условиях сильно поражается «серянкой» (разновидностью рака древесины). При рубках ухода в сосновых молодняках в этих случаях требуется особая осторожность: нельзя допускать ошмыгивания остающихся в древостое деревьев падающими стволами, так как любое поражение дерева в таких условиях влечет за собой развитие грибной инфекции в древесине.

При избытке азота наблюдается явление, подобное тому, что в сельском хозяйстве называют жированием растения (вспомним картофель, имеющий огромную ботву и не дающий клубней). Деревья бурно растут, ткани их размягчены, они ломки, механически не устойчивы. Древесину сосны с такими дефектами лесоводы издавна называли мяндовой (в отличие от кондовой — более прочной на обедненных и сухих почвах).

Когда в избытке кальций, что часто бывает на маломощных перегнойно-карбонатных почвах (развитых на мелах, мергелях и других известковых отложениях), растения страдают от хлороза — пониженного содержания хлорофилла в листе и хвое из-за плохой усвояемости железа на избыточном кальциевом фоне. В таких случаях лесовод должен всячески способствовать увлажнению и подкислению почв, обладающих, как правило, повышенной сухостью и щелочностью.

Для этого необходимо покровительствовать кустарникам, затеняющим почву, мхам, подкисляющим ее, и, разумеется, хвойным породам, которые почти всегда интенсивнее лиственных подкисляют лесную почву.

Кроме эффекта разбавления, в процессе почвенного питания древесных пород существует еще эффект так называемого фэйс-антагонизма ионов, названный так шведским ученым Карлом Олофом Таммом («Фэйс» в переводе с английского означает фальшивый, ложный). Под ним понимают явление уменьшения содержания одного элемента в результате привноса, получения растением другого сверх необходимой ему нормы. Такое явление может быть из-за внесения неполных смесей удобрений на бедных почвах, а также из-за различия в длительности действия отдельных удобрений, вносимых вместе. Некоторые ученые, например С. В. Зонн [20], отрицают наличие этого явления, хотя никак свои выводы не обосновывают.

Как же определить, когда концентрация химического элемента в листе (хвое) дерева оптимальна? Когда наступает момент, что данного элемента дереву больше не нужно, тогда «уровень снабжения» данного дерева или даже насаждения в целом оптимальный. Остается подвести под этот уровень снабжения другие древостои с меньшей насыщенностью тканей дерева соответствующим элементом. И на первый взгляд проблема оптимизации питания будет решена, а вместе с нею и проблема повышения продуктивности лесов. Однако все гораздо сложнее. И дело не только в том, что оптимальный процент не постояен во времени, настолько не постояен, что отдельными исследователями, например Келли и Прево [по 21], рекомендуется для анализа отбирать листья с некоторых древесных растений (например, с пальм) не только в определенные месяцы вегетационного периода, но даже в определенное время суток (скажем, с 6 до 10 ч утра). А также и не в том, что процентное содержание питательного элемента очень сильно зависит от многих факторов, в частности от возраста растений, положения ветки, побега в кроне, степени затенения растения и побега, погодных условий, фазы жизненного развития (например, плодоносит растение или нет), степени пораженности вредителями, степени загрязнения атмосферы и т. п.

Даже тогда, когда мы возьмем лист или хвоинку у прекрасно растущего дерева при прочих равных условиях, мы не можем быть полностью уверенными в том, что процент любого питательного элемента в этом листе оптимальный, даже если это дерево из самого высокобонитетного насаждения. Многие исследователи сейчас считают оптимальным содержание элемента у такого растения, которое лучше других развивается и растет. К сожалению, такой подход нельзя считать

непогрешимым, так как у хорошо растущего дерева оптимальным может быть содержание не всех, а только некоторых химических элементов, а каких конкретно — это пока остается тайной природы.

Конечно, можно говорить о главнейших питательных элементах (азоте, фосфоре, калии), и, если растение наиболее хорошо растет, содержание именно этих важнейших элементов можно считать оптимальным. К сожалению, это далеко не так, что видно из данных, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Тип условий местопроизрастания	Бонитет сосны	Величина коэффициента биологической избирательности (КБИ)*				
		по азоту	по фосфору	по калию	по марганцу	по меди
Сырая суборь	II—III	4,9	1,9	0,66	0,9	0,06
Влажный сугрудок	Ia	51,4	16,8	0,77	3,6	1,60

* КБИ вычисляется отношением доли элемента в годичном потреблении древостоя к доле того же элемента в почвенном запасе корнеобитаемой зоны.

По этой таблице можно проследить изменение одного из интереснейших показателей — КБИ, посредством которого человек может определить, как лесообразующая порода относится к тому или иному элементу питания. При переходе более чем через два класса бонитета сосна увеличила КБИ по азоту в 10,5 раза, по фосфору — в 8,9, по калию — 1,2, по марганцу — в 4, по меди — в 27 раз. Эти цифры говорят о том, что требовательность у сосны при переходе от худших условий жизни (сырая суборь, оторфовелые заболоченные почвы) к лучшим (влажный сугрудок на богатых серых лесных почвах) возрастает по всем перечисленным элементам. Для возросших фитомасс I^a бонитета сосняка во втором случае нужно более высокое годичное потребление всех питательных элементов, но «достать» их из почвенных запасов сосна может в неодинаковом количестве.

Таким образом, с одной стороны, наблюдается различие в потребности дерева в том или ином элементе, с другой, — различие в умении «достать». Поэтому мы и не можем пока ответить на вопрос: сколько дереву нужно? Однако мы и не вправе ожидать сразу окончательного ответа на такой вопрос. Вопрос ставили иначе: можем ли мы всегда считать, что макроэлементы, т. е. такие важнейшие элементы, как азот, фосфор, калий, всегда нужны дереву в более высоких относительных количествах, чем микроэлементы? Речь идет не

об абсолютных количествах питательных элементов; в абсолютном своем значении макроэлементы всегда нужны любому растению в большем количестве, чем микроэлементы. Содержание макроэлементов измеряется в насаждении килограммами на гектар, а микроэлементов — чаще всего граммами. Нас интересуют размеры относительного сдвига в требовательности сосны к элементам питания от худших условий существования к лучшим.

Если рассматривать вопрос в таком аспекте, сосна в отношении потребления питательных элементов задает нам большую загадку. Если потребление азота сосной в рамках изменения КБИ увеличилось в 10,5 раза, фосфора примерно в 9 раз, калия — всего в 1,2 раза, то меди потребовалось в этих условиях в 27 раз больше.

И хотя процент азота в хвое сосны колебался от 1,70 до 1,98, а меди всего от 0,0003 до 0,001, мы не можем утверждать, что азот больше нужен сосне, чем медь. Если рассматривать в абсолютных количествах, то вроде бы азот нужнее: годовое потребление сосной азота в субори равно 44 г на среднее дерево, в сугрудках — 230 г, а меди только 9 и 99 мг соответственно. В относительном выражении, наоборот, медь в этих условиях (условиях Подолии и при переходе от сырой субори к влажному сугрудку) нужнее, чем азот.

Нам легко возразить. Ведь процентное выражение азота и меди есть относительное выражение величин насыщенности хвои азотом и медью. Возникает вопрос: значит, сказанное выше о несоответствии между абсолютным и относительным в оценке питания неверно? Нет, все верно. Процент меди во много раз меньше процента азота в любых условиях местопроизрастания. Еще раз подчеркиваем тот факт, что азота сосне на каждые 100 г ее массы нужно больше, чем меди. Но нужно помнить, что если бы в годовичном потреблении сосняка не произошло увеличения количества меди всего на 90 мг из расчета на среднее дерево, то вполне возможно, что I^a бонитета сосны могло бы и не быть. Правда, такого бонитета могло бы не быть и без прибавки 186 г азота на одно дерево (цифра более ощутимая и внушительная). Однако КБИ по азоту изменился всего в 10,5 раза, а по меди в 27 раз! Значит, 90 мг меди были в этом случае особенно важны для сосны, может быть, важнее, чем все исследовавшиеся элементы. Об этой относительной соразмерности нам мог поведать только такой количественный критерий, как коэффициент биологической избирательности.

Мы говорили о различиях в требовательности древесных растений. Различать понятия «требовательность» и «потребность» крайне необходимо. К этому призывал исследователь леса классик лесоводственной науки в нашей стране Г. Ф. Морозов. Однако, если под понятием «потребность» по-

нимают количество того или иного питательного элемента, которое необходимо дереву для его существования в рамках того или иного бонитета, то с понятием «требовательность» дело обстоит сложнее.

Требовательность — это такое свойство дерева, насаждения, которое прямо зависит от развитости корневых систем. Чем лучше развиты корневые системы, тем менее требовательно дерево к питанию и наоборот, потому что дерево с развитой, мощной корневой системой может достать себе необходимое питание с более обширных объемов почвогрунта и может успешно произрастать на менее богатых почвах. Дерево с малоомощной, неразвитой корневой системой не имеет таких возможностей, поэтому оно более требовательно к почвенному плодородию, к количеству пищи в почве.

Лесоводы стали создавать шкалы требовательности лесных пород к почве по развитости корневых систем деревьев и натолкнулись на большие трудности. Одному исследователю белая акация показалась породой со слабо развитой корневой системой, другому — с мощной, глубокоразвитой. Один констатировал невысокую развитость корневых систем лиственницы, другой отмечал противоположное. Оказалось, что в бедных лесорастительных условиях, на почвах пониженной трофности практически все лесообразующие породы имеют более развитые корневые системы, чем в богатых условиях. Таким образом, получилась несходимость шкал и тем более различающаяся, чем более скрупулезно и внимательно изучали корневые системы лесных насаждений. Лесоводство стало нуждаться в объективных количественных показателях, посредством которых можно было бы измерять и оценивать требовательность лесного растения, и такие показатели появились. Выше мы говорили о коэффициенте биологической избирательности. Теперь расскажем еще об одном показателе, который очень близок к КБИ — о коэффициенте биологического поглощения (K_6), появившемся в науке, которая называется биогеохимией. Изучая K_6 , исследователи стали «привлекать» растения к поиску полезных ископаемых. Оказалось, что некоторые виды жимолости могут накапливать золото и тем самым указывать на обогащение этим элементом геологических напластований. Сосна может накапливать платину, а при высоких концентрациях ее в почве даже страдать от нее (чернеет хвоя).

Многие растения, способные накапливать йод, указывают биогеохимику на близкое залегание нефти, поскольку выше нефтеносных слоев наблюдаются своеобразные ореолы повышенных концентраций йода, в геологии они называются «ореолы рассеяния».

Коэффициент биологического поглощения вычисляют делением содержания элемента в растении на содержание его

в геологической породе. Некоторые лесоводы задумались над возможностью применения этого показателя для оценки питания лесных насаждений, над тем, сможет ли он отобразить требовательность древесного растения к той или иной почве, к тому или иному элементу. И здесь возникли трудности: как вычислить этот K_6 ? Если сделать так, как делают биогеохимики, т. е. отнести концентрацию элемента в дереве к содержанию в геологической породе, которая лежит ниже почвы и в обиходе называется «подпочвой», то такой расчет не отражает особенностей питания дерева или насаждения, потому что подавляющее большинство мелких всасывающих корней практически у всех древесных пород располагается в слое 0,7—1,0 м. Это говорит о том, что не только травянистые растения, но и могучие лесные древесные великаны хорошо чувствуют почвенный перегной.

Именно в гумусе почвы скапливается наибольшее количество питательных веществ, и именно в перегнойных горизонтах находится подавляющее большинство так называемых активных корней (корней тоньше 1 мм, на которых вырастают корневые волоски, осуществляющие функции питания). Но отдельные корни дерева могут проникать гораздо глубже.

Значит, вычислять K_6 делением концентрации элемента в хвое (листе) на концентрацию его в гумусовом (перегнойном) горизонте недостаточно. Было решено [21] делить концентрации элемента на среднее содержание элемента в корнеобитаемом слое почвы. Определять этот слой не очень легко, но другого пути, видимо, нет. Поиск был оправдан. Результат оказался благодарным (табл. 2).

Таблица 2

Порода	Изменение K_6 азота по условиям место- произрастания насаждений			
	бор	суборь	судубра- ва (суг- рудок)	дубрава
Сосна	9,6	9,5	4,0	—
Дуб	—	—	7,4	8,2

На бедных песчаных почвах, где растет чахлый сосновый бор, K_6 равен 9,6. Это значит, что среднее содержание такого важного элемента питания, как азот, во всем насаждении (т. е. в среднем во всех его частях: в хвое, ветках, корнях, сучьях, коре, древесине стволов и т. п.) выше, чем содержание этого же элемента во всей толще песка, в которую углубились сосновые корни.

Суборь — это более богатые супесчаные почвы или песчаные, но с прослойками суглинка. Сосновый лес на них высокий, стройный, древесина сосны в этих условиях лучшего качества.

Сугрудок или судубрава с еще более богатыми почвами. Верхние их горизонты хорошо гумусированы, а на какой-то глубине обязательно встречаются либо мощные прослойки глины или суглинка, либо сплошные слои глины под слоем песка. Такие более требовательные к почве породы, как дуб и ель, в условиях субори «заходили» под древостой сосны еще очень робко и неуверенно и существовали там в виде подлеска, т. е. такого яруса растительности в лесу, который никогда в этих условиях не поднимется до высоты I яруса и всегда останется как бы «под лесом». В условиях сугрудка—судубравы (в северных районах нашей страны такие условия называют сураменями) ель и дуб выходят в I ярус, хотя еще и не достигают лучших бонитетов.

Из таблицы видно, как резко уменьшаются значения K_6 у сосны (9,6—9,5—4,0). Это значит, что она снижает свою требовательность к азоту в условиях сугрудка более чем вдвое по сравнению с требовательностью в условиях бора. И этому, по-видимому, можно верить, потому что в руках лесовода на сей раз появился единый количественный измеритель.

А что можно сказать о дубе? Его требовательность к азоту не идет ни в какое сравнение с требовательностью сосны. В сугрудках, где дуб встречается с сосной (в борах и субориях дуб не может из-за бедности почв выйти в первый ярус и влачит часто, особенно в борах, жалкое существование в виде так называемых «торчков» — маленьких дубков-стариков, выросших чаще всего из желудей, занесенных и захороненных в песке сойками), требовательность его к азоту равна 7,4, т. е. почти вдвое выше, чем у сосны. В дубравах, на еще более богатых почвах, казалось бы, должно быть уменьшение K_6 , но этого не произошло — показатель K_6 доходит до 8,2.

Поистине многогранна и многолика окружающая природа; она не любит простых, однозначных решений. Недаром К. А. Тимирязев [22] говорил не о десятках, а о сотнях комбинаций, которые должен учитывать в своих решениях растениевод, будь то агроном или лесовод. И вот в данном случае опять приходится задуматься: почему с изменением почвы от бедной к более богатой произошло не снижение, а увеличение требовательности дуба к азоту?

Детальный поиск принес ясный ответ. Оказалось, что почвы были бедны азотом и, несмотря на то, что условия местопроизрастания отнесены к самым богатым — дубравным, дуб явно не удовлетворял свои потребности в азоте. Полученные результаты лесоводами были учтены — дуб получил азотные удобрения и стал лучше расти [23].

Итак, коэффициенты биологического поглощения и биологической избирательности призваны отразить и количественно соизмерить степень эксплуатации, меру использования ресурсов питательных элементов в корнеобитаемом слое почвы. Это не что иное, как требовательность древесной породы и лесных насаждений в понимании Г. Ф. Морозова.

Однако эти показатели, из которых второй призван дополнять и уточнять информацию, несомую первым, лишь в самой малой мере могут помочь в нахождении оптимального процента питательного элемента. Чем меньше значение K_6 и КБИ, тем меньше нуждается растение в данном элементе, что бывает на богатых почвах. Но на богатых почвах содержание питательного элемента в тканях дерева может легко перешагнуть за пределы оптимального процента и... мы вновь оказываемся в затруднительном положении при оценке питания растений.

Наши исследования показали, что на помощь можно призвать еще один очень важный показатель, связанный по своему происхождению с именем французского мыслителя XVIII столетия Шарля-Луи Монтескье, которому принадлежит ставшая крылатой фраза: «Все совершенное создает себя наименьшими издержками» [по 24, с. 42]. Она, вероятно, имеет большое принципиальное значение для решения самых разнообразных вопросов.

И в проблеме изучения и оценки почвенного питания растений это высказывание Монтескье натолкнуло исследователей на мысль о том, что искать оптимальный процент питательного элемента у растения надо там и тогда, где и когда процесс создания растительной продукции наиболее совершенен, т. е. там, где при создании единицы продукции обнаруживаются «наименьшие издержки» в расходовании питательного элемента. Так появился коэффициент Φ затрат питательного элемента на единицу продукции (в сельском хозяйстве — на центнер зерна, тонну сена, соломы, корнеплодов и т. п.; в лесном хозяйстве — на кубический метр прироста древесины), который получил название «тэта» (от названия греческой буквы). Была даже сформулирована так называемая проблема тэты — проблема регулирования расхода пищи любым организмом, любой биологической системой. В табл. 3 приведен коэффициент «тэта» сосны и дуба по азоту, фосфору, калию, кальцию и зольным элементам в целом в разных природных условиях. Расход питательных элементов на 1 м³ годичного прироста древесины (а это и есть «тэта») различен.

Так, в условиях сухого бора, очень неблагоприятных для сосны (IV бонитет), на создание 1 м³ стволовой древесины затрачивается 6,3 кг азота. В свежем бору водоснабжение и в целом условия жизни улучшились (II бонитет), на 1 м³ сосновой древесины азота стало затрачиваться в год гораздо меньше всего 3,1 кг. В условиях суборей, где почвы богаче, а бони-

Таблица 3

Условия местопроизрастания	Коэффициент «зэта»				
	v_N	v_P	v_K	v_{Ca}	v_{Zola}
Сосняк 40 лет					
Сухой бор	6,3	0,80	0,8	6,1	78,6
Свежий бор	3,1	0,70	0,4	3,5	33,6
Сухая суборь	1,2	0,25	0,2	2,0	20,9
Свежая суборь	1,5	0,28	0,1	1,3	16,6
Свежий сугрудок	3,0	0,35	0,3	1,7	31,7
Дубняк 40 лет					
Сухая дубрава	15,9	2,00	3,4	34,4	176,1
Свежая дубрава	9,2	1,40	3,5	16,3	95,9

тет сосны I, на создание 1 м³ древесины азота требуется еще меньше (1,2—1,5 кг/м³). Такое явление можно проследить и при определении затрат фосфора, калия, кальция и зольных веществ в целом. Один кубический метр сосновой древесины создается в условиях сухого бора с затратой 78,6 кг зольных веществ, в свежем бору — 33,6, в сухой субори — 20,9 кг. В свежей субори требуется всего 16,6 кг золы.

Дубовая древесина обходится природе гораздо «дороже». Так, на 1 м³ древесины дубняку в условиях сухой дубравы на верхних частях склонов балок надо затратить 15,9 кг азота (более чем вдвое по сравнению с самыми высокими затратами у сосны), значительно больше фосфора, калия, кальция и особенно зольных веществ (176,1 кг). В условиях свежей дубравы (нижние части склонов) водоснабжение лучше, и дуб стал тратить на создание 1 м³ древесины чуть ли не вдвое меньше питательных элементов (за исключением калия).

В условиях свежего сугрудка по сравнению с условиями свежей субори почти все коэффициенты резко возросли. Это значит, что сосна в условиях сугрудка стала тратить на создание 1 м³ древесины не меньше, а больше питательных элементов. В чем же дело? Ведь почвы сугрудка богаче, чем почвы субори, водоснабжение не хуже, и как будто нет оснований опасаться, что сосне стало труднее. Наоборот, все изменилось к лучшему: и бонитет сосны в этих условиях стал I^a (т. е. самый лучший), и прирост древесины увеличился, и затраты питательных элементов на создание единицы продукции резко возросли. Это говорит о том, что ткани сосны в условиях свежего сугрудка не имеют оптимального насыщения питательными элементами. Содержание питательных элементов в этом случае перешагнуло за пределы оптимального процента. В процессе питания сосны произошли какие-то негативные явле-

ния излишества. Сосна, образно говоря, стала «переедать». Сосновая древесина в этих условиях разрыхляется, легко поражается фитовредителями; сосна хуже и болезненнее очищается от сучьев. Словом, в этом случае можно наблюдать все те явления, которые сопутствуют тому состоянию, когда усвоение питательного элемента отстает от поглощения и растение испытывает состояние «жирования». Такие насаждения требуют к себе повышенного внимания лесовода.

Установив оптимальный процент питательного элемента в тканях дерева, мы не можем считать изучение и оценку почвенного питания древесных пород и лесных насаждений в целом законченными. В о п е р в ы х, оптимальный процент нестабилен во времени; он может измениться даже в течение одного вегетационного периода. Концентрационные колебания вообще в наше время считаются «повсеместным феноменом». Работы А. М. Жаботинского [25] помогли объяснить многие загадочные явления в сложных, в том числе биологических, системах, когда нормальный процесс работы в какой-нибудь системе становится ненормальным, нестабильным в результате изменения концентрации массы, энергии, событий, явлений и т. п. В данном случае в вопросе о питании леса мы имеем дело с изменением концентраций массы питательных элементов во времени. В о в т о р ы х, оптимальный процент не может рассказать нам о том, в каком количестве и в каком соотношении нужны питательные элементы, т. е. он, как принято говорить, не несет в себе широкую научную информацию. Вот почему совершенно правы ученые нашей страны, например Орлов, Кошельков [17], и некоторые иностранные исследователи, например Хайнсдорф [26], которые утверждают, что заключения о достаточном или недостаточном питании, сделанные только на основании содержания химического элемента в хвое (или листе), ненадежны.

Необходимо искать и найти тот генеральный путь изучения лесных растений, который даст возможность объективно отражать и надежно оценивать процесс почвенного питания. Установление оптимального процента по каждому элементу для любой лесообразующей породы — очень важный, но пока еще трудно выполнимый и явно недостаточный этап в оценке почвенного питания лесных растений. Оценить почвенное питание растений, по-видимому, можно только через систему показателей.

*Система — это Ариаднина нить
ботаники, без которой хаос.*

Линней

БЕЗ ЧИСЛА НЕТ ИЗМЕРЕНИЯ, БЕЗ СИСТЕМЫ НЕТ ПОЗНАНИЯ

Римский баснописец Федр еще в I в. до нашей эры сетовал: «О частностях уже сказано и написано много. Рынок завален описаниями мельчайших подробностей жизни Геракла или Гомера, но кто обсуждает такую комплексную проблему, как, например, любовь?»¹. По-видимому, он был первым, кто потребовал комплексного подхода к изучаемой проблеме.

Проблема комплексности в изучении чего-либо особенно остро звучит в наши дни, когда все чаще становится необходимым проводить исследования на стыках множества новых и старых наук.

В рассматриваемой проблеме почвенного питания растений вообще и лесного растения в частности комплексное решение только зарождается. Пока эта проблема решается на основе всех тех «частностей», на которые жаловался Федр еще две тысячи лет тому назад. Вспомним о проценте, который не всегда может помочь нам в оценке почвенного питания дерева, о K_6 и КБИ, посредством которых лишь можно оценить требовательность лесной породы в понимании Г. Ф. Морозова. Это все — частности. А как сделать комплекс? Как в комплексе оценить почвенное питание дерева, лесного насаждения в целом? В этом случае не обойтись без системного подхода, без системного знания.

Комплекс не всегда дает систему. Человек может получить великое множество цифр, массу каких-то данных в процессе того или иного исследования, которые в случае бессистемности не дадут положительного результата. Но если данные будут изложены в какой-то системе, результат будет всегда несравненно более благодарным.

Системный подход требует прежде всего целостного изучения и познания предмета, чтобы не было упущено каких-то очень важных частей этого целого. Затем в целом надо выделить части, распределить их с учетом последовательности явлений и субординационных связей: что главнее и ближе стоит к целому, что менее важно и что чему подчиняется, т. е. относится, как следствие к причине, и т. п. Для оценки питания

¹ Людина і світ, 1969, № 6, с. 24.

лесных насаждений исследователи только что начали создавать подобные системы.

Познакомимся в самых общих чертах с одной из таких систем, предложенной советскими исследователями [27]. В пределах этой системы различные показатели, параметры и коэффициенты, характеризующие частные стороны процесса питания дерева, систематизируются в группы, имеющие конкретную целевую направленность.

Предложено не менее девяти таких целевых групп, которые являются как бы девятью частями (пока девятью, сколько их будет в будущем пока не известно) единого целого — системы оценки питания наших лесов.

Рассмотрим некоторые группы такой системы, являющиеся частными оценками питания лесообразующей породы или древостоя, не углубляясь в соотношения и типы связей между частными оценками.

1 группа. Сюда относятся показатели, которые должны дать оценку размеров годовичного потребления лесного насаждения. Потребления, а не потребности! Современная наука пока не может совершенно точно и в полном объеме определить годовую или жизненную (за всю жизнь) потребность дерева в пище... Наши познания лишь приближаются к этому.

В этой группе показателей особенно интересны параметры ОП (общее потребление), УП (условное или учетное потребление) и УПМ (условное потребление плюс потребление многолетней частью дерева, древостоя). Общее потребление складывается из потребления питательных элементов ассимиляционным аппаратом $P_{a.a}$ (хвоей, листьями), побегами последнего года $P_{п.п.г}$ (наиболее насыщенными питательными элементами ветвями), ветвями P_v , сучьями P_c (ветвями толщиной более 1—2 см), стволом $P_{ств}$ (древесиной и корой) и корнями P_k , которые обычно делят на разные фракции по крупности.

Формула общего потребления в соответствии с этим следующая:

$$ОП = P_{a.a} + P_{п.п.г} + P_v + P_c + P_{ств} + P_k.$$

Определение величины ОП очень сложно, трудоемко и, главное, ненадежно из-за миграции питательных элементов из одних органов дерева в другие. Но не это главное. Главное в том, что современными методами исследования в лесу пока невозможно совершенно точно определить размеры годичной фитомассы. А без этого показателя нельзя рассчитать и величину потребления.

Внимание многих исследователей привлекают сейчас такие показатели, которые можно было бы определить проще, но которые по своей сущности отражали бы общие черты показателя ОП. Таким показателем является УП — потребление питательных элементов только зеленой частью дерева и побегами

последнего года. Некоторые называют его учетным потреблением потому, что оно отражает результат непосредственного учета листьев (хвои) и однолетних побегов и не заставляет гадать о том, сколько питательных элементов передвинулось, ушло из многолетней части. К тому же выяснилось, что величина УП не намного меньше величины общего наземного потребления дерева; она может составлять 80—90% такого потребления, если учесть, что годичным приростом стволовой древесины, сучьев и толстых ветвей потребляется сравнительно небольшое количество питательных элементов.

Чтобы вычислить УПМ, надо прибавить к УП потребление «пищи» наростом за год слоев коры и древесины. Если к этому прибавить то, что поглотили за год корни, получим ОП — общее потребление. Но беда в том, что, чем дальше «идешь» от УП и чем больше «приближаешься» к ОП, тем грубее делается точность измерения, потому что массу годичных слоев сучьев, ветвей, коры и особенно массу прироста корней за год определить очень трудно.

Вот как изменяется величина ОП азота и фосфора у подмосковных сосняков [28]: в 10 лет — 4,1 и 0,5, в 50 лет — 7,8 и 1,4, в 100 лет — 5,9 и 0,8, в 150 лет — 5,8 и 0,7 кг на 1 га в год. Мы видим, потребление сосной таких главнейших элементов питания, как азот и фосфор, ослабевает уже к 100 годам (сосна может жить до 200—300 лет), а некоторых питательных элементов — гораздо раньше. Отчего? Меняется потребность? Не будем спешить с ответом — ведь потребность как таковую определить очень трудно. Приведенный показатель ОП, конечно, ближе всего стоит к определению потребности древостоя. Можем даже грубо считать, что такова годичная потребность сосняков разного возраста в условиях Подмосквья. Никто не может дать гарантии, что сосняк в любом из перечисленных возрастов не взял «лишнего» (сверх оптимального процента) по какому-либо одному из элементов или не «дотянул» до нормы, т. е. не довел содержание какого-нибудь из этих элементов в своей фитомассе до состояния оптимального процента.

Вместе с такими очень важными питательными элементами как азот, фосфор, калий и др., лесные насаждения поглощают из почвы и такие элементы, как титан, свинец, никель и др. Однако титан, свинец, отчасти хром, никель пока не считаются столь необходимыми для растений питательными элементами, как медь, бор, марганец, значение которых для растений давно и строго доказано. Вместе с тем при определении ОП, УП или УПМ исследователи обнаруживают большое количество потребляемых деревом этих элементов. Что это — потребность? Мы не можем дать полного ответа на этот вопрос. Конечно, без потребности в (смысле надобности) здесь не обойтись. Нельзя думать о том, что эти элементы входят в годичное потребление сосны, дуба и других пород

только как балласт (в физиологии растений кремний, титан до недавних пор считались в основном «балластными» элементами). Сейчас появились сведения о большом значении для растений кремния. О значении титана пока еще сведения скудны, но «упрямое» потребление этого элемента растениями, в том числе древесными, заставляет серьезно задуматься о роли этого элемента для наших лесных растений.

О свинце известно больше. Он ежегодно в большом количестве возвращается из атмосферы, куда он попадает из выхлопных автомобильных и промышленных газов в почву (по некоторым подсчетам — до 50 000 т в год), поэтому его мы больше склонны считать загрязняющим элементом. Происходит «освинцевание» наших лесов. Недавно отмечен интереснейший факт: в сухих условиях степи и дуб, и сосна резко уменьшают потребление свинца, хотя уменьшения потребления других элементов не наблюдается. Значит, наши леса в сухом климате меньше освинцовываются, поскольку сам организм лесообразующей породы включает по отношению к свинцу какие-то регулирующие механизмы. Все эти вопросы пока ждут своего разрешения.

2-я группа. В эту группу входят показатели, характеризующие степень использования ресурсов элемента в корнеобитаемом слое почвы. Сюда относятся коэффициенты биологического поглощения (K_6) и биологической избирательности (КБИ), посредством которых можно характеризовать требовательность лесных растений в понимании Г. Ф. Морозова, т. е. умение дерева, насаждения использовать почвенные запасы питательного элемента (чем выше такое «умение», тем ниже требовательность).

3-я группа. В нее включаются показатели, рассказывающие о том, как насаждения тратят питательные элементы на свой рост и развитие. В эту группу входят показатели затрат на единицу продукции (килограмм фитомассы, тонну семян, кубический метр древесины и т. п.). Особенно интересен коэффициент Φ (тэта) — расход питательного элемента на 1 м³ текущего прироста древесины. Его можно получить, поделив ОП или (грубо) УП на величину прироста стволовой древесины в кубических метрах. Он может помочь нам определить оптимальный процент (процент элемента в теле растения будет наиболее близок к оптимальному там, где в ряду увеличения потребления данного элемента сравниваемыми насаждениями тэта будет наименьшим). Если выразить этот показатель по массе ассимиляционного аппарата (сколько дереву нужно развить листвы (хвои), чтобы «выработать» 1 м³ древесины), можно увидеть интересные особенности: сосне обыкновенной в 16 лет нужно для этого 1000, в 33 года — 578, в 70 лет — 834, в 130 лет — 10 084 кг хвои на 1 м³ древесинной продукции (по определению М. Я. Оскреткова [по 21] для брянских

лесов). В 33 года сосна умеет создавать «тот же» кубический метр древесины, затрачивая почти вдвое меньше усилий для развития ассимиляционного аппарата, чем в более зрелом возрасте. Позже эта способность теряется.

4-я группа. Сюда относятся многие показатели, предложенные в разное время различными исследователями для измерения использования растением (насаждением) единицы массы питательного элемента.

Параметр i — коэффициент «работы» 1 кг элемента, получаемый делением прироста древесины в кубических метрах на ОП или УП. Вот выборочные данные по сосне и дубу для Полесья УССР: 1 кг азота «вырабатывает» в рамках годичного потребления 0,26—0,40 м³ сосновой и 0,1—0,23 м³ дубовой древесины, а 1 кг бора — 80—120 м³ сосновой и 80—100 м³ дубовой, 1 кг меди — соответственно 700—1600 и 270—4180 м³ [29]. Эти цифры удивляют своей парадоксальностью: микроэлемент создает больше! На самом деле все становится на свои места, если вспомним, что азота нужно дереву много, бора и меди — мало. Следовательно, 1 кг микроэлемента должен «растянуться» на несоразмерно больший объем продукции.

Однако не это главное при понимании параметра i . Главное в том, что по одному и тому же элементу для многочисленных лесорастительных условий цифры получаются различными. Это еще раз подчеркивает различную нуждаемость дерева в элементе при изменяющейся экологической обстановке.

Параметр K (каппа) — коэффициент участия элемента в работе листового аппарата (насыщенность элементом площади фотосинтезирующего аппарата). Его определяют делением массы элемента в ОП или УП на площадь листьев. Чем больше параметр K , тем больше насыщена площадь листьев данным элементом, тем лучше для лесного насаждения, растущего в бедных условиях. В богатых условиях рост этого параметра, по-видимому, не может рассматриваться положительно.

Параметр μ (мю) — коэффициент участия элемента в удельном весе крон, получаемый делением массы элемента в кроне на массу его в стволе. Чем больше этот показатель, тем меньше оснований думать о «блокадном эффекте» питательного элемента в проводящих тканях ствола дерева.

Параметр τ (тау) — показатель накопления элементов в стволе, представляющий собой отношение массы элемента в слое древесины к площади камбия, создавшего эту древесину.

Все эти параметры и коэффициенты предложены в разное время различными исследователями в стремлении усовершенствовать систему отсчета. В лесу все так динамично, лесной биогеоценоз непрерывно подвергается таким внутренним метаморфозам, что выделить в нем какие-то строгие константы, по-видимому, дело почти безнадежное. Вот почему исследова-

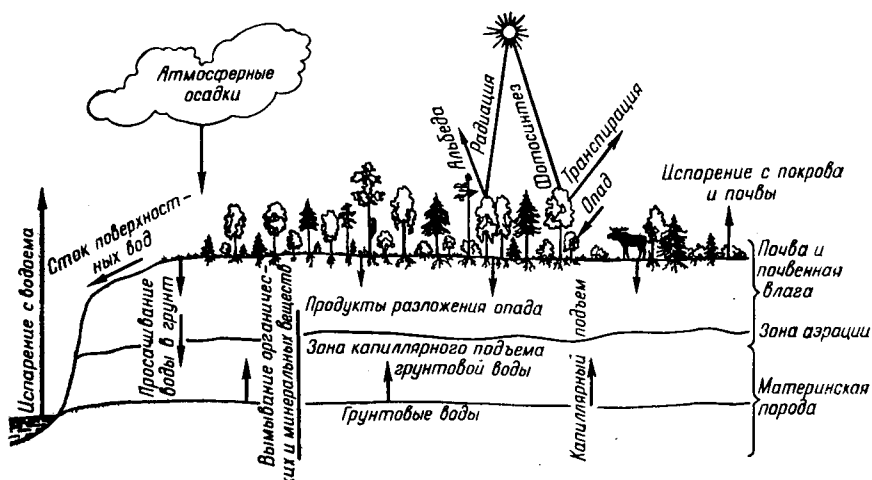


Рис. 7. Схема взаимного влияния лесного насаждения и условий среды [10, 41]

тели стремятся отыскать в какой-то мере хотя бы стабильные базисы отсчета, чтобы увереннее судить о сложных ситуациях, возникающих в процессе питания древостоев.

Однако никто не наложил запрета на то, чтобы испытать в оценке питания лесов инвариантно-групповые методы, т. е. такие методы, которыми оперируют независимо от системы отсчета. Применение украинским академиком Петровым, например, инвариантно-групповых методов к характеристике полей гравитации было отмечено Ленинской премией. Кто знает, может, найдется исследователь, который применит эти методы и для характеристики питания лесов!

На основании системы показателей можно намного обоснованнее и увереннее оценить, лучше или хуже по сравнению с другим насаждением питается исследуемое насаждение данным химическим элементом или другим химическим элементом.

Лучше питается конкретным химическим элементом, а следовательно, в данный момент и лучше им обеспечено такое насаждение, которое увеличивает годичное потребление элемента, не увеличивает потребления этого элемента на единицу своей продукции, энергично использует почвенные ресурсы питательного элемента, судя по K_6 и КБИ, увеличивает производство растительной продукции на единицу массы потребляемого элемента, имеет различные максимумы потребления в периодах питания для разных пород, входящих в данное насаждение (что особенно важно на бедных почвах), и более высокую интенсивность биологического круговорота данного элемента между растением и почвой.

Совершенно нельзя понять сложную картину, которая характеризуется словами «как питается лес» без показателей и параметров биокруговорота в лесу. «Чем» питается лес, мы вроде бы уже знаем, а вот «как» — пока еще мало известно. Лесное насаждение имеет сложнейшие взаимоотношения со средой. Лишь в самых общих чертах это показано на рис. 7. Взаимоотношения эти довольно устойчивы и характеризуются типом обмена и круговорота в лесном биогеоценозе. По законам биологического круговорота веществ, по-видимому, и живет и питается многолетнее лесное насаждение.

В развитии наук существуют периоды, когда накопление новых данных заставляет внимательно вглядываться в историю прошлого.
Н. С. Курцаков

ЦИКЛ ВЕЛИКИХ НАДЕЖД

Природное явление «биологический круговорот веществ» в лесу, в самых общих чертах копирующее такое же явление в биосфере (смена жизни белковых организмов их разрушением и повторяющимся использованием разложившихся веществ на питание новых живых организмов), издавна привлекало внимание человека. Об этом природном явлении много и часто спорят. Остановимся на нем подробнее.

Вопрос о биологическом круговороте веществ привлек внимание исследователей много веков назад. Время, или, как гениально сказал о нем Аристотель, «количество движения», рано или поздно подводит итог той или иной «порции» движения живой материи, которая неизбежно превращается в соответствующую «порцию» материи неживой. Возникает вопрос: «А что же дальше?». Биолог-материалист в наши дни уверенно расскажет, что бывает дальше, под влиянием каких процессов живая материя перейдет вначале в неживую органическую, а далее и в неорганическую.

Столетиями в коллективном мышлении поколений удерживалась идея круговорота с обязательным допуском того, что жизнь возникает вновь. Идея цикличности властвовала мышлением многих. Символ круга, колеса и сейчас остается почетным знаком в отдельных местностях, например, в некоторых штатах Индии. «Догадками» о круговоротах можно считать наивную веру древних народов в перевоплощение людей в животных или даже в растения, сохранившуюся у некоторых народностей и в наши дни.

Великий Гомер говорил, что мы все — вода и земля. Древние греки под «землей» понимали творческое начало, движущую силу в круговороте веществ.

Кроме земли, по античным представлениям, круговороту подчинялись еще три первичных вещества — вода, воздух, огонь, которые якобы способны переходить друг в друга. Греки считали, что жизнь зарождалась и исчезала в этом великом процессе, но животворную силу при этом чаще всего приписывали земле. Именно из земли, как мыслил Эмпедокл (483—423 гг. до н. э.), зародились живые существа. Они зарождались, по его мнению, не сразу, а по частям, так что взор человека, если бы он тогда жил, мог бы наблюдать такие страшные картины:

Так выросло множество голов без шеи,
Блуждали голые руки, лишённые плеч,
Двигались глаза, лишённые лба¹.

Аристотель (384—322 гг. до н. э.) настолько понятно сформулировал идею круговорота, что его учение жило почти два тысячелетия, несмотря на то, что оно было явно неверно. В круговороте первоначальной, по Аристотелю, земля переходит в огонь, огонь — в воздух. Воздух далее превращается в воду, из которой снова получается земля². Зарождение живых организмов происходит и в земле и в воде. Было бы только тепло. Питаются растения водой и землей, причем земля — желудок для растения. Животные отличаются от растения в том числе и тем, что носят свой желудок с собой (точнее, в себе), а у растения этот желудок — под ним, в почве. Вот почему растение без почвы, так же как и животное без желудка, прожить не может.

Ученик Аристотеля Теофраст, которого называют отцом ботаники, живший от 370 до 285 г. до н. э., дополнил своего учителя. Он высказал мысль, что растения питаются «земным жиром», который всплывает из глубин в поверхностные слои почвы и передает корням питательные соки.

Римляне были более практичны. Их не удовлетворяло одно лишь «философское мудрствование» греков; они наполняли учение о жизненных круговоротах реальными агрономическими советами. Правда, в тонкости и они не вникали. Известный агрономический деятель и писатель Древнего Рима Колумелла (I в. нашей эры) выразился по этому поводу совершенно недвусмысленно: «Сельским хозяйством можно управлять без тонкостей, но оно не терпит глупости»³.

А теперь перенесемся сразу на полтора тысячелетия вперед. В 1563 г. французский естествоиспытатель-самоучка Бернар Палисси в своем трактате «О различных солях и сельском хозяйстве» писал: «Если кто засекает поле несколько

¹ История философии. М., 1941, ч. I, с. 85.

² Виленский Д. Г. История почвоведения в России. М., 1958, с. 24—25.

³ Катон, Варрон, Колумелла, Плиний о сельском хозяйстве. М., 1937, с. 147.

лет подряд, не унавоживая, то посевы извлекут из земли соль, необходимую для своего роста; земля таким образом обедняется солями и отказывается давать урожай; поэтому нужно ее удобрить или дать отдохнуть несколько лет, чтобы она снова приобрела некоторую соленость, происходящую из дождей и рос»¹.

То, что растения питаются солями — правильно. А вот в высказывании о дождях и росах явно видно влияние Аристотеля, который водному питанию растений придавал большее значение, чем питанию их из земли.

В 1629 г. идея Аристотеля о том, что растение питается водой, вновь подтверждается голландцем ван Гельмонтом, который посадил в большую бочку с землей (почвы было около 100 кг в пересчете на сухой вес) ивовую ветвь весом 2 кг. Никаких удобрений в сосуд не вносил, но регулярно поливал растение. Ива быстро росла. Бочка с растением стояла на больших, неточных самодельных весах (именно это и привело к неправильным выводам). Через пять лет ван Гельмонт тщательно извлек иву из бочки и, хорошо отмыв корни, взвесил ее. Ива стала тяжелее в 33 раза, а вес земли в бочке остался прежним. Отсюда следовал вывод — растения питаются только водой.

Весы, правда, несмотря на всю их неточность, показали небольшую убыль, всего несколько унций (унция равна 28 г.). Но ван Гельмонт не придавал этому никакого значения. Про воздушное питание растений посредством фотосинтеза он и не мог знать — состав воздуха в его времена не был известен, и о значении углекислоты для растений еще никто не догадывался. Поэтому ван Гельмонт не мог учесть всю ту углекислоту воздуха, которую ивовое деревце поглотило и истратило на формирование своих тканей за 5 лет.

Опыты продолжались. В 1656 г. английский химик Глаубер опубликовал сочинение, в котором говорил о пользе селитры для возделываемых растений. Селитру в те времена получали из навоза. Глаубер получил ее из земли, взятой из-под навеса для скота, внес в почву и увидел пышный рост растений. О том, что здесь прежде всего действовал азот (селитра в дословном переводе с латинского *Sal nitri* означает соль азотной кислоты), Глаубер не знал. Он говорил лишь о том, что не вода, а соль и азотная кислота (или соли азотной кислоты) «являются единственным началом роста, порождающим все растительное, животное и минеральное»².

В 1699 г. англичанин Вудворд, проверяя опыт ван Гельмонта, выступил против теории водного питания растений, но в 1757 г. француз Дюгамель описал удачные опыты выращи-

¹ Прянишников Д. Н. Избр. соч. М., 1952, т. 1, с. 58.

² Там же, с. 59.

вания растений опять-таки в одной воде. Правда, воду он брал речную, из Сены. Она содержала много растворенных веществ, включая городские отбросы, поэтому растения Дюга-меля имели неплохое питание.

Из сказанного ясно, что на основании имеющихся данных в те времена, скорее, можно было говорить о биокруговороте воды, чем о биокруговороте элементов почвенного питания растений.

Более четкие мысли о биологическом круговороте высказал М. В. Ломоносов. В 1763 г. в трактате «О слоях земных» он писал: «И каменные голые горы часто показывают на себе зелень мху молодого, которая после чернеет и становится землею; земля накопясь долгою времени служит после к произведению крупного мху и других растений»¹. Итак, «зелень чернеет и становится землею», а земля со временем оказывается способной к повышению урожайности растений. В этом, по Ломоносову, суть повышения плодородия почв в процессе биокруговорота, в процессе его интенсификации, естественно совершающейся или умело направляемой рукой человека.

Ломоносов заложил основы понимания этого явления природы, а сущность его и, как сейчас принято говорить, с применением инвариантно-групповых методов, показал другой наш великий соотечественник А. Н. Радищев. В «Слове о Ломоносове», присовокупленном к бессмертному произведению «Путешествие из Петербурга в Москву», он писал [48, с. 206]: «...поверхность сия земная не из чего иного составлена, как тления животных и прозябаний, что плодородие ее, сила питательная и возобновительная, начало свое имеет в неразрушимых и первенственных частях всяческого бытия, которые не перемения своего существа, но переменияют вид только свой».

В этом высказывании заключен новый подход к изучению биологического круговорота веществ, открытого М. В. Ломоносовым. А. Н. Радищев обратил внимание на то, что земной слой не мертв. Он «умеет» создавать урожай растений, т. е. обладает плодородием или, как выразился Радищев, имеет «питательную и возобновительную» для растений силу. Он правильно отметил, что процессы тления мертвого органического вещества — одна из причин и даже своеобразное условие почвенного плодородия, поскольку верхний слой почвы («поверхность сия земная») — «не из чего иного составлена». Лишь через 50 лет родилась наука агрохимия, в которой специалисты приняли на вооружение тезис: «Тление — мать растительности».

Но самое важное для нашего изложения заключается в дальнейших словах Радищева о том, что «питательная и возобновительная сила» почв «начало свое имеет в неразруши-

¹ Виленский Д. Г. История почвоведения в России. М., 1958, с. 34.

мых и первенственных частях всяческого бытия, которые не переменив своего существа, но перемениют вид только свой».

Что это за «первенственные части всяческого бытия», которые слагают «питательную и возобновительную силу» почв? Если эти части (или частички) участвуют в «питательной силе», то, значит, они переходят от почвы к растению и при этом не «перемениют своего существа», но изменяют только свою форму (вид). Очевидно, эти химические элементы, точнее ионы этих элементов, которые могут включаться во всевозможные формы химических соединений, но при этом не изменяют своего существа. Таким образом, из материальных структур это будут ионы элементов почвенного питания растений, из энергетических — кванты энергии.

Эти «первенственные» части, конечно, разрушимы. С помощью современных циклотронов и синхрофазотронов экспериментально подтверждено существование множества самых разнообразных частиц (частей) не только ионов, но и атомов. Мы теперь знаем, что атом делим. Но ведь элементарные частицы рождаются не в обычных, а в экстремальных, особых условиях. Значит, вывод Радищева в какой-то мере справедлив и в отношении слова «неразрушимых». Ионы питательных элементов, обращаясь между растением и почвой, по-видимому, действительно являются сравнительно неразрушимыми «кирпичиками», а если и разрушаются, то, конечно, не до таких пределов, как в экспериментальных ядерных установках.

До сих пор говорилось о том, что почва передает ионы растению. Но передача идет и в обратном направлении. Это происходит в результате распада (тления, гниения) органических остатков, выделений из растений, смыва с них различных веществ водой и т. п. Словом, происходит явление или совокупность явлений, которые называются круговоротом веществ, точнее — биологическим круговоротом веществ между растением (растительностью, если брать шире) и почвой, без которого нельзя понять законы питания лесного растительного сообщества.

Таким образом, А. Н. Радищев первый правильно осветил процессуальную сущность биологического круговорота веществ, показав, что круговороту подчиняются не все вещества и составные части почв и растений, а только «первенственные», не разрушимые в обычных условиях части. Только они инвариантны (неизменяемы) в сложных процессах, определяющих такое жизненно важное для растений явление, как почвенное питание растительного организма.

Итак, М. В. Ломоносовым и А. Н. Радищевым были заложены основы понимания биологического круговорота веществ более чем полвека до рождения В. И. Вернадского, которому принадлежит первая научная разработка этой проблемы, почти за 200 лет до того, как ученые всего мира, объединив-

лись в рамках Международной биологической программы (МБП), детально стали изучать этот процесс в различных точках земного шара.

Однако, несмотря на учения Ломоносова и Радищева, путь к познанию законов биологического круговорота и почвенного питания растений был еще очень долог. Современники Радищева были еще далеки от правильного понимания этих законов. Соотечественник и современник Радищева, талантливый русский агроном И. М. Комов уже понимал, что растения питаются не только из почвы, но и из воздуха. К этому пониманию, видимо, его подвел Ломоносов, высказавший в 1753 г. гипотезу «впитывания» листьями веществ из воздуха. Но процесс этот И. М. Комов представлял себе так: «Питательный сок растений как от согнития... на земле оставшийся, так и с воздуха падающий варится и, сварившись в корни входит»¹.

Конечно, эти слова в какой-то мере справедливы. Они объясняют тот факт, что растения питаются чем-то жидким (соком), иначе питательные вещества не попали бы в корни. Они подчеркивают значение явлений перегнивания органических остатков, без которого невозможно было бы образование питательных веществ надлежащего качества. Но все же это понятие примитивно. Наука о почвенном питании растений все еще находилась в стадии зарождения. А земледельцам, крестьянам приходилось бороться с «круговоротами» иного рода — безвыходностью из нищеты закабаленной помещичьим произволом деревни. А. Т. Болотов в научном сочинении «Об удобрении земель» с горечью писал: «Без навоза земля не дает урожая, а навоза мало, так как мало скота, а скота мало, так как мало кормов, а кормов мало, так как без навоза земля не дает урожая»².

Научная мысль за рубежом в это время стала придавать большое значение органическому веществу почвы, почвенному перегною (гумусу). Была сформулирована теория «гумусового питания» растений, с которой выступил видный немецкий деятель, основатель первой высшей сельскохозяйственной школы, пропагандист перехода от «проклятой трехполки» к плодосменному хозяйству, хороший советчик по животноводству Альбрехт Тээр. Имя Тэера (1752—1829 гг.) не сходило со страниц научной прессы того времени. Идея круговорота у Тэера была выражена сравнительно хорошо: из почвы растения потребляют гумус и воду; отмирая, растения обогащают почву гумусом, которым далее питаются следующие поколения растений, и т. д. Чем более гумусирована почва, т. е. «жирнее» земля, тем лучше урожай.

¹ Комов И. М. О земледелии. 1789, с. 132.

² Труды Вольного экономического общества. 1770. ч. 15, с. 112.

Все, казалось бы, хорошо: урожай действительно зависит, и притом очень часто, от количества почвенного перегноя. Практические советы Тэера действительно были хороши, но учение Тэера оказалось в корне неверным — растения, как выяснилось впоследствии, самим гумусом не могут питаться.

Через 12 лет после смерти Альбрехта Тэера, в 1840 г. вышла книга Юстуса Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии». Этот год считается годом краха гумусовой теории питания растений. Либих сделал вывод — не гумусом, а химическими элементами, причем неизменными (как тут не вспомнить Радищева!), питаются растения. Гумус — продукт разложения отмерших растений; следовательно, он появился после них и не мог быть первоначальным источником их питания. С урожаем уносится большая часть питательных веществ в связи с чем почвы могут истощаться настолько, что земледелие не окупит себя. Именно в расхищении плодородия почв он видит причину упадка античных государств Греции и Рима, которые не смогли прокормить свои народы. Истощение почв, снижение плодородия грозит всегда неурожаем, если не принять соответствующих мер к возврату выносимых урожаем питательных веществ.

Теория «возврата» была в поле зрения нескольких поколений биологов. Сейчас она считается примитивной: слишком сложны законы биологического круговорота веществ между растением и почвой, чтобы можно было придерживаться законов простой бухгалтерии — сколько растение взяло из почвы, столько дай почве вновь. Однако сам принцип возврата в почву питательных элементов, взятых из нее с урожаем, в настоящее время понятен всем и не является дискуссионным.

Карл Маркс, читавший книгу Либиха, указывал на ее односторонность, но вместе с тем подчеркивал и заслуги Либиха, обнажившего отрицательные стороны земледелия того времени. Либих помог снять «тэеровскую блокаду» в проблеме биокруговорота. Речь пошла, говоря языком Радищева, о «неразрушимых и первенственных частях всяческого бытия» — химических элементах, которыми действительно питаются растения. Однако Либих недооценивал значение азота. Он полагал, что растения питаются азотом из воздуха, а углеродом из почвы. Француз Буссенго эти парадоксы устранил. Он доказал также, что азот для растения имеет первостепенное значение.

«Тэеровские оковы» срывали и на родине Радищева. Учившийся у Тэера профессор минералогии и сельского домоводства Московского университета М. Г. Павлов еще до выхода в свет книги Либиха (Павлов умер в год выхода книги, т. е. в 1840 г.) был решительно против гумусовой теории питания. Он был организатором первого в России сельскохозяйствен-

ного опытного учреждения — Бутырского хутора под Москвой.

В своих лекциях Павлов особое внимание обращает на процессы, происходящие на грани контакта корня с почвой, или, как сейчас принято говорить, на границе системы «корень—почва». А эта граница является поистине границей между мертвой и живой природой, и в настоящее время именно в этом звене биологического круговорота ведутся особенно интенсивные поиски.

Вопросов биокруговорота касался и Д. И. Менделеев, занимавшийся опытами по сельскому хозяйству, и В. В. Докучаев, который требовал тесного единения наук о земле и о растении. П. А. Костычев доказал, что перегной — это не просто промежуточный продукт между мертвым органическим веществом и минеральной породой. Это особое природное соединение, в котором, наряду с распадом, разрушением, происходит синтез новых соединений, в том числе соединения белковой природы. Таким образом, Костычев обнаружил синтетические эффекты в звеньях почвенной ветви биологического круговорота веществ.

С развитием науки о почвенном питании растений проблема биокруговорота все больше привлекает внимание ученых. Какое значение этой проблеме придавал основатель отечественной агрохимии Д. Н. Прянишников, видно из его слов: «Задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растении, которые могут повышать урожай или изменять его состав»¹. При этом под круговоротом веществ понимается не только радищевский круг «первенственных» между растением и почвой, но и движение веществ в разных «цехах» растениеводства, баланс этих веществ, окупаемость затрат на внесение питательных веществ и т. п.

Современник Прянишникова, выдающийся советский почвовед В. Р. Вильямс, сформулировал основные положения о двух типах круговорота. Первый тип — большой, или геологический, — относится к движению веществ между Сушей и Океаном. Второй тип — малый, или биологический, — характеризует движение веществ между растением (растительностью) и почвой.

Геологический круговорот проявляет разрушительное действие на суше (смыв водой твердого материала в ручьи, реки, моря, океаны) и созидательное в океане (нанос отложений на дне морей и океанов). Биологический круговорот, наоборот, обладает созидательным действием. Он противопоставит разрушительной силе геологического круговорота на суше, удержи-

¹ Прянишников Д. Н. Избр. соч. М., 1952, т. 1, с. 40.

вает питательные элементы в растениях и в почвах или, как говорят, в системе «почва—растение». Именно биологический круговорот, по мнению Вильямса, сможет преодолеть отрицательное свойство «всех элементов земли» — их количественную ограниченность, приводящую к нехватке элементов питания для растений. «Единственный способ придать элементу конечному, количественно ограниченному, свойство бесконечного — это придать ему циклическое движение, заставить его вращаться в круговороте. Природа широко использует этот принцип»¹.

Лесоводы уже с конца прошлого столетия вели поиски своих, оригинальных методов изучения биологического круговорота веществ в лесу. Авторы самых первых учебников по лесоводству (Зябловский, Котта, Длатовский); говоря о росте, питании, развитии лесов, не могли обойти молчанием столь хорошо выраженное в лесу явление биологического круговорота веществ. Вот что пишет, например, в книге «Основания лесоводства» профессор Тарандской лесной академии Генрих Котта: в природе «все подчинено коловращению; ...растения суть мастерские палаты, в которых приготавливаются вещества, каковых грубая почва сама по себе не имеет... Каждый упавший древесный лист, каждый расширяющийся в земле корень приносит ей такие вещества и делает лес год от года плодороднее, и деревья растут лучше на земле, оставленной на собственный ее произвол. Но все деревья достигают конца своей жизни, одно ранее, другое позже: высочайшая ель и крепчайший дуб, наконец, падают, разрушаются посредством гниения, а от сего земля делается питательнее, и последующие деревья растут пышнее»².

Первая попытка количественно характеризовать процесс биокруговорота в лесу была предпринята немецким ученым Эбермайером. В 1876 г. в работе «Учение о лесных подстилках» [30] он установил для сосновых и буковых лесов Германии следующие звенья биокруговорота: вовлекается в круговорот; закрепляется в древесине и крупных сучьях; возвращается с опадом в подстилку. Он разделил количество веществ в лесной подстилке (слое мертвых органических остатков на поверхности почвы в лесу) на количество веществ в годичном лесном опаде (т. е. в массе отмерших листьев, хвои, веток, корней и т. д. за год), получил показатель, который потом стали называть опадом-подстилочным соотношением, или опадом-подстилочным коэффициентом. Этим коэффициентом можно грубо измерить скорость разложения мертвого органического вещества на поверхности лесной почвы.

¹ Вильямс В. Р. Почвоведение. М., 1940, с. 26.

² Котта Г. Основания лесоводства. 1835, с. 36, 37.

Позже, в 1886 г. П. А. Костычев [31] изменил этот расчет, отнеся к годичному лесному опадку не имеющуюся в наличии лесную подстилку, а разложенную за определенный срок наблюдения.

В 1935 г. А. Денглер в своей работе «Лесоводство на экологической основе [по 32] говорит о том, что биокруговорот должен познаваться на основании учета и измерения трех основных статей расчетного баланса веществ в лесу: потребление—возврат в почву—вынос при рубке.

С новой силой развернулись исследования по биокруговороту в послевоенное время. Особенно зарекомендовала себя школа Н. П. Ремезова, который научил лесоводов нашей страны измерять потребление насаждением питательных веществ в процессе биокруговорота путем балансовых расчетов.

Далее исследования по биокруговороту в нашей стране и за рубежом приняли широкий размах с привлечением различных специалистов. Уже предложено несколько десятков схем этого во многом еще непознанного природного явления. Общая черта всех схем состоит в том, что они построены на принципах использования балансово-распределительного метода, т. е. явление биокруговорота познается, характеризуется на основе «убытия-прибытия» химического элемента из одного компонента лесного биогеоценоза в другой и распределения (перераспределения) того же элемента между этими компонентами.

Однако большинство исследователей считают, что явление биокруговорота, т. е. кругообращения химических элементов между растением и почвой в лесу, — это прежде всего процесс. Процессуальное или, как предложил называть И. П. Герасимов [33], процессное изучение этого явления в наши дни только начинается.

Исследователи столкнулись с очень большими трудностями в выделении частей законченного круга процессов в отдельно взятом цикле биокруговорота — его звеньев. Звено биокруговорота — это «продолжительность закрепления химических элементов в отмерших растительных остатках» [34, с. 253], «обеспеченность питанием всей растительности леса» [35, с. 6], «перераспределение питательных веществ» [там же, с. 7], «избирательная способность древесных пород» в их почвенном питании [36, с. 17], «потребление — возврат-вынос» питательного элемента [37, 38], «блок (субстрат) — поток (элементов) — блок (субстрат)» [39], «процессы трансформации входящих в органическое вещество почвы компонентов [40, с. 95] и др. Легко видеть, что звеном биокруговорота может считаться отрезок времени, состояние растений, перемещение веществ, их трансформация и даже избирательная способность деревьев.

Некоторые исследователи оказались в таком затруднитель-

ном положении, что предложили вообще отказаться от термина звено, а пользоваться словами сторона, статья, элемент, этап биокруговорота [20, с. 84], а сам процесс биокруговорота при этом считать восходящим и нисходящим [20, с. 85], хотя понятие круговорот (от слова «круг») не может, видимо, быть ни нисходящим, ни восходящим. Было предложено даже отнести сам термин «биокруговорот» к «смушающим» понятиям [41, с. 79]. Мы видим, как легко расплывается, становится неясным знание о целом природном явлении (в данном случае — о биокруговороте), если неясно содержание, сущность составных частей этого целого (в данном случае — звеньев биокруговорота).

Причина изложенных трудностей часто не только в том, что исследователю неясно, в чем сущность звена биологического круговорота веществ в лесу; но и неверно используемый показатель. В этом случае, очевидно, нельзя пользоваться правилом: «подбирай показатель до тех пор, пока не подберешь, а что подберешь — это неважно» [20, с. 85]. Видимо, очень важно выбрать, подобрать такой показатель, который наиболее ярко отображал бы происходящий в том или ином звене биокруговорота природный процесс. В табл. 4 приведены данные

Таблица 4

Порода (регион)	Содержание в опаде насаждений											
	SiO ₂		R ₂ O ₃		CaO		MgO		P ₂ O ₅		N	
	%	Р	%	Р	%	Р	%	Р	%	Р	%	Р
Ель аянская (Приморье)	1,47	=	0,17	—	1,79	—	0,22	+	0,30	+	0,68	—
Ель обыкновенная (Вологодская обл.)	1,47		0,61		1,89		0,16		0,12		1,22	
Береза желтая (Приморье)	0,10	—	1,01	+	2,00	+	0,51	=	0,96	+	1,25	=
Береза бородавчатая (Вологодская обл.)	0,46		0,37		1,68		0,54		0,22		1,29	
Дуб монгольский (Приморье)	1,01	?	0,17	?	2,32	—	0,30	—	0,21	+	1,16	—
Дуб летний (Воронежская обл.)	Нет данных				3,02		0,58		0,12		1,36	

Примечание: Р — разница в содержании элемента между одноименными лесообразующими породами: уменьшение (—), увеличение (+), неизменность (=), сравнить нельзя (?).

содержания некоторых элементов в опаде насаждений [по 42].

На основании этих данных исследователи сделали следующие выводы: 1) лесообразующие породы Приморья создают органическое вещество, обедненное зольными элементами и

азотом; 2) с лесным опадом в Приморье поступает в почву меньше зольных веществ и азота; 3) наиболее заторможено выщелачивание из опада фосфора. К сожалению, эти исследователи неправы в этих своих выводах, так как неправильно выбран показатель. Из 18 парных сравнений только семь (случаи уменьшения процентов) подтверждают их выводы (шесть противоречат, поскольку получается не уменьшение, а увеличение данных; два нельзя сравнить, так как нет соответствующих данных; в трех не обнаружили разницы, ибо расхождения находятся в пределах точности анализа).

Возьмем у тех же авторов значения масс не только лесного опада, но и лесной подстилки, а также масс изучавшихся питательных элементов как в опаде, так и в подстилке и разделим данные подстилки на данные опада. Получим опадоподстилочный коэффициент Эбермайера (табл. 5).

Таблица 5

Порода (регион)	Коэффициент α						
	по массе	по SiO_2	по R_2O_3	по CaO	по MgO	по P_2O_5	по N
Ельник с грабом (Приморье) . . .	3,1	3,7	6,6	5,8	1,3	3,5	5,2
Ельник-зеленомошник (Вологодская обл.)	15,9	36,7	26,4	12,4	1,1	22,4	22,1

Из таблицы видно, что скорость высвобождения элементов из еловой подстилки в ельнике Приморья (по отношению к годичному опаду как точке отсчета) выше, чем в ельнике Вологодской обл.: по кремнию — в 9,9 раза (36,7 поделить для сравнения на 3,7); по полуторным окислам (железу и алюминию) — в 4; кальцию — в 2,1; фосфору — в 6,4; азоту — в 4,3 раза и только по магнию примерно одинакова. Понятно, что в почву приморского ельника в одну и ту же единицу времени (имеется в виду год) поступает не меньше, а больше указанных (кроме магния) элементов. Наиболее заторможено выщелачивание не фосфора, как утверждают эти исследователи, а полуторных окислов (сравним 3,5 и 6,6). Таким образом, и органическое вещество, создаваемое в данном случае ельниками Приморья, не может считаться бедным с точки зрения обогащения лесной почвы питательными веществами. Такое вещество способно в более короткие сроки отдать почве сопоставимые «порции» питательных элементов (да и скорость разложения самого органического вещества в виде лесной подстилки на поверхности почвы, если сравнить с поступающим лесным опадом, в Приморье гораздо более высокая — более чем в 5 раз).

Из изложенного видно, что исследователями была получена неправильная информация, потому что они при характерис-

тике процессов в одном из звеньев биокруговорота (процессов высвобождения питательных элементов из мертвого органического вещества) в лесном биогеоценозе вместо коэффициента α воспользовались лишь данными о процентном содержании этих элементов в лесном опаде.

Большой интерес к явлению биокруговорота привел, как это часто бывает, к своеобразному информационному взрыву, который многое в этой проблеме прояснил, но одновременно и запутал. Отсутствие четкого представления о звене биокруговорота привело к не менее нечетким представлениям и о самом этом явлении. Появились, например, такие термины, как «круговорот органического вещества и органических соединений» [43], «круговорот тепла» [44], «круговорот энергии» [45], «круговорот возрастных периодов» [34, с. 225], «биологический круговорот древостоев» [34, с. 258], «круговорот микрофлоры» [46], «круговорот лесной подстилки» [16]. А термин «биокруговорот веществ» применяется очень многими авторами.

К сожалению, все эти термины ложны; они являются парадоксами несуществования [47], т. е. отражают то, чего не может быть в природе.

При строгом исследовании рассматриваемого явления ни один из этих терминов не верен, так как речь идет о круговороте материальных тел между растением и почвой. Не могут кругооборачиваться между растением и почвой в лесу древостой, лесная подстилка. Следовало бы сказать «биокруговорот между древостоем и почвой» или «круговорот в лесной подстилке», так как речь идет о круговоротном процессе между живой и мертвой фазами подстилки.

Все эти «языковые» вольности возможны только в обиходе, при аллегорическом, обобщенном, обыденном использовании, как говорят филологи, непретенциозного языка.

Современная наука развивается не только за счет разрешающих и утверждающих установок, но и за счет запрещающих формулировок («запретов»), потому что в любой проблемной ситуации невозможное находится в наиболее резком противоречии с неясной массой наших знаний. Поэтому запреты призваны отделить то, о чем нельзя говорить и что нет смысла изучать, от того, что еще надо исследовать. Более 350 лет тому назад знаменитый философ, родоначальник английского материализма и опытных наук того времени Фрэнсис Бэкон писал: «То, что получено путем утверждений, представляется детищем света, между тем как то, что выведено путем отрицаний и исключений, как бы исторгнуто из тьмы и ночи»¹.

Чтобы рассеять «тьму и ночь» в изучении природного явления биокруговорота веществ в лесу, без которого нельзя по-

¹ Шибанов А. Исторгнуто из тьмы. — Знание — сила, 1974, № 7, с. 16.

нять, «как» питается лес, сформулируем следующие три запрета и назовем их по имени тех исследователей, которые впервые или почти впервые, но наиболее ясно высказали соответствующую мысль:

I. Запрет Радищева—Ваксмана—Уткина [48, 49, 50]. В биологическом круговороте веществ между растением и почвой в биогеоценозе могут оборачиваться не всякие вещества, а только «первенственные и неразрушимые части» (по терминологии Радищева), т. е. химические элементы в соответствующей устойчивой ионной форме.

II. Запрет Одума—Ковды [51, 52]. Нельзя говорить о биологическом круговороте энергии между растением и почвой в биогеоценозе, поскольку биоэнергетические процессы в биогеоценозе необратимы.

III. Запрет Дылиса—Петрушенко [41, 53]. Нельзя говорить о биологическом круговороте веществ для открытых, динамичных природных систем, лишенных замкнутого цикла процессов.

Поясним эти запреты. О первом из них мы уже говорили. Добавим лишь, что Кервран (английский теософ) выступил с гипотезой о так называемой «трансмутации» элементов в биологических системах [по 54]. Это, по мнению Керврана, означает, что один элемент (например, кремний) может превращаться в обычных условиях в другой (например, в магний) за счет исключительной по силе работы ферментных систем растительного или микробного организма. В таком случае запрет Радищева—Ваксмана—Уткина (Сельман Ваксман — известный изобретатель стрептомицина, А. И. Уткин — советский биогеоценолог) перестает существовать, так как перестает выполняться постулат этих ученых о неизменности тел, обращающихся в круговороте. Однако то, о чем говорит Кервран, по-видимому, всего лишь красивая гипотеза, для проверки которой нужны время и новый уровень развития науки.

Биокруговорота энергии в лесу нет. Есть непрерывно поступающий поток энергии от Солнца, частично связываемый в процессе фотосинтеза, частично удерживаемый в почвенном гумусе и микробной плазме, т. е. в телах микробов, но в основном рассеиваемый в пространство, в космос в виде тепла. Если люди научатся «метить» кванты энергии и увидят, что одни и те же «кванты» способны совершать хотя бы один полный оборот между растением и почвой, второй запрет перестанет быть абсолютным. Пока наука этого делать не может, а очевидная зависимость всего живого на Земле от Солнца позволяет считать второй запрет непререкаемым.

В открытых проточных системах, например в ольшанике вдоль лесного ручья, действует третий запрет. Профессор Н. В. Дылис правильно показал, что в этих условиях термин «биокруговорот» — «смущающее» понятие, так как питатель-

ные элементы, освобождаясь из сгнивающего ольхового листа или сучка, подхватываются током воды и уносятся за пределы лесного насаждения [41]. Однако природа исключительно многогранна: Мысль Дылиса в данном случае не охватывает всего того, что может произойти в ольшанике. Допустим, корешок ольхи все же «поймал» какой-нибудь из питательных элементов, освободившийся из ольхового опада, и снова поглотил его, снова с помощью этого элемента организм ольхи создал новый лист, который опал уже через год. Таким образом произошел полный цикл биокруговорота, запрет Дылиса вроде бы рухнул, хотя на ольховом болоте может быть и такое положение, когда элемент питания вымывается водой и не поглотится ольхой.

История знает немало рухнувших запретов. Со времен Аристотеля свято верили в несотворимость вакуума, ибо Аристотель учил, что природа не терпит пустоты. Опыты Герике, проведенные в 1654 г. с «магдебургскими полушариями», из которых был выкачан воздух и которые не могли разнять 16 лошадей, подорвали основы тезиса Аристотеля.

Известно, с каким удивлением инженеры восприняли известие о передаче первого радиосигнала через Атлантику. В радиофизике существовал «запрет» на распространение радиоволн. В соответствии с ним короткие радиоволны из-за жесткой прямизны должны были, не обогнув кривизны Земли, унестись в космос и не достичь другого берега Атлантического океана. А они достигли его. Оказалось, что короткие радиоволны отражаются от ионосферы и могут обогнуть, таким образом, даже весь Земной шар.

Исследователь А. А. Петрушенко вывел в рассматриваемом нами случае положение из тупика. «Не отождествляйте открытость с разомкнутостью, а закрытость с замкнутостью», — пояснил Петрушенко [53, с. 240]. И в совершенно замкнутых системах, таких, например, как кабины космических кораблей, может разомкнуться цепь биологического круговорота веществ (что, разумеется, может смертельно угрожать космонавтам). И в открытых системах могут быть замкнутые цепи кругооборотов. Все стало на свои места. Запрет получил свое универсальное звучание, показывающее, что в лесах, даже на проточных водах, например, в ольшаниках, биокруговорот может быть. Нельзя говорить о возможности этого явления только там, где система открыта (мысль Дылиса) и цепь биокруговорота разомкнута (мысль Петрушенко).

Запреты позволили уяснить, что в учении о биокруговороте веществ в лесу является «тьмой», а что «светом». Так, в «тьму» попали многие «парадоксы несуществования»: например, «фульватно-гуматные» биокруговороты С. В. Зонна, согласно которым между растением и почвой в лесу оборачиваются тяжелые органические молекулы фульватов и гуматов

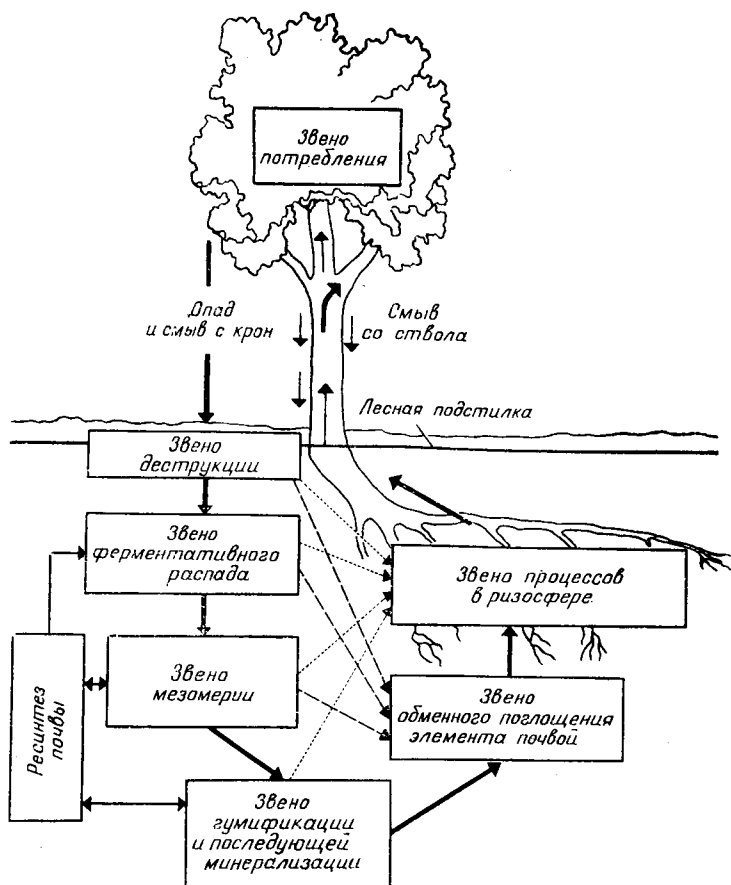


Рис. 8. Структурно-функциональная модель природного явления биокруговорота между растением и почвой в лесу

с молекулярным весом от 23 до 100 тыс.; «кругообороты тепла» А. В. Павлова, согласно которым тепло может оборачиваться в круговороте; «кругообороты органического вещества», «лесной подстилки», «белков, жиров и углеводов» и т. п.

А как же быть с распространенным словосочетанием «биологический круговорот веществ»? Вещество — это не ион; эти понятия давно строго разделила химия, но в качестве обобщающего словом «вещество» можно пользоваться.

Итак, запреты несколько сузили круг представлений о рассматриваемом природном явлении. Каково же оно в своем функциональном аспекте, как процесс? Другими словами, из чего состоит цикл процессов биокруговорота питательных элементов? В самых общих чертах об этом рассказыва-

ет нам рис. 8 (подробнее см. в следующих главах). Звено биокруговорота — это группа процессов, сложные превращения веществ и энергии, «вещественно-энергетические трансформации входящих в органические вещества компонентов» [40].

*...древние... придавали большое
значение механике при изучении
природы...*

Исаак Ньютон

НЕ РАЗРУШИШЬ — НЕ ВОЗЬМЕШЬ

Рассмотрение звеньев биокруговорота удобнее всего начать с рассмотрения процессов, в результате которых на почве (или в почве) остались мертвые органические остатки живших в вегетационный период растений. На полях это стерня и корни, на лугах старика (старая трава, которая не успела сгнить), в лесах — лесной опад, превращающийся в особое природное образование — лесную подстилку.

Ежегодный подземный опад, т. е. опад мельчайших сосущих корешков у живых многолетних растений, исчисляется сотнями, а иногда и тысячами килограммов органического вещества на гектар в год. На полях массы отмирающих корней выражаются не меньшими величинами.

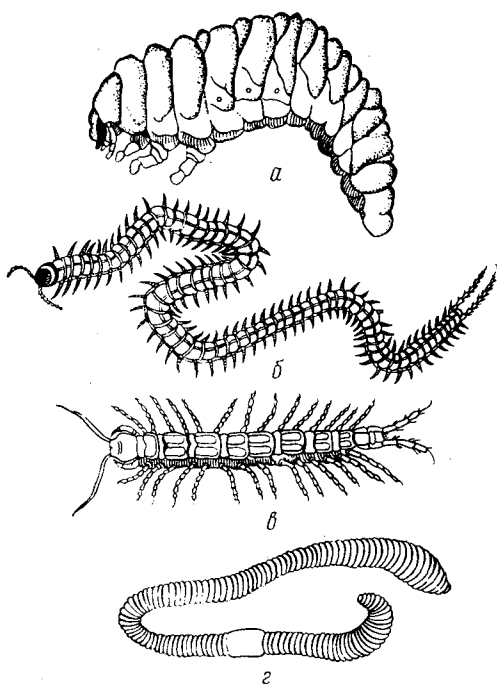
В действие вступает первый закон разложения, связанный с реагирующей поверхностью: чем больше реагирующая поверхность, тем скорее и интенсивнее будет изменяться состав первоначального вещества. Если 1 г какого-нибудь органического остатка, например листа, не раздробить на части, его поверхность едва ли будет исчисляться квадратными дециметрами. Если растереть этот листок, весящий всего 1 г, до частиц меньше 2 мк, то, по данным Швертманна [по 55], реагирующая поверхность частиц такого размера может достигнуть 800 м².

Открытая поверхность всегда имеет так называемые свободные валентности атомов, т. е. незаполненные химические связи крайних атомов. Легко представить, с какой огромной разницей в скорости пройдут химические реакции одних и тех же порций реагента, если его «разлить» на несколько квадратных сантиметров или на 800 м². А ведь каждая реакция приведет к изменению химического состава первоначального вещества, т. е. к процессу разложения.

Итак, если не измельчишь (а измельчить вещество можно, только разрушив его), не ускоришь разложения мертвого органического вещества в почве и на поверхности. И природа измельчает, рушит, дробит мертвые органические остатки. В основном эта работа падает на долю фауны почвы: нематод,

Рис. 9. Представители почвенной мезофауны [88]:

а — личинка пластинчатого жука; *б* — губоногая хищная многоножка геофил; *в* — губоногая хищная многоножка косянка; *г* — дождевой червь



моллюсков, клопов, жуков, червей, пауков, кивсяков, мокриц и др. (рис. 9). Тысячи челюстей этих незаметных санитаров ежеминутно, ежесекундно грызут, крошат, мельчат мертвые органические тела, резко увеличивая тем самым реагирующую поверхность веществ.

Численность только дождевых червей может достигать 500—800 шт. на 1 м² почвы, а масса их тел — 290—300 г. По наблюдениям французского ученого Анри [по 56], один дождевой червь среднего размера пропускает через свое тело 0,61 г сухого органического вещества в месяц. Цифра не очень большая. Однако в некоторых местах (например, в широколиственных лесах Европы) почва может за счет привноса червями (как говорят, за счет биотранзита) получать до 100 кг азота на 1 га в год. Это солидная цифра: ведь с опадом в лесах возвращается всего 30—70 кг азота, а для удобрения полей обычно применяют дозировку азотных удобрений из расчета 50—60 кг действующего азота на 1 га.

Интересные исследования в буковых, еловых и бамбуковых лесах провел японский исследователь Ватанабэ Хироюки [по 55]. Он определил биомассу почвенных беспозвоночных в период их бурного развития (июль). Она составила в бамбуковом насаждении 1491,3 мг/м², еловом — 732,5, буковом — 415,8 мг/м². Эти животные в пределах верхних 10 см почвенного профиля в бамбуковом насаждении съедали в месяц 3,7—5,0, еловом 6,0—7,0, в буковом 0,8—1,0 г мертвого органического вещества на 1 м².

Пройдя через тело мельчайших беспозвоночных, мертвое органическое вещество не только измельчается, но и химически изменяется. Оно делается уже сравнительно однородным, темным, или гумифицируется. Таким путем мельчайшие поч-

венные животные ускоряют процесс биокруговорота, облегчая и убыстряя процессы разложения размельченных органических остатков.

Однако мы не будем забегать вперед и вникать в сущность химических процессов, т. е. последующих звеньев биологического круговорота. Остановим свое внимание на «механической» стороне проблемы. Без работы почвенной мезо- и микрофауны (т. е. среднемелких, типа дождевого червя, и мельчайших животных), без механического измельчения мертвого органического вещества не может быть интенсивного биологического круговорота питательных элементов в лесу. Вот почему этот процесс органически вписывается в цикл процессов биокруговорота, а изучение почвенной и подстилочной фауны — необходимое условие изучения природного явления биокруговорота.

Напряженность процесса биокруговорота в этом звене характеризуется обычно двумя видами показателей: с одной стороны, состоянием разлагающегося мертвого органического вещества, с другой — видовым составом, численностью и соотношением групп почвенной мезо- и микрофауны. Легче всего образец подстилки или почвы просеять через сита и определить соотношение крупных и мелких фракций мертвых органических остатков. Чем быстрее будут измельчаться органические остатки (ветви, хвоя, листья, корни, сучья, кора и т. п.), тем интенсивнее будет в данных условиях процесс биокруговорота.

Фауну учитывают наиболее просто так: образец подстилки или почвы подносят к источнику нагрева или подтопляют «пугающей» фауну жидкостью и считают, характеризуют, исследуют всех представителей фауны, покидающих этот образец.

Почвенные животные издавна приспособились к определенному типу органического вещества и к определенным условиям его разложения. Эту приспособленность используют для уточнения оценки почвенного плодородия или, как говорят, при диагностике почв. Так, советский ученый М. С. Гиляров [57] выявил тесные зависимости между расселением и составом почвенной фауны и размещением почв в пространстве. Он предложил решать спорные вопросы систематики и происхождения почв именно с позиций зоологического метода диагностики почв.

Механизм разрушения мертвого органического вещества в природе иногда «пробуксовывает»; в этом случае накапливаются большие количества неизменных органических остатков. Это случается в экстремальных условиях: при большой сухости, когда, например, на степной целине залеживается сухой растительный войлок; при излишней влажности, когда на заболоченной почве накапливается торф, и т. п. В этих

условиях животные и микроорганизмы либо погибают, либо их численность бывает совсем незначительна.

Земледельцы издавна боролись с подобной «пробуксовкой» в природе. Так, при внесении, например, навоза большое значение имеет содержание в нем соломы. Много соломы — навоз бедный, с небольшим количеством собственного удобрительного начала. Мало соломы — навоз тоже неполноценный. При этом безразлично — измельчена солома или нет. Длинносоломистый навоз перегнивает гораздо хуже. При его внесении в почву образуется много воздушных пустот, через которые почва скорее высыхает, а в атмосферу улетучивается высвобождающийся из навоза азот. Вот почему, чтобы получать быстро перегнивающий навоз надлежащего качества, для подстилки скоту стремились использовать измельченную солому.

Отрицательное влияние старьики — отмершей неразложившейся травы на лугах было известно давно. Иногда ее уничтожали ранней весной огнем, но в связи с небезопасностью и малой эффективностью такой меры стали бороться с ней прочесыванием, сгребанием, измельчением. На интенсивно эксплуатируемых и ухоженных лугах заботы об этом, как правило, и не возникает — трава на таких участках не успевает стареть.

В лесах при скапливании мощной оторфовелой лесной подстилки лесоводы, особенно в северных районах страны, практиковали способ ворошения подстилки, позволявший и улучшить воздухообмен корневых систем, и усилить перегнивание мертвого органического вещества.

Итак, мы познакомились с первым звеном биологического круговорота веществ — звеном первичного разрушения мертвого органического вещества, или звеном деструкции, которое необходимо для ускорения разложения органических остатков, высвобождения из «мертвых оков» питательных элементов и подачи их к корню лесного растения, чтобы таким образом интенсифицировать биокруговорот питательных элементов.

Большинство биологических процессов в почве связано с работой ферментов. Работа с ферментами приведет к целому перевороту в агрономии.

А. Г. Дояренко

КОГДА РАБОТАЮТ ФЕРМЕНТЫ

Всасывающие корешки растений могут приближаться плотную к измельченным органическим остаткам, но много питательных элементов от них взять еще не могут — органическому веществу надо разложиться химически, т. е. в массе своей дойти до ионных соединений, до усвояемых форм.

И вот здесь наступает действие веществ особой природы, выделяемых главным образом почвенными микроорганизмами. Эти вещества — ферменты, являющиеся белками глобулярной природы. Вообще белки бывают глобулярные и фибриллярные. Последние — проще, имеют волокнистое вытянутое строение, причем волокна у таких белков не могут складываться в витиеватые клубки строго постоянной для каждого вида белка формы. Глобулярные белки, наоборот, образуют причудливые, устойчивые по своей конфигурации клубки шаровидной или эллипсоидной формы и имеют поистине «волшебные» свойства. Они могут «заставлять» другие соединения убыстрять ход реакций химического взаимодействия друг с другом в миллиарды и даже в сотни миллиардов раз.

Фермент может осуществить в одну секунду такую реакцию, на проведение которой, как мы уже говорили, в условиях мертвой природы понадобилось бы 3200 лет. Реакция ускоряется в 10^{11} раз, т. е. в 100 млрд. раз.

Как это происходит, до сих пор остается загадкой. Но кое-что из секретов ферментативных реакций все же известно. Известно, что фермент, прежде чем произвести свое разрушительное или синтезирующее действие, должен «решить» минимум три задачи: 1) обеспечить концентрационный эффект; 2) осуществить ориентационный эффект; 3) произвести полифункциональный катализ. Это означает, что фермент должен сначала сгустить, сконцентрировать, вещества близ своей реагирующей поверхности, затем (а вполне возможно, что и одновременно) сориентировать молекулы веществ таким образом, чтобы они могли соединиться друг с другом лишь определенными участками своих поверхностей. Подсчитано, что первая и вторая операции приводят к тысячекратному ускорению химических реакций каждая.

Затем фермент приступает к такой работе, которая пока невыполнима обычными методами в химических лабораториях. Он производит одновременно «много» (сколько — это практически перечислить невозможно) различных химических реакций. Воспроизвести эту работу, т. е. полифункциональный катализ, в пробирке, колбе без участия фермента не удастся: у каждой реакции есть свои промежуточные и побочные продукты, которые в искусственных условиях быстро застопоривают ход процесса в целом.

В результате каждой реакции образуются массы веществ, за которыми нужен химический контроль до окончания хода всех реакций. Фермент «умеет» и «успевает» соединить и убыстрить реагирование многочисленных групп соединений или отдельных молекул. Производительность ферментов огромна: некоторые ферменты в течение 1 мин могут разложить до 5 млн. молекул (и это в обычных условиях, без подогрева и изменения давления).

Самое интересное заключается в том, что в процессе всех этих бурных реакций, заканчивающихся разрушением старых и образованием новых соединений, фермент остается целым и невредимым. Строго определенный для каждого белка (каждого вида фермента) тип строения, или, как говорят, третичная его структура, может безошибочно восстанавливаться, чтобы потом вновь продолжать свою удивительную работу.

Однако фермент — не живое вещество. Он — продукт живых существ; его выделяют бактерии, грибы, актиномицеты (лучистые грибки) и другие микроорганизмы. Начальные стадии процесса биокруговорота описывали раньше как «нападение» микробов на мертвые органические остатки. Вот как, например, их описывал в своих «Химико-агрономических беседах» известный популяризатор науки А. Н. Дудинский: «Гниение начинается с того, что на органическое вещество, или на мертвое тело, все равно растения или животного, нападают стаи очень мелких живых существ, не то растений, не то животных, так называемых бактерий»¹.

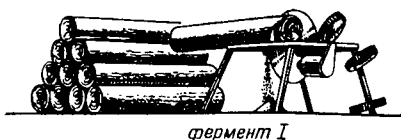
По современным представлениям, в почвах лесного биогеоценоза активная, т. е. выделяющая экзоферменты — наружные ферменты, поверхность живого микробного населения может достигать 500 га на 1 га поверхности. Химических соединений, совершенно не разлагаемых микроорганизмами, в природе нет. По мнению А. А. Имшенецкого, «современные» микробы начинают образовывать ферменты, разрушающие даже синтезированные человеком соединения², что является, несомненно, великим благом для человечества, особенно при растущем загрязнении биосферы синтетическими веществами.

Грибы — очень сильные продуценты ферментов. Исследования показали, что свойства ферментов, продуцируемых бактериями и грибами, как правило, весьма различны. Так, по данным Зденека Амброза [58], в подзолистых лесных почвах Низких Татр (Чехословакия) белокразрушающие ферменты в нейтральных растворах образуются, как правило, грибной микрофлорой, а те же ферменты, но «работающие» в щелочном диапазоне (алкалические протеазы) образуются в почвах под лесом главным образом бациллами. Ферменты выделяются также корнями растений.

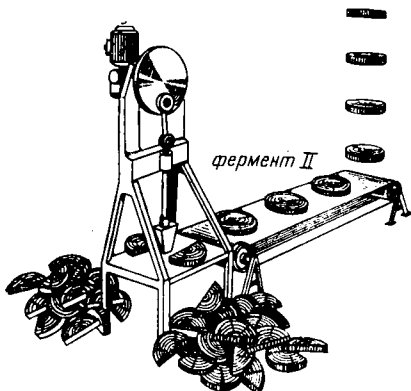
Фермент — это биокатализатор, т. е. вещество, ускоряющее реакции в живом организме. Это такое вещество, без которого не может быть ничто живое. Жизнь возможна лишь тогда, когда существует обмен веществ между белковыми телами и между ними и средой их обитания. При нарушении

¹ Дудинский А. Н. Как создаются урожай? (Химико-агрономические беседы). М., 1913, кн. IV, с. 5.

² Имшенецкий А. А. Богатырская работа невидимок. — Правда, 1973, 21 ноября.



фермент I



фермент II

Рис. 10. Образный показ последовательного действия двух разных ферментов на примере работы двух станков: лесопильного и дровокольного

работы ферментов нарушается обмен веществ, и, если это нарушение серьезное, жизнь прекратится.

Фермент несет в себе особую часть, так называемый «активный центр». Это своего рода «наковальня», на которой и происходят операции с захваченными из раствора молекулами, соот-

ветствующая их ориентировка и атака этих молекул специальными участками фермента.

Работа ферментов строго специфична, как специфична работа отлаженных только на определенную программу механизмов (рис. 10). И только потому, что в каждую единицу времени в почве и лесной подстилке работают сотни разнотипных ферментов, мертвое органическое вещество способно разложиться до простейших составных частей.

Белки разрушаются под влиянием протеиназ и полипептидаз-гидролаз (обобщенно — протеаз), жиры — под влиянием липаз, углеводы — при содействии инвертаз, целлюлаз, ксиланаз, глюкозидаз и других ферментов.

Ферменты действуют и в почве. Они появляются, как уже говорилось, из выделений микроорганизмов и корней. Однако работа их регистрируется и в отсутствие корней и микробов. Дело в том, что ферментные молекулы могут сохраняться между слоями силикатов (почвенных минералов) или удерживаться на поверхности мельчайших почвенных частиц — коллоидов. Почва, таким образом, как бы приближается к живому организму; в ней непрерывно протекают ферментные реакции. Современная наука и не представляет почву без реакций биохимической природы. Предполагается, что все химические реакции в почве имеют, скорее, биохимическую, чем чисто химическую природу.

В почве отмечается в основном разрушающее действие ферментов, так как мертвое органическое вещество в конце концов разлагается до конца. Возможен, конечно, и неферментный путь разложения органического вещества, а именно: разложение кислотами и другими чисто химическими веще-

ствами. Однако роль мертвых, абиотических процессов, по-видимому, ничтожна. Различные химические вещества, возникающие в разлагающемся мертвом органическом веществе, можно рассматривать в качестве «осколков» деятельности все тех же ферментов, активность и быстрота действия которых не сравнимы с действием чисто химических веществ.

Исследователь почвенных ферментов В. Ф. Купревич на вопрос о том, чем отличаются почвы, обладающие ферментативной активностью, от мертвых грунтов, не имеющих ферментов, ответил, что они отличаются так же, как «диетические яйца отличаются от обычных», так как «слабо активные или вовсе неактивные почвы и грунты даже при внесении обширного комплекса минеральных удобрений не дают населяющим их высшим растениям той высокой жизненности и качеств, которые свойственны культурам, выросшим на полноценной высокобиологической активной почве»¹.

Диетические яйца, как мы знаем, не несут в себе жизни. Очевидно, так же безжизненны или, во всяком случае, маложизненны грунты, не имеющие ферментов. Возможно, что в своем сравнении Купревич имел в виду не только разрушающую, но и созидательную силу ферментов и, может быть, какие-либо «тайные» воздействия их на корни растений, о которых многие еще и не подозревают. Но мы сейчас, в основном, говорим о гидролитической расщепляющей роли ферментов в почве, о катализе (ускорении) ими гидролиза, т. е. расщепления в водной среде мертвого органического вещества.

Именно при участии ферментов — этого могущественнейшего оружия микроорганизмов, сокращаются сроки развития процессов «от трупа до перегноя». Без участия ферментов, как мы увидим далее, не происходит разложения и самого перегноя, без которого в свою очередь невозможно полноценное питание лесобразующих пород.

Звено ферментативного распада мертвого органического вещества в лесу для многих еще кажется загадочным, а то и вовсе необъяснимым. А где нет объяснения — начинается фантазия. Тот, кто отрицает работу ферментов в биокруговороте, вынужден признавать «какие-то силы», которые «оживляют плазму» почвы [43]. На деле оказывается, что ничего таинственного в почве не происходит, никто не оживляет плазму, никто не оперирует в ней сверхъестественными силами, приводящими к «оживлению» каких-либо частей почвы. Работа ученого в этом случае приобретает теологическую окраску, отражая еще одни «парадокс несуществования».

¹ Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология. Минск, 1966, с. 217.

Итак, мы кратко охарактеризовали второе звено биологического круговорота веществ — звено ферментативного распада мертвого органического вещества. Этот распад приводит к исчезновению мертвых органических остатков в почве и на почве и к появлению в ней тысяч и тысяч разнообразнейших химических соединений.

Наши «первенственные» (по Радищеву) частицы — питательные элементы. В ферменты они не вошли (или вошли в очень незначительных количествах), поскольку ферментная система, как катализатор, обычно строго постоянна по своему составу. Они входят в бесчисленные «осколки» перегнивающего органического вещества, в том числе и «осколки» распавшихся ферментов. Ведь ферменты — не вечные образования, они находятся в почве в состоянии непрерывного обновления.

Измеряют напряженность процессов в этом звене биокруговорота величиной активности ферментов-гидролаз, т. е. таких, которые при помощи воды разлагают органические соединения. Выражают эту активность величиной E , которая показывает, что в 1 мин разлагается 1 микромоль (миллионная доля грамм-молекулы) вещества.

Высокие, могучие, а значит, и хорошо питающиеся лесные насаждения растут обычно на таких почвах, где активно действуют ферменты, свидетельствуя, что таким лесам присущ интенсивный тип биологического круговорота веществ.

*Отнюдь не в ничто превращаются
вещи, но разлагаются все на тела
основные обратно.*

Лукреций

СЮРПРИЗЫ МЕЗОМЕРИИ

Исследуя тайны бензольного кольца, английский химик Ингольд выдвинул в 1923 г. теорию мезомерии¹. Суть ее состоит в том, что химические формулы, по мнению Ингольда, отображают лишь предельные, крайние состояния в строении вещества. Обычное состояние молекулы любого вещества — промежуточное, среднее, возникшее в результате взаимодействия предельных структур (мезосостояние, как называли его ученые). Представление о мезомерии допускало, что предельные структуры путем перераспределения химических связей переплощаются в реально существующую мезоструктуру.

¹ Теория мезомерии не объяснила тайн и загадок бензольного кольца, но сами термины мезомерность, мезосостояние понравились исследователям. Этими терминами зачастую пользуются, особенно тогда, когда речь идет о сложнейших превращениях веществ.

Именно такая картина наблюдается в следующем звене биологического круговорота питательных элементов между растением и почвой — звене реакций промежуточного разложения и синтеза. В этом звене химический элемент участвует в превращениях многочисленного класса соединений и их осколков промежуточного характера — между бывшими устойчивыми соединениями органических остатков и собственными перегнойными веществами.

Основные составные части органической материи (белки, жиры и углеводы) в этом звене биокруговорота представлены своими производными, своими составными частями. Частей этих в чистом виде совсем или почти не бывает. Они сразу же соединяются с многочисленными другими веществами, поскольку почва крайне неоднородна или, как принято говорить, представляет собой сильно выраженную гетерогенную среду.

Продукты распада углеводов — это пентозы, гексозы (сахариды с пятью или шестью атомами углерода в молекуле), уроновые кислоты, которые являются строительным материалом для полисахаридов, продукты разложения лигнина (вещества, в изобилии имеющегося в древесных растениях), органические кислоты и другие многочисленные соединения. Жиры распадаются на глицерин и жирные кислоты, белки — на отдельные пептиды (обрывки цепочек бывших белковых молекул) и особые кислоты, которые содержат группу из атома азота и двух атомов водорода (аминогруппу) и называются а м и н о к и с л о т ы.

Наличие аминокислот в почве многообещающе. Ведь аминокислоты — составные «кирпичики» белка, а белок — признак наличия живых существ. Исходя из этого можно было бы предположить, что аминокислоты синтезируются в молекулы белка, и, таким образом, в почве зарождается жизнь. Однако это не так. Строительство белковых молекул происходит в ж и в о й клетке.

Аминокислоты интересны с другой стороны: они — источник азота. Аминогруппу очень легко отделить от атома углерода, что в природе и осуществляется ферментами амидазами. Освободившаяся аминогруппа может превратиться в ион аммония (азот с четырьмя атомами водорода), и тогда корень растения сможет поглотить его. Но если одного атома водорода в это время азоту не достанется, т. е. атом азота окажется в сопровождении трех атомов водорода, получится газ аммиак, который, к сожалению, летуч.

Оказывается, наши почвы могут терять азот в виде улетучивающегося аммиака (в некоторых случаях и в виде N_2 , т. е. чистого газа — азота, а также в виде двуокиси азота), тот азот, который так нужен растениям. Растущие на бедной азотом земле растения буквально «купаются» в азоте, если

учесть, что в атмосфере его больше других газов, а взять оттуда не могут.

Потери азота в газообразной форме особенно резко выражены на песках, поскольку песок из-за бедности коллоидами не в состоянии закрепить ион аммония. В связи с этим песчаные почвы приходится удобрять гораздо чаще, но меньшими дозами, чтобы попусту не тратить азотные удобрения. Однако можно и более энергично воздействовать на песок: внести в него мелкие почвенные частицы, т. е. глину, или как говорят, «глиновать» его. Глинование — очень хороший прием улучшения плодородия песчаных почв, но, к сожалению, пока еще дорогой.

Вернемся, однако, к нашему звену круговорота. Улетучиваться при протекающих в нем процессах может не только азот, но и углерод, выделяющийся в виде углекислого газа. Это явление называется «дыханием» почвы. Оно оценивается больше с положительной стороны: в атмосферу, в приземные слои воздуха, поступает углекислота, без которой невозможно воздушное питание растения в процессе фотосинтеза. Почва как бы питает атмосферу углеродом и таким образом подкармливает растущее растение. Насколько это важно, можно понять из того, что в последние годы исследователи стали говорить об углеродном голоде растений, о специальной углеродной подкормке растений в периоды бурного фотосинтеза, когда углекислоты многим растениям явно не хватает.

В яркий солнечный день на плодородной, хорошо увлажненной почве растению действительно может не хватать углекислоты. Человеку в этих условиях дышится легко: в воздухе много кислорода, выделенного фотосинтезирующими частями растений. А растение в этот момент испытывает «голод». Ему нужен углекислый газ. Опыт показал, что когда в такие дни в посевы растений искусственно напускали углекислоту, растения быстро наращивали фитомассу, значительно повышали урожайность. В такие дни (а они бывают особенно в период буйного роста растений — в мае, июне) особое значение приобретает «дыхание» почвы. Почва может поставить углерод из органических остатков или из разлагающегося перегноя, т. е. в процессе биологического круговорота веществ.

Углекислоты может выделяться больше и в том случае, если внести в почву органические удобрения (навоз, компост), закопать в нее какие-то органические остатки, например остатки веток, сучьев и т. п. Но общий смысл этих мероприятий остается прежний: усилить процессы разложения органических остатков в нисходящей ветви биокруговорота (растение — почва), чтобы подать увеличенные порции питательных элементов в восходящей его ветви (почва — растение).

Рассмотрим еще одно природное явление, происходящее в этом звене биокруговорота, полное всевозможных мезомери-

ческих состояний и превращений, почвенный ресинтез.

Почва буквально кишит микроорганизмами. Если рассматривать частицу почвы, меняя при этом увеличение, можно видеть все новые и новые их формы. Московский исследователь Д. И. Никитин [по 56], приготовив особым образом тончайшие слои почвы, просмотрел их в электронный микроскоп. Все поле зрения было усеяно живыми существами, причем преобладали образования, напоминающие собой зонтики, которые он и назвал «зонтики». Со временем стало известно, что и эти организмы — не предел, что «зонтики» могут представлять собой скопления еще более мелких организмов.

В 1 г почвы миллиарды микроорганизмов. Прямой подсчет при помощи электронного микроскопа дал такие цифры: в 1 г почвы $20\text{--}25 \cdot 10^9$, т. е. 20—25 млрд. единичных тел микроорганизмов. Только в верхнем двадцати—тридцатисантиметровом слое почвы общая масса тел микроорганизмов может колебаться от 2,5 до 10 т на 1 га. Если бы мы сумели отделить в почве живое от неживого, то для перевоза живого материала с 1 га потребовался бы не один 3-тонный грузовик.

Микроорганизмы потребляют те же элементы питания, что и высшие растения. Из этого следует, что почва непрерывно кормит микроорганизмы и так же непрерывно разлагает отмирающие их тела.

Явления почвенного ресинтеза, т. е. повторного (если считать первым синтез веществ в высшем зеленом растении) использования питательных элементов на синтез живых организмов (микробов), таит в себе разного рода сюрпризы. С одной стороны, и это бывает в природе чаще, усиление почвенного ресинтеза ведет к положительным изменениям в свойствах почв. При этом бурно развиваются микроорганизмы, ими больше выделяется всевозможных ферментов. Следовательно, более быстро и более полно разлагается мертвое органическое вещество почвы. Это ведет к более быстрому и бурному высвобождению элементов почвенного питания из разлагающихся органических остатков, к возможности в большей мере удовлетворить потребности выращиваемого растения.

С другой стороны, например, при устранении действия на почву вредного фактора (при осушении или известковании), и растения и микроорганизмы начинают усиленно развиваться и энергично питаться при явном недостатке питательных элементов. При этом микроорганизмы по скорости размножения всегда могут опередить высшие растения и может наступить такой момент, когда питательные элементы в основном будут захвачены микроорганизмами, а высшим растениям их не хватит. Такое явление получило название «иммобилизации», т. е. отторжения пищевых ресурсов от возделываемого растения.

Оно может быть и в лесу при известковании бедных кислых почв.

Интересный, правда пока еще сравнительно редкий в наши дни, пример ухудшения жизненного состояния деревьев из-за чрезмерного ресинтеза почвенных микроорганизмов описали сотрудники Голландской высшей земледельческой школы¹.

Они заметили усыхание древесных пород вдоль проложенных под землей газопроводов. Симптомы заболевания исключительно хорошо совпадали с симптомами истощения и голодания растений; листья деревьев преждевременно опадали. Все это было трудно объяснить прямым воздействием газа. Оказалось, что даже незначительное количество улетучивающегося газа способствует росту находящихся в почве бактерий, которые питаются метаном и быстро размножаются, поглощая в больших размерах нужные для деревьев элементы питания. Налицо, таким образом, неконтролируемый и неуправляемый ресинтез, влияющий на древесные породы.

На богатых почвах усиление явления иммобилизации не страшно, во всяком случае ощутимо гораздо слабее. Выражено оно бывает лишь тогда, когда в почве сочетаются бедность (пониженная трофность) и вредные влияния каких-либо факторов, например кислотности, переувлажнения, иссушения и т. п. Это еще не все. Надо непременно снять действие ограничивающего фактора (произвестковать, осушить, увлажнить и т. п. почву). И вот тут-то может произойти «иммобилизационный взрыв». Он не будет страшен; наоборот, он будет даже полезен, если почва богата или если ее удобрить. Другими словами, при мелиорации почв нельзя забывать о применении нужных растений удобрений.

Поскольку микроорганизмы могут перехватывать «пищу» у высших растений, исследователей стала интересовать мысль о том, что можно кормить растения при помощи микроорганизмов. Эта идея проста: в период бурного питания и роста культурного растения в почву надо внести какое-то вещество, которое может вызвать частичную гибель микроорганизмов. В течение нескольких дней тела микроорганизмов разложатся, выделившиеся питательные вещества используют корни растений, и это даст увеличение урожайности или роста возделываемых культур.

Но проблема контролируемого и управляемого ресинтеза оказалась очень сложной. В некоторых наших опытах, например, в почву под сосновые культуры вносили карболовую кислоту (фенол) — общеизвестный дезинфектор. В почве часть микробов погибала. Мы с нетерпением ждали улучшения питания и роста высшего растения (был выбран период бурного роста — май, погода и почва были благоприятными), а уси-

¹ Лесная промышленность, 1972, № 30, 8 марта.

ния роста не происходило. В одном из опытов выяснилось, что природа сама умеет контролировать ресинтез почвы и даже лучше человека. Наступила полоса засушливых дней, и число микроорганизмов в почве уменьшилось более чем в 10 раз, чем при внесении карболовой кислоты. Роста высшего растения при этом все равно не произошло. На этот раз, конечно, помешала засуха.

Все это говорит о сложности проблемы кормления растения через микроорганизмы. Всем известны печально зарекомендовавшие себя навозно-земляные компосты, от которых ожидали добавочного плодородия, именно из-за действия микроорганизмов. Микроорганизмы, конечно, «работают», но создать новые запасы питательных элементов не могут; они лишь перерабатывают уже имеющиеся элементы. Это не касается микроорганизмов, умеющих поглощать азот воздуха. На пахотных почвах, по данным Е. Н. Мишустина и А. В. Петербургского [59], в СССР эти микроорганизмы прибавляют ежегодно 3,5 млн. т азота. Для лесных почв подобных данных пока нет.

Проблема управляемого ресинтеза продолжает волновать многих исследователей. Некоторым из них удалось повысить урожайность пшеницы, сахарной свеклы и других культур именно в результате частичной стерилизации почвы, умело проведенной в период бурного роста культурного растения. Стерилизация почвы всегда частична, и после подкормки вышших растений микробной «плазмой», т. е. разложившимися телами микроорганизмов, численность микробов быстро, буквально в несколько дней (при надлежащих, конечно, условиях) возрастает и зачастую до большей величины, чем до опыта. При этом нельзя путать микробную «плазму» с плазмой почвы — тонкодисперсной минеральной ее частью, о чем мы говорили выше. Мелкие минеральные коллоидные частицы «оживать», конечно, не могут, хотя об этом и пишут некоторые исследователи [43]. «Оживать», а точнее — увеличиваться в численности, могут только живые микроорганизмы почвы. В качестве сильного стерилизатора лесных почв рекомендовал себя метилбромид.

Звено реакций промежуточного разложения и синтеза (звено мезомерии) — это наиболее неразгаданное, наименее познанное звено биокруговорота. Тысячи и тысячи веществ, возникающих в нем при разложении мертвых органических остатков после их «обработки» ферментами микроорганизмов и корней, превращаются в несчетные легионы новых соединений. Они могут самым разнообразным образом влиять на живые организмы.

Здесь можно выделить и ядовитые соединения, и вещества-биостимуляторы, и, возможно, лекарственные вещества. Есть и такие вещества (например, некоторые феноксиалкилкарбо-

новые кислоты), которые в силу тех или иных причин не могут участвовать в питании микроорганизмов и поэтому долго сохраняются в почве. Мезосостояние веществ в этом звене биокруговорота может открыть для будущих исследователей много интересного.

*Даже при беглом взгляде...
бросается в глаза огромное
количество органических веществ
и энергии, заключенных в гумусовой
оболочке Земли.*

В. А. Ковда, И. В. Якушевская

В ЦАРСТВЕ ТЭЕРА

В почве происходят процессы гумификации, в результате которых создаются особые вещества, объединяемые общим понятием гумус почвы.

Ученые пытались определить химическую формулу перегноя. И хотя в полной мере этого сделать не удалось, полученные расчеты впечатляют своей масштабностью и сложностью. Так, совокупная формула гумуса, по данным Шнитцера и др. [по 56], представляется следующей:



Эта формула почти ничего не говорит о структурном строении молекул гумуса, о том, насколько они длинны, разнообразны, как завиты и т. п. У гумуса громадная поглощательная способность. Одна весовая часть его может поглотить в 8—10 раз больше ионов питательных элементов, чем одна весовая часть грунта, лишенного гумуса.

Сначала в почве появляются так называемые предгумусовые вещества — соединения ароматического строения и меланоидины.

Предгумусовые вещества уплотняются, конденсируются, полимеризуются, изменяясь в своем составе и свойствах. Выражаясь конкретнее, на данной стадии превращений веществ осуществляется сочетание реакций гетерополиконденсации низкомолекулярных веществ (например, полифенолов, аминокислот) и окислительной деполимеризации высокомолекулярных соединений.

Образовавшиеся гумусовые вещества аккумулируют в себе колоссальные запасы питательных элементов. Они способны стимулировать рост растений, поскольку могут частично устранять недостаток кислорода и оказывать на растения другие положительные воздействия.

Немецкий ученый Альбрехт Тээр исследовал эффективность хозяйственных мероприятий, так или иначе влиявших

на количество и качество гумуса в почве. Следствием этих мероприятий почти всегда было зримое изменение урожайности растений, а это, в свою очередь, всегда было и есть основным критерием любых хозяйственных оценок. Было установлено, что урожайность очень сильно зависит от количества гумуса в почве. Вот почему так легко возникали представления о том, что растения якобы питаются гумусом. На самом деле растения питаются, как уже известно, ионами питательных элементов. А чтобы питательные ионы «вышли» из гумуса, последний должен разрушиться, т. е. разложиться на составные минеральные элементы. Вот почему назвать рассматриваемое звено биокруговорота только звеном гумификации недостаточно. Оно называется звеном гумификации и последующей минерализации гумуса. Как видим, процесс перегнивания не закончен. Для этого опять потребуется действие биохимических сил, опять нужны ферменты, выделяемые все теми же вездесущими микроорганизмами. Выявлено, в частности, что в основе механизма разложения гумусовых веществ лежит действие ферментов — пероксидаз.

В процессе биологического круговорота веществ в почве обыкновенно устанавливается определенный баланс гумуса. Чем больше эксплуатируется почва, тем меньше, как правило, становится гумуса, если не проявляется забота о его пополнении. Исследованиями В. Д. Панникова [60], проведенными в местах работ Докучаева в 80-х годах прошлого столетия, установлено, что почвы там теперь, как правило, обеднены гумусом. Снижение содержания его в почве составило 15—25, а в отдельных местах 30—35% и больше от того количества, которое указано В. В. Докучаевым [61]. Это говорит о том, что за 90 лет перегой в пахотных почвах больше разлагался, чем создавался, а следовательно, использовался на урожай. Биокруговорот, таким образом, шел с отрицательным во времени балансом в звене гумификации.

В лесных почвах оскудение «царства Тэера» — почвенного гумуса бывает только на сплошных вырубках и в расстроенных малопродуктивных насаждениях. При создании устойчивых высокопродуктивных лесных насаждений и реконструкции расстроенных древостоев оно, как правило, прекращается. Многое зависит от состава насаждений и условий местопроизрастания: под смешанными насаждениями и в условиях нормального водоснабжения состав лесного гумуса, как правило, лучше. Содержание таких мало полезных растению фракций гумуса, как битумы, по данным польского исследователя Збигнева Прусинкевича [62], в переувлажненных торфянистых почвах достигает 20—25% всего гумуса, а в плодородных перегнойных почвах — всего доли процента.

Лесоводы давно поняли значение различий в звене гумификации биологического круговорота веществ в лесу. Если

круговорот интенсивный, лесной опад перегнивает быстро, лесная подстилка не скапливается и имеет полуперепревший вид, почвы содержат «мягкий», или «сладкий», гумус (по терминологии старонемецкой лесной школы — «муль»). Почвы с таким гумусом богаты, в них кишит жизнь, произрастают на таких почвах, как правило, лиственные насаждения (береза, липа, лещина, клены и другие породы, опад которых быстро перегнивает). Если круговорот заторможен, опад перегнивает плохо, на поверхности слеживается грубая, похожая на торф подстилка, гумус почвы хуже, его называют «грубым», или «кислым» (по-немецки — «модером»). Так бывает, например, под еловыми и некоторыми другими насаждениями. Мягкогумусовые (муллевые) почвы намного богаче и лучше для растений, чем грубогумусовые (модеровые).

*Все производит земля, и природа
готовит искусно.*

Лукреций

КОЛЛОИДАЛЬНЫЙ ПЛЕН

Элемент питания, попавший в почвенный раствор после разложения гумуса или из предыдущих звеньев биокруговорота (на рис. 8 последнее показано тонкими стрелками), а также внесенный с удобрением, может быть «пленен» цепкими силами твердых частичек почвы. Мощным собирателем всего блуждающего в почве являются почвенные коллоиды — мельчайшие частицы почвы диаметром от 0,2 до 0,001 мк. Они могут быть чисто минеральной, органической и смешанной органо-минеральной природы, т. е. в их строении участвуют уже известные нам гумусовые молекулы.

Коллоиды представляют собой уникальные природные образования. Это — своеобразные «ноевы ковчеги» с прикрепившимися к их поверхности «чистыми» и «нечистыми» — всевозможными ионами, способными совершать полезную (например, питать растения, образовывать в почве структуру, не боящуюся размыва) и вредную (создавать ядовитость, разрушать) работу. Эти образования называются коллоидными мицеллами (рис. 11). Они состоят из ядра — мельчайшей твердой крупинки минерала или органического вещества (или их смеси) и ионных слоев: потенциалопределяющего слоя и обменного слоя. Первый определяет заряд коллоидной частицы и энергично воздействует на окружающую среду; он заставляет присоединяться к себе из раствора только те ионы, которые соответствуют условиям «приказов» этого слоя.

Чаще всего в наших почвах потенциалопределяющие слои состоят из анионов, т. е. ионов, несущих отрицательный заряд.

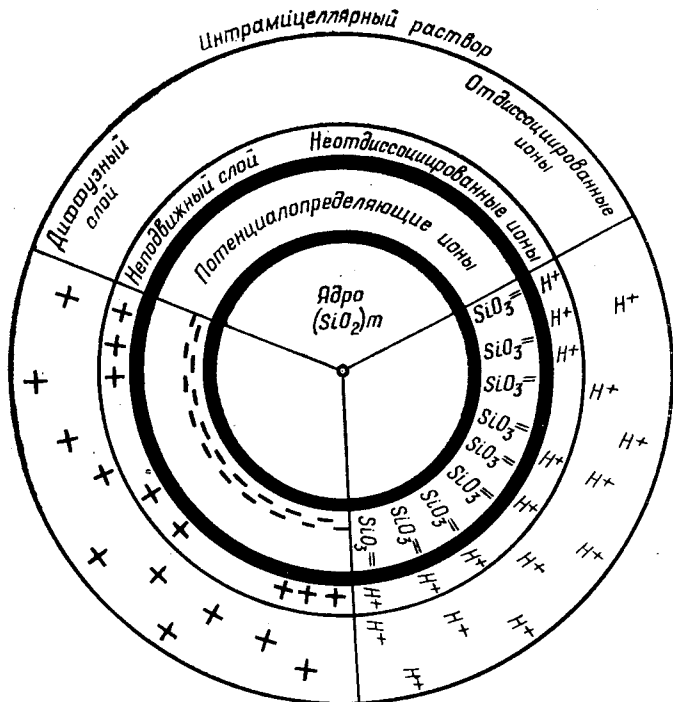


Рис. 11. Строение почвенной мицеллы на примере кремнекислоты [86].

Значит, такие коллоиды присоединить к себе из почвенного раствора могут только катионы, т. е. ионы с положительным зарядом. Часть катионов «прикрепляется» к потенциалопределяющему слою так прочно, что не может обратно входить в раствор. Другая часть оказывается удаленной от потенциалопределяющего слоя, на «краю» мицеллы. Эти ионы способны отрываться от коллоидных мицелл, если более мощная химическая «рука» двинет их в другую сторону. Выйдя из зоны притяжения коллоидной мицеллы, они отправляются в «плавание» по почвенному раствору до тех пор, пока вновь их не захватит какой-либо коллоид или корень растения. При этом возможны встреча данного иона с ионом противоположного заряда и образование нерастворимого осадка (химическое поглощение почвой неколлоидного характера) и вынос элемента с водным потоком за пределы почвы в ручьи, моря и т. д.

Обменное, или физико-химическое, поглощение элементов питания почвой — величайшее природное благо.

Без этого явления коллоидального «плена» почва не смогла бы задерживать и обменивать огромные массы различных веществ, растения вынуждены были бы сначала «купаться»

в потоке «еды», а потом голодать. Почву без физико-химической поглотительной способности можно сравнить разве только с решетом, сквозь которое утекает плодородие.

Благодаря обменной поглотительной способности почв почвенный раствор не перегружается избытком питательных веществ (правда, этому не подчиняются нитраты — соли азотной кислоты, но такое явление наблюдается не часто), растения получают возможность поддерживать себя питательными элементами на протяжении длительного времени, т. е. поглощать те ионы, которые «вышли» из гумуса или из «осколков» других веществ не только день, два, но, по-видимому, и месяц и год, и несколько лет назад.

Что именно почва «пленяет»? Оказывается, у элементов, обращающихся в биокруговороте, хорошо заметны их индивидуальное «лицо», «характер». Эта индивидуальность в данном звене биокруговорота проявляется особенно резко.

Если почва не кислая, в составе обменнопоглощенных почвой катионов обычно преобладает кальций (элемент, определяющий целый ряд положительных явлений в почве). На втором месте по количеству обычно стоит магний, также редко проявляющий отрицательные свойства (бывает иногда и только в некоторых типах почв на юге так называемая «магниева солонцеватость», портящая свойства почвы, но в большинстве почв этого не наблюдается).

Обменно поглощаются также калий, аммоний, алюминий, водород, натрий. Калий и аммоний, если дать им волю, способны распылять почвенную структуру, но поскольку они всегда активно поглощаются корнями, их в большом количестве в почвенном растворе обычно не бывает. Алюминий, водород и натрий могут обуславливать в почве ряд отрицательных явлений. Подвижный алюминий обуславливает в почве токсичность, от которой растения сильно страдают. Особенно чувствительны к повышенным концентрациям алюминия в почве клевер и сахарная свекла. Нами [63] обнаруживалась ясная зависимость между количеством подвижного алюминия в некоторых почвах Сибири и ростом 5—8-летних деревьев кедровой сосны (кедра сибирского). Профессором Прусинкевичем в Польше отмечено отрицательное его влияние на сосну обыкновенную [71].

Водород порождает кислотность почв и может разрушать кристаллические решетки минералов. Это приводит к распаду последних в почве, выносу продуктов распада водными потоками и обеднению почвы. При этом кислая, промываемая почва начинает белеть, верхние ее слои становятся похожими на золу, приобретают ее цвет и неустойчивость структурных форм. Почва, как говорят, оподзоливается, в ней развивается подзолообразовательный процесс. Нарастает бедность почв, кислотность становится еще более сильной, не переносимой

многими растениями. Жизнь на такой почве начинает замедляться. Даже резко снижается численность микроорганизмов. В начале Великой Отечественной войны, когда не доставало ваты на стерильные подушки, применяли белый мох-сфагнум. Этот мох растет на очень кислых почвах и настолько стерилен, что даже мог заменить вату в походных госпиталях.

Такая стерильность не способствует повышению почвенного плодородия, поэтому большое внимание уделяется известкованию кислых почв, которых в Советском Союзе не менее 35 млн. га (речь идет только о пахотных землях, а вообще кислых почв у нас во много раз больше: ведь почвы тайги и даже смешанных лесов практически, за редким исключением, все кислые). Известкование в лесных условиях можно заменить вводом в насаждения лесобразующих пород с высокой зольностью опада.

Наконец, о натрии. Ион натрия чрезвычайно подвижен, приводит к появлению неоседающей мути в водных растворах, к возникновению так называемой пептизации коллоидов, когда структура почвы распадается и почва легко течет в виде мутной жидкости вместе с движущейся водой. Если вода не имеет стока, почва представляет собой непролазное болото, на котором вязнут даже гусеничные трактора. При сухой погоде такую почву не вскопаешь без кирки и лома.

Земледельцы знают такую почву. Это солонец. Много трудностей доставляют солонцы и солонцеватые почвы не только сельскому, но и лесному хозяйству в зонах лесостепи и степи (севернее солонцы почти не встречаются, поскольку натрий легко вымывается из почвы при менее засушливом климате и при отсутствии вечной мерзлоты).

Многое еще загадочно из того, что является причиной столь резких различий в свойствах питательных элементов при попадании их в плен к почвенным коллоидам. Кое-что из этих различий объясняет теория гидратации ионов. Дело в том, что ионы сами по себе в почвенном растворе не существуют, они обязательно влекут за собой молекулы воды. Ионы большого размера с малой силой притяжения на поверхности атома (например, ионы кальция, магния) сопровождаются небольшим числом водных молекул, а ионы с высоким удельным притяжением (например, ион натрия) буквально окружены ореолом из диполей воды, вследствие чего такой ион не способен сколько-нибудь надежно скреплять почвенные частички. Он наоборот, способствует их разъединению, т. е. распылению, пептизации.

Коллоид, поглотивший ионы натрия с толстыми водными оболочками, имеет менее выраженную способность реагировать с каким-либо другим коллоидом, поскольку силы внешних ионов из-за водных оболочек сильно ослаблены, да к тому же и сил этих мало (меньше носителей зарядов в одном и

том же объеме почвы). Другое дело, когда коллоид насыщен кальцием, имеющим слабые гидратные оболочки. В этом случае и заряд больше и реагирующая способность выше.

Итак, наши «первенственные» в этом звене биокруговорота начинают показывать свое лицо. Их деятельность оставляет определенные последствия в почве, и растениеводы давно научились считаться с этими последствиями.

Текут грязные ручьи по степным и лесостепным балкам и лощинам — это натрий выносятся из почвы и «тащит» за собой органическое вещество и тонкую взвесь почвенных коллоидов. Текут темные, порою черные воды северных рек и ручьев. То последствия «работы» водорода — разрушенные органические и органо-минеральные коллоиды из почвы, где главнейшим почвообразовательным процессом является подзолообразование. Полным соком наливаются пшеница, а в лесопосадках отмечается рост насаждений по лучшим бонитетам на хорошо оструктуренных черноземах — это сделал свое благородное дело кальций, который вместе с гумусовыми веществами создал водопропрочный структурообразующий клей.

Не будем разбирать подробно специфику каждого элемента. Мы говорим сейчас о тех элементах, которыми питаются растения и которые пока что находятся в плену коллоидных частиц почвы. В любую секунду плен может окончиться, и приблизившийся к обменному слою коллоида корневой волосок сразу или через раствор (в основном, через раствор) возьмет ион питательного элемента — навстречу, в тело растения, к свету солнца.

Но существует и другой, более опасный плен; это — химическая поглотительная способность почв, в результате которой элемент питания надолго попадает в оковы химических связей и, таким образом, не сможет быть использован растением.

Особенно это относится к фосфат-иону, т. е. аниону фосфорной кислоты, который необходим растению. Почти на всех почвах страны ион фосфора может химически связываться в трудно доступные для растений формы. На кислых почвах его схватывают свободные гидроокиси железа и алюминия, которые в свежих осадках еще могут частично делиться с корнем растения плененным фосфором, но в застарелом состоянии они держат фосфат-ион поистине мертвой хваткой. На нейтральных и щелочных почвах подвижность фосфора ослабляет кальций. Застарение осадков гидроокисей железа и алюминия происходит при высыхании почв, при повышении температуры. Мало кто знает о том, что, когда после летнего дождя ярко светит солнце, именно в эти минуты, при смене промачивания почвы подсушиванием из-за старения коллоидных систем ослабляется питание растений фосфором. Правда, солнце после дождя летом — это лучшие погодные условия. Оно вносит в процесс

биоциркуловорота больше положительного, чем отрицательного. Но с фосфором дело, действительно, большей частью нелегкое.

Люди частично научились бороться с химическим поглощением фосфат-иона почвой, внося фосфорные удобрения так, чтобы площадь соприкосновения растворимого фосфорного удобрения (например, суперфосфата) с почвой была наименьшей. Для этого надо подать фосфор туда, где корень возделываемого растения возьмет его по-возможности скорей; вот почему на полях и в лесных питомниках часто вносят суперфосфат прямо в посевной рядок, чтобы корешок проростка возделываемого растения сразу попадал в насыщенную фосфат-ионную зону.

Итак, второй тип плена (химическая поглотительная способность) не имеет той полезности, которую имеет первый тип (обменная поглотительная способность). Однако пусть будет лучше любой плен, т. е. пусть у почвы будет солидная емкость (включая и химическую поглотительную способность), чем никакого поглощения. Бесплезность кучи камней или чистого промытого песка всем известна. Другое дело, если на пути питательных элементов в биоциркуловороте встречаются высокеемкие поглощающие слои коллоидных мицелл почвы, растению в этом случае есть откуда черпать дополнительные резервы.

*А если корень иссушится,
не станет дерева, ни вас.*

И. А. Крылов

В ВОРОТАХ ЖИЗНИ

Итак, ионы питательных элементов попали на границу системы «почва—корень». Эта зона так называемой ризосферы (ризос — по-гречески корень, сфера — шар, слой). Начинается звено ризосферных процессов биоциркуловорота.

Корневой волосок плавно обволакивает почвенные частицы и, прожив сутки или немного больше (полагают, что продолжительность жизни корневых волосков, как правило, не превышает одних суток), отмирает. Однако за свою короткую жизнь он выполняет величайшую работу. Раньше полагали, что корневое питание происходит по законам осмоса, т. е. диффузии веществ, когда растворитель (например, вода из почвенного раствора) стремится разбавить более концентрированный раствор в стенках корня и несет с собой растворенные вещества. Сейчас такое объяснение никого не может удовлетворить. Между стенкой корневого волоска, с одной стороны, и почвенным раствором, а также обменными слоями коллоидных частиц — с другой, происходят очень сложные

процессы, которые можно рассматривать, во-первых, как диффузию через перегородку (осмос), во-вторых, как движение жидкого тела на основе законов mass flow — массового потока раствора, когда поведение жидкости при проникновении ее в отверстие зависит от радиуса последнего, градиента (перепада) давления, времени и коэффициента вязкости самой жидкости. Но этим двум теориям сейчас придают мало значения. Осмос не может объяснить быстроты поглощения корнем отдельных ионов, mass flow требует наличия отверстий, а таковых при рассмотрении стенки корня под микроскопом не обнаруживают. Видят обычно стройные ряды клеток, в каждой из которых хорошо заметна сплошная пектоцеллюлозная оболочка (и пектины и целлюлоза являются углеводами). Под оболочкой залегает особый слой, который назван плазмолемой, состоящей из нескольких слоев: белковых веществ, липидов (жироподобных веществ) и снова белков.

Липидный слой обладает высоким электрическим сопротивлением; он как бы сортирует поглощенные ионы и не всякому иону позволяет пройти далее в растительный организм. Белковый слой концентрирует поступившие ионы, причем в этом слое могут находиться вместе, сосуществовать как катионы, так и анионы. Способность коллоида менять знак «плюс» на знак «минус» и обратно позволяет обменивать накопленные ионы на проникающие извне, направлять их как в почву, так и к центру клетки.

В связи с такими особенностями строения стенок корня большое внимание придают теории ионного обмена между растением и почвой и теории обмена ионов на основе активного переноса. По первой из этих теорий ионы активно проникают сквозь коллоидные барьеры стенок клеток, обмениваясь при этом на какие-то иные ионы, которые переходят в раствор. Опыты показали, что есть такой ион, который чаще всего выходит в почвенный раствор и внедряется в обменные слои коллоидных мицелл. Это все тот же известный нам катион водорода. Катионы водорода, оказывается, находятся в избытке на поверхности корневых волосков потому, что корни дышат, т. е. поглощают кислород и выделяют углекислый газ, который, соединяясь с водой, дает угольную кислоту. В свою очередь, будучи нестойкой, угольная кислота быстро распадается на катион водорода и ион HCO_3 (гидрокарбонатный ион). Вот эти-то два иона и являются своеобразным «обменным фондом» корневого волоска. Потребуются катионы кальция, магния, калия и других элементов — волосок передаст в раствор катионы водорода. Нужно станет растению больше фосфора (а фосфор поглощается в виде анионов фосфорной кислоты) — волосок отдаст в раствор скопившиеся гидрокарбонатные ионы и т. д.

Теория обмена на основе активного переноса предполагает, что иону питательного вещества самому «не пробиться» сквозь клеточные мембраны, т. е. полупроницаемые перепонки. Ему помогут в этом какие-то носители — тоже ионы, которые перенесут этот ион через все или некоторые слои оболочки, плазмолеммы и... отпустят, ничего не взяв себе взамен, кроме необходимой порции энергии. Вполне возможно, что эти поистине волшебные носители оказывают незаменимую услугу, без которой переход иона в корень со скоростью в 100 раз и быстрее сил осмоса был бы просто невозможен. Жизнь уподобилась бы замедленной киносъемке — растения питались бы в 100 раз медленнее, а значит, медленнее и слабее развивались, не успевая созреть и дать плоды. Для человека отсутствие таких носителей было бы подлинным несчастьем.

Предполагают, что подобными носителями могут быть ионы или комплексы веществ самих растительных мембран. Вполне возможно, что эти группы переносчиков первично не могут возникнуть без прихода ионов в корень из почвенного раствора.

Таким образом, ионы питательных элементов в зоне ризосферы могут попасть в самые разнообразные ситуации. Они могут проникнуть в тело корня, пользуясь услугами каких-то носителей, могут сами выполнять их роль и на какой-то срок задержаться в корневой стенке, обеспечивая поступление легионов им подобных в сложные лабиринты растительной машины. Они в состоянии также уступить свои места в обменных слоях коллоидных мицелл катионам водорода или анионам HCO_3 или, сбросив с себя гидратные оболочки, предоставить право этим ионам перейти в почвенный раствор. Могут они и задержаться в так называемом свободном пространстве — в пленке раствора, смачивающего поверхность корневых волосков, создавая резерв для обеспечения потребностей растения, ослабляя тем самым напряженность в корневом питании.

И, наконец, ионы питательных веществ, «переступив порог» мембранных перегородок, входят в новое звено биологического круговорота веществ — в звено потребления.

Вернемся несколько назад, чтобы отдать должное самой ризосфере, которая представляет собой интереснейшую зону. Почва в ней, т. е. тот почвенный материал, который можно собрать в радиусе 1—3 мм от растительного корешка, живет своей особой жизнью. В этой зоне ютится огромное число микроорганизмов: бактерий, микроскопических грибов, лучистых грибков-актиномицетов и др., которые, очевидно, помогают питаться и жить высшему растению и получают что-то себе (иначе бы они не концентрировались вблизи корней). Почва здесь в засушливых условиях всегда влажнее. Даже если стоит засуха, если растение с трудом противостоит сухо-

вею, зону своей ризосферы оно почему-то всегда «умудряется» смочить буквально из последних резервов. Ученые до сих пор не в силах до конца понять значение этого явления, зачем из корня подавать воду, если все равно при наступлении засухи, при недостатке воды в почве процесс почвенного питания практически прекращается.

Как животное при любых условиях непременно должно почистить свою шубку, как птица перед тем, как плыть, обязательно должна смазать жиром перья, так и растение в засуху обязательно смачивает зону своей ризосферы. Правда, если корень отмер, соответствующие зоны уже не смачиваются, но в зоне живых корней и у травянистых и у древесных растений это явление не раз отмечали самые различные исследователи, например, Т. Н. Келеберда [по 21]. В чем тут дело? Может быть, капиллярные «мостики», создаваемые корнями, выпускающими влагу, помогают собрать разобщенные островки так называемой «стыковой» (находящейся на стыках между почвенными частичками) воды, почти всегда имеющейся в иссушающейся почве, и этим несколько улучшить водоснабжение организма в трудное время? Может быть, корни дают воду для тысяч и тысяч бактерий и микориз (грибов, пронизывающих стенки корней), чтобы поддерживать их жизнь и получить от них какие-то вещества, с помощью которых можно легче пережить засуху? Ответа на эти вопросы пока нет. Понятнее явление запасаения воды не в ризосфере, а внутри тела дерева, например, в стволе, как у австралийского бутылочного дерева. Ствол этого дерева играет роль своеобразного «верблюжьего горба» в водоснабжении и питании дерева (да, именно питании, ибо австралийскому бутылочному дереву, по-видимому, ничего не стоит увлажнить ризосферу из своих громадных водных запасов и таким путем получить во время засухи из почвы соответствующие количества питательных элементов).

Гораздо яснее второе явление — подкисление ризосферы. Обычно все растения, хотя и в разной мере, подкисляют прикорневую почву, т. е. насыщают коллоиды этой почвы ионами водорода. Это, как мы знаем, способствует убыстрению выхода в почвенный раствор элементов питания, усиливает, как говорят почвоведы, «мобильность почвенной пищи» для растений.

И вот элементы питания, пройдя «ворота жизни» — ризосферу и испытав на себе те сложные процессы, о части которых (и то в основном предположительно) мы рассказали, покидают почву и вступают в новое звено биокруговорота.

*... что бы ни производил сельский
хозяин и лесовод, он прежде всего
производит хлорофилл и через
посредство хлорофилла получает
зерно, волокно, древесину и т. д.*
К. А. Тимирязев.

ЭКСИТОННЫЙ ЭФФЕКТ И ПОЧВЕННОЕ ПИТАНИЕ

Итак, «ворота жизни» — зона ризосферы с ее сложными процессами перехода питательного элемента из почвы в корень — позади. Впереди — мир новых процессов, трансформаций веществ и соединений, новых путей и сложнейших лабиринтов в движении ионов, мир сигналов и команд, поручений и исполнений, мир созидания и разрушения, развития и отмирания, представляющий собой то, что называется растительным организмом.

В биологическом круговороте питательных элементов началось новое и последнее в нашем рассмотрении звено — звено потребления. В нем происходит синтез растениями органического вещества за счет «частных» синтезов основных форм органической материи: белков, жиров, углеводов. Каждый из этих «частных» синтезов представляет собой сложнейший комплекс природных процессов, в которых непременно участвуют элементы почвенного питания и без которых эти процессы не могут протекать.

Характеризуя наиболее общие черты белковой жизни, В. Л. Рыжков пишет: «Если бы надо было коротко ответить на вопрос, какова самая общая характеристика закономерностей строения живых тел, то я бы сказал: повторение и изменчивость. Живые тела построены из повторяющихся частичек, которые на известном этапе могут подвергаться изменениям и затем повторяться в этой измененной форме»¹. В самом деле, жизнь лесообразующей породы начинается всего с одной клетки — оплодотворенной яйцеклетки. В теле взрослого дерева число клеток измеряется единицей с 10—20 нулями.

На 90% и более растение создает себя из элемента, получаемого из воздуха — углерода, соединяющегося в растении с кислородом, водородом и др. Однако, хотя элементы питания, добытые из почвы, и составляют всего несколько процентов веса тела растения, без них растение не может усваивать и «воздушную пищу». Поступающие в результате биологического круговорота элементы почвенного питания (в виде ионов, конечно) включаются в разнообразнейшие процессы клеточного строительства. Они нужны бывают даже тогда, когда растительная клетка еще не начала строиться, когда

¹ Рыжков В. Л. Структура жизни. — Серия «Биология», М., № 7, 1972, с. 3.

еще формируются будущие «командиры» строительных работ — рибонуклеиновые кислоты.

Известно, что полинуклеотиды (так называют конкретные формы существования в клетке нуклеиновых кислот) состоят из фосфорной кислоты, сахаров и азотсодержащих органических оснований — пиримидинов и пуринов. Если в растение из почвы не поступит нужное количество фосфора и азота, не будет редупликации дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), т. е. не получится удвоения молекул того вещества, которое хранит наследственную информацию, столь нужную для клеточного строительства. Прекратятся в связи с этим рост и развитие растений.

Энергетический потенциал ДНК чрезмерно велик. Не случайно в связи с этим в популярных изданиях эту кислоту называют царицей растительной клетки с буйным нравом и необузданным характером. Оказывается, нельзя допускать такого положения, чтобы все участки молекулы ДНК были всегда открыты; на «царском теле» должны всегда находиться своеобразные «оковы». Это достигается тем, что 80—90% нити ДНК заблокированы своеобразной изоляционной лентой, состоящей из белков-гистонов.

Гистоны — сравнительно стойкие вещества, но их силы слабее сил молекул агентов регуляции процессов — фитогормонов, обладающих поистине удивительными возможностями. Вмг расправившись со стоящим на пути гистоном (это достигается почти мгновенной его депротеинизацией, т. е. расщеплением белка-протеина), они открывают соответствующий участок ДНК. Следует мгновенная команда этого участка. Она несет обязательно что-то новое, приводит к тому, что в клетке должна произойти какая-то новая работа, новое природное явление, новый фрагмент строительства или перестройки. Произойдут десятки, сотни химических реакций с выделением или затратой энергии, возникнут новые или разрушатся старые химические вещества. И все это окажется невозможным, если корень не поставит для образования гистонов и фитогормонов ряда макро- и микроэлементов и прежде всего азота.

Работы, пробужденные к жизни командами ДНК, осуществляются в соответствии со сложной иерархической лестницей соподчинения веществ и процессов. И в этих работах без элементов почвенного питания не обойтись. Сигнал ДНК принимается матричной или информационной рибонуклеиновой кислотой (матричная или информационная РНК), для которой также в значительном количестве нужны фосфор и азот.

Расправив и установив спиралеобразные нити и завитки (полагают, что это достигается с помощью специальной опоры — рибосомной РНК), информационная РНК передает принятую команду огромному числу молекул транспортных

РНК. Это своеобразные «грузовики», развозящие по многочисленным цитоплазматическим тоннелям строительные «блоки» к участкам синтеза белковых молекул. Количество их огромно — 300 000 молекул в одной микробной клетке (в клетке высшего зеленого растения их может быть еще больше). Но прежде чем начать массовое строительство, нужно еще создать строительные площадки (рибосомы), станции энергоснабжения (митохондрии), станции улавливания лучистой энергии Солнца (хлоропласты) и целый ряд других «служб» обеспечения массового синтеза белков, жиров и углеводов.

Стоит только иону почвенного питания попасть в растение, как он сразу включается в работу механизмов этого поистине великого созидания. Вот митохондрии, в которых создается удивительное вещество — аденозинтрифосфат (АТФ). Он состоит из азотистого основания аденина, соединенного с остатком углевода — рибозы и тремя остатками фосфорной кислоты. Самое удивительное в этом веществе то, что между атомами кислорода и фосфора возникают так называемые макроэнергетические связи, в которых запасается огромное количество энергии. Эта энергия может высвобождаться и передаваться на другие участки, т. е. посредством этой энергии в клетке можно поддерживать процессы жизненного строительства. Если к этому добавить, что АТФ «умеет» легко перемещаться по всей клетке, становится понятным то огромное значение, которое имеет это вещество для жизненных процессов растительного организма.

АТФ способен поддерживать щедро раздаваемой им энергией самые разнообразные процессы жизненного строительства. Так, при контакте АТФ с глюкозой (процесс фосфорилирования глюкозы) последняя превращается сначала в промежуточное соединение — глюкозофосфат, а затем в сахарозу — ту форму сахара, которая необходима растению, например, «про черный день», если вдруг наступят холода или произойдут перебои со снабжением растительного организма.

Выходит, что без элементов почвенного питания, используемых растениями в годичном цикле биокруговорота, нельзя обойтись и при осенней закалке растений, когда они запасают сахара, и при воспитании у них устойчивости к неблагоприятным воздействиям среды. Все дело в том, чтобы эти элементы были поданы вовремя и в необходимых соотношениях.

В теле растительной клетки питательные элементы могут вовлечься в своеобразные частные круговороты, как функциональные, так и пространственные. Вот элемент попал в так называемый цикл Кребса: превращение пировиноградной кислоты в лимонную и последующее превращение лимонной кислоты через альфакетоглютаровую в щавелевую. Элемент может выйти из этого цикла и участвовать в строительстве

аминокислот, а если он был включен в так называемый ацетил-коэнзим А, то может пойти на построение жиров.

Подобные функциональные круговороты, когда элемент меняет «хозяина» и способен становиться как бы соучастником различных явлений, носителем разнообразных функций, больше касаются углерода и водорода, т. е. таких органоенов, которые имеют непосредственную связь с воздушным питанием растения. Нельзя забывать и об элементах, которые составляют основу почвенного питания растения, — азоте, фосфоре, калии, кальции, магнии, сере и др. Без прямого или косвенного их участия не произойдет жизненного строительства в растительной клетке, останутся «машины-строители» и «кузнечные механизмы», остановится даже главнейший процесс в растении — фотосинтез, который связывает и запасает в растительном организме энергию солнечного луча.

Отмечены и пространственные круговороты веществ в клетке. Еще К. А. Тимирязев [22] писал о круговом движении протоплазмы в клетке, которая, по его выражению, как бы «взбалтывает» клеточное содержимое. Вследствие такого движения облегчается перенос ионов с одного места на другое, перенос энергии с митохондрий на строительные площадки — рибосомы и т. п. Движение всегда, пока есть жизнь, — вот главный девиз живой растительной клетки.

По самым грубым подсчетам, в клетке микроорганизма 10 000 молекул рибосом, 1000 молекул ферментов, 300 000 подвижных (транспортных) РНК, 600 млн. молекул различных аминокислот. Поскольку микроорганизмы — более простые образования, чем высшие растения, надо полагать, такие подсчеты в растительной клетке окажутся еще более впечатляющими. За секунду происходят миллионы разрывов и соединений отдельных связей. Но ведь клетки умеют размножаться, делиться и иногда всего лишь за несколько минут (клетки микроорганизмов). Это значит, что в делящейся клетке за очень короткие сроки должно быть создано вновь 600 млн. молекул аминокислот, 300 тыс. молекул РНК и т. п.

Приведем еще несколько примеров биохимического строительства с использованием элементов почвенного питания. Эти элементы используются в пентозофосфатном цикле окисления глюкозы, попадают в гущу процессов образования пуринов и пиримидинов посредством соответствующих превращений аминокислот. Без этих процессов невозможен нормальный ход превращений углеводов и белков. Синтезируются жиры посредством соединения глицерина и жирных кислот. Мы знаем, что эти вещества содержат в себе силу и энергию не только для растения, но и для животного, для человека, которые потом используют эту часть растения.

Фотосинтетический цикл — сложная вязь процессов, приводящих к образованию органического вещества из углекис-

лоты и воды посредством солнечного луча. Фотосинтез — процесс углеродного питания зеленых растений при помощи световой энергии, поглощаемой пигментом хлорофиллом. В результате фотосинтеза растения из углекислого газа и воды синтезируют органические вещества, выделяя кислород. Создаваемые растениями в процессе фотосинтеза богатые энергией вещества служат пищей для большинства других организмов и делают возможным существование органического мира на Земле. Именно в результате фотосинтетической деятельности растений в прошлые геологические эпохи накопились громадные запасы восстановленного углерода и органических продуктов в виде каменного угля, горючих сланцев, торфа, а в атмосфере появился свободный кислород.

Как же происходит фотосинтез? Чтобы ответить на этот вопрос, надо выяснить, почему именно зеленый лист обладает удивительной, поистине пророческой способностью «красть огонь с неба», т. е. поглощать энергию солнечных лучей. Рассмотрим лист под микроскопом. Перед нами хлоренхима — так называется основная ткань, содержащая зеленые тельца (хлоропласты). Клетки хлоренхимы расположены рыхло и образуют большую часть внутренней ткани листа, имеют толстые стенки, крупные вакуоли. Каждая клетка содержит от 20 до 100 зеленых телец — хлоропластов, которые, как удалось выяснить при помощи современных оптических приборов, бывают круглыми, яйцевидными диаметром примерно 5, толщиной 1 мк. Хлоропласты имеют двойную оболочку, а если при помощи электронного микроскопа заглянуть внутрь этих удивительных «фабрик жизни», взору исследователя представятся многочисленные диски, собранные в стопки. В стопках (или, как их называют, гранах) слои белковых молекул чередуются со слоями молекул хлорофилла и некоторых других пигментов.

Остановим внимание на хлорофилле. Известно, что именно он является тем веществом, которое в основном обеспечивает фотосинтез. Это его К. А. Тимирязев назвал «исходной точкой всего того, что мы разумеем под словом жизнь». Это о нем Дарвин сказал: «Хлорофилл — это быть может самое интересное из органических веществ» [по 65, с. 229].

Структура хлорофилла в основном уже раскрыта. Многие ученые сравнивают его молекулы с головастиком, имеющим длинный хвост. «Голова» состоит из четырех пиррольных колец, в центре которых находится атом магния, связанный с четырьмя атомами азота. Пиррольные кольца представляют собой систему с чередованием двойных и простых связей по кольцу. Это значит, что система содержит подвижные электроны и для ее возбуждения достаточно лишь небольшого количества энергии. В качестве «хвоста» в молекуле хлорофилла выступает спирт фитол, состоящий из 20 углеродных атомов.

Хлорофилл обладает способностью поглощать лучистую энергию Солнца с максимумами поглощения в фиолетовой и дальней красной областях спектра.

Сравнительно недавно среди молекул хлорофилла был обнаружен пигмент, поглощающий свет строго определенной длины волны (700 нм), его обозначили P_{700} . Полагают, что это специализированная форма хлорофилла и что именно он (P_{700}) ловит кванты энергии возбуждения, называемые физиками экситонами. На каждые 400—450 молекул хлорофилла приходится одна молекула пигмента P_{700} .

Превращение электрона в особое возбужденное состояние — экситон под влиянием фотона солнечного луча — явление еще далеко не выясненное и непонятное, которое обобщенно названо **э к с и т о н н ы м э ф ф е к т о м**. Система, принимающая экситоны, переходит в возбужденное состояние, так как в ней возникает направленный поток электронов. Не всякая система может «ловить» экситоны, хлорофилл же и особенно P_{700} , как мы уже знаем, «умеют» это делать. Проследим, как это происходит.

Вот кванты энергии солнечного луча перевели молекулу хлорофилла в возбужденное состояние, которое может передаваться другим молекулам пигментов при помощи так называемого резонансного переноса. Для этого необходимо, чтобы молекула, находящаяся в возбужденном состоянии, произвела колебание электрона в другой молекуле. Завершается перенос возбуждения, прекращаются колебания электрона в молекуле, и эта молекула переходит в спокойное, или, как говорят, «основное» состояние. Вторая молекула при этом возбуждается. Процесс передачи энергии необратим; часть электронной энергии при таком переносе теряется.

Возбуждение передается к фотоактивному центру, или, как его называют, хлорофилл-ловушке. Это вещество способно отдавать электрон, а образуемая при этом по законам физики электронная «дырка» заполняется новым электроном от поступающей в растение воды. Далее через сложные, во многом еще неясные превращения веществ, сопутствующие так называемому циклическому и нециклическому переносу электронов, последние накапливаются в составе двух соединений: НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) и АТФ.

Наконец, произошло самое главное — создались запасы энергии солнечного луча. Однако до конца процесса фотосинтеза еще далеко. Еще только окончилась так называемая «световая» его фаза. Впереди еще «темновая» фаза, в которой запасенная энергия будет высвобождаться. Посредством энергии, заключенной в НАДФ и АТФ, будет восстановлена проникающая через отверстия в листе (устьица) углекислота с образованием углеводов. Одна молекула углевода создается в

результате сложнейших реакций, некоторые из которых повторяются до 12 раз. Однако природа настолько четко отшлифовала механизм этих реакций, что при надлежащих условиях на это затрачивается совсем немного времени. По данным Б. П. Плешкова [66], растение затрачивает на весь цикл превращения углекислоты в углевод всего 3 мин. Многообразны и сложные пути движения питательных элементов по лабиринтам звена потребления в биокруговороте.

Все в мире подчиняется великим законам диалектики: для всякого состояния может наступить его отрицание, а потом даже отрицание отрицания, т. е. в недрах старого процесса возникает зародыш нового явления, которое может в корне заменить предыдущее явление (отрицание предыдущего процесса), и, наконец, последнее может перерасти в свою противоположность. В клетке нетрудно увидеть подтверждение этого великого правила бытия. Представим себе это образно. Вот, в стройном потоке движущихся веществ вдруг «пронеслась» группа ионов, которые вместо того, чтобы «рассосаться» на разных участках, «заклинили» работу какого-то механизма. Команды от ДНК неестественно участились, транспортные РНК едва успевают их выполнять. Для наведения порядка на «теле» ДНК необходимы гистоны со своей могущественной силой, но взять их почему-то негде. Количество транспортных РНК растет: уже не 300 тыс., а миллионы «грузовиков» снуют по цитоплазматическим туннелям, чтобы успеть развозить «строительные кирпичи». Где бы взять РНК-азу? Этот фермент в мгновение ока превратил бы тысячи «грузовиков» в бесформенные клочья! Но взять его почему-то тоже негде. Нарушен, как говорят, обмен веществ. Создаются уродливые, неполноценные ткани. Клетки почему-то делятся с невероятной быстротой. Так растет раковая опухоль, возвещающая о том, что дни растительного организма сочтены. В последние годы ученые научились искусственно создавать РНК-азу. В результате введения ее в организм, возможно, удастся бороться с раком — поскольку РНК-аза ослабит патологическое разрастание тканей вследствие разрушения излишних «грузовиков».

Однако мы взяли крайний случай. Рак растений — довольно редкое явление. Гораздо чаще, а для однолетних растений ежегодно, мы видим процессы естественного старения организма, которые также могут начинаться с уже упомянутых «заклиниваний» нужных и усиления ненужных процессов или неупорядоченности явлений, т. е. нарушения обмена веществ. Вместо того чтобы нормально фотосинтезировать, растение вдруг начинает усиливать «световое дыхание», при котором часть продуктов фотосинтеза сразу же вновь распадается до углекислоты и воды, не успев войти в состав органических веществ. Жухлые листья перестают использовать дары дневного светила, в составе растительных тканей все больше появляет-

ся «фальшивых» молекул, возникших или в результате неправильных команд ДНК, или как результат неспособности «работников зеленого учреждения» доводить начатое дело до конца.

И вот, кружась на фоне осеннего неба, падает на землю золотистый или пурпурный листок. Он возвещает нам о том, что цикл биокруговорота замкнулся и что впереди — всемогущие процессы тления, гниения, ферментативного распада, гумификации и т. п.

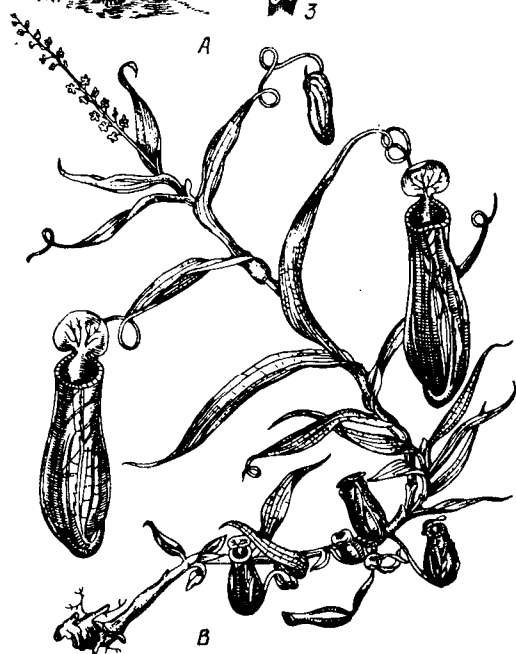
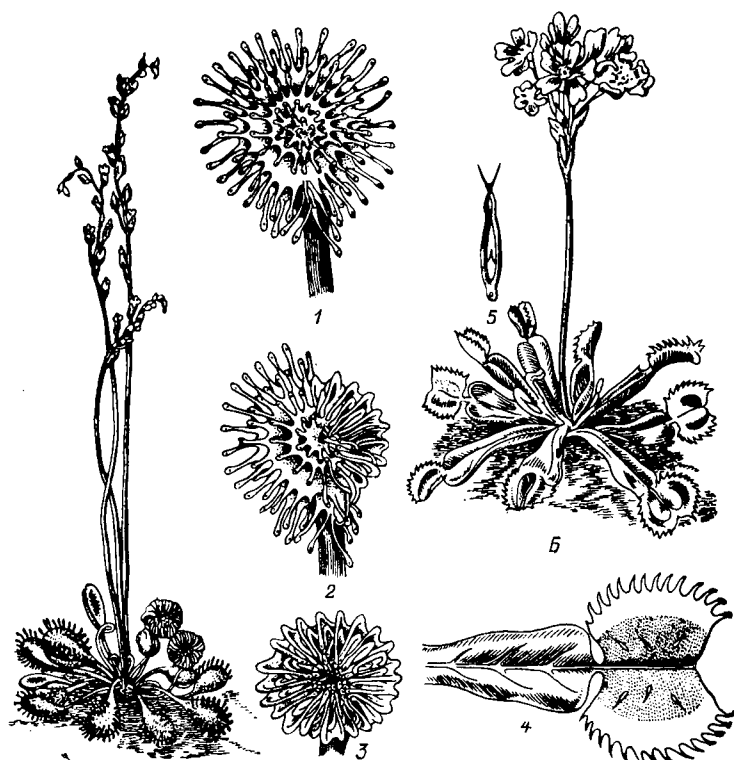
Цикл закончен! Закончим и мы пока свое повествование об одном цикле биологического круговорота питательных элементов между растением и почвой в лесу. Звено потребления вмещает в себя и сложные перемещения элементов питания в лесных биогеоценозах, рассмотрение которых не входит в нашу задачу. Отметим только, что в лесном биогеоценозе существуют сложные трофические цепи, по которым потоки питательных элементов и энергии движутся от растений к травоядным животным, от них к хищникам 1-го, 2-го порядка. При этом



Рис. 12. Мифические представления о трофических цепях обратного типа на примере дерева-людоеда («American Weekly» от 4 января 1925 г., по Э. Меннинджеру)

Рис. 13. Насекомоядные растения:

А — росянка; Б — венерина мухоловка; В — непентес; 1—3 — листья с расправленными и загнутыми железистыми волосками; 4—5 — раскрытый и сложенный разрез листа



действует так называемый закон «10 процентов», т. е. каждый акцептор (потребитель) принимает от донора (съедаемого организма), как правило, не более 10% массы; 90% всего создаваемого в лесном биогеоценозе идет на почвообразование и рассеивание энергии в пространстве. Значит, лес в целом как сложный многокомпонентный организм питается не очень экономно.

Стоит остановить внимание на одном исключительно интересном вопросе проблемы трофических цепей переноса пищи и энергии. Речь идет о так называемых трофических цепях обратного типа, т. е. о потоке веществ и энергии «вспять», в обратном прямым трофическим цепям направлении. Это значит, что хищник 2-го порядка будет съеден хищником 1-го порядка, тот — травоядным животным, а оно — растением.

Это — очередной «парадокс несуществования», которых пока еще так много в биологии. Однако всмотримся в рис. 12. Когда-то всерьез думали, что деревья едят людей. Сейчас в это поверит разве необразованный человек. Но рис. 13 уже никем не будет воспринят как миф: растения, питающиеся насекомыми, широко известны. Значит, трофические цепи обратного типа существуют и при оценке питания некоторых растений не могут быть сброшены со счетов.

Итак, в звене потребления биокруговорота среди бесчисленных процессов, которых мы коснулись лишь в самой малой мере, мы обязаны вновь подчеркнуть значение экситонного эффекта — превращения электронов в экситоны за счет энергии солнечного луча. Это он поддерживает жизнь на нашей планете, обуславливает возможности развития наших лесных биогеоценозов, является движущим стимулом питания, роста, развития древостоев. Это он даст возможность человеку в будущем в искусственных условиях получать дары поля, луга, леса.

*Пользование лесом без умаления
должно быть упрочено на вечные
времена.*

А. Е. Теплоухов

ВДВОЕ ДАЕТ ТОТ, КТО ДАЕТ СКОРО!

Старинная латинская пословица «Bis dat, bis cito dat» (вдвое дает тот, кто дает скоро) свидетельствует о том, что наши предки уже в те далекие от нас времена хорошо понимали значение интенсификации природного процесса. Действительно, количество продуктов труда можно увеличить двояким путем: либо за счет масштабов, либо за счет скорости процесса. Сказанное, очевидно, относится к творческому созидательному труду людей. А как быть с естественными процессами? Подойдут ли эти установки для понимания и оценки сущности

процессов в природных условиях, в лесных экосистемах? Может ли лесной биогеоценоз «работать» интенсивнее или, наоборот, менее интенсивно? Можно ли ставить прямо вопрос об интенсификации природных процессов? А поскольку питание лесного насаждения обуславливается законами биологического круговорота веществ, можно ли прямо говорить о необходимости интенсифицировать биокруговорот питательных элементов в наших лесах, чтобы усилить питание древостоев?

Проблема очень заманчива и, казалось бы, предельно ясно: при интенсивном биокруговороте древостой будет получать в одну и ту же единицу времени, с одной и той же площади увеличенное количество питательных веществ. Усиленное питание позволит ускорить рост, повысить продуктивность насаждений.

Но, к сожалению, эта проблема стоит сейчас пока еще на самом переднем «крае» науки из-за того, что она еще очень трудна не только для практического, но и для теоретического решения. А вдруг высвободившийся в процессе биокруговорота из мертвых листьев, веток и корней питательный элемент не нужен дереву, ибо его и без того много в почве? А что если этот элемент, хотя и очень нужен, но высвободится в тот момент, когда дерево не питается, например осенью, зимой или в летний засушливый период? А вдруг дело вовсе не в питании, а в недостатке влаги, как в наших южных лесах, или в нехватке кислорода, как в заболоченных лесах Севера? Зачем тогда «интенсификация биологического круговорота питательных элементов?»

Таких «вдруг?» ученые ставят десятки, если не сотни. Вот почему многие из современных исследователей и не пытаются ставить вопрос о направленной (т. е. контролируемой и управляемой человеком) интенсификации биокруговорота веществ в лесу. Известный нам исследователь, много и долго работавший над изучением биокруговорота в лесу, С. В. Зонн считает, что к «непонятым» надо отнести не только процесс интенсификации всего биокруговорота, но даже и его главную часть — процесс питания лесных насаждений [20].

Научная мысль все же ищет выход из создавшегося положения, ибо в интенсификации сейчас — пульс жизни, или, как говорят философы, «ритм сущего».

Итак, нужно или не нужно интенсифицировать биологический круговорот веществ в лесу? И всегда ли, во всех ли случаях и во всех ли природных условиях нужно этого добиваться, даже если это явление относится к категории «непонятого»?

Чтобы ответить на этот вопрос, попытаемся «подсмотреть» у самой природы, как обстоит дело с интенсивностью биокруговорота в естественных условиях (табл. 6).

Здесь приведены результаты 12-летних исследований на

Таблица 6

Элемент	Зона	Накопление элементов в дозах годовичного потребления сосняков и дубняков	
		в борах-суборах	в дубравах
Азот	Степь	16—25	2,3—2,4
	Полесье	5—6	2,4—2,8
Фосфор	Степь	6—30	1,3—2,2
	Полесье	3,5—4,0	0,9—2,5
Калий	Степь	3,7—7,3	0,3—0,6
	Полесье	0,7—2,1	0,9—1,8

Украине естественной интенсивности биокруговорота трех главных элементов питания: азота, фосфора, калия. При чем интенсивность оценивали в дозах годовичного потребления этих элементов типичными средневозрастными (50—60 лет) древостоями сосны и дуба. Делали это так. Узнавали, сколько элемента (например, азота) находится в мертвом органическом веществе — лесной подстилке. Заодно с этим определяли, сколько потребляется в год того же элемента сосняком или дубняком. Первое значение (запас в лесной подстилке) делили на второе (годовичное потребление) и таким образом вычисляли, на сколько лет хватило бы запасов элемента в подстилке данному насаждению, если бы оно использовало только собственные отбросы.

Расчеты эти, конечно, очень грубы, но получившаяся разница в цифрах была велика настолько, что расчетами можно было вполне удовлетвориться. Эта разница очень удивила исследователей: оказывается, природа очень жестока. Она затормаживает биокруговорот там, где и без того бедно и голодно, безжалостно копит пищевые богатства в бедных условиях и явно интенсифицирует биокруговорот там, где растению и без того можно утолить свой голод.

Представим себе боровые условия. Бедный, глубокий песок, мизерные запасы питательных веществ, с трудом добытые деревьями за многие годы (дереву на песке в погоне за рассеянными питательными элементами приходится развивать в несколько раз более мощную корневую систему, чем на богатых суглинистых почвах), очень медленно возвращаются в почву. Подстилка здесь явно «залеживается» и может вмещать в себя, как показывает табл. 6, 16—25 и даже 30 годовых «норм» питания сосняка данным элементом в таких условиях.

От 6 до 30 лет питался бы сосновый древостой фосфором только из «своей» лесной подстилки, 16—25 лет — азотом, и не нужно было бы сосне тратить усилия на развитие огромных корневых систем для того, чтобы собрать буквально крохи фос-

фора или азота, рассеянные в малоплодородном песке. Однако биокруговорот в этих условиях не может быть интенсивным, хотя бы таким, как, например, в дубраве, где нужно всего 1—2,5 года на то, чтобы годовая «норма» азота или фосфора вышла из гниющей подстилки «навстречу» корням.

Мы предвидим возражения читателя, хорошо знакомого с лесом, — ведь в дубраве и сосняке совершенно неодинаков разлагающийся материал. В дубраве — быстро гниющая листва, в сосняке — медленно разлагающаяся хвоя. При чем же здесь разница в богатстве почвы и условиях произрастания?

Однако такая разница в природе, к сожалению, есть. Исследованиями выявлено, что у одной и той же древесной породы опад в богатых дубравных условиях (например, у сосны, растущей на богатой темно-серой суглинистой почве дубрав) перегнивает быстрее, чем в бедных боровых условиях, на низкоплодородных песках. Разница в интенсивности биокруговорота на богатых и бедных почвах, если ее измерять по 10-балльной международной шкале, созданной советскими учеными Н. И. Базилевич и Л. Е. Родиным [38], может достигать 3—4 баллов. А если сопоставить леса на заболоченных торфяных почвах, где природа копит элементы питания столетиями, и на соседних, незаболоченных, разница в интенсивности биокруговорота может приближаться к полному объему шкалы.

Да, природа жестока, ее законы суровы, а для нашей страны, большая часть территории которой относится к зоне так называемого критического земледелия, суровость природных законов особенно чувствительна. Отсюда ясен вывод: биокруговорот необходимо интенсифицировать и прежде всего там, где он чрезмерно заторможен. Следовательно, надо суметь измерить, оценить интенсивность биокруговорота и рекомендовать производству мероприятия по его интенсификации.

Но ведь биокруговорот не бывает вообще; речь идет о биокруговороте конкретных химических элементов. А вдруг эти элементы в данных условиях не нужны дереву? Ведь мы помним запреты Радищева — Ваксмана — Уткина, Одума — Ковды, Петрушенко — Дылиса. Действительно, какой прок в интенсификации биокруговорота тех элементов, недостаток которых насаждение не ощущает? Возьмем, к примеру, необходимое лесным растениям железо. Вот результат исследования профессора В. П. Корнева [32] для 50-летнего сосняка на плодородных почвах Брянского лесного массива. Потребление железа в год на 1 га составляет 3,4 кг. В подстилке на том же гектаре скоплено 154 кг. Длительность прохождения одного цикла биокруговорота железа в этих условиях 46 лет. Это еще больше, чем для азота и фосфора (см. табл. 6) в условиях засушливой Степи Украины (там задержки более чем на 30 лет не наблюдалось). Казалось бы, надо помочь сосняку, прове-

сти какие-то меры по интенсификации биокруговорота железа. Профессор Корнев проанализировал почву под тем же сосняком и нашел, что она содержит в корнеобитаемом слое 2,5 т усвояемой для растений формы железа на 1 га, что обеспечивает питание сосняка железом на 742 года. Казалось бы, нет никакого смысла интенсифицировать биокруговорот железа, но ведь не «железом единым» питается растение. В первую очередь ему нужны такие макроэлементы, как азот, фосфор, калий. В данном случае выяснилось, что биокруговорот азота явно заторможен и его надо интенсифицировать.

За словами «интенсификация биокруговорота» стоит нечто большее, чем, например, просто улучшение азотного питания сосны. Суть проблемы не столько и не только в изменении питания насаждения каким-то элементом, а в гораздо большем. Дело в том, что природное явление биологического круговорота веществ обладает особым свойством, которое классик советского лесоведения и лесоводства академик Г. Н. Высоцкий [67] назвал несколько странным словом «пертиненция». Этот термин в переводе с латинского означает «преобразование, активное, направленное изменение свойств чего-либо под влиянием какого-то фактора, какой-то силы.

Как сейчас понимают ученые, процесс биологического круговорота веществ — не только круговращение питательных элементов между растением и почвой. Даже если за «круговращением» элементов не видеть ничего остального, и то легко себе представить, что речь идет о весьма грандиозных природных процессах тления, гниения, транспорта, синтеза веществ с затратой и перемещением огромного количества энергии, бурной деятельности ферментов, о ломке активационных барьеров и т. п. Все это, разумеется, не может пройти бесследно. И следы остаются в виде изменений в органическом веществе и минеральной части почвы, в жизни микроорганизмов и мелких животных, в составе почвенного и приземного воздуха, в составе движущейся в почве влаги и, наконец, в ответной реакции на все это растительных организмов и прежде всего — в их питании.

Интенсивным биокруговоротам в лесу, как правило, сопутствуют многие положительные явления: довольно быстрое перегнивание отбросов, высокая насыщенность почв микроорганизмами, высокий уровень активности ферментов, лучшие качества почвенного перегноя, лучшее питание, рост и развитие растений, больший выход кислорода, более эффективное использование лесом своих защитных функций и др.

Итак, интенсификация биокруговорота питательных элементов непременно приводит к более усиленному изменению окружающей среды, к улучшению условий жизни любого растения, любого насаждения. Недаром советский ученый А. И. Перельман [68] выделил два типа круговорота: прогресси-

ный, который улучшает окружающую среду, и консервативный, ухудшающий ее. Сейчас нет сомнений в том, что прогрессивными являются интенсивные круговороты, а консервативными — заторможенные (например, с отложением торфа, подкислением, оподзоливанием и обеднением почвы и т. п.).

Итак, интенсификация биологического круговорота — дело необходимое и многообещающее; она должна привести к повышению продуктивности лесов и к улучшению свойств окружающей среды.

Разберем условия интенсификации биокруговорота позвено. Для того чтобы усилить, убыстрить процессы в первых двух звеньях (деструкции и ферментативном распаде), нужно увеличить населенность лесной подстилки и почвы микро- и мезофауной и микрофлорой. Нужны добавочные миллионы мельчайших почвенно-подстилочных животных, чтобы усилить измельчение органических остатков, а также добавочная активность ферментов микроорганизмов, чтобы ускорить химическое разложение мертвого органического вещества. Другими словами, нужно улучшить условия жизни мельчайших белковых организмов: нормализовать увлажнение и аэрацию, снизить кислотность или щелочность, если таковые имеются, обеспечить необходимой легкоусвояемой пищей, т. е. проявить практически ту же заботу, что и о высших растениях. Достичь этого можно многими лесоводственными приемами: специальными выборочными рубками, меняющими состав лесообразующих пород древостоя и освещенность под пологом, ворошением чрезмерной лесной подстилки, осушением, известкованием лесных почв и другими приемами.

При слабом измельчении мертвых органических остатков иногда блокируется действие химических веществ, которыми хотят промелиорировать, улучшить лесную почву. В одном из опытов Д. Д. Лавриненко и Е. Ф. Черняк [по 21] в торфяник внесли известковое вещество — мергель, чтобы снизить кислотность торфа и усилить его разложение. Прошло 13 лет, и фотоаппарат запечатлел лежавший в торфе мергель, а лабораторный анализ торфа показал, что действие мергеля распространяется всего на 8—12 см вниз. Ниже этой глубины торф по-прежнему очень кислый и почти стерильный. Микроорганизмы, разрушающие торф, вынуждены размножаться только в верхней дециметровой полосе.

Почему в очень кислом торфе на болоте при сравнительно дождливой погоде не может раствориться известковый материал? Ответ дал анализ физических свойств торфа: высокая его пористость прерывает контакт мергеля с капиллярной влагой. Химическое вещество лежало как бы на воздушной подушке, подвергаясь только воздействию дождей, которые оказались не в состоянии растворить известь за 13 лет.

Это пример отрицательного влияния эффекта воздушной подушки при торможении процессов в первом звене биокруговорота. Чтобы бороться с этим эффектом, при химелиорации надо механически измельчать не только мелиорант, но и поверхностные слои торфа (пускать тяжелую волокушу со штырями или лучше всего фрезеровать торф), т. е. надо довести до конца то, что в этом случае не доделала природа.

В ином свете предстает другой эффект — эффект затравки. Давно установили, что залежавшиеся органические остатки разлагаются быстрее, если к ним добавить свежий, легко разлагаемый растительный материал в измельченном виде (зеленые листья, растительную пыль, тонкие чешуйки). Размножившаяся за счет улучшенного питания микрофлора резко усилит ферментный потенциал данного субстрата, и это приведет к ускорению процесса гниения. Лесоведам-практикам давно известен этот эффект при разбрасывании свежих порубочных остатков по слежавшейся подстилке. Американские исследователи Арсад и Гидденс [69] установили, что в результате внесения измельченных, перемешанных с землей стеблей и листьев сои эффект затравки ощутимо действовал 22 дня на супесчаных почвах и более 100 дней на суглинках, причем попеременное высушивание-смачивание резко усиливало этот эффект, но в основном только на легких почвах.

Итак, эффект воздушной подушки может пассивировать некоторые стартовые процессы в цикле биокруговорота, эффект затравки — резко активизирует и убыстряет процессы разложения мертвого органического вещества.

Эффект затравки еще ждет своих исследователей. Мы еще очень мало знаем, кусочками ли листьев или других органов и каких растений можно существенно ускорить разложение слежавшейся подстилки в хвойных древостоях, в каких типах леса это явление выражено сильнее, в каких — слабее. Еще совсем не изучено явление дислокации ферментных систем в биогеоценозе. Оказывается, почвы наших лесов исключительно пестры по ферментному потенциалу: наряду с «пятнами» бурной активности ферментов существуют зоны почти нулевой их активности (это как бы пятна жизни и омертвления).

Общая продуктивность древостоя очень сильно зависит от того, каких пятен больше; разумеется, чем больше пятен омертвления, тем ниже производительность насаждения.

Приведем примеры. В таежном лесу на заболачивающейся почве микроорганизмы и корни живут в основном по микроповышениям. Только по ним и возможна жизнь подроста или посадка лесных культур. Здесь могут нормально протекать процессы второго звена биокруговорота. Микропонижения на большую часть вегетационного периода залиты водой,

и жизненные процессы, если заболачивание прогрессирует, все более ослабляются.

В искусственном лесном насаждении зоны степей на каштановой почве, наоборот, «пятна жизни» — в основном в микропонижениях. Микроповышения, если они не прикрыты надежной лесной подстилкой, в период засухи все более представляют собой зоны ослабленной внутрипочвенной жизни с весьма слабым ферментным потенциалом. Ученые МГУ даже разработали особый способ облесения светлокаштановых почв путем посадки дубков только по микропонижениям.

Такую неоднородность внутри лесного биогеоценоза Н. В. Дылис [70] назвал парцеллярностью и микропарцеллярностью. Лесоводу, особенно когда речь идет о неблагоприятных для леса условиях среды, приходится считаться с этим явлением, парцеллярность хорошо обнаруживается различиями в дислокации ферментных систем, от которых зависит интенсивность биокруговорота в лесном биогеоценозе в целом.

Законы 3-го звена — звена мезомерии требуют, чтобы человек не допускал серьезных диспропорций в соотношении образующихся в подстилке и почве веществ, а также чрезмерных потерь питательных элементов и накопления токсичных веществ, от которых могут страдать растения. Токсические вещества чаще всего образуются при замедленном разложении мертвых органических веществ из-за избытка влаги и недостатка в связи с этим кислорода. Возникают ядовитые масляная и пропионовые кислоты и некоторые другие недоокисленные вещества. Меры борьбы — усиление аэрации, удаление избытка влаги.

При оценке потерь питательных элементов чаще всего речь идет об азоте. Этот элемент, освобождающийся в процессе разложения органических остатков, может улетучиваться в атмосферу в виде аммиака или газообразного азота. Чтобы его удерживать в почве, нужно поддерживать затененность поверхности (лесоводы издавна стремились к созданию хорошо сомкнутых насаждений), применять некоторые химические вещества, подавляющие чрезмерную активность некоторых ферментов микроорганизмов (например, серебряную воду и др.).

К наиболее серьезным диспропорциям, которые приносят невзгоды лесоводам, относится избыточность нитратов, но не на всяких почвах, а в основном на осушенных болотных. Здесь могут накапливаться нитраты в количестве многих десятков и даже сотен миллиграммов на 1 кг почвы, что ведет к буйному росту, осенней недозакалке и последующей гибели растений. Свидетельством тому были тополевыи кладбища на некоторых осушенных торфяниках. Бороться с избыточной нитрификацией можно, применяя различные ингибиторы жизнедеятельности нитрифицирующих микроорганизмов (метионин,

меркаптан, уретан, уреиды, алкилмеркаптаноаминокислоты и др.). В практике садоводства распространен такой прием, как подсев трав под древесными породами, чтобы густо разросшаяся трава перехватывала кислород в поверхностных горизонтах почвы и этим подавляла жизнедеятельность бактерий-нитрификаторов.

В звене гумификации очень важно способствовать процессам образования «сладкого» гумуса — мулля, который в отличие от «кислого» (грубого) содержит в своей основе гораздо больше высокопитательных гуминовых кислот и гуминов и меньше фульвокислот. Подрост лесообразующих пород на почвах с гумусом муллевого типа лучше развивается, активнее использует освещение. На кислом гумусе, по данным Бьеркмана [по 21], даже усиление освещенности всходов сосны от 12 до 49% не смогло заставить их расти быстрее.

В звене почвенного поглощения ионов элементов нормальный ход процессов может быть заторможен по многим причинам, и в том числе в результате высокой плотности, щелочности, кислотности, засоленности, оглеенности почвогрунта. С этими вредными природными факторами борются разрыхлением, подкислением, известкованием, рассолением, осушением почв.

В звене ризосферных процессов большую роль играет умение корневых систем растений «собрать» пищу и влагу с больших объемов почвы. Чтобы этому помочь, нужно усилить микоризообразование на корнях деревьев, искусственно заразить микоризой (грибным мицелием) нелесную почву. У микотрофных, т. е. питающихся через микоризу, пород емкость потока элементов в зоне ризосферы, как правило, выше, чем в тех же условиях для тех же, но не микотрофных растений. Поддержание оптимальных условий в зоне ризосферы, хорошая аэрация, нормальное увлажнение, отсутствие большой кислотности, щелочности, вредных соединений — это также условия интенсификации биокруговорота.

Польский ученый Збигнев Прусинкевич [71] установил, что подвижный алюминий ортзандов (железистых прослоек в песчаных почвах) отрицательно влияет на корневую систему и вследствие этого на питание сосны азотом и магнием. Внесение в таких условиях азотно-магниевых удобрений может улучшить рост и развитие лесных культур.

В звене потребления больше всего возможностей воздействовать прямо на растение, изменить его питание. Основная цель, конечно, — интенсифицировать питание лесного насаждения, усилить потребление, так как при малом потреблении, низком «аппетите» хорошего роста, высокой продуктивности лесного сообщества не обеспечить. Но не о всяком потреблении идет речь. Необходимо сбалансированное, гармоничное потребление всех необходимых питательных элементов

при должной обеспеченности растения водой, воздухом, светом и в первую очередь, конечно, теплом. Все это необходимо подать вовремя, иначе даже большие количества элементов почвенного питания растения, высвободившиеся в результате повышенной интенсивности процессов в предыдущих звеньях биокруговорота, окажутся бесполезными.

Познакомимся еще с одним термином — РРС — резистентно-релаксационной способностью лесного биогеоценоза (от слов резистентность — способность противостоять чему-либо и релаксация — восстановление утраченных свойств). Это понятие объединяет бесчисленное множество свойств растительного сообщества, зависящих и от наследственных свойств организмов, и от воздействия соседей, и от степени приспособленности организма, сообщества к условиям среды, и других причин, совокупный результат которых проявляется в том, что каждый лес, каждый древостой умеет по-своему бороться с теми невзгодами, которые обрушиваются на него в течение всей жизни.

И если бы жизнь леса не представляла собой сплошную борьбу с трудностями, наши лесные красавцы — деревья и кустарники — были бы, наверное, совсем иными.

В процессе борьбы за существование у каждого лесного сообщества — ценоза (от греческого слова «ценос» — общий) выработалась своя РРС. Одно насаждение способно долго сопротивляться вредным воздействиям среды, а по их окончании быстро восстанавливать утраченные в борьбе свойства. Такое насаждение обладает высокой РРС. Другое насаждение с низкой РРС может погибнуть даже тогда, когда его, образно выражаясь, всего «чуть тронули». Примером особо высокой РРС служат насаждения бамбука. Под варварскими бомбежками во Вьетнаме бамбуковые рощи, будучи сравнены с землей, уже через 2—3 недели восстанавливались настолько, что полог их смыкался.

Выяснилось, что РРС самым тесным образом связана с типом питания лесного насаждения, а значит, с типом и с особенностями биологического круговорота веществ. Следовательно, интенсифицируя биокруговорот, мы обязательно затрагиваем РРС насаждения, а значит, «святая святых» всего лесного биогеоценоза — его способность сохранять свое постоянство, устойчивость. Вот, что из этого получается. Исследователи решили интенсифицировать биокруговорот в лесу, изменив наследственные качества дерева. В Сумской обл. вместо сосны местного происхождения посадили сосну, привезенную из Дармштадта. Полагали, что чужеземка будет интенсивнее питаться, лучше расти. Оказалось, что наследственность дармштадской сосны приспособила организм растения к строго определенному соотношению питательных элементов в восходящей ветви биокруговорота. Почва же и климат Лесо-

степи Украины, где была посажена эта сосна, не смогли обеспечить такое соотношение элементов питания, и сосна приобрела ясно выраженные уродства: размягчение тканей ствола, неумение вследствие этого нормально держать собственную крону. Такие уродцы, конечно, не смогли обеспечить насаждению высокую РРС, культуры из сосны дармштадского происхождения в Сумской обл. себя не зарекомендовали.

Когда резистентная способность насаждения оказывается равной нулю, лес погибает. Это может произойти в результате пожара, подтопления или другого какого-либо сильного воздействия. В первом случае лес обычно восстанавливается (релаксирует), но приобретает другие, как правило, ухудшенные, качества. Во втором случае, пока уровень воды не снизится, древостой не восстановится.

В природе бывают случаи, когда смерти еще нет, а лесные насаждения влачат жалкое существование.

Например, таежный лес на болоте. Не надо думать, что у этого насаждения слабая РРС, наоборот, она очень высокая, ибо в таких тяжелейших условиях не всякое насаждение может выжить. Причина всех бед: сильная заторможенность биокруговорота в почвенных звеньях, превращения веществ из-за избытка воды и недостатка воздуха. Осушение способно кардинально поправить дело.

Мы рассмотрели примеры, в которых нет противоречия логике: ухудшается жизненное состояние дерева, ухудшается его питание — стремятся к нулю уже известные нам параметры из системы оценки питания древесного организма и лесного насаждения. Но вот случай, когда приходится давать противоположную оценку. Фикус баньян, завоевывая территорию, создает множество дополнительных стволов (воздушные корни, прекрасно справляющиеся и с обязанностями по опоре кроны). Польский ученый Казимир Сухецкий [72] показал, что для дерева и насаждения в целом совершенно не безразлично, как и когда крона дерева завоеует жизненное, или, как он выразился, экологическое, пространство. Какой химический элемент при этом имеет первостепенное значение, можно узнать определив уже известный нам параметр μ (мю). Чем он больше, тем значительнее роль соответствующего элемента. Но в данном случае все наоборот. Баньян тем успешнее будет завоевывать экологическое пространство, чем больше у него будет столбикорней. Тогда будет увеличиваться знаменатель дроби, посредством которой вычисляется коэффициент μ , и, следовательно, сам параметр будет уменьшаться. И мы обязаны в данном случае мыслить наоборот: чем меньше μ , тем успешнее развивается баньян, тем выше жизнеспособность баньяновых рощ.

Влияние соседа очень часто сказывается на питании древесного организма, а следовательно, и на РРС всего насаж-

дения. Недаром выборочная рубка леса всегда была в руках лесовода мощным средством воздействия как на дерево, так и на насаждение в целом. Отсюда вывод: умелые рубки ухода за лесом — мощное средство интенсификации биологического круговорота веществ в лесу.

Мы не будем сейчас касаться многих профессиональных тонкостей этой проблемы. Если говорить в самом общем плане, «соседство» несет растительному организму три типа влияния: положительное, помогающее питаться, расти, развиваться; отрицательное, подавляющее важнейшие жизненные процессы, и нейтральное, или индифферентное. Отрицательное воздействие легко прослеживается в системе «хозяин-паразит», когда процессы питания растения-хозяина затруднены из-за растения-паразита, тесно контактирующего с ним. Бывает, что непосредственного контакта нет, а питание растения резко ухудшается от появившегося недоброжелательного соседа. Так, профессор М. В. Колесниченко [73] наблюдал резкое и быстрое ослабление фотосинтеза у молодых дубков даже в том случае, если в камеру, где они находились, вносили свежесрезанные ветви ясеня обыкновенного. Причина заключалась в летучих веществах неразгаданной природы, способных в короткое время остановить или ослабить процессы питания другой породы, даже если между растениями нет непосредственного контакта.

Принцип максимального соответствия насаждений условиям среды, являющийся необходимой гарантией нормального их питания, отражается в трудах многих исследователей и находит свое воплощение в мероприятиях по специализации лесохозяйственного производства и лесовыращивания, разработанных академиком А. Б. Жуковым [74], и в новой, основанной Л. К. Поздняковым и А. Б. Жуковым, научной отрасли — лесном ресурсоведении. Одна только специализация лесовыращивания позволила бы интенсифицировать биокруговорот питательных элементов в наших лесах на больших территориях. Там, где она уже имеется, необходима дальнейшая интенсификация биокруговорота при помощи соответствующих мероприятий.

Итак, старинная латинская пословица вполне реалистична. Интенсификация биокруговорота жизненно необходима лесному хозяйству. Однако в этой проблеме одинаково важны как меры по активации полезных процессов в цикле биокруговорота, так и меры по пассивации или пассиваторству, по терминологии С. В. Зонна [20] — торможению вредных процессов, препятствующих оптимальному ходу процессов в том или ином звене биокруговорота. Нельзя забывать и о важности мер сохранения всего того, что создал биокруговорот в лесу. Только такими путями можно решить эту важную народнохозяйственную проблему.

*Если двое делают одно и то же,
то это уже не одно и то же.*

Теренций

*Теология — дама, без которой
не может прожить ни один биолог,
но с которой, однако, он стыдится
появиться в обществе.*

Дэвис

АГРОТЕОСОФИЯ ИЛИ ФИТОТРОФИЯ!

Высокая степень сложности природных явлений, из которых складывается и которые обуславливают процесс питания растения, слабая изученность элементарных процессов в цикле биологического круговорота питательных элементов между растением и почвой в растительных сообществах не раз приводили исследователей к неверным выводам. Это давало и продолжает давать по сей день повод всякого рода кривотолкам, неверным спекулятивным оценкам, которые ловко используются всякого рода дельцами от науки и прежде всего — теологами.

Говоря о том, как питается лес, учитывая всю ту сложность природных явлений, из которых складывается процесс питания древостоя в биологическом круговороте веществ, нельзя обойти молчанием и те неправильные современные воззрения на почвенное питание растений, которые иногда встречаются в зарубежной литературе.

На Западе получила распространение лженаука — агротеософия, объединившая в себе противников химизации и научно-технического прогресса в растениеводстве. В наши дни, когда научная общественность всего мира признала необходимость бороться со всякими видами загрязнения биосферы и с нарушением природного равновесия, разоблачить эту лженауку особенно необходимо. Ведь отправным положением этой лженауки является вера в регулирование природной среды, процессов питания растения посредством не известных и не подвластных человеку сил, т. е. божеством. В связи с этим и «мнение» растения, как объекта не говорящего и обеспечивающего надежность дальнего прогноза, агротеософы объявляют «вещью в себе» и отрицают необходимость химических анализов почвы и растений, отводя решающую роль «созерцанию духовными очами», т. е. не чему иному, как только интуитивному мышлению человека, всецело полагающегося на бога.

Родоначальником агротеософии является некто Рудольф Штейнер [по 60], написавший такие мистические опусы, как «Очерк тайноведения» или «Как достигнуть познания высших миров». Одним из активных продолжателей этого учения стал английский агротеософ Альберт Говард [по 60], издавший

книгу «Земледельческий новый завет». В этой книге некоторые полезные практические советы обильно переслаиваются магическими заклинаниями. Так, органические компосты, по Говарду, надо готовить по особому индарскому способу с обязательными заклинаниями, которые де не проходят бесследно, поскольку основаны на давней народной мудрости.

Известный уже нам Кервран, к гипотезе которого мы отнеслись достаточно учтиво при рассмотрении 1-го запрета в учении о биологическом круговороте веществ, при ближайшем рассмотрении оказывается также агротеософом. Он «учит», что благодаря «трансмутации ионов в биологической среде» под влиянием ферментных систем растений и микроорганизмов в ризосфере образуются практически все нужные элементы пищи: углерод и кислород образуют кремний; кремний и углерод дают магний; из углерода может возникнуть и азот. При этом природа возникшего (трансмутированного) элемента совсем иная, чем природа азота химического удобрения. Поэтому нет смысла вносить химические удобрения, поэтому прав А. Говард, который писал: «Медленное отравление жизни почвы искусственными удобрениями одно из величайших бедствий, выпавших на долю сельского хозяйства и человечества» [60, с. 235]. Поэтому прав Питер Лори, который писал: «Удобрения, по всей вероятности, приносят больше вреда окружающей природе, чем пестициды» [по 60, с. 237].

Отрицавшие пользу химических удобрений агротеософы не раз получали отпор и от коллег в своих собственных странах, и от иностранных исследователей. Подвел итог этому спору В. Д. Панников: «...если изъять употребление минеральных удобрений из земледелия Западной Европы, то его продуктивность, как минимум, упадет в 4—5 раз, и в этих районах разразится небывалый голод» [60, с. 236].

Слабо критикуют агротеософов в их оценке питания растений. Здесь им пока еще есть где разгуляться. Тот же Кервран [по 54], например, утверждает, что различие в природе «трансмутированного» и химического (привнесенного с удобрением) питательного элемента современная наука еще не умеет познать. И если ученые не могут отличить их друг от друга, тем хуже для них, для науки.

Химический элемент, как давно известно, всегда остается самим собой, даже если он имеет изотопы. Самими собой остаются и все природные явления, процессы. «Природа всегда остается сама собой, — писал Линней, — хотя нам часто кажется из-за неизбежной скудности наших наблюдений, что она себе противоречит»¹

¹ Сатклифф Д. Ф. Поглощение минеральных солей растениями. М., 1964, с. 36.

Однако оказывается, что и то, что «давно известно», в свою очередь, сложно. «Свойства данной вещи, — писал Карл Маркс, — не создаются ее отношением к другим вещам, а лишь обнаруживаются в таком отношении»¹. А обнаружение — это чисто исследовательский процесс, процесс умственной деятельности людей. Следовательно, он субъективен. И чем сложнее объект познания, тем ярче выражена эта субъективность. Не удивительно поэтому, что в познании такого сложного природного явления, как питание растения, питание леса, обнаруживается так много субъективного, противоречивого и даже явно неправильного. Слишком сложен предмет исследования и пока несовершенны методы и возможности познания.

В самом деле, в данной проблеме мы имеем дело с белковыми организмами. Число возникающих белков, по мнению Берталанфи [75], составляет 10^{2700} , в то время как число электронов в доступной нам части Вселенной не превышает 10^{79} . Нас интересуют процессы питания белковых организмов, которые характеризуются быстро изменяющимися параметрами, зависят от многочисленных условий. Мы рассматриваем явление биологического круговорота веществ в биогеоценозе, который относится к системам вероятностным, отличающимся от более простых, детерминированных систем тем, что та или иная реакция системы на одно и то же воздействие, при одной и той же ситуации может быть различной.

Биологические системы, к которым относятся наши лесные насаждения, обладают свойством эмерджентности. Эмерджентностью обладает и цикл биологического круговорота веществ в лесном биогеоценозе. Этим термином характеризуют у системы такие качества, которые не наблюдаются ни у одного из ее компонентов, частей в отдельности. Это значит, что в результате взаимодействия частей целого (например, звеньев биокруговорота) само целое приобретает совершенно новые признаки, свойства, качества, которых не было у частей и которые как бы «родились» в их взаимодействии. Берталанфи [75] отмечал, что если система целостная, то $1 + 1$ не равны 2, так как мы еще совсем не знаем, что представляет собой таинственное «и». Не случайно поэтому, что в цикле процессов биокруговорота «вспыхивают» процессы «взрывного» типа (например, эффект затравки, действие минеральных катализаторов, микроэлементов и др.), которые еще более усложняют исследование.

Мы имеем дело со свойством почвы, которое В. В. Докучаев назвал «культурной правоспособностью» [76], Ридольфи — «изумительной способностью к производству урожая» [по 77], а Н. А. Демолон — «производительной силой» [78]. Теперь

¹ Маркс К. Капитал. Соч., т. 1, с. 64.

ни у кого не вызывает сомнения то, что плодородие почвы — продукт эмерджентности биологических систем и что, следовательно, в нем очень много тех таинственных «и», о которых упоминал Берталанфи.

Мы сталкиваемся с трофическими цепями в лесном биогеоценозе, которые характеризуются известным энергетическим «законом 10» и еще со многими сотнями вопросов, на которые пока не получены ответы. Это вполне оправдывает тот факт, что всего каких-нибудь 50 лет назад говорили о деревьях-людоедах.

Мы, наконец, вынуждены признать, что невозможно всегда однозначно интерпретировать результаты своих измерений. Вспомним состояние дел с оптимальным процентом, увеличением влажности в ризосфере погибающего от засухи растения. Не всегда помогает получить ответ и современная техника. Так, сотрудники Института органической химии АН СССР, исследуя при помощи инфракрасной спектроскопии свойства знаменитого мумие, подставили под прибор и порцию рассольника из местной столовой. К великому удивлению исследователей инфракрасные спектры лекарственного препарата и рассольника были поразительно похожи. Опыт не настолько шутилив, как кажется. Он еще более подкрепляет вывод о том, что правильно можно интерпретировать только то, в чем абсолютно уверен. Прибор же может подать исследователю не различающуюся информацию при анализе даже самых различных объектов. Однако это не дает нам права ни унывать, ни поощрять необъективную информацию. Исследователь имеет право говорить о том, чего не знает, только в гипотетической форме. Если известно, что нет «фульватно-гуматных биокруговоротов», то исследователь (в данном случае С. В. Зонн) и не имел права говорить о таком ложном явлении. Если некому «оживлять плазму» (мелкую коллоидальную фракцию почвы), то тот же исследователь не должен был употреблять такие термины, тем более в научной печати. Иначе есть где разгуляться агротеософии.

Итак агротеософия — призрак; ложность этого учения очевидна. Но эта лженаука возникла не на пустом месте. Место, которое она занимает, предназначается для нужной, объективно правильной и полезной науки о питании растений. Такая наука еще не оформилась в единую, отдельные проблемы питания растений изучаются в наше время целым комплексом наук и прежде всего агрохимией и физиологией растений. «Свет идет от сопредельных знаний», а учение о питании растений еще не может получить достаточно света; исследуется эта проблема весьма разноликим контингентом исследователей, которые еще не смогли собраться «под одну крышу» и объединить свои усилия. Чаще наблюдается «тоннельный» путь в развитии наук, когда в каждой научной отрасли возни-

кает все больше и больше специализаций. Это закономерно для современности, но именно это и беспокоит многих ученых: нет консолидации сил по проблемам. Пока нет ее в изучении рассматриваемой проблемы. Агрохимики изучают почвенное питание, но совсем не интересуются воздушным. Физиологи занимаются воздушным питанием, но мало интересуются почвенным. Зависимость питания растений от условий среды призваны рассматривать экологи. Явление биокруговорота питательных элементов исследуется учеными более чем десяти специальностей.

Будущая наука о питании растения должна объединить только по этой проблеме усилия многих специалистов, чтобы отбить у агротеософии последние возможности в оценке «мнения» растения и быстрее, рациональнее решить проблему интенсификации биокруговорота, усиления питания растений в целях повышения их продуктивности. Некоторыми исследователями уже предлагается название этой науки — фитотрофия (от греческих слов фитон — растение, трофе — питание). Предложен фитотрофный метод оценки плодородия почв, т. е. оценки почв по показателям почвенного питания растений. Надо полагать, что лесная фитотрофия усилиями специалистов (агрохимиков, почвоведов, биохимиков, биофизиков, физиологов, лесоводов и др.) сумеет в короткие сроки решить массу запутанных вопросов питания лесных насаждений, на которые бесполезно ждать ответа от агротеософии.

Лесная фитотрофия не будет только теоретической наукой. Любая рекомендация по оценке питания дерева, древостоя, выявлению и устранению причин, порождающих ослабленное почвенное и воздушное питание лесообразующих пород, усилению продуктивного питания лесов на основе глубокого знания соответствующих процессов будет полезна прежде всего в практических целях. А учитывая то, что по особенностям питания можно оценить любое воздействие на растительный организм, на насаждение в целом, будущие исследователи, вооруженные системой (а может быть, системами) оценок питания растений, смогут глубоко познать, «как» питается лес, и обосновать прогнозы его жизнеспособности и продуктивности. Лесоводство будущего, по-видимому, будет твердо опираться на зарождающуюся сейчас науку — лесную фитотрофию.

ПИТАНИЕ ЛЕСА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ БИОСФЕРЫ

«Что Вы думаете об охране биосферы?» — такой опрос населения был проведен в ФРГ. Наиболее важной проблемой 42% опрошенных назвали охрану воздуха, 29% — охрану вод, 11% — ликвидацию отходов, 4% — борьбу с шумом, 8% опрошенных не подозревали о существовании данной проблемы. Ни один человек не ответил, что надо бороться с влиянием загрязнений биосферы на питание леса. Таковы результаты опроса.

В научной литературе, несмотря на большое число исследований загрязнения биосферы, воздействие загрязнений на процесс питания лесных насаждений освещено недостаточно. Эта проблема существует уже давно. В лесу мы видим очистителя биосферы, защитника от всевозможных вредных влияний промышленности на человека, целителя от многих болезней и т. п. Изучение этой проблемы с учетом специфичности того, «как питается лес», требует больших затрат сил и средств.

С каждым десятилетием эта проблема заявляет о себе все более властно: резистентно-релаксационная способность лесных насаждений далеко не безгранична и самым тесным образом связана с процессами питания лесных растений.

Самое типичное загрязнение — выхлопные газы. Процесс почвенного и воздушного питания лесообразующих пород, находящихся в зоне их влияния, не в норме. Пока РРС насаждений в целом еще высокое, видимых изменений в жизни леса не замечается. Однако увеличение концентрации газов приводит к гибели лесного насаждения; сначала погибает древостой, позже — подрост и подлесок. Перед гибелью лесного насаждения срабатывают многие механизмы не только в растении, но и в лесном биогеоценозе, изменяется ход процессов буквально во всех звеньях биологического круговорота элементов питания между растением и почвой в лесу.

В звене деструкции резко ослабляется процесс измельчения мертвых органических остатков из-за уменьшения численности микро- и мезофауны, которая страдает не только от непосредственного контакта с воздухом, но и от самих органических остатков: они накапливают вредные химические вещества. Описаны случаи, когда дождевые черви выползали на поверхность почвы и предпочитали смерть от птиц и иссушения, чем жизнь в загрязненной среде.

В звене ферментативного распада резко ослабляется гидролитическая деятельность ферментов, падает их потенциал, биохимическое разложение мертвого органиче-

ского вещества замедляется. Причина все та же: уменьшение численности живых существ почвенной и подстилочной микрофлоры. По данным Мюллера [по 79], 1 г почвы, подверженной дымовому загрязнению, содержит всего 9 млн. бактерий, в то время как вне действия этого дыма — 52 млн. Многие химические вещества очень долго сохраняются в почве: ДДТ — до 10 лет, гептахлор — до 9, токсафен — до 10, хлордан — до 12 лет после внесения. Легко можно представить, какое снижение суммарного ферментного потенциала обусловят эти вещества за 9—12 лет своего «лежания» в почве, если учесть, что размножение микроорганизмов только за 1 год характеризуется многими сотнями генераций.

В звене реакций догумусового состояния веществ (звено мезомерии) при химических загрязнениях возникают резкие диспропорции в концентрациях и соотношениях различных химических элементов. Во-первых, в нем появляются отравляющие вещества или сильно действующие ионы этих веществ, во-вторых, меняется нормальное соотношение «обычных» продуктов распада. В почвенном растворе появляются ионы сильных минеральных кислот или щелочей, которые не в состоянии нейтрализоваться, возникают недоокисленные токсические соединения органических веществ. Эти вещества, будучи производными ненормального хода процессов в предыдущем звене биокруговорота, еще сильнее угнетают жизнедеятельность микрофлоры, что еще сильнее тормозит интенсивность процессов ферментативного распада.

В звене гумификации также происходит нарушение естественного хода процессов. Задерживается окислительная деполимеризация высокомолекулярных соединений и вполне возможно (в современной литературе прямых доказательств этого пока еще нет) ослабление гетерополиконденсации низкомолекулярных веществ. Главная опасность состоит в том, что гумус является мощным аккумулятором многих химических веществ. Он способен впитать в себя и химические яды и тем самым надолго оставить угрозу дальнейшим процессам (будет ослаблена минерализация гумуса; так как это осуществляется при помощи микрофлоры, последняя гибнет, гумус не минерализуется, почва делается беднее для растений).

В звене обменного поглощения элементов коллоидами почвы меняется соотношение ионов в наиболее важной и активной части почвы — почвенном поглощающем комплексе. В диффузных слоях коллоидных мицелл (см. главу «Коллоидальный плен») может происходить сложнейшая перегруппировка ионов с повышением обменной кислотности за счет ионов водорода и алюминия или щелочности за счет ионов гидроксила (ОН). Почвенные коллоиды под влиянием химических веществ могут изменить потенциал-

определяющий слой, что ведет к совершенно иному заряду в диффузных слоях и к совершенно новым явлениям в обменной поглотительной способности почвы.

В звене ризосферы в результате повышения концентраций вредных ионов происходит нарушение обменных процессов в системе «почва—корень», отчего прекращается рост новых корневых волосков и гибнут уже имеющиеся. Например, в зоне ризосферы сосны обыкновенной концентрация 0,1% фтористого натрия резко сокращает численность корневых волосков, при 2% — нет никакого роста корневых окончаний, функции корневых волосков ненормальны; при 4% наступает общее увядание и смерть корневых окончаний и корневых волосков.

В звене потребления биокруговорота вредные последствия от химических загрязнений особенно явственны — ненормально усиливается либо ослабляется транспирация древесных растений. Процесс дыхания с огромной тратой запасенной при фотосинтезе энергии усиливается и может протекать даже на свету; фотосинтез ослабляется и может приближаться к нулю. Если даже все эти явления выражены только в начальной степени, в питании дерева ощущаются явно отрицательные изменения: происходит чрезмерная трата питательных элементов (даже дефицитных) на единицу создаваемой продукции. Параметр Φ растет буквально как «на дрожжах», организм дерева становится несовершенной системой, так как теряет способность создавать себя с наименьшими издержками.

Расстраивается также гормональная система: разупорядочиваются команды ДНК в клеточном строительстве. Раньше времени могут включаться гормоны старения, и растение, не успев развиться, начнет отмирать.

Исследования лесоводов [80] в районе города Оулу (Финляндия) показали, что газы от завода азотных удобрений поражают сосну и березу зимой сильнее, чем весной. Степень пораженности насаждений сосны и березы снижалась по мере удаления насаждений от завода. На поверхности сосновой хвои обнаружены отложения продуктов выбросов с высокой концентрацией фтора, хлора и серы. Финские ученые не заметили прямой связи между концентрацией этих элементов и интенсивностью фотосинтеза, а ученые ГДР (Фогль, Бертитц, Польштер и другие) эту связь обнаружили [81]. Они установили, что сернистый ангидрид отрицательно влияет на фотосинтез задолго до появления у растений видимых признаков повреждения и что депрессия фотосинтеза вначале полностью обратима. В дальнейшем, если газ продолжает воздействовать, происходит общее усиление дыхания, связанное с реакциями распада и разрушения клеток, а также наблюдаются значительные биохимические изменения в клеточном

соке. Депрессия фотосинтеза становится необратимой, дерево перестает расти, а через некоторое время его организм начинает разрушаться, и оно отмирает.

Оказалось, что деревья могут поглощать и использовать на построение тела не только двуокись углерода, но и окись углерода, т. е. угарный газ. Подсчитано, что лесная растительность «собирает» с каждого квадратного километра от 10 до 120 кг этого вредного газа. Следовательно, выхлопные газы автомобилей могут очищаться при помощи леса от вреднейшей для человека примеси — угарного газа. Тем не менее они вредны для леса, так как содержат много вредных компонентов, в том числе соединения свинца, которыми «освинцовываются» наши леса.

Лишь выделение «чистого» углекислого газа не вредно и даже полезно лесам, ибо без него невозможен фотосинтез. В какой-то мере лесу не страшен и угарный газ. Но выброс сотен, тысяч веществ, которыми современная цивилизация засоряет планету, не может не отражаться отрицательно на нашем зеленом друге.

Таковы функциональные расстройства в лесном биогеоценозе, в ходе процессов цикла биологического круговорота. Эти расстройства приводят к снижению потребления насаждением питательных элементов, диспропорции в их соотношении (а также питательных и «непитательных» элементов), повышению затрат питательных веществ на единицу продукции древостоя, торможению биологического круговорота элементов почвенного питания (недаром некоторые ученые называют этот круговорот не биологическим, а экологическим). Все это настоятельно требует решительной борьбы со всякими видами загрязнений биосферы.

*Живая скорость мысли — это
Богатство главное людей.
Как быстро ни летят ракеты,
А мысли движутся быстрее.*

Петрусь Бровка

*40 лет теории дали человечеству то,
чего не могли ему дать 40 веков
практики.*

К. А. Тимирязев

СТОИТ ПОДУМАТЬ ЕЩЕ РАЗ!

Великому немецкому мыслителю Иогану Вольфгангу Гёте принадлежат слова: «Все разумное давно уже передумано, однако надо постараться подумать еще раз!»¹. Это в те-то, те-

¹ Приходько П. Т. Тропой науки. Новосибирск, 1965, с. 69.

перь уже далекие времена «все разумное передумано!». И притом «давно». В те времена, когда еще не было автомобиля, поезда, радио, когда простой народ светил избы лучиной, — и уже «все передумано»...

Но Гёте прав. Люди и тогда, и на много столетий раньше думали практически обо всем: и о загадочных явлениях природы, и о машинах, и о социальных вопросах, и о том, как вырастить растения. Но отдача творческого потенциала их была различной, она непременно несла на себе следы уровня развития производительных сил общества и производственных отношений людей. Проходили годы, столетия, и люди вновь задумывались над тем же вопросом, той же проблемой. И получали новые результаты, чтобы потом не быть ими удовлетворенными и думать вновь...

Вопросы питания растений были «предметом дум» многих исследователей в прошлом, но только в наши дни их начинают разрабатывать всерьез. Истина познания лежит в споре, дискуссиях, в проверке теории практикой.

Исследователи наших дней начинают всерьез задумываться над словами «интенсификация биологического круговорота», за которыми скрывается образ огромной информационной емкости. Слова «интенсификация биологического круговорота в лесах» уже начинают входить в программы научно-исследовательских институтов.

Интенсифицировать биокруговорот питательных элементов в наших лесах, а следовательно, значительно повысить их продуктивность, жизнедеятельность и многочисленные защитные функции можно, прежде всего борясь с загрязнениями среды. Без этого невозможно говорить об усилении питания растений, поскольку загрязнения пагубно влияют на процессы буквально всех звеньев в цикле биокруговорота.

Интенсифицировать биокруговорот — это значит соединить «аппетит» растения с оптимальной ритмикой биогеоценоза. Лесные биогеоценозы живут в мире ритмов: секундно-минутных, циркадных (околосуточных), сиркадианных (суточных), погодных, периодически-погодных, сезонных, годовичных, многолетних. Они имеют, согласно Ю. П. Бяловичу [82], и неритмичные состояния — «настрои», сменяющиеся «сдвигами».

Человек научится защищать растения в период угнетающей части ритма и мобилизовывать ресурсы биокруговоротного цикла в активирующие периоды ритма. Пока, к сожалению, еще почти ничего нельзя сказать о том, что предпримет человечество для регулирования биокруговорота при влиянии космических ритмов, хотя такая зависимость есть. Так, советский исследователь Н. В. Ловелиус, изучая стволевой срез 807-летней древовидной арчи, найденной Е. В. Максимовым в горах Средней Азии, установил зависимость роста де-

рева от вспышек сверхновых звезд¹. Арча, давшая свой первый побег в 1163 г., пережила три гигантских космических взрыва сверхновых: в 1572, 1604 и около 1700 гг. Измерение годовичных колец показало, что после этих вспышек происходило резкое угнетение роста дерева, которое достигало максимума на 15—16-й год после взрыва и прежний темп роста архи-долгожительницы восстанавливался лишь спустя 30 лет.

Человек научится управлять и солнечными циклами. Каждую секунду в глубинах Солнца 564 млн. т водорода превращаются в 560 млн. т гелия с излучением в виде тепла и света 4 млн. т «расчетного» остатка². Ежесекундно дневное светило дарит нам энергию порядка 2×10^{24} эрг, что в 100 тыс. раз больше современного производства всех видов энергии на Земле. Солнечная активность характеризуется циклами в 11, 22 и 80—90 лет. Деревья, как показали недавние исследования А. А. Молчанова [83], хорошо копируют эти циклы в соотношении приростов ранней и поздней древесины. Есть многочисленные данные о влиянии ритма солнечной активности на многие процессы в других (кроме звена потребления) звеньях биокруговорота.

Будут определены размерность и значение для биокруговорота гравитационных ритмов, люди смогут охарактеризовать так называемую «гравитационную самостоятельность» того или иного растительного сообщества. Дело в том, что к гравитации — силе земного притяжения — у растений, по-видимому, разная степень приспособленности (об этом свидетельствует поведение растений в условиях невесомости). Следовательно, гравитационные силы влияют на разные растения по-разному и, возможно, имеют свои ритмы. О существовании гравитационных ритмов ученые пока лишь только догадываются (например, раз в 179 лет все планеты солнечной системы выстраиваются в одну линию, что, по-видимому, резко усиливает действие гравитационных сил; такое явление произойдет в 1982 г.). Однако как эти ритмы отражаются на биологическом круговороте веществ в лесу, еще совсем ничего неизвестно.

Люди научатся изменять спектральный состав света и, пользуясь специальными тонкими пленками или подсветом, сумеют получать за счет годовичного цикла процессов биокруговорота нужное количество растительной продукции требуемого ассортимента. При этом ожидается усиленная отдача всех ярусов лесного фитоценоза.

Гораздо эффективнее будет борьба с детритными пробками в годовичном цикле биокруговорота (детритом известный эколог Одум [51] назвал мертвое органическое вещество). В

¹ Химия и жизнь. 1975, № 1, с. 103.

² Амальди Д. Вещество и антивещество. М., 1969, с. 254.

биоциркулятор лесного биогеоценоза отдадут свою накопленную столетиями энергию торфа, а из потоков вещества и энергии в круговороте биосферы люди научатся возвращать в почву полей и лесов энергию и питательные элементы, законсервированные в городском органическом мусоре. Эти проблемы также входят в круг интересов фитотрофии.

Исследования показали большую зависимость белковых организмов от магнитных явлений в биосфере, специфики биополя растительного организма, электрических явлений в атмосфере. Поставить эти силы на службу народному хозяйству, реализовав их действие через процессы питания растений, превратить их в надежные активаторы биологического круговорота — задача уже сегодняшнего дня биологической науки.

Лесная селекция обогатит древостой наших лесов «С₄ — растениями», т. е. растениями с более совершенным типом фотосинтеза (может быть, леса будущего будут сплошь состоять из этого типа пород), и поднимет КПД использования солнечной радиации с 0,5—1,0% до 4—5 и даже 16—20%, увеличивая тем самым не только полезности леса, но и всю, по выражению А. А. Ничипоровича, «сумму жизни»¹ на Земле. Методы внутриклеточной хирургии позволят лесным селекционерам соединить дотолем несоединенные между собой виды растений. Ведь осуществилась в сельском хозяйстве 100-летняя мечта агрономов: появилась рженица — устойчивый и подающий громадные надежды гибрид ржи и пшеницы.

Лесные почвоведы научатся оценивать плодородие лесных почв с одновременным определением потребностей насаждений в каждом элементе почвенного питания. Возможности для этого уже в наше время заложены в фитотрофном методе бонитировки лесных почв. Это существенно улучшит земельный кадастр (государственный реестр земель) страны.

Растение и музыка... Эта тема привлекала в свое время еще деда Дарвина который слыл чудачком из-за того, что играл цветам на трубе и уверял окружающих, что они от этого лучше растут. А сейчас в результате многократно повторенных опытов в Индии, США и Канаде стало ясно, что «озвучивание» зерен хлебных злаков приводит к более энергичному кущению и росту хлебов². В докладе на международном конгрессе по садоводству индийский доктор ботаники Паная сообщил о том, что некоторые болезни мимозы проходят от игры на скрипке³.

А музыка в лесу? Это двойное наслаждение людей и улучшение жизненных процессов самого насаждения, повышение его устойчивости к неблагоприятным воздействиям. Все дело

¹ Ничипорович А. А. Фотосинтез и биосфера. 1972, № 6, с. 6—11.

² За рубежом. 1972, № 51, с. 29.

³ Природа, 1965, № 11, с. 26.

в том, какая музыка и как доказать ее роль в лесной экосистеме. Но ведь исследователь будущего — это обладатель совершенно иного, не теперешнего исследовательского оружия. Он будет владеть более сложными и чувствительными системами измерения и оценки, чем те, которыми исследователи пользуются сейчас?

Ближайшие десятилетия должны раскрыть тайну «экситонного эффекта». Экситоны возникают в хлорофилловых зернах, получают энергию от фотона солнечного луча и передают ее на участки строительства белка. Как это делается, понять пока трудно, а когда люди узнают это, они смогут использовать энергию солнечного луча и вне листа растения. Таким образом, исчезнет голод на планете, и вполне возможно, что именно лесные растения будут поставлять человечеству кормовой белок, пусть вначале хотя бы для фуражных целей.

Ученые раскроют тайну симметрии биокруговорота. Ведь, если даже пространство, как мыслят философы, обладает симметрией, то биокруговорот, конечно, тоже имеет ее. Только какая это симметрия: типа карусели, конвейера или клише?

Люди научатся регулировать численность микроорганизмов в почве и дополнительно освещать растения искусственными спутниками Земли, сумеют регулировать аллелопатические (через жидкие и газообразные выделения) взаимоотношения растений и прогнозировать состояние биологических систем по появлению каких-либо веществ подобно тому, как по альфа-фетопротейну согласно открытию Г. И. Абеля [по 84] и других ныне прогнозируют раковые явления в организме. Люди научатся получать из различных веществ, возникающих в процессе биокруговорота, новые полезные препараты: стимуляторы роста, синергиды (соединения, защищающие растения от ядохимикатов) и даже лекарства, которые буквально «валяются» у нас под ногами, возникая в сложнейшем кружеве частных процессов в звеньях ферментативного распада и мезомерии биокруговорота.

Особенно интересна протеолитическая (протеолиз — разложение белков) ветвь в процессах разложения мертвого органического вещества. Здесь могут рождаться бесчисленные соединения амидо-, amino-, имино-, индол- и других производных, которые могут быть и ядрами, и лекарствами, и стимуляторами, и ингибиторами жизненных процессов. Сколько времени «живут» эти вещества в почвах и как их выделить в чистом виде среди сотен тысяч других соединений, в каких почвах и при каких типах биокруговорота их больше или меньше — все это пока ждет своих исследователей.

Недалеко то время, когда на земле будет плановое регулирование процессов биологического круговорота веществ с программированием ожидаемых урожаев, ожидаемой производительности древостоев, когда на смену вялым и малопр-

дуктивным круговоротам придут высокопроизводительные, интенсивные и хозяйственно рентабельные их типы. Недалеко время, когда биокруговорот из чисто «земного» явления станет космическим, ближайшим помощником человека в освоении космического пространства.

А для достижения всего этого, право же, стоит подумать об этой проблеме еще раз. И прежде всего об этой проблеме призваны думать те, кому по роду службы выпала честь работать с многолетними растительными организмами и создавать величественные рукотворные зеленые памятники, т. е. о которых великий Шиллер [по 85, с. 124] сказал:

Нет, ей богу, я считал Вас, лесничих, очень обыкновенными людьми, деятельность которых не возвышается над избиением дичи. Но Вы велики: Вы действуете в неизвестности, без награды, свободные от эгоизма тирании, и плоды Вашего скромного усердия созревают только для далекого потомства. Герой и поэт стяжают суетную славу. Право, я хотел бы быть лесничим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варахсин Ф. Н. Техника для леса. — Известия, 1973, 4 сентября.
2. Вологдин А. Г. Земля и жизнь. М., 1963.
3. Реймерс Н. Ф. Шар жизни — биосфера. — В кн.: Человек и природа. М., 1975, вып. 3.
4. Ковда В. А. Биосфера, почвы и их использование. М., 1974.
5. Акимовский И. И. Занимательная биология. М., 1972.
6. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965.
7. Гробстайн К. Стратегия жизни. М., 1968.
8. Пономарева В. В. Жизнь леса. — Наука и жизнь, 1976, № 7.
9. Мелехов И. С. Лесные ресурсы мира и СССР. — В кн.: Лесоведение и лесоводство. М., 1970.
10. Молчанов А. А. Влияние леса на окружающую среду. М., 1973.
11. Дышловый В. Д., Плехов В. М. Человек, природа. Киев, 1974.
12. Лир Ф., Польстер Г., Фидлер Г. Физиология древесных растений. Пер. с нем. / Пер. Н. В. Лобанова. М., 1974.
13. Редько Г. И. Биология и культура тополей. Л., 1975.
14. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М., 1971.
15. Высоцкий Г. Н. О карте типов местопроизрастаний. Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб., 1904.
16. Рябуха Е. В. Круговорот азота и зольных элементов в свежих типах леса Украинского Полесья. — В кн.: Повышение продуктивности лесов Полесья УССР. Киев, 1967.
17. Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны. М., 1971.
18. Вернадский В. И. Биосфера. Л., 1926.
19. Смольянинов И. И. Проблема оценки лесорастительного эффекта в лесном почвоведении. — В кн.: Почвоведение — лесному хозяйству. Киев, 1970.
20. Зони С. В. Рецензия на книгу «Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов». — Лесоведение, 1971, № 4.
21. Смольянинов И. И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. М., 1969.
22. Тимирязев К. А. Земледелие и физиология растений. Сборник общедоступных лекций. Соч., т. III, 1937.
23. Пастернак П. С. и др. Влияние минеральных удобрений на культуры дуба и сосны. — Лесное хозяйство, 1974, № 12.
24. Гродзинский Д. М. Модели живого и ботаническая бионика. Киев, 1966.
25. Жаботинский А. М. Концентрационные автоколебания. М., 1974.
26. Heinsdorf D. Untersuchungen über die Wirkung mineralischer Düngung auf das Wachstum und den Ernährungszustand von kiefern-kulturen auf Sandböden in nordostdeutschen Tiefland. — Arch. Forstwesen, 15, H. 11/12.
27. Смольянинов И. И. и др. К проблеме оценки почвенного питания древесных пород и лесных насаждений. — В кн.: Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов: Петрозаводск, 1972.
28. Молчанов А. А. Продуктивность сосняков бруснично-мшистых в Прокudinovом бору Московской области. — В кн.: Продуктивность органической и биологической массы леса. М., 1974.
29. Смольянинов И. И., Угаров В. Н. Методические рекомендации по количественной оценке эффективного плодородия почв, почвенной биотифировке на основе показателей почвенного питания растений (фитотрофный метод). Харьков, 1974.
30. Ebermeyer E. Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische statik des Waldbauss. Berlin, 1876.

31. Костычев П. А. Почвы черноземной области России. М., 1949 (по тексту 1886 г.).
32. Корнев В. П. Лесная подстилка, ее строение, формирование и роль в биокруговороте зольного питания и азота в сосняках центральной части подзоны широколиственных лесов. Брянск, 1966.
33. Герасимов И. П. Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. М., 1976.
34. Зонн С. В. Изучение почвы как компонента биогеоценоза. — В кн.: Программа и методика биогеоценологических исследований. М., 1966.
35. Зонн С. В. Биогеоценотический метод и его значение для изучения роли биологических факторов в почвообразовании. — Почвоведение, 1955, № 6.
36. Зонн С. В. Состояние и задачи исследований по проблеме взаимоотношений между лесом и почвой. — В кн.: Тр. Ин-та леса, 1954, т. XXIII.
37. Ремезов Н. П., Быкова Л. Н., Смирнова К. М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М., 1959.
38. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительного земного шара. М.—Л., 1965.
39. Ляпунов А. А., Титлянова А. А. Системный подход к изучению круговорота вещества и потока энергии в биогеоценозе. — В кн.: О некоторых вопросах кодирования и передачи информации в управляющих системах живой природы. Новосибирск, 1971.
40. Кононова М. М., Мишустин Е. Н., Штина З. А. Микроорганизмы и трансформация органического вещества почвы. — Почвоведение, 1972, № 3.
41. Дылис Н. В. Межбиогеоценозные связи, их механизмы и изучение. — В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
42. Зонн С. В., Сапожников А. П., Мусорок Г. Г. Некоторые аспекты изучения почв как компонентов лесных биогеоценозов на примере дальневосточного Приморья. — Лесоведение, 1963, № 3.
43. Зонн С. В. Эволюция почв в лесных биогеоценозах. — Почвоведение, 1963, № 10.
44. Павлов А. В. Круговорот тепла в деятельном слое почвы. — В кн.: Вторая межведомственная конференция по мерзлотоведению. Якутск, 1973, вып. 1.
45. Сехляну В. Химия, физика и математика Жизни. Бухарест, 1965.
46. Вишнякова З. В. Круговорот микрофлоры «хвоя—почва—хвоя» в кедровниках Западного Саяна. — В кн.: Кристаллоносные микроорганизмы и перспективы их использования в лесном хозяйстве. М., 1967.
47. Бродский И. Н. Отрицательные высказывания. Л., 1973.
48. Радищев А. Н. Избр. философские и общественно-политические произведения. М., 1952.
49. Ваксман С. А. Гумус. М., 1937.
50. Уткин А. И. Актуальные вопросы лесной биогеоценологии. — В кн.: Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. М., 1970.
51. Odum E. P. Ecology. New-York—London, 1963.
52. Ковда В. А. Основы учения о почвах. М., 1973.
53. Петрушенко А. А. Самодвижение материи в свете кибернетики. М., 1971.
54. Глазовская М. А. Биогенное накопление и возможные биогенные превращения химических элементов в почвах. — Почвоведение, 1974, № 6.
55. Macfadyen Amyan. The contribution of the microfauna to total soil metabolism. "Soil organisms, 1962". Amsterdam, N—Holland Publ. Co., 1963.
56. Смольянинов И. И., Рябуха Е. В. Круговорот веществ в природе. Киев, 1971.
57. Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. М., 1965.
58. Zdeněk Ambrož. K objasnění původu některých proteáz vyskytujících se

v půdách. — Sb. Vysoké školy zemědělské v Brně. Ročník XIX, s. č. 896, 1971.

59. Мишустин Е. Н., Петербургский А. В. «Биологический» азот в сельском хозяйстве. — В кн.: «Биологический» азот и его роль в земледелии. М., 1967.
60. Паников В. Д. Культура земледелия и урожай. М., 1974.
61. Докучаев В. В. Русский чернозем. Соч., т. III. М., 1950.
62. Prusinkiewicz Zbigniew. Bituminy w próchnicy glebowej. Roczniki gleboznawcze, t. XXI, z. 2, Warszawa, 1970.
63. Смольянинов И. И. Особенности воздействия кедрового сибирского на главные свойства таежных почв (Западные Саяны). — В кн.: Тр. СибНИИЛХЭ, вып. IV, 1962.
64. Тимирязев К. А. Солнце, жизнь и хлорофилл. Избр. соч., т. 1, 1948.
65. Луневич В. В. От Гераклита до Дарвина. Т. 3, М.—Л., 1943.
66. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М., 1968.
67. Высоцкий Г. Н. Учение о лесной пертиненции. Курс лесоведения. — В кн.: Приложение к журн. Лесное хозяйство и лесная промышленность, Л., ч. III, 1930.
68. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1966.
69. Arsjad Sitanala, Giddens Joel. Effect of added plant tissue on decomposition of soil organic matter under different wetting and drying cycles. "Soil Sci. Soc. America Proc.", 1966, 30, N 4.
70. Дылис Н. В., Уткин А. И., Успенская И. М. О горизонтальной структуре лесных биогеоценозов. — Бюлл. МОИП. / Отд. биологии, XIX (4).
71. Prusinkiewicz Z., Kremien K. Toksyczny wpływ wolnego glinu z orsztynowego poziomu bielicy na rozwój sadzonek sosny pospolitej. Roczniki Gleboznawcze 25, nr. 3.
72. Suchecki K. Wilasnienie do "teorii Ekologicznego wjpelnienia przestrzeni i rownanie drzewostanu. — Sylwan, 1964, 108, N 5.
73. Колесниченко М. В. Биохимические взаимодействия древесных растений. Изд. 2-е. М., 1976.
74. Жуков А. Б. Развитие лесоведения и лесоводства в СССР за 50 лет. — В кн.: Достижения лесной науки за 50 лет. Красноярск, 1967.
75. Bertalanffy L. Problems of Life. London, 1952.
76. Докучаев В. В. Избр. соч. Т. II. М., 1949.
77. Смольянинов И. И., Угаров В. Н. Структурно-функциональный анализ биокруговорота веществ в лесном биоценозе. — В кн.: Биогеоценологические исследования на Украине. Львов, 1975.
78. Демолон Н. А. Рост и развитие культурных растений. М., 1961.
79. Parson P. Conserving american resources. New-York, 1964.
80. Navas Paavo. Ilman saasteet uhkaavat metsiamme. — Suomen luonto, 1972, 31, N 2—3.
81. Фогль М., Бертитц С., Польстер Г. Физиологические и биохимические исследования повреждений хвойных сернистым газом. — В кн.: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970, вып. 7.
82. Бялович Ю. П. О кинетике биогеоценоза. — Журн. общей биологии. Т. XXX, 1969, № 1.
83. Молчанов А. А. Изменчивость ширины годичного кольца в связи с изменением солнечной активности. — В кн.: Формирование годичного кольца в связи с изменением солнечной активности. М., 1970.
84. Рубенчик Б. Л. Биохимия канцерогенеза. Киев, 1977.
85. Беляев М. Ф. Лесом призванные. М., 1976.
86. Горбунов Н. И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия. М., 1967.
87. Линькова А. Оскальпированная земля. М., 1969.
88. Криволуцкий Д. А. Животный мир почвы. М., 1969.
89. Боген Г. Современная биология. М., 1970.

СОДЕРЖАНИЕ

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ	3
ЛЕС И БИОСФЕРА	6
МНОГО ЛИ ДЕРЕВУ НУЖНО?	20
ИЗМЕРЕНИЕ — ПУТЬ УЧЕНИЯ	23
БЕЗ ЧИСЛА НЕТ ИЗМЕРЕНИЯ, БЕЗ СИСТЕМЫ НЕТ ПОЗНАНИЯ	36
ЦИКЛ ВЕЛИКИХ НАДЕЖД	42
НЕ РАЗРУШИШЬ — НЕ ВОЗЬМЕШЬ	58
КОГДА РАБОТАЮТ ФЕРМЕНТЫ	61
СЮРПРИЗЫ МЕЗОМЕРИИ	66
В ЦАРСТВЕ ТЭРА	72
КОЛЛОИДАЛЬНЫЙ ПЛЕН	74
В ВОРОТАХ ЖИЗНИ	79
ЭКСИТОННЫЙ ЭФФЕКТ И ПОЧВЕННОЕ ПИТАНИЕ	83
ВДВОЕ ДАЕТ ТОТ, КТО ДАЕТ СКОРО!	92
АГРОТЕОСОФИЯ ИЛИ ФИТОТРОФИЯ?	104
ПИТАНИЕ ЛЕСА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ БИОСФЕРЫ	109
СТОИТ ПОДУМАТЬ ЕЩЕ РАЗ!	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	118