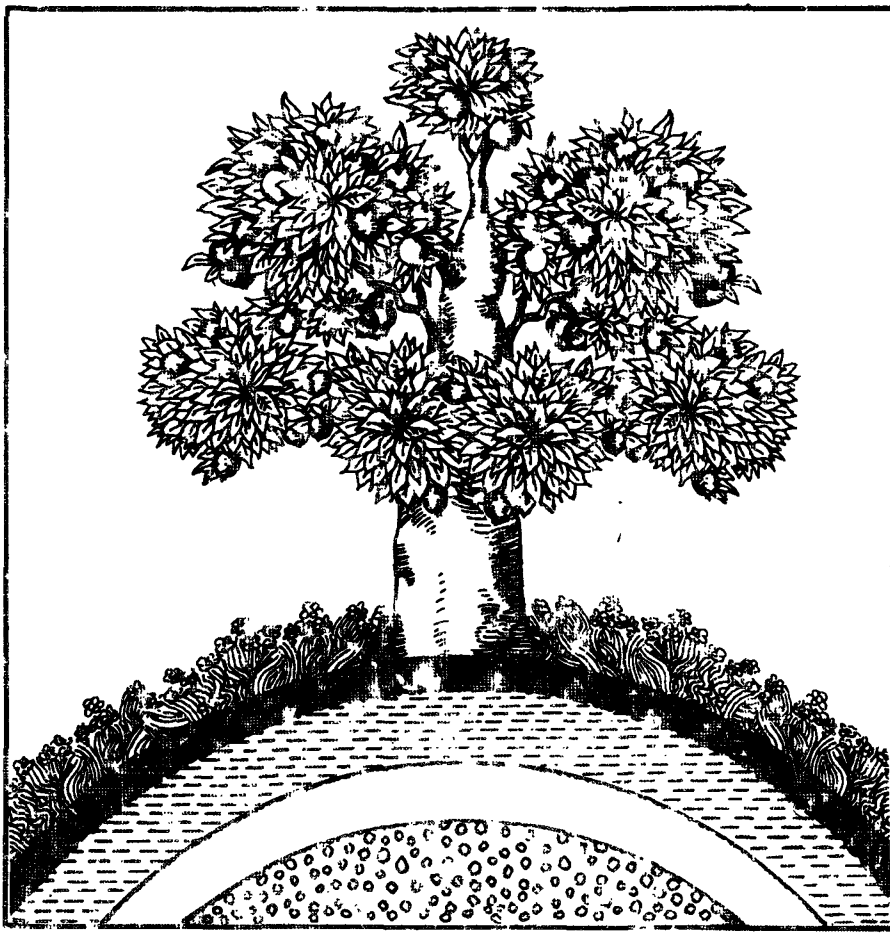
ФУНКЦИИ ПОЧВ В БИОСФЕРЕ И ЭКОСИСТЕМАХ

Г. В. Добровольский
Е. Д. Никитин



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Научный совет по проблемам почвоведения
Институт почвоведения и фотосинтеза

Г. В. Добровольский
Е.Д. Никитин

ФУНКЦИИ ПОЧВ В БИОСФЕРЕ И ЭКОСИСТЕМАХ

(Экологическое значение почв)

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
В.А. КОВДА



МОСКВА "НАУКА" 1990

УДК 504.53+504.7

Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв)/ Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. — М.: Наука, 1990. — 261 с. — ISBN 5-02-003379-0

В монографии дан анализ и теоретическое обобщение проблемы экологических функций почв. Рассмотрена роль почвенной оболочки в формировании и функционировании гидросферы, атмосферы, литосферы и биосферы в целом. Характеризуются основные функции почв в наземных экосистемах. Обоснованы принципы рационального использования и охраны земельных ресурсов с позиций экологического почвоведения.

Для почвоведов, экологов, географов, работников сельского, лесного и других отраслей народного хозяйства, а также аспирантов и преподавателей высшей школы.

Табл. 44. Библиогр. 323 назв.

Рецензенты: *Л.О. Карпачевский, И.В. Иванов*

Редактор *А.А. Фролова*

Analysis of ecological soil functions and theoretical generalization of the problem are given. The role of the soil in the formation and the functioning of the hidrosphere, atmosphere, biosphere on the whole is considered. The main functions of the soil in terrestrial ecosystems are discussed. Principles of rational land resources management and protection on the basis of knowledge of ecological soil functions are grounded.

The monograph is intended for soil scientists, ecologists, geographers, for specialists in agriculture, in forest and some other branches of economy.

Tabl. 44. Bibliogr. 323.

Д $\frac{3702040000\text{-}558}{042(02)\text{-}90}$ 657-90,1 полугодие

© Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1990

ISBN 5-02-003379-0

Значение почв в истории планеты гораздо больше, чем это обычно кажется

В.И. Вернадский

...все, что касается сегодня биосферы, — касается прежде всего почвенного покрова Земли

А.П. Виноградов

ВВЕДЕНИЕ

Современное почвоведение переживает сложный период своего развития. Широкомасштабное и интенсивное изменение биосферы и ее почвенного покрова ставит перед наукой о почве ряд ответственных взаимосвязанных задач, от решения которых во многом зависит успешное преодоление многих региональных и глобальных проблем, которые со всей остротой встали перед человечеством: дефицит продовольствия, сокращение естественных ресурсов биосферы, загрязнение окружающей среды, экологический кризис.

Традиционные исследования почв, много давшие для познания разнообразия их свойств и генетических особенностей, оказалось необходимым дополнить иными подходами и концепциями. В последнее время особую актуальность приобрел функционально-экологический подход, реализация которого позволила разработать новое учение — об экологических функциях почвы, синтезировавшее в себе материалы и исследования, характеризующие проявление двух основных категорий почвенных функций — биогеоценотических и глобальных, и являющееся основой экологического почвоведения. Это учение могло возникнуть благодаря идеям и трудам замечательной плеяды естествоиспытателей: В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, В.Н. Сукачева, Б.Б. Полынова, В.А. Ковды, В.Р. Волобуева, А.А. Роде, В.В. Пономаревой, С.В. Зонна и др.

В настоящей монографии авторы осуществили теоретическое обобщение и анализ проблемы функций почв; ряд результатов этого анализа был изложен ранее в книге "Экологические функции почвы" (Добровольский, Никитин, 1986). Предлагаемая читателю книга в отличие от предыдущей охватывает значительно более широкий круг рассматриваемых вопросов. Бóльшая часть разделов написана заново или существенно переработана и дополнена. Это касается прежде всего глав, посвященных глобальным функциям почвы. Кроме того, появились специальные главы (первая, седьмая, восьмая), раскрывающие историю становления и сущность проблемы экологических функций почв и теоретические и практические следствия ее разработки.

В процессе работы с материалами, использованными в монографии, и подготовки ее к изданию были учтены замечания и пожелания, высказанные В.А. Ковдой, В.Р. Волобуевым, С.В. Зонном, Л.О. Карпачевским, Е.М. Самойловой, И.В. Ивановым, Ю.Г. Гельцером, за которые авторы искренне признательны.

Проблема функций почв в биосфере и экосистемах имеет явно междисциплинарный характер, отражающий одну из важных особенностей почвоведения, на которую обратил внимание еще в начале века известный почвовед А.Н. Сабанин: „Почвоведение более чем какая-либо другая естественная наука имеет, если можно так выразиться, счастье или несчастье состоять в родстве со многими другими областями естествознания. Исследуя действие организованного мира на мир минеральный, изучая образования, являющиеся как бы центром соприкосновения этих миров, почвоведение, само собой разумеется, возбуждает ряд разнообразных взаимоотношений с родственными и соприкасающимися науками о природе"[1].

[1] Труды Первого совещания почвоведов в Москве, 1—3 марта 1907 г. М., 1907. Вып. 1. С. 4.

Глава первая

ФУНКЦИИ ПОЧВ В БИОСФЕРЕ И ЭКОСИСТЕМАХ — ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Изучение функций почв в биосфере и экосистемах, или экологических функций почв, по праву может рассматриваться как фундаментальная проблема экологического почвоведения. Ее зарождение и развитие лучше всего прослеживаются при знакомстве с историей почвоведения в его взаимодействии с родственными науками. Ретроспективный взгляд на науку о почве и ее связях с другими дисциплинами помогает оценить исключительную актуальность и найти пути решения проблемы экологических функций почв, являющейся по своей сути междисциплинарной.

Анализ имеющихся материлов по истории развития знаний о почве (Ярилов, 1905; Вернадский, 1904; Ковда, 1973; Добровольский, 1959; Крупеников, 1981; и др.) позволяет нарисовать обобщенную картину становления проблемы функций почв в связи с общим развитием почвоведения и его взаимодействием со смежными разделами естествознания. Этот анализ дает также необходимые основания считать, что функции почв в биосфере и экосистемах могут успешно изучаться при условии дальнейшего развития экологического почвоведения.

Знания о почве и ее роли в природе и обществе до становления почвоведения как науки. Накопление знаний о почве имеет длительную историю, уходящую своими корнями к первым земным цивилизациям. В Древнем Египте, Китае, Индии, Месопотамии уже много знали о важнейших свойствах почвы, что, несомненно, помогало древнему земледельцу успешно вести хозяйство и правильно понимать особую роль земли в жизни природы и общества.

В ранних представлениях о почве наблюдается стремление рассматривать ее как одно из жизненных начал и, следовательно, как одно из непременных условий бытия. Так, уже в Месопотамии существовало в зачатке учение о четырех исходных элементах, в число которых входили огонь, вода, земля и воздух, а древнегреческий философ Ксенофан (VI—V вв. до н.э.) полагал, что из

почвы "все возникло" и в нее "все обратится в конце концов" (Крупеников, 1981).

Неизбежным следствием отнесения почвы к первоосновам жизни было ее обожествление и поэтизация. Она занимает весьма почетное место в идеологии и художественном творчестве древних. Не случайно, в религии египтян имелись богиня плодородия — Исида, у вавилонян — богиня любви и плодородия — Инанна. У древних греков богиня Деметра олицетворяла землю и связанное с ней производство хлебных и других культурных растений. Земле и пахарю посвящена основная часть поэмы древнегреческого поэта Гесиода (VIII—VII вв. до н.э.) — "Труды и дни". Земледелие и его прославление — главная тема поэмы "Георгики" знаменитого поэта Древнего Рима Вергилия (70—19 гг. до н.э.). Не забыта почва и в поэме "О природе вещей" древнеримского поэта и философа Тита Лукреция Кара (I в. до н.э.).

Особенностью конкретного знания о почве было то, что в нем обращалось прежде всего внимание на взаимоотношения почвы с окружающей средой и человеком. Несмотря на ограниченность и эмпирический характер ранних представлений о почве, в них интуитивным и опытным путем были правильно определены наиболее характерные ее свойства: высокая пространственно-временна́я изменчивость, чуткая реакция на сельскохозяйственные воздействия земледельца, исключительная отзывчивость растений на почвенное плодородие. Эти положения отражены в главных земледельческих и природоведческих трактатах античных авторов — Теофраста, Катона, Колумеллы и др.

Оценивая своеобразие древнего периода накопления сведений о земле, можно отметить, что он отличался целостным философско-экологическим восприятием почвы и, несмотря на эмпирический характер и отсутствие научных наблюдений в современной трактовке этого понятия, многое дал для последующего развития знаний о почве.

В средние века представляения о почве не претерпели существенных изменений. В Западной Европе после длительного забвения была обобщена в XIII в. обширная земледельческая античная литература. Накапливаются новые эмпирические данные агрономического характера. Одновременно благодаря развитию химии делаются попытки проникнуть в тайны почвенного плодородия, закладывается аналитический подход к изучению почвы.

Новый этап в познании начинается в эпоху Возрождения и продолжается до второй половины XIX в. включительно. Одна из характерных его особенностей — дальнейшее изучение отдельных свойств почвы и постоянное расширение экспериментальных ее исследований. Другая существенная черта этого периода — обособление в различных науках самостоятельных разделов, изучающих почвы под тем или иным углом зрения. Кроме земледелия, которое по-прежнему остается главным накопителем эмпирического знания о почве (в основном в сельскохозяйственно-экологическом аспекте), почва становится объектом изучения химии (агрономиче-

ская химия), геологии (агрогеология), биологии (физиология питания растений), экономики (сельскохозяйственная статистика) и др.

Такое расширение интереса к почвенным объектам со стороны многих наук, достигающих значительного развития в XVIII—XIX вв., существенно ускорило накопление знаний о почве и способствовало появлению первых научных гипотез о причинах плодородия почвы, ее происхождении и эволюции. Это, несомненно, сыграло важную роль в последующем развитии новой науки — почвоведения, но одновременно породило ряд сложностей при разработке обобщающих концепций о почве, закономерностях ее формирования и значении в природных процессах. Главным тормозом явилось отсутствие связи между всеми дисциплинами, занимавшимися исследованием почвы. Поэтому не случайно, что по такому кардинальному вопросу: предметом какой науки должно явиться изучение почвы? — нередко высказывались ортодоксальные суждения.

Так, представитель агрогеологической школы Берендт настаивал, что учение о почве — составная часть геологии и, только оставаясь в пределах последней, оно может получить правильное развитие. Биологи, проявлявшие интерес к почве, также, как правило, игнорировали сложную природу почвы. Например, в дискуссии о русском черноземе Ф.И. Рупрехт утверждал, что чернозем представляет вопрос ботанический.

Однобокий подход к почве со стороны представителей отдельных наук, проявляющих к ней интерес, порождал и крайние суждения при решении конкретных узловых вопросов почвоведения. Поэтому, например, агрономическая химия, по справедливому утверждению И.А. Крупеникова, «не вывела понятия "почвы" за пределы пахотного слоя, который казался единственно важным, так как именно он обрабатывался и удобрялся» (1981. С. 130). Это неизбежно порождало одностороннюю трактовку роли почвы в жизни природы и общества, которая все чаще воспринималась лишь как объект сельскохозяйственного труда.

Накопление знаний в период до становления почвоведения как науки имело существенное значение для развития научных представлений о почве, особенно для постановки экспериментальных исследований. Одновременно стала ясна невозможность объективного познания почвы в рамках какой-либо одной из существовавших наук и недостаточность аналитического подхода, получившего широкое распространение в естествознании того времени.

Становление почвоведения и его взаимодействие с родственными науками. Становление почвоведения как особой самостоятельной отрасли естествознания связано с именами великого русского естествоиспытателя Василия Васильевича Докучаева и его последователей как в России, так и за рубежом. В чем же заключается научный подвиг Докучаева? Он состоит прежде всего в том, что ему удалось разрешить возникшие к XIX в. глубокие противоречия в изучении почвы. Сущность этих противоречий заключалась в первую очередь в стремлении объяснить всю сложность почвообразовательного процесса и всю совокупность свойств и призна-

ков почвы с позиций какой-либо одной науки: агрохимии, агрономии, геологии. Находясь на таких позициях, ученые правильно объясняли какую-либо одну особенность почвы, подмеченную опытным путем, но неизбежно впадали в заблуждение, когда переходили к общей трактовке почвы и определению перспектив ее исследования.

Возникало противоборство за почву как объект изучения, например между агрогеологией и агрономией. И.А. Крупеников (1981) отмечает, что "ученые, получившие наименование агрогеологов, в общем резонно считали, что агрономия, не имея права, узурпировала почву как объект исследования, сужая ее трактовку до восприятия лишь пахотного слоя, который тоже исследовался односторонне и утилитарно" (1981. С. 133). Однако в качестве альтернативы выдвигалось предложение рассматривать почву лишь как геологическое образование, а почвоведение считать неотделимой частью геологии.

В.В. Докучаев дал принципиально новое решение данной проблемы, суть которого состояла в трактовке почвы как особого, постоянно развивающегося, естественноисторического тела со своими законами развития и изменения, что предполагало необходимость новой самостоятельной науки, имеющей свой предмет и методы исследования, а также организационную структуру, предусматривающую подготовку специальных кадров, наличие своего печатного органа и др.

Усилиями В.В. Докучаева и его учеников к началу XX в. в России были решены наиболее важные задачи становления почвенной науки: было создано первое обобщающее теоретическое учение о почве как особом естественноисторическом теле природы, развернулись планомерное широкомасштабное изучение почвенного покрова и экспериментальные исследования почв, стали читаться специальные курсы почвоведения, создана национальная почвенная школа.

Рассмотрим, какой же характер носило взаимодействие почвоведения с другими дисциплинами после приобретения им статуса особой самостоятельной науки, которую относят к числу фундаментальных наук о Земле (Ковда, 1981б). Этот вопрос имеет не только науковедческий характер. Его правильное понимание позволяет увидеть в современном почвоведении и связанных с ними разделах естествознания еще не решенные проблемы, и прежде всего проблему экологических функций почв.

Первое положение, которое можно сформулировать при рассмотрении поставленного вопроса, заключается в констатации того, что молодое генетическое почвоведение в процессе роста постепенно аккумулировало в себе не только знания о почве, накопленные в смежных науках, но и стремилось включить в свою структуру определенные их разделы, ориентируясь на свои задачи и методологию. В результате специальные исследования по почвам стали осуществляться на качественно новом, значительно более высоком уровне.

Ярким примером нового типа взаимодействия наук при изучении почвы может служить изучение ее химических свойств, которое

приобрело разносторонний и глубокий характер, перейдя от анализа отдельных показателей и компонентов пахотного слоя к исследованию химизма всей почвенной толщи и ее различных составляющих. Особенно глубоко целостный характер подхода к изучению химических свойств почвы был осуществлен К.К. Гедройцем — почвоведом, химиком и агрономом. Его капитальные труды "Химический анализ почвы", "Поглотительная способность почв", увидевшие свет в 20—30-х годах, не потеряли своего значения до сих пор и широко используются в почвенных и агрохимических исследованиях.

Приложение химии к познанию почвы с позиций генетического почвоведения оказалось весьма результативным и перспективным, что способствовало формированию внутри почвенной науки особого раздела —химии почв.

Аналогичный процесс происходил и во взаимодействии почвоведения с другими разделами естествознания, благодаря чему в течение первой половины XX в. обособляются также минералогия, физика, биология, география почв и прикладные направления почвоведения. Внутренняя дифференциация почвоведения происходила неравномерно и в различных странах имела свою специфику. Она не закончилась и продолжается до сих пор. Несмотря на сложность данного процесса, можно отметить следующую его характерную особенность: пограничные разделы между почвоведением и другими естественными науками после включения их в сферу почвоведения увеличивали свой вклад в объективное познание почвы, особенно на первых порах. Данное обстоятельство имело исключительно важное значение для почвоведения и позволило ему успешно развиваться в фундаментальную науку с достаточно сложной внутренней структурой. При этом происходит процесс обратного благотворного воздействия почвоведения на науки, являющиеся родительскими для отдельных его разделов. Так, общепризнано влияние учения В.В. Докучаева о природном комплексе и природной зональности на развитие ряда естественных наук: физической географии, геоботаники и зоогеографии, лесоведения, геологии, геохимии и др.

Почвовед Б.Б. Полынов явился основоположником нового научного направления — геохимии ландшафта, развитого в дальнейшем его последователями: А.И. Перельманом, В.А. Ковдой, М.А. Глазовской и другими исследователями.

Особо следует сказать о влиянии на естествознание целостного динамического подхода, развитого В.И. Вернадским. Этот подход сложился у Владимира Ивановича прежде всего под непосредственным влиянием В.В. Докучаева и его учения о природном комплексе и почве как особом естественноисторическом, постоянно развивающемся теле — зеркале природы. В научной биографии И.И. Мочалова (1982) "Владимир Иванович Вернадский" убедительно показано, что великий естествоиспытатель начинал свою научную деятельность как почвовед — был учеником В.В. Докучаева, неоднократно участвовал в почвенных экспедициях своего учителя, писал отчеты, почвенные очерки и статьи. Но, самое главное, В.И. Вернадский воспринял научную методологию своего учителя и творчески ею

пользовался на протяжении всей своей жизни. И.И. Мочалов подчеркивает, что "в значительной мере благодаря Докучаеву стремление к целостному рассмотрению природы во всех ее связях и взаимодействиях стало проявляться у Вернадского очень рано" (1982. С. 461). И далее: "...целостный подход к исследуемым объектам становится доминирующим в творческом методе Вернадского" (Там же). И хотя в дальнейшем Владимир Иванович в большей мере занимался вопросами минералогии и геохимии, он никогда полностью не отрывался от почвоведения, что в значительной мере способствовало разработке его биосферной концепции (Добровольский, 1988). В.И. Вернадскому (1926, 1934) принадлежат и первые прямые высказывания о глобальном значении почвы, прежде всего гидрологическом и общебиосферном.

Говоря о достижении последокучаевского периода развития почвоведения в целом, можно отметить, что он характеризовался прогрессом прежде всего аналитических исследований, много давших для расширения структуры и внутренней дифференциации науки о почве. Одновременно сохраняется целостный динамический подход к изучению почвы и связанных с ней природных объектов, разработанный В.В. Докучаевым, который оказал, как сказано выше, стимулирующее воздействие на родственные почвоведению разделы естествознания.

Однако постепенно на фоне общего прогрессивного развития почвоведения стало намечаться ослабление его связей с некоторыми родственными науками, что породило ряд проблем и дискуссионных вопросов, многие из которых оказываются нерешенными до настоящего времени. Это относится и к проблеме изучения функций почв в экосистемах и биосфере, которая долгое время существовала лишь на уровне высказывания отдельных идей и соображений и не разрабатывалась как самостоятельная крупная и комплексная проблема.

Современное почвоведение и проблема экологических функций почв. Современное почвоведение, обособившись в самостоятельную науку, успешно эволюционировало в рамках общей структуры с выделением отдельных направлений на стыках с другими дисциплинами, в результате чего сформировались химия почв, биология почв, физика почв, мелиоративное почвоведение и др. Такое развитие позволило накопить огромный фактический материал и осуществить методические и теоретические разработки по отдельным группам свойств, генезису и сельскохозяйственным особенностям почв. Однако сложившийся характер специализированных исследований о почве наряду со многими положительными сторонами приобрел определенные черты, затрудняющие успешное развитие ряда актуальных комплексных задач, и в первую очередь проблемы экологических функций почвы. В связи с этим представляется целесообразным раскрыть научную сущность данной проблемы и рассмотреть основные причины, сдерживавшие ее разработку, и определить пути их устранения. Прежде чем это сделать, кратко поясним исходные термины и понятия.

Узловое понятие данной работы "функция" применительно к почвоведению достаточно широко стало использоваться только в последние годы. Ранее оно освоено в других науках, например в биологии; так, физиологическая функция определяется как "осуществление человеком, животными и растительными организмами различных отправлений, обеспечивающих их жизнедеятельность и приспособление к условиям окружающей среды" (БСЭ. Т. 28. С. 131). Понятие "функция" в общем виде определяется как 1) явление, зависящее от другого и изменяющееся по мере изменения этого другого явления, 2) работа, производимая органом, организмом; роль, значение чего-нибудь. Именно второе значение термина функции применительно к почвам принято в настоящей книге. Используется также родственное понятие "функционирование", общий смысл которого — действовать, быть в действии. Таким образом, когда рассматриваются функции почв в экосистемах и биосфере (почвенные экологические функции), имеются в виду роль и значение почв и почвенных процессов в жизни указанных объектов, их сохранении и эволюции.

Уже из общего определения исходных понятий отчетливо просматривается специфика проблемы экологических функций почвы — ее многоаспектный, динамический характер. Именно изучение разнообразия форм участия почвы в функционировании и изменении (динамике) экосистем и биосферы оказывается главным стержнем данной проблемы. Казалось бы, указанная особенность проблемы экологических функций почв должна оказаться в непротиворечивом соотношении и с характером традиционных исследований почв, ведь исходное докучаевское определение почвы является функциональным, а не субстратным (Розанов, 1975). Однако в действительности такой гармонии не наблюдается.

Хотя в почвоведении широко используется словосочетание "взаимодействие факторов почвообразования и почвы" и существует самостоятельное учение о факторах, их взаимодействие (взаимовлияние) как таковое долгие годы специально не исследовалось. Взаимодействие, предполагающее обязательное наличие прямой и обратной связи, изучалось лишь с одной стороны — со стороны влияния факторов (климата, растительности, животных, породы и др.) на почву. Обратное ответное действие самой почвы на всю совокупность влияющих на нее компонентов среды сколько-нибудь комплексно не исследовалось. Работы в данном направлении велись разрозненно и в основном касались роли почв в жизни растений (Рассел, 1955; и др.).

Анализ функций почв в экосистемах и биосфере позволяет поставить исследования взаимодействий почв и факторов среды в качестве особой проблемы и вести ее разработку на уровне изучения не только прямой, но и обратной связи. Ведь исследуя общую экологическую роль почв и различные виды их влияния на атмосферные, гидрологические, биотические и другие компоненты экосистем и биосферы, мы тем самым изучаем ответное воздействие самой почвы на факторы почвообразования. Однако проблема экологических

функций почв шире и глубже только анализа обратной связи в системе почва—факторы. Данная проблема охватывает дополнительный ряд не менее важных вопросов, касающихся, в частности, изучения внутренней жизни и функционирования почвенных систем в их взаимодействии со всеми звеньями природных комплексов.

При рассмотрении вопросов развития исследований экологического значения почв в рамках современного почвоведения выделяется несколько этапов в становлении проблемы функций почв в биосфере и экосистемах. Впервые на данную проблему указал В.А. Ковда. В его книге "Основы учения о почвах" (1973) имеется раздел "Роль почвенного покрова в жизни Земли", в котором выделяются небольшие подразделы, компактно характеризующие влияние почвенного покрова на атмосферу, гидросферу, литосферу, биосферу в целом. Хотя термин "функция" в этих подразделах не употребляется, в них, по существу, вполне отчетливо обозначена важнейшая составная часть рассматриваемой проблемы — общие представления о функциях почвенного покрова в биосфере. Эти представления развиваются в других публикациях В.А. Ковды (1975, 1981а и др.) и суммированы им в отдельной брошюре "Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли" (1985а).

Параллельно тема роли почвенного покрова в биосфере разрабатывается Г.В. Добровольским, что находит отражение в читаемых им в МГУ лекциях по данному вопросу начиная с 1960 г. и последующих публикациях, в том числе с соавторами (Добровольский, 1979, 1986а; Добровольский, Урусевская, 1984; Добровольский и др., 1985б; Добровольский, Никитин, 1986; и др.).

Примерно в эти же годы разрабатывается другая неотъемлемая составная часть проблемы экологических функций почв — подпроблема функций почв в наземных экосистемах (биогеоценозах). В первой специальной публикации по данному вопросу (Никитин, 1977) приводится классификация биогеоценотических функций почв, которая в дальнейшем развивается также в работах Л.О. Карпачевского (1981), С.В. Зонна (1982) и др.

Одновременно осуществляется синтез двух важнейших составляющих проблемы экологических функций почв — теоретическое обобщение материалов, характеризующих две категории почвенных функций — биогеоценотические (экосистемные) и глобальные (биосферные), и разработка классификации функций. Первые результаты данного обобщения изложены в брошюре "Роль почв в жизни природы" (Никитин, 1982а; предисловие Г.В. Добровольского). Данный синтез на уровне более глубокой проработки проблемы осуществлен в книге "Экологические функции почвы" (Добровольский, Никитин, 1986).

Несмотря на то что проблема функций почв в экосистемах и биосфере приобретает статус фундаментальной, ее разработка в указанных публикациях, оцененная, в частности, Л.О. Карпачевским (1987) как создание учения об экологических функциях почв, не может считаться исчерпывающей. Причин для такого вывода несколько. Во-первых, исследователи, занимающиеся данной проб-

лемой, сталкиваются прежде всего с ее исключительной комплексностью и сложностью, предполагающей знание практически всех взаимосвязанных наук.

Другая сложность заключается в наличии значительных пробелов в материалах, характеризующих те или иные почвенные экологические функции. Существование таких пробелов имеет свои причины, среди которых следует прежде всего назвать ослабление взаимосвязей почвоведения со многими родственными науками, с которыми, как было показано в предыдущих разделах, оно в тех или иных формах взаимодействовало на протяжении долгого времени. В результате ряд вопросов, имеющих исключительное значение для исследования функций почв, стал разрабатываться в рамках почвоведения односторонне или неполно. Примером могут служить работы почвоведов по почвенной влаге, много давшие для познания внутрипрофильной динамики водной фазы почв, но практически не затронувшие вопросов почвенных гидросферных функций. Здесь сказался явный недостаток связи почвенной гидрологии с общей гидрологией. В итоге важнейшие вопросы гидрологической роли почв в последние десятилетия разрабатывались в основном в рамках географической науки (Львович, 1974, 1986; Назаров, 1981; и др.), что, естественно, делало полученные результаты недостаточно полными и разносторонними.

Ослабление связей с родственными науками не могло не сказаться на общем прогрессивном развитии ряда фундаментальных проблем почвоведения: химических, минералогических и, конечно, экологических. Б.Г. Розанов при подведении итогов XII Международного конгресса почвоведов указал на замедленное развитие минералогии и химии почв. Он призвал обратить серьезное внимание "на определенное отставание в этих разделах почвоведения, фундаментальные исследования по которым слабо развиваются в последнее время" (1982. С. 148). Данный призыв можно расширить, отметив замедленную разработку комплексных экологических и ряда других проблем почвоведения.

Сложность успешной разработки проблемы экологических функций почв обусловлена также запоздалым развитием самой экологии и трудным, противоречивым внедрением ее идей и подходов в смежные науки. Почвоведение здесь не являлось исключением. Хотя термины "экология почв" и "педоэкология" использовались уже давно в отечественном почвоведении (Прасолов, 1918, — цит. по: Прасолов, 1978; Афанасьев, 1927; Герасимов, 1947; и др.), специальные работы по данному вопросу появились значительно позже. В 1963 г. вышла в свет монография В.Р. Волобуева "Экология почв". Данная работа обострила интерес к экологическим проблемам в почвоведении, однако они не получали долгое время специального развития. Одна из причин этого в том, что правомочность понятия "экология почв", отождествляемого рядом почвоведов с учением о факторах почвообразования, стала оспариваться. Основной контраргумент состоял в том, что почва — не живой организм, а потому словосочетание "экология почв" бессмысленно. Это на первый взгляд

формально допустимое возражение заметно затормозило разработку экологических проблем в почвоведении.

В дальнейшем терминологические трудности были разрешены после введения, кроме экологии почв, других дополнительных понятий — почвенной экологии и экологического почвоведения. Сам термин "экология почв" стал все чаще признаваться как вполне допустимый; появились предложения рассматривать экологию почв как особый раздел почвоведения (Соколов, 1985). Однако время было упущено. В данном случае сказалось отставание общих теоретических и понятийных разработок в почвоведении, что, по-видимому, опять-таки в определенной мере является следствием ослабления связей науки о почве с родственными разделами естествознания.

Рассмотрим основные причины ослабления контактов почвоведения с родственными науками, о чем все чаще говорят ученые. Таких причин мы видим три. Первая — усиленная дифференциация естествознания в XX в., значительно опережающая научную интеграцию и порождающая общее ослабление действенных связей родственных наук. Не случайно поэтому в последние годы особую актуальность приобрели междисциплинарные программы и исследования.

Другая причина более специфическая — это зачастую форсированное привлечение потенциала почвенной науки для научного обоснования сельскохозяйственных задач. Естестенно, что почвоведение в силу усиления сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования почв стало вовлекаться более интенсивно в решение прикладных задач. Причем это вовлечение далеко не всегда сопровождалось одновременным усилением фундаментальных почвенных исследований. Нередко возникал перекос в соотношении разносторонних фундаментальных исследований и специализированных прикладных работ в пользу последних. Данный перекос, несомненно, облегчался, а во многих случаях стимулировался и тем, что почвоведение долгое время не числилось среди естественных дисциплин и входило в сельскохозяйственные наукй. Это закрепляло упрощенное понимание общего значения почвы, которая долгое время воспринималась в основном как объект сельскохозяйственного труда. При анализе же конкретного участия почвы в формировании урожая учитывалась главным образом ее функция как источника элементов питания.

Работы по экологическим функциям почв, проведенные в последнее время, однако, заставляют принципиально изменить оценку их значения в жизни экосистем и биосферы. Анализ взаимодействия геосфер Земли и выяснение роли каждой оболочки в общем благополучии планеты показали, что почвенное звено в данном взаимодействии оказывается одним из центральных, поскольку появляется все больше доказательств исключительного значения почвы в нормальном функционировании приповерхностных оболочек Земли. Доказано, что без полноценного почвенного покрова было бы невозможным возникновение и существование современной биосферы. Как справедливо подчеркивает В.А. Ковда, почва является незаменимым ее компонентом.

Почва не только во многом определяет возможность существования биосферы, но и, по мнению ряда ученых, явилась местом зарождения жизни на Земле и важнейшим фактором эволюции живых организмов.

Существенна также роль почвенного покрова в жизни литосферы (каменной оболочки Земли). Именно почва оказывается основным поставщиком химических соединений, преобразующих массивно-кристаллические породы в рыхлые отложения и коры выветривания, геохимические процессы в которых отличаются принципиально большей сложностью, разнообразием и мобильностью. Б.Б. Полынов прямо указывал, что благодаря почвообразованию и выветриванию материя переходит в более активное состояние. Одним из наглядных показателей этого является резкое увеличение (в десятки тысяч раз) общей активной поверхности мелкозема почвы по сравнению с субстратом монолитных горных пород. Говоря о главных формах влияния почвенного покрова на литосферу, следет отметить, что почва участвует в биохимическом преобразовании верхних слоев каменной оболочки, является источником вещества для образования многих минералов, пород и полезных ископаемых, защищает литосферу от чрезмерной эрозии и оказывается одним из условий ее нормального развития.

Нормальное функционирование водной оболочки Земли также тесно зависит от ее взаимодействия с почвенным покровом планеты. Среди конкретных видов влияния почвы на жизнь водных масс планеты можно отметить прежде всего участие почвы в формировании речного стока и трансформации поверхностных вод в грунтовые. Кроме того, почва является фактором биопродуктивности водоемов за счет приносимых почвенных соединений и выполняет роль сорбционного, защищающего от загрязнений барьера акваторий.

Существенно зависит от взаимодействия с почвенным покровом и жизнь атмосферы, поскольку почва участвует в поглощении и отражении солнечной радиации, в регулировании влагооборота атмосферы, является источником твердого вещества и микроорганизмов, попадающих в воздушный океан, в значительной мере определяет газовый режим атмосферы, в частности, поглощает некоторые газы и удерживает их от ухода в космическое пространство.

Установление особой роли почвы в жизни биосферы и экосистем делает необходимым дальнейшую углубленную разработку проблемы экологических функций почвы и создание необходимых для этого предпосылок. К числу важнейших факторов успешного решения данной проблемы следует прежде всего отнести общее усиление развития почвоведения как фундаментальной науки биосферного цикла и активизацию ее взаимосвязей с другими науками. Это зависит от многих причин, в том числе от организационного статуса почвоведения в Академии наук (Ковда, 1988; Добровольский, 1988).

В настоящее время первостепенными являются следующие междисциплинарные исследования: 1) работы, направленные на решение крупных практических задач эффективного и рационального исполь-

зования почв; 2) экспериментальное углубленное изучение строения, свойств и динамики реального многообразия почв на разных уровнях их организации; 3) разработка общей теории развития и функционирования почв и почвенного покрова как уникальной полифункциональной биокосной системы на поверхности планеты Земля.

Значение различных аспектов указанных магистральных направлений развития почвоведения неоднократно отмечалось В.А. Ковдой, В.Р. Волобуевым, И.П. Герасимовым, Г.В. Добровольским, С.В. Зонном, Б.Г. Розановым и др. Эти направления в значительной мере определяют конкретные задачи усиления традиционных и новых дисциплин в почвоведении, в особенности имеющих прямую экологическую направленность. Так, важность усиления взаимодействия и практической отдачи всех разделов отечественного почвоведения и необходимость активизации изучения и учета функций почв была подчеркнута В.А. Ковдой (1981б, 1985а).

О проникновении почвенных исследований на более глубокие и одновременно более широкие, включая планетарные, уровни познания как характерной особенности и актуальной задаче современного почвоведения также говорилось в литературе (Добровольский, 1970). Это во многом предопределило возникновение новых направлений и разделов почвоведения, например микроморфологии почв и учения о экологических функциях почв.

В связи с развитием экологического почвоведения особенно важно полноценное его взаимодействие с родственными естественными науками, от чего во многом зависит прогресс почвенно-экологических исследований. Пути решения данной задачи многообразны. Среди них следует особо отметить перспективность усиления пограничных научных направлений, через которые осуществляются стык и взаимопроникновение различных наук. Эффективна и подготовка специалистов высшей квалификации, получающих по особым программам два высших образования со смежными специальностями, например почвоведа и эколога, почвоведа и химика, почвоведа и минералога и др. Оправдывает себя и привлечение в аспирантуру по почвенной проблематике специалистов, получивших фундаментальное физическое, математическое и другие виды высшего образования с прохождением предварительной подготовки по основным разделам почвоведения.

Важность и эффективность усиления пограничных исследований и расширение подготовки специалистов по комплексным программам доказываются не только практикой, но и имеют необходимое теоретическое объяснение. Так, анализ истории научного познания показывает, что принципиальные открытия возникают обычно при пересечении различных подходов, методов, объектов исследования и нередко связаны с переходом исследователя из одной области познания в другую.

Рассматривая пути усиления пограничных исследований, необходимо отметить, что они имеют важное значение не только для дальнейшего развития почвоведения и его экологических разделов, но и многих контактирующих с ним естественных наук. Это обуслов-

лено несколькими причинами. Во-первых, тесной зависимостью многих явлений природы от почвенного покрова и его функционирования, в связи с чем прогресс таких наук, как география, геология, геохимия, экология и ряд других, часто оказывается невозможным без своевременной аккумуляции знаний, накопленных при изучении почвы. Во-вторых, в почвоведении нередко возникают подходы, понятия и методы, заимствование которых родственными разделами естествознания может оказывать стимулирующее влияние на их развитие. В-третьих, именно в почвоведении часто зарождаются некоторые общие теоретические разработки, оказывающие в дальнейшем интегрирующее воздействие одновременно на несколько естественных наук.

Ярким примером объединяющей концепции явилось учение В.В. Докучаева и его последователей о природном комплексе и законе зональности. В современном почвоведении проведены и проводятся исследования, значение которых велико не только для развития науки о почве, но и для ряда родственных разделов естествознания.

К числу важнейших актуальных направлений исследования в почвоведении относятся и работы по биогеоценотическим и глобальным функциям почв, имеющие принципиальное значение не только для дальнейшего развития науки о почве, в первую очередь экологического почвоведения, но и для всесторонней разработки учения о биосфере, а также создания научно обоснованной системы рационального использования и охраны природных ресурсов.

Разработка проблемы экологических функций почвы перспективна также в плане единого осмысления накопленной в почвоведении и смежных с ним науках природоведческой информации с целью всестороннего понимания уже имеющихся фактов и открытия новых неизученных процессов и явлений в биосфере и экосистемах. Для данной цели проблема экологических функций почв может выступать как руководящая идея последующих конкретных исследований. В связи с этим есть смысл напомнить слова Ю. Либиха, взятые из его письма к Ф. Белеру от 29 июня 1865 г.: "Я занимаюсь новым вопросом о происхождении идей в естествознании. Я нахожу в истории исследования природы следующее: для того чтобы понять факты, нужно иметь в голове определенные идеи. Тысячи людей видят явления, вызванные определенной идеей" (цит. по: Гродзинский, 1965. С. 81).

Глава вторая

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА ГИДРОСФЕРУ

Прежде чем перейти к рассмотрению влияния почвы на гидросферу, остановимся на особенностях водной оболочки и общем гидрологическом значении почвы.

В настоящее время отсутствует единая общепринятая трактовка понятия гидросферы. Связано это в значительной мере с разнообразием форм нахождения воды в природе и вычленением в водной оболочке Земли существенно разных составляющих: океана, жидких наземных континентальных вод и льда, атмосферной воды, подземных вод и др. Хотя различные типы вод и находятся между собой в генетическом родстве, реальная функциональная связь между ними в каждый момент времени не может рассматриваться как однопорядковая, что и порождает расхождение при определении объема понятия гидросферы (Алпатьев, 1969; Посохов, 1985; Львович, 1986; и др.).

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОСФЕРЫ И ОБЩЕЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОЧВЫ

Само понятие гидросферы впервые было предложено Э. Зюссом. Этим термином обозначалась в общем виде жидкая земная оболочка. В.И. Вернадский под гидросферой понимает прежде всего скопление поверхностных вод, в первую очередь океанических и морских. В то же время именно В.И. Вернадский первым обратил внимание на большие запасы подземных вод в земной коре и их тесную генетическую связь с поверхностными водами. Ему принадлежит и первый подсчет количества подземных вод. Для земной коры мощностью 20—25 км объем воды в различных состояниях был оценен в $1{,}3 \cdot 10^9$ км^3, что примерно равно воде океана. Примерная близость объемов подземных вод и вод открытого Мирового океана подтверждается расчетами многих исследователей (Посохов, 1985).

Анализируя различные трактовки понятия гидросферы, подробно рассмотренные А.М. Алпатьевым, И.А. Федосеевым, Е.В. Посоховым и др., неизбежно приходишь к выводу о необходимости выделения различных уровней гидросферы. Так, целесообразно выделение наземной и подземной гидросфер, граница между которыми должна проходить, как нам представляется, по нижним горизонтам почвы и подводных илов. Наземную гидросферу можно также рассматривать как гидросферу в узком смысле слова, или собственно гидросферу. Кроме того, в связи с существенным различием континентальных, океанических вод и атмосферной влаги есть смысл использовать такие понятия, как континентальный, океанический и воздушный гидрокосм, обобщающие соответственно совокупность вод указанных частей наземной гидросферы. Всю массу вод Земли, по-видимому, целесообразно именовать мегагидросферой, или планетарной водной оболочкой.

Оправданность трактовки понятия водной оболочки как более широкого, чем гидросфера, отмечается В.И. Вернадским. Он постоянно использует понятие земных оболочек и геосфер, отмечая их близость, но не тождественность: "Я сохраняю, однако, и понятие земных оболочек и буду отличать геосферы и земные оболочки. Земная оболочка — понятие более общее и сложное, чем геосфера" (1934а. С. 51).

То, что мегагидросфера, или планетарная водная оболочка, проникает своей верхней границей в атмосферу, не противоречит классическим представлениям о соотношении геосфер Земли, которые в трактовке В.И. Вернадского рассматривались как взаимопроникающие друг в друга.

Кратко рассмотрим вопрос о происхождении вод гидросферы. Отметим, что генезис гидросферы до сих пор не определен однозначно и его трактовка изобилует разнообразными, конкурирующими между собой гипотезами (Дерпгольц, 1979; Посохов, 1985; и др.). Можно констатировать, что данные гипотезы достаточно отчетливо разбиваются на две группы: гипотезу земного происхождения вод гидросферы и гипотезы космического их образования, причем оба пути формирования водной оболочки вероятны. Скорее всего, воды гидросферы полигенетичны в своем происхождении. Так, возможность поступления воды из космоса доказывается хотя бы тем, что вода присутствует в падающих на Землю метеоритах. И хотя ее количество измеряется небольшими относительными величинами — до 0,5% веса метеорита, суммарный вес воды космического происхождения за всю историю существования планеты оказывается впечатляющим, даже если она поступает с метеоритами в виде примесей. Но, как отмечает В.Ф. Дерпгольц, в старинных хрониках "описаны случаи падения чистых ледяных метеоритов, например в 1802 г. в Венгрии упала глыба массой 0,5 т". (1979. С. 202). Возможность земного происхождения вод гидросферы вполне реальна.

Значительный интерес представляет также вопрос об изменении объема и состава вод гидросферы за геологическую историю — время зрелого существования нашей планеты. Ряд исследователей отмечают, что состав и объем вод не оставались постоянными (Алпатьев, 1969; Посохов, 1985). Причем, по-видимому, имела место тенденция увеличения гидросферы. Одним из главных источников пополнения вод гидросферы может рассматриваться мантия, где воды в 10—12 раз больше, чем в Мировом океане. В основном вода мантии пребывает в химически и физически связанном состоянии, но часть ее высвобождается в результате действия еще неизвестных до конца процессов, среди которых важное место занимают поступления воды в гидросферу в результате дегазации мантии (Львович, 1986).

Разделяя тезис об изменчивости гидросферы во времени, отметим, что водная оболочка в основных своих чертах оказалась все же достаточно устойчивым образованием, т.е. в целом ей присущи признаки стабильности, сочетающиеся, однако, с явлениями ее изменчивости, прежде всего локальной и региональной (Алпать-

ев, 1969). По существу, именно такой взгляд на гидросферу был выработан В.И. Вернадским. Однако некоторые исследователи ссылаются лишь на те высказывания В.И. Вернадского, в которых он говорит о стабильности гидросферы во времени, и тем самым дают общую некорректную оценку его взглядов на историю природных вод. В связи с этим целесообразно привести следующие высказывания В.И. Вернадского, раскрывающие его подлинное отношение к данному вопросу: "Общая — средняя — устойчивость в течение всего геологического времени истории воды на нашей планете — постоянство среднего состава всех ее семейств — видов, постоянство в среднем ее количества и форм нахождения — отнюдь не противоречит существованию определенных периодических колебаний во всех этих ее проявлениях в течение геологического времени, колебаний, отнюдь не нарушающих основного положения устойчивости.

Наоборот, все указывает с несомненностью на огромное значение таких колебаний и на то, что в разные эпохи геологической истории Земли картина ее бытия менялась и не была тождественна с той, которую мы изучаем в данное время. Именно в истории природных вод можно проследить такие периодические колебания на протяжении всего геологического времени — от докембрийского, может быть архейского, периода вплоть до нашего времени" (1960. С. 27).

При анализе структуры водной оболочки выявляется резко выраженная асимметрия строения гидросферы. Действительно, по данным М.И. Львовича (1986), 94% ее объема и 72% поверхности земного шара занимает Мировой океан, остальные 6% объема распределяются также неравномерно. Из них 4% приходится на подземные воды, основную часть которых составляют глубинные рассолы; 1,6% — полярные ледники. Доля пресных поверхностных вод составляет 0,25% гидросферы. Объем паров воды в гидросфере составляет всего 0,001%.

Асимметрия гидросферы оказывается отчетливо выраженной и при включении в нее воды, содержащейся в порах горных пород, как это делают некоторые гидрологи. В этом случае, по сведениям Дж. Дривера (1985), 80% вод Земли оказываются заключенными в Мировом океане, 19% — в порах горных пород, расположенных ниже поверхности земного шара, 1% воды находится в виде льда, 0,002% — в ручьях, малых и больших реках и озерах.

Асимметрия гидросферы ярко проявляет себя и в структуре отдельных ее составляющих, например в распределении вод Мирового океана (Кеннетт, 1987). Известно, что основная площадь Мирового океана приходится на юго-западное полушарие, где океан составляет 89,5%, а суша — 10,5%; в северо-восточном полушарии доля океана — 53,3%, суши — 46,5% (Вернадский, 1960). Северный Ледовитый океан по сравнению с другими океанами характеризуется наименьшими площадями, объемом и глубиной, в то время как один Тихий океан имеет больший объем, чем все другие океаны, вместе взятые (табл. 1).

Таблица 1

Площадь, объем и средняя глубина океанов по Менарду и Смиту (Кеннетт, 1987)

Океан и прилегающие моря	Площадь, 10^6 км$_2$	Объем, 10^6 км^3	Средняя глубина, м
Тихий	181	714	3940
Атлантический	94	337	3575
Индийский	74	284	3840
Северный Ледовитый	12	14	1117
Мировой океан	361	1349	3729
Поверхность земного шара	510		

Не менее отчетливо проявляется асимметрия континентальной части гидросферы. По ряду показателей она выражена более контрастно, чем у океанической составляющей. Особенно это касается поверхностных вод, например почвенных.

Если принять за один из важных признаков симметричного распределения почвенных вод соответствие их пространственной динамики закону зональности, то окажется, что такое соответствие выполняется лишь в общей форме и в действительности весьма часто нарушается. Так, при рассмотрении почвенных вод таежной зоны выясняется наличие многих отклонений от зональной схемы. Характерный пример зональной асимметрии почвенных вод таежной зоны — сильное увеличение общей увлажненности почвенного покрова при переходе от восточноевропейской к западносибирской тайге. Причем это возрастание увлажненности идет вопреки изменению зонально-фациальных факторов, характерным моментом которых оказывается уменьшение атмосферного влагопереноса при переходе от умеренно континентального климата ЕТС к континентальному Западной Сибири. Известно, что повышенная увлажненность почвенного покрова севера Западной Сибири связана с рядом геологических и исторических причин: повышенной равнинностью рельефа и высокой слоистостью пород, более медленной деградацией подземных льдов последнего оледенения и др. (Караваева, 1982; Никитин, 1985; и др.).

Можно указать на многочисленные случаи асимметрии континентальной части гидросферы и на ограниченных, локальных внутризональных участках суши. Так, распределение почвенных вод в пределах отдельных ландшафтов зачастую не имеет закономерного характера и связано со стохастическими причинами: неоднородностью поступления атмосферных осадков и их преобразованием растительным пологом, литологической пестротой почвенно-грунтовой толщи, нарушением сложения горизонтов в результате действия естественных и антропогенных факторов (вывалы деревьев, педотурбации, перемешивание мелкозема при вспашке и др.).

Суммируя сказанное, можно акцентировать внимание на том, что

асимметрия гидросферы является ее весьма характерной универсальной чертой, отчетливо проявляющейся в различных пространственных масштабах — от планетарной водной оболочки в целом до отдельных небольших ее участков и элементарных компонентов. При этом важно подчеркнуть, что асимметрия водной оболочки есть не только следствие нарушений и неоднородностей тех физико-географических условий, в которых формируется гидросфера, но и в значительной мере связана со специфическими свойствами природной воды. Среди этих свойств наиболее значимой оказывается подвижность водных растворов и теснейшая зависимость их движения от многих факторов: температуры и давления, гравитационных условий, градиента концентрации, антропогенных воздействий и др. Именно многообразие причин и неоднозначность их влияния на разных участках гидросферы определяют ее отчетливо выраженную асимметрию различных уровней.

На отсутствие симметричности в общей структуре гидросферы неоднократно указывал В.И. Вернадский. Особое внимание он обращал на несбалансированность континентальной и океанической составляющих, названную им диссимметрией гидросферы: "резкая диссимметричность в распределении воды и твердых минералов на поверхности планеты является чрезвычайно важной чертой в строении планеты и должна проявляться в разнообразнейших явлениях; она может отражаться даже вне планеты в ее мировом положении" (1960. С. 601).

К числу характерных черт гидросферы относится наличие *постоянно действующих влагооборотов,* связывающих водную оболочку в одно целое. Особенно это относится к наземной гидросфере, различные компоненты которой благодаря влагооборотам испытывают постоянное обновление входящих в них водных масс. Причем скорость обновления воды возрастает по мере приближения компонентов гидросферы к поверхности и уменьшения их общей массы. Наиболее быстрым обновлением характеризуется влага атмосферы, речных вод и почвы.

Следует согласиться с мнением А.М. Алпатьева (1969) о том, что циклы водообмена в природе не носят кругового характера. Круговороты воды, как правило, разомкнуты, в связи с чем корректнее звучат термины "водообмен", "влагооборот". В ходе исторического развития Земли и ее гидросферы влагообороты в ней постоянно усложнялись. Возрастало и их общее число. Среди основных типов влагооборота А.М. Алпатьев (1969) выделяет следующие: а) геокосмический, б) атмосферно-океанический, в) атмосферно-континентально-океанический, г) атмосферно-литосферно-биологический или атмосферно-почвенно-биологический.

Именно благодаря наличию и взаимодействию различных типов влагооборота оказывается возможным структурно-динамическое единство гидросферы и ее проникновение в другие гидросферы Земли и взаимодействие с ними. В ходе этого взаимодействия особое значение приобретают разнообразие и неповторимое сочетание свой-

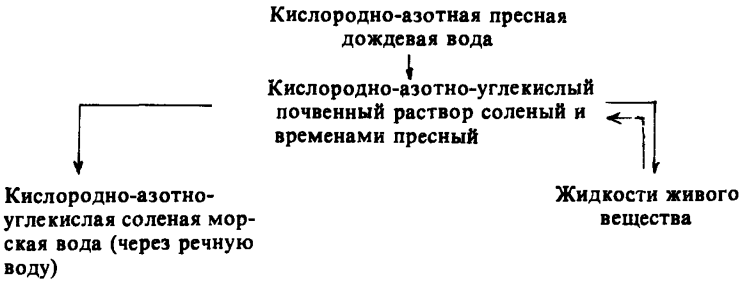
ств воды как *специфического природного образования*: значительная растворяющая способность, химическая активность и подвижность; высокая теплоемкость и теплопроводность; значительная буферность; способность находиться в трех агрегатных фазовых состояниях в небольшом интервале температур; исключительно благоприятное сочетание физических и химических параметров для использования ее живыми организмами в качестве основы своего существования и др. На последнюю особенность воды обращал пристальное внимание В.И. Вернадский: "Природная вода как бы предназначена для жизни, и с жизнью связана она одна из всех химических соединений. Эта тесная связь воды с жизнью и ее исключительное распространение в земной коре, резко отличающее ее от всех минералов, не может быть игрою случая: она указывает на закономерность явления, на определенную организованность земной коры. Вода и живое вещество — генетически связанные части этой организованности" (1960. С. 75).

Дадим *обобщенную оценку роли почв в круговороте воды*. Длительное время гидрологи считали, что главным действующим фактором гидрологического режима является климат, в основном — атмосферные осадки. Другие факторы явно недооценивались (Львович, 1974, 1986). Так, известный гидролог Е.В. Оппоков утверждал, что "перед атмосферными осадками, питающими реки, все другие факторы, за исключением температуры, представляются более чем второстепенными" (1900. С. 75). Однако постепенно стало выясняться существенное значение и других гидрологических факторов: почвы, литологии, рельефа, живого вещества, антропогенных влияний.

Как полагает М.И. Львович (1986), значимость почвенного гидрологического фактора впервые была убедительно показана крупным французским гидрологом (Belgrand, 1869), который установил зависимость паводкового стока различных притоков р. Сены от особенностей почвенного покрова водосборов. В дальнейшем в трудах В.В. Докучаева, А.И. Воейкова, А.А. Измаильского и других были убедительно раскрыты многие конкретные аспекты влияния почвы и ее антропогенных преобразований на гидрологический режим территорий.

Весьма глубоко и всесторонне гидрологическое значение почвы было оценено В.И. Вернадским. В фундаментальной монографии "История природных вод" (1960) он говорит об огромном значении в истории воды почвенных растворов, являющихся основным субстратом жизни.

Рассматривая связи различных форм природной воды, В.И. Вернадский подчеркивает, что изучение почвенных растворов вскрывает в истории воды грандиозное явление, связывающее такие разные воды, как морская, речная и дождевая. Схема зависимости почвенных и других вод, по В.И. Вернадскому, выражается следующим образом:



Несмотря на такую высокую оценку значения почвенных растворов в жизни водной оболочки Земли, данную В.И. Вернадским и его предшественниками, в гидрологических исследованиях не уделялось должного внимания выявлению всех форм участия почвенного звена в процессах, происходящих в гидросфере. Это положение в значительной степени сохраняется до сих пор.

Лишь в отдельных работах роль почвы в развитии водной оболочки стала учитываться в должной мере. Так, М.И. Львович (1974, 1986) считает, что после климата почва занимает второе место по значению среди гидрологических факторов. Почва, согласно исследованиям М.И. Львовича, Г.В. Назарова, играет роль посредника между климатом и речным и подземным стоком. Ни одно явление водного баланса не минует почву. Вот почему необходимо самое пристальное внимание к гидрологической роли почвы, без чего не могут быть правильно поняты многие гидрологические явления и процессы.

Говоря о важности учета почвенных гидрологических функций в современных исследованиях, следует прежде всего иметь в виду большое разнообразие свойств реальных почв и сильное антропогенное изменение многих из них, приводящее к значительной изменчивости гидрологических процессов, контролируемых почвой. Поэтому особую актуальность приобретают детализация многих гидрологических исследований с учетом данных по динамике почв и дальнейшее развитие гидрологии почв в целом, ряд разделов которой был основательно разработан в текущем столетии в трудах Г.Н. Высоцкого, В.И. Лебедева, А.А. Роде, И.И. Судницина, А.Д. Воронина и др.

Усиление внимания к гидрологическому значению почвы в последние десятилетия привело к развитию почвенного направления в гидрологии, развиваемой в рамках географических наук. Это направление, опирающееся на идеи В.В. Докучаева, А.И. Воейкова, В.И. Вернадского и др., получило наиболее полное развитие в трудах М.И. Львовича, а также Г.В. Назарова, Н.И Коронкевича и других исследователей. Теоретическая и практическая значимость этого направления неоднократно отмечалась ведущими гидрологами. "Использование второго по своему значению после климатического фактора — почвенного обогатило гидрологическую науку. Трудно точно определить значение этого фактора в развитии науки. Однако возможности гидрологии с его появлением весьма существенно воз-

Таблица 2

Глобальные функции почв (педосферы)

Литосферные	Гидросферные	Атмосферные	Общебиосферные
Биохимическое преобразование верхних слоев литосферы	Трансформация поверхностных вод в грунтовые	Поглощение и отражение солнечной радиации	Среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии для организмов суши
Источник вещества для образования минералов, пород, полезных ископаемых		Регулирование влагооборота атмосферы	Связующее звено биологического и геологического круговоротов, планетарная мембрана
Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы	Участие в формировании речного стока	Источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу	
	Фактор биопродуктивности водоемов за счет приносимых почвенных соединений	Поглощение и удержание некоторых газов от ухода в космическое пространство	Защитный барьер и условие нормального функционирования биосферы
Защита литосферы от чрезмерной эрозии и условие ее нормального развития	Сорбционный защищающий от загрязнения барьер акваторий	Регулирование газового режима атмосферы	Фактор биологической эволюции

росли. Это утверждение основывается на опыте и учитывает перспективы развития почвенного направления в гидрологии. Несомненно, еще многое можно сделать в развитии представлений о теоретических аспектах гидрологической роли почвы, а также в решении практических задач" (Львович, 1986. С. 146).

По нашему глубокому убеждению, дальнейший успех в разработке почвенного направления в гидрологии во многом будет зависеть от всестороннего изучения гидросферных функций почв, а также тесной стыковки гидрологических исследований, ведущихся в рамках почвоведения и географии. Кроме взаимосвязи данных работ, первостепенное значение приобретает учет в различных почвенно-гидрологических исследованиях достижений в изучении пространственно-временно́й динамики почв и структур почвенного покрова, поскольку эта динамика будет во многом определять качественно-количественные изменения в реальных проявлениях гидрологической роли почв.

Перейдем к рассмотрению конкретных гидросферных функций почвы (табл. 2).

УЧАСТИЕ ПОЧВЫ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЧНОГО СТОКА И ВОДНОГО БАЛАНСА

Данная гидрологическая функция почвы имеет многоплановое проявление и определяется рядом факторов, среди которых первостепенное значение имеют водно-физические свойства почвы.

Теоретическое обобщение зависимости элементов водного баланса от водно-физических свойств почв было осуществлено М.И. Львовичем (1974, 1986). Им, в частности, было выявлено несколько видов этой зависимости. Так, имеют место случаи, когда инфильтрационная и водоудерживающая способности почв изменяются параллельно (одновременно возрастают или уменьшаются). При малых значениях фильтрационных и водоудерживающих показателей основная масса осадков расходуется на поверхностный сток; питание подземных вод очень слабое, а испарение с поверхности почв отсутствует или незначительно (практически нечему испаряться). Полный речной сток почти равен величине атмосферных осадков, но он состоит главным образом из поверхностных (паводочных) вод. В период между паводками реки сильно пересыхают, поскольку питание за счет подземных вод оказывается незначительным. При больших значениях фильтрационных и водоудерживающих показателей почв величины и соотношения элементов водного баланса сильно изменяются. Поверхностный сток уменьшается; увеличивается испарение за счет образовавшихся ресурсов почвенной влаги. Питание рек подземными водами возрастает, но достигает своего минимума не при наибольших значениях инфильтрационной и водоудерживающей способности почвы, а при оптимальных их значениях.

Более широко в природе распространено иное соотношение основных водно-физических свойств почв: при увеличении инфильтрационных показателей почв происходит уменьшение их водоудерживающей способности. В этом случае поверхностный сток резко уменьшается, а подземный, напротив, сильно возрастает. Испарение достигает максимума при средних (оптимальных) значениях водно-физических свойств почв и мало при крайних их значениях. Полный речной сток изменяется наоборот: он снижается до минимума при средних значениях водно-физических свойств почв и возрастает при крайних их значениях (Львович, 1986). Указанные изменения водного баланса рассмотрены для вариантов с одинаковыми атмосферными осадками.

Отмеченные обобщенные зависимости элементов водного баланса территорий от водно-физических свойств почв были конкретизированы применительно к реальным почвам. Показано (Назаров, 1981), что первый тип зависимости имеет место в основном при улучшении структуры почвы и одновременном увеличении ее водопрочности, что часто наблюдается у суглинистых и глинистых почв. Второй тип зависимости может наблюдаться при увеличении размерности частиц, когда инфильтрационная способность почвы растет, а водоудерживающая падает. Такое явление отмечается у почв, легких по механическому составу.

При рассмотрении влияния свойств почвы на водный баланс

Таблица 3

Весенний сток на серых лесных почвах (1) и черноземах (2) (Введенская, цит. по: Назаров, 1981)

Год	Почва	Уклон, град	Снегозапасы, мм*	Сток, мм	Впитавшаяся влага, мм	Коэффициент стока
1963	1	2,5	74,4	58,4	16,0	0,78
	2	2,0	55,0	21,7	33,3	0,40
1964	1**	2,5	54,4	51,9	2,5	0,95
	2	2,5	47,8	7,1	40,7	0,15

* Величина осадков за период стока ни учитывалась.

** Опыт проводился на одной площадке, в остальных случаях — повторность двукратная.

важное значение, кроме того, приобретают зависимости процессов формирования водного баланса от особенностей почв в целом, обусловленных их генезисом и современным состоянием.

Выясняются существенные различия в поверхностном стоке в случае почв разных генетических типов. Некоторые исследователи приходят к выводу, что наименьший поверхностный сток наблюдается на типичных черноземах (табл. 3), поскольку они обладают наибольшей водопроницаемостью. На север и на юг от зоны типичных черноземов происходит рост поверхностного стока в связи с уменьшением водопроницаемости почв (Назаров, 1981). При этом различия в водопроницаемости почв исследователи, как правило, связывают с изменением структуры и механического состава почв.

Следует, однако, иметь в виду, что далеко не всегда можно экстраполировать выводы, полученные в условиях опыта, на реальные почвы и территории. Например, вывод о хорошей водопроницаемости типичных черноземов приложим лишь к слабоизмененным их разновидностям. В то же время в связи с исключительно широким антропогенным изменением степей водно-физические свойства черноземов на огромных площадях их распространения ухудшились (Ковда, 1983).

Кроме того, при попытке объяснить различия в стоке генетически обусловленными особенностями почв необходимо учитывать одновременное влияние на сток свойств почв, не имеющих строго выраженную генетическую природу, например их промерзаемость. Ведь лучшие инфильтрационные показатели черноземов по сравнению с серыми лесными и подзолистыми почвами ранней весной могут быть обусловлены не только более хорошей их структурой, но и быстрым протаиванием.

При выявлении основных форм участия почвы в формировании общего речного стока выясняется, что главная форма этого участия — влияние почвы на соотношение грунтового и поверхностного питания рек. Именно прежде всего от почвы зависит, какая часть атмосферных осадков поступит с водоразделов в реки в виде поверх-

ностного стока, а какая — в виде грунтового, что в значительной мере определяет равномерность питания рек.

Если почвы отличаются хорошей водопроницаемостью и в подстилающей толще имеются рыхлые и трещиноватые породы, являющиеся хорошими аккумуляторами влаги, создаются благоприятные условия для равномерного питания рек. При слабовыраженной впитывающей способности почв активизируется поверхностный сток, что может приводить ко многим нежелательным последствиям: длительным паводкам в поймах весной и пересыханию рек в засушливый период, недостаточной влагозарядке почв, активизации эрозии и др.

В зависимости от конкретных свойств почв структура стока может изменяться очень существенно. Так, в лесной зоне на суглинистых почвах поверхностный сток больше, чем на песчаных: на лугу — в 2,5 раза, на зяби — в 4 раза, в лесу — почти в 20 раз. В ряде опытов по инфильтрации в лесостепной зоне показано, что уменьшение объемной массы верхнего (50 см) слоя почвы в 1,5 раза (от 1,5 до 1,0 г/см^3) влекло за собой увеличение количества впитывающейся влаги более чем в 10 раз. Опыт длился 2,5 ч (Коронкевич, 1972).

Заметно влияет на характер стока режим промерзания почв. Сухая промерзшая почва по водопроницаемости мало чем отличается от непромерзшей. В сильно увлажненной промерзшей почве фильтрация снижается из-за закупорки пор кристаллами льда. Следует, однако, отметить, что общее действие промерзания на водопроницаемость почвы пока не выяснено окончательно, поскольку оно может давать противоположные эффекты.

Водорегулирующая способность почв существенно зависит также от характера произрастающей на ней растительности. Так, структура стока в лесу и на поле различается очень сильно. В лесу в отличие от поля поверхностный сток мал. Это связано прежде всего с тем, что инфильтрация влаги в лесных почвах благодаря их благоприятным физическим свойствам в 2—3 раза выше, чем на полях. Поэтому снеговые и дождевые воды хорошо усваиваются почвой в лесу (Морозов, 1970; Львович, 1974, 1986). В связи с этим при рубке леса важно не разрушать структуру почвы, для чего необходимо избегать применения тяжелых трелевочных тракторов, шире использовать лебедочный метод трелевки по канатной дороге и т.д. Необходимо помнить, что для возобновления леса до смыкания крон на месте рубок требуется 8—12 лет, а для восстановления нарушенных инфильтрационных свойств почв нужны десятилетия (Львович, 1974).

Почва принимает также непосредственное участие в формировании водного баланса Земли. По М.И. Львовичу, основные элементы водного баланса таковы (в %): осадки над Мировым океаном — 79,2, осадки над сушей — 20,8, испарение с поверхности Мирового океана — 86,2, испарение с поверхности суши — 13,8, речной сток — 7,0.

Общее количество осадков за длительный период равно суммарному испарению и составляет в среднем 525 тыс. км^3 в год.

Почвенное звено в значительной мере определяет процессы испарения с поверхности суши. И хотя по современным данным общий вклад континентального испарения в суммарный годовой водный баланс относительно невелик, значение его, несомненно, большое, поскольку оно контролирует многие функциональные механизмы экосистем, способствует образованию осадков за счет местных вод суши.

Эти осадки, хотя и играют подчиненную роль (Будыко, 1977), в критические периоды жизни растений (во время засух) нередко оказываются для них единственным источником влаги.

Следует отметить, что возобновление запасов в почвенном звене происходит весьма быстро — в течение года.

Почва в значительной мере определяет и баланс подземных вод. И.Г. Киссин (1976) по условиям образования различает следующие основные типы подземных вод: инфильтрационные, седиментационные (образующиеся в процессе отложения морских осадков), возрожденные и магматические.

От почвы зависит образование не только инфильтрационных, но и других вод. Так, возрожденные воды, образующиеся в разных термодинамических зонах земной коры под действием высоких температур на минералы, содержащие H_2O, на первый взгляд не связаны с почвообразованием ни прямо, ни косвенно. Такое заключение, однако, неверно, поскольку подавляющая часть гипергенных продуктов, богатых связанной H_2O, со временем попадает в зоны земной коры с повышенной температурой и там теряет воду, аккумулированную в процессе почвообразования и выветривания.

Химически связанная вода переходит при дегидратации минералов (глинистых, полуторных окислов, гипса и др.) в свободное состояние в значительных количествах. Например, гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), начинающий терять воду уже при температуре 80—90°С, наблюдающейся на глубине 2—3 км, отдает при полном превращении в ангидрит ($CaSO_4$) на каждую тонну 210 кг H_2O. На глубине от 2 до 6 км межслоевая вода, заключенная в кристаллическую решетку глинистых минералов, в процессе их преобразования высвобождается. В частности, происходит переход монтмориллонита, содержащего 12—24% H_2O, в гидрослюды с 10% воды.

В проблеме водного баланса важное место занимают вопросы его прогноза и регулирования путем воздействия на различные составляющие, прежде всего почвенное звено.

Специальные исследования показывают, что важной тенденцией изменения современного водного баланса Земли является постепенное увеличение объема воды в океане и сокращение ее запасов на суше (Клиге, 1985). Отмечается ежегодное пополнение вод Мирового океана в размере около 543 км^3 за счет сокращения водных ресурсов на континентах. Масса этого пополнения примерно на 7% состоит из воды, изъятой из озер, на 60% — за счет уменьшения массы ледников, на 25% — за счет сокращения запасов подземных вод. По мнению Р.К. Клиге, если бы не создание водохранилищ, задерживающих воду на суше, ежегодное ее поступление в

Таблица 4

Весенний сток с различных угодий в озера севера Валдайской возвышенности (Назаров, 1981)

Озеро	Площадь, % от всего водосбора				Осадки на зеркало озера, %
	зеркало озера	лес	болото	пашня	
Каменское	17	55	3	24	28
Рогозово	14	47	12	27	23,5
Хвощно	2,5	89	3,5	5	6

Мировой океан могло бы достигнуть 575 км^3 и привести к повышению его уровня почти на 1,6 мм в год.

Сказанное свидетельствует о важности прогноза водного баланса и необходимости выявления всех основных причин, определяющих отмеченные изменения. Обычно среди таких причин называли контрастность рельефа и изменение термических условий на поверхности Земли. В настоящее время изменение водного баланса в значительной мере определяется человеческой деятельностью.

Почвенное звено оказывается одним из центральных в антропогенных системах водопотребления, поэтому именно воздействие на почвенную составляющую круговорота позволит наиболее эффективно регулировать общепланетарный баланс воды (Львович, 1974, 1986).

Следует, однако, отметить, что оптимизация водного баланса оказывается одной из сложнейших проблем, поскольку положительные эффекты от каких-либо мероприятий нередко сопряжены с побочными нежелательными последствиями. Примером может служить зяблевая вспашка, являющаяся важным приемом снижения поверхностного стока, об отрицательном влиянии которого уже говорилось. Под влиянием зяблевой вспашки поверхностный сток уменьшается на юге лесной зоны СССР в 1,3—1,5 раза, в лесостепи — в 1,5—2 раза, в степной зоне — в 2,5—5 раз. В лесной зоне на Европейской территории страны (ЕТС) зяблевая пахота уменьшает весенний склоновый сток по сравнению с нераспаханными землями в среднем на 10—20%, в лесостепной — на 15—30, в степной — на 40—60% (Львович, 1974).

Одновременно имеются многочисленные данные, свидетельствующие о том, что вспашка с оборотом пласта во многих районах (прежде всего южных) нежелательна из-за сильного развития ветровой эрозии, быстро уничтожающей верхний, наиболее плодородный слой почвы. Это свидетельствует о сложности приемов регулирования стока и необходимости комплексного всесторонне обоснованного подхода в каждом конкретном случае. Следует постоянно помнить, что, воздействуя на почвенное звено круговорота воды, нужно оберегать почву от разрушения, приводящего не только к потере почвеного плодородия, но и к негативным изменениям в ландшафтах, биосфере и географической оболочке.

Особое место среди приемов оптимизации водного баланса за-

Поверхностный сток, %				Внутрипочвенный сток, %		
лес	болото	пашня	сумма	лес	пашня	сумма
16	2,5	23	41,5	23	7,5	30,5
21	11	16	48	21	7,5	28,5
36	5	1	42	51,5	0,5	52

нимает сохранение естественной растительности, и в первую очередь лесов, а также создание лесных полос и массивов в районах интенсивного земледелия. Этот вопрос требует первостепенного внимания, ведь уничтожение лесов человеком продолжается несколько тысячелетий. Еще несколько сот лет назад общая площадь лесов достигала 7200 млн. га, а в середине XX в. она не превышала 4100 млн га (Калесник, 1970). Всего человечеством уничтожено 2/3 всех лесов планеты (Алпатьев, 1969).

Об исключительном значении лесов и ненарушенных лесных почв в поддержании оптимального водного режима территории говорится в работах С.П. Горшкова и др.

При увеличении лесопокрытия водосборов рек на 10% средний годовой слой стока с них возрастает на 10—15 см. Кроме того, полагают, что на облесенных территориях выпадает осадков больше, чем на соседних, лишенных леса. Данное явление может принимать значительные количественные выражения и влиять на продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Некоторые почвоведы отмечают, что в Сибири при сведении лесов в земледельческих районах просходило снижение урожайности полей на территории, удаленной от мест вырубок на расстояние в несколько километров.

Почва является не только фактором речного стока, но и существенным фактором стока в озера и водохранилища. Анализ имеющихся материалов по данному вопросу (Назаров, 1981; Авакян и др., 1987; и др.) показывает, что влияние почвы на сток в озера и водохранилища проявляется по нескольким направлениям.

Во-первых, от почвенного покрова прямо и опосредованно зависит общий процесс формирования стока на водосборах в каждой природной зоне. Поэтому те зональные различия в озерном стоке, которые имеют место, в определенной мере обусловлены и зональными особенностями почв и почвенного покрова. Неоднозначность же озерного стока по природным зонам весьма ощутима. В тайге ЕТС (Кольский полуостров) приходная часть водного баланса (около 65%) формируется в зимне-весенний период (в связи с его большой продолжительностью). При этом значительна доля внутрипочвенного и грунтового стока, что характерно для лесной зоны (Назаров, 1981). В лесостепной зоне ЕТС также большая часть водного ба-

ланса (около 55%) формируется в зимне-весеннее время, но внутрипочвенный и грунтовый сток весьма мал или практически отсутствует.

Зональный характер изменения водного баланса озер и водохранилищ сильно осложнен влиянием других факторов. К ним относятся размер различных угодий и их распределение на водосборе. Исследования озер севера Валдайской возвышенности показали, что там, где пашня занимает около 25% площади водосбора, а лес — около 50%, преобладает поверхностный сток. В случае явного доминирования лесов (около 90%, оз. Хвощно) преобладает внутрипочвенный сток (табл. 4).

Значительное воздействие на формирование приходной части водного баланса озер оказывает конкретный характер землепользования. Так, при изучении водного баланса водохранилища Борщень Курской области установлено, что значительную часть стока в него составляет сток с зяби и озими, который существенно зависит от состояния полей и их обработки. Сток с полей, занятых озимыми, изменяется от 14 до 27 мм, т.е. увеличивается в 2 раза. На зябевой же пахоте он возрастает в 11 раз (с 6 до 66 мм). В многоводные годы сток с зяби достигает почти половины приходной части водного баланса водохранилища; сток с озимых составляет около 20% (Назаров, 1981).

ТРАНСФОРМАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

К грунтовым водам относят подземные воды, расположенные ниже почвенной толщи и дренируемые реками или вскрываемые эрозионной сетью. Если зеркало таких вод постоянно или временно располагается в пределах почвенного профиля, то такие воды можно выделить в отдельную категорию почвенно-грунтовых вод. В данной работе мы не отделяем их от груновых вод.

Рассматривая влияние почв на формирование грунтовых вод, необходимо обратить внимание на изменение химического состава атмосферных осадков при прохождении их через почвенный профиль. О.А. Алекин (1970) отмечает, что почвенный покров, тесно соприкасающийся с водой, играет значительную роль в трансформации состава выпадающих атмосферных осадков. Воздействие почвы на химический состав природной воды имеет двоякий характер: во-первых, формирующий первичный состав фильтрующихся через нее атмосферных осадков; во-вторых, метаморфизирующий, при котором происходит качественное изменение ионного и газового составов воды, взаимодействующей в дальнейшем своем пути с почвой. При этом в обоих случаях химический состав воды всецело зависит от характера почвы. Если вода фильтруется через бедные солями торфянисто-тундровые почвы, то она обогащается большим количеством органических веществ и лишь в очень малой мере — солями. Близкую к этому картину дают подзолистые и супесчаные почвы. Значительно больше обогащают солями воду черноземные и каштановые почвы, не говоря уже о солонцеватых.

Изменение газового состава атмосферных осадков при прохождении их через почву связано прежде всего с тем, что в ней идут процессы окисления органических веществ, вызывающих расход кислорода и выделение углекислого газа, содержание которого в почвенном воздухе может достигать нескольких процентов. В связи с этим при фильтрации через почву воды в ней отмечается резкое снижение количества кислорода и сильное возрастание содержания углекислоты, что существенно для обогащения растворов карбонатами из подстилающих пород.

Характер изменения атмосферных осадков при прохождении через почвенный профиль определяется не только генетическими свойствами почв, возникающими в результате почвообразования, но и свойствами, унаследованными от материнских пород, разнообразие которых весьма значительно, а влияние на состав воды различно.

Бóльшая часть пород, образованных сложными силикатами и алюмосиликатами, почти нерастворима в воде, и только при длительном воздействии воды часть соединений из них переходит в раствор. Это прежде всего $CaCO_3$, $MgCO_3$, $NaHCO_3$, $KHCO_3$. Значительно интенсивнее обогащают воду осадочные породы, причем такие, как известняки, доломиты, мергели, гипс, каменная соль, оказываются важными факторами обогащения природных вод ионами.

В работах, посвященных изучению процессов формирования химического состава грунтовых вод и влиянию на него почвы, делается ряд конкретных обобщений по рассматриваемым вопросам. Так, отмечается, что при взаимодействии подзолистых почв с атмосферными осадками, имеющими кислую реакцию, имеет место обогащение инфильтрационных вод химическими компонентами за счет растворения почвенных солей и катионного обмена. В случае щелочных осадков может происходить обратный процесс — потеря раствором химических компонентов и накопление их в поглощающем комплексе почв.

При взаимодействии осадков с другими почвами результаты могут быть иными. Например, наблюдается дополнительное обогащение щелочных осадков химическими соединениями почв в случае, если для почвенных профилей характерна значительная засоленность или обогащенность солями гуминовых кислот, растворяющихся более интенсивно в щелочной среде.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что преобразование атмосферных осадков в почвенные и грунтовые воды сильно зависит как от первоначального состава самих осадков, так и от конкретных свойств и состава почв. Поэтому большое значение имеет детальный учет пространственно-временнóй динамики данных объектов. Это особенно важно в связи с возросшей изменчивостью природных компонентов из-за высоких антропогенных нагрузок на биосферу (Ковда, 1985б). Данное обстоятельство приводит к тому, что за относительно короткие сроки могут претерпевать сильное изменение как состав атмосферных осадков, так и свойства почвы, что неминуемо должно сказаться на химизме грунтовых вод.

Установлено, что в настоящее время в воздушный океан плане-

ты попадает огромное количество газообразных отходов промышленности, в том числе хлор, соляная и серная кислоты, способные сильно подкислять атмосферные осадки. В результате, по данным европейских и скандинавских исследователей, pH атмосферных осадков во многих районах уменьшился с 5,6—6 до 4 и нередко до 3. В связи с этим усилилось вымывание Ca, Mg, K и других химических элементов из почвы в процессе прохождения через нее подкисленных осадков. Кроме того, произошли активизация и мобилизация Al, Fe, Mn и связывание P (Ковда, 1985б).

Такие изменения заметно снижают почвенное плодородие и заставляют дополнительно увеличить дозировку удобрений и усилить известкование почв. Возрастающее внесение в почву агрохимикатов заметно трансформирует не только свойства почв, но и химический состав подземных вод, изменения которых часто оказываются неблагоприятными. Эти воды, прежде всего грунтовые, нередко подвергаются загрязнению, в связи с чем возникла серьезная проблема охраны подземных вод от промышленного. сельскохозяйственного и бытового загрязнения (Львович, 1974, 1986; Пиннекер, 1979; и др.).

Говоря об общей динамике грунтовых вод, необходимо отметить, что она определяется взаимодействием всех гидрологических факторов, среди которых почвенное звено существенно влияет как на пространственные, так и временные изменения вод.

Рассматривая зональную пространственную динамику грунтовых вод, необходимо отметить, что она обусловлена взаимодействием многих гидрологических факторов и связана не только с изменениями климатических условий. Кроме климата, необходимо в полной мере учитывать историю развития ландшафтов. Например, то, что при движении с севера на юг Русской равнины, по мере удаления от центров четвертичного оледенения, рельеф становится более зрелым (овраги и речные долины врезаются на большую глубину), имеет немаловажное значение для режима и состава грунтовых вод.

Действительно, в случае более глубокого врезания оврагов и речных русел в водораздельную поверхность создаются благоприятные предпосылки для более глубокого залегания грунтовых вод, поскольку их разгрузка в овраги и реки осуществляется при значительно большей удаленности от дневной поверхности. Увеличение же глубины залегания грунтовых вод приводит к тому, что участвующие в их формировании атмосферные осадки вынуждены промывать значительно более мощную почвенно-грунтовую толщу. Это приводит к увеличению общего количества вымываемых соединений и к возрастанию минерализации грунтовых вод.

Приведенный пример свидетельствует о том, что имеет место *многопричинная обусловленность динамики грунтовых вод* и *гидрологическая многогранность почвенного звена*. Однако это обстоятельство учитывается недостаточно, в особенности слабо исследуется влияние почв на формирование состава грунтовых вод. Для решения этой проблемы особое значение приобретает знание закономерностей формирования состава подземных вод и влияния на него свойств почв. При этом необходимо оговориться, что генезис подземных

вод тесно зависит не только от почвы, но и ряда других факторов: климатических условий, рельефа, подстилающих пород, растительности и т.п. Однако вклад почвенного звена в рассматриваемый процесс особенно ощутим. Причем влиянием почв на химический состав природных вод оказывается весьма сложным и многогранным. Это связано прежде всего с тем, что почвы представляют собой гетерогенную, изменчивую в пространстве и времени систему, включающую разнообразные компоненты — минеральные и органические вещества в твердом, растворенном и газообразном состоянии, а также остатки и продукты биохимического разложения обитающих в почве и на ее поверхности организмов.

При разработке проблемы закономерностей формирования состава грунтовых вод важно установить особенности удаления из почвы ионов при инфильтрации через нее атмосферных осадков. Этот вопрос рассмотрен в ряде исследований (Алехин, Бражников, 1964; Посохов, 1985). О.А. Алехиным и Л.В. Бражниковым установлен ряд закономерностей удаления ионов и растворения кристаллических солей сильно засоленных почв: "1. Легче всего вымываются соли из песчаных почв. Чем дисперснее почва, тем труднее вымываются ионы, находящиеся в почвенном растворе. Кристаллические слои в грубодисперсных почвах выщелачиваются легче, чем ионы раствора; в дисперсных глинистых породах, наоборот, соли вымываются труднее, чем ионы раствора. 2. Легче всего вымываются ионы Cl^-, затем SO_4^{2-} и HCO_3^-. 3. Количества промывной воды и выщелоченных солей не пропорциональны. 4. При промывании плотной засоленной почвы в первой стадии выщелачиваются хлориды, затем воды с преобладанием SO_4^{2-} и Na^+, далее SO_4^{2-} и Ca^{2+} и, наконец, при падении минерализации — снова Cl^-, SO_4^{2-} и Na^+" (1964. С. 35).

Всесторонне рассмотрены вопросы миграции ионов в засоленных почвах в фундаментальных трудах В.А. Ковды. Им также показано и геохимическое значение этой миграции, а также ее нарушения при антропогенном изменении аридных земель.

Различные аспекты геохимии природных вод, в том числе грунтовых, рассмотрены в ряде специальных монографий: А.И. Перельмана "Геохимия природных вод" (1982), Е.В. Посохова "Ионный состав природных вод" (1985), Дж. Дривера "Геохимия природных вод" (1985) и др. В них наряду с рассмотрением разнообразия и механизма формирования различных типов природных вод предприняты попытки дать сравнительную характеристику химизма этих вод и определить некоторые географические закономерности изменчивости их состава.

Существенно отметить, что грунтовые воды, тесно связанные с почвой по ряду химических показателей, занимают особое место среди других типов природных вод. Так, Е.В. Посохов (1985) отмечает, что для грунтовых и неглубоко залегающих водоносных горизонтов зоны свободного водообмена обычно характерно следующее соотношение главных ионов: $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$. Такой же порядок сохраняется в пресных речных и озерных водах, тесно связанных с грунтовыми. Однако в водах затрудненного и весьма

затрудненного водообмена указанное соотношение нарушается: в таких водах, в частности, сульфатные ионы играют второстепенную роль или практически отсутствуют.

Е.В. Посохов отмечает также большой вклад почвы в образование нитратов грунтовых вод: "Основная масса нитратов продуцируется в почвенном покрове в результате разложения органических веществ, поэтому содержание нитратов в грунтовых водах зависит от типа почв. Больше всего образуется нитратов в черноземах" (1985. С. 238). В связи с широким хозяйственным освоением почвенного покрова отмечается сильное возрастание содержания нитратов в подземных водах, где оно в связи с действием антропогенного загрязнения может достигать нескольких граммов в 1 л. В атмосферных осадках и незагрязненных поверхностных водах концентрация нитратных ионов небольшая — 1 мг/л или меньше. Отмечена положительная корреляционная связь между величиной нитратов в подземных водах и количеством вносимых удобрений.

При рассмотрении вопроса трансформации атмосферных осадков в грунтовых водах нельзя обойти вниманием и *влияние процессов взаимодействия атмосферной влаги с почвогрунтами на изотопный состав подземных вод.* О значимости данных процессов можно судить по специальным исследованиям изотопного состава гидросферы (Ферронский, Поляков, 1983; и др.). Несмотря на недостаточную разработанность данной проблемы, можно сделать вывод о заметном в ряде случаев изменении изотопного состава метеорной влаги при взаимодействии ее с почвой. В частности, в некоторых экспериментах отмечены эффекты обогащения дейтерием инфильтрующихся вод на участках, не покрытых растительностью, по сравнению с участками с травяным покровом (Ферронский, Поляков, 1983). Данное явление в значительной мере связано с испарительной концентрацией изотопов, идущей более активно в случае почв с открытой поверхностью.

Отмечено также значительное обогащение грунтовых вод другим изотопом $^{18}O_2$ при прохождении атмосферных осадков через почву. Это обогащение особенно заметно в районах с аридным климатом (Gonfiantini et al., 1976).

Факты влияния почвы на изотопный состав грунтовых вод, несомненно, должны послужить стимулом более всестороннего изучения данной проблемы, без чего не могут объективно решаться вопросы генезиса подземной гидросферы, который часто весьма запутан и в то же время заключает в себе важнейшую палеогеографическую информацию. "Распределение изотопного состава подземных вод представляется наиболее сложным из-за многообразия процессов их формирования. Интерпретация данных об изотопном составе с позиций условий разделения изотопов в природе дает ключ к пониманию процессов формирования подземных вод за геологическое время" (Ферронский, Поляков, 1983. С. 9).

Следует, однако, особо подчеркнуть, что формирование изотопного состава подземных вод, идущее в естественных условиях, будет значительно отличаться от аналогичных процессов, протекающих

на территориях с антропогенным загрязнением почвенного покрова Поэтому расшифровка генезиса подземных вод районов интенсивного хозяйственного освоения по изотопному их составу оказывается особенно сложной. При этом необходимо учитывать, что наиболее сильному изменению подвергается изотопный состав растворов зоны активного водообмена. По мере снижения интенсивности возобновления влагозапасов и увеличения размерности водных систем размах изменчивости их изотопного состава снижается. Наиболее стабильным изотопным составом характеризуются воды Мирового океана, используемые по данному показателю в качестве эталона сравнения.

ПОЧВА КАК ФАКТОР БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМОВ

Эта функция является логическим следствием воздействия почвенного покрова на химический состав поверхностных и грунтовых вод, питающих реки, а через них и на другие акватории, в том числе моря и океаны.

В результате привноса почвенных соединений водоемы получают впечатляющие количества биофильных макро- и микроэлементов, а также гумуса. Так, В.В. Пономарева (1964) указывает, что воды только р. Невы приносят в Балтийское море ежегодно около 2 млн т растворенного органического вещества.

Ежегодный ионный речной сток в Мировой океан, формирующийся при существенном участии почвенных соединений, составляет около $3{,}1 \cdot 10^9$ т солей, что равно примерно 63% общего годового поступления в океан (табл. 5).

Таблица 5

Внешний годовой круговорот суммы ионов основного солевого состава вод Мирового океана (10^9 т) по В Н. Иваненкову и О К Бордовскому (цит. по: Алекин, Ляхин, 1984)

Составляющие круговорота	Поступление	Удаление
Ионный сток:		
речной	3,1	—
пресных подземных вод	1,2	—
при таянии антарктических и арктических льдов материкового происхождения	0,003	—
Поступление солей.		
при растворении взвесей речного стока	0,2	—
при растворении частиц пыли из атмосферы	0,05	—
при растворении донных осадков	0,2	—
при десорбционных и диффузионных процессах	0,1	—
при растворении вулканических и поствулканических продуктов	0,05	—
Вынос солей на сушу при испарении океанических вод	—	0,5
Осаждение и коагуляция солей	—	2,6
Осаждение солей при испарении морской воды в полуизолированных морских лагунах	—	0,6
Сорбция ионов донными осадками и взвесями	—	1,2

Таблица 6

Соотношения мировых природных и антропогенных потоков фосфора (в млн т P/год) с 1900 по 1980 г. (Коплан-Дикс и др., 1985)

Год	Природные потоки		Антропогенные потоки		Доля урожая в суммарной первичной продукции суши, %	Доля антропогенного выноса в суммарном потоке в воду, %
	первичная продукция суши	вынос в воду	урожай	вынос в воду		
1900	285	5,5	6,6	1,2	2	18
1940	235	4,7	9,1	2,5	4	35
1980	150	3,0	17,8	10,9	11	78

Таблица 7

Планетарная оценка потерь фосфора и азота (в млн т/год) в животноводстве за 1971 г. (Коплан-Дикс и др., 1985)

Элемент	Весь урожай	Предельно возможный возврат в круговорот	Фактический возврат в круговорот	Неутилизированные животноводческие стоки	% от общего количества животноводческих стоков
Фосфор	15	10	7	3	34
Азот	106	69	32	37	58

Соединения, поступившие с континентов в конечные водоемы стока, активно вовлекаются в продукционный процесс водных экосистем и в биохимические циклы. По примерным подсчетам Б.Б. Полынова (1956), до 95% кальция, 50% магния и 30% калия, мобилизованных в почвах и корах выветривания при разрушении первичных пород на водоразделах, извлекаются из растворов при их попадании в моря и океаны, причем это извлечение происходит главным образом при участии организмов. Активно извлекаются, кроме того, кремний, фосфор и другие элементы.

Громадные массы морских животных строят из углекислого кальция свои скелеты, раковины и панцири, которыми слагаются мощные толщи субаквальных отложений. Не случайно, именно в области контакта морских и речных вод, приносящих мобилизованные на водоразделах элементы, обособляются зоны высокой биологической продуктивности акваторий. И на суше ландшафтами наивысшей плотности жизни оказываются "земноводные" поймы, где частично перехватываются соединения, поступившие с водораздельных почв на пути их миграции в моря и океаны. В умеренном поясе на заливных лугах объем биологического круговорота элементов может составлять величину, превышающую 1000 кг/га (Добровольский, 1968). Речные долины выделяются как большим потоком элементов, проходящим через фитоценозы, так и значительной их миграцией в зооценозах пойменных экосистем. Последнее связано с высокой численностью в них беспозвоночных и других групп почвообитающих животных, что было, в частности, показано при исследовании ландшафтов речных долин Русской равнины. "Каждая речная долина Русской равнины рисуется на фоне равнинных водоразделов своеобразной зоологической осью, обладающей наибольшим разнообразием и наибольшей плотностью животного населения" (Мильков, 1953. С. 62).

Говоря о важном значении соединений, поступающих с водоразделов, в формировании биологической продукции водоемов, необходимо отметить следующее. В условиях слабо измененных человеческой деятельностью регионов, бóльшая часть веществ, растворенных в водах, в основном прошла через почво- и корообразование до того, как влилась в геохимическую миграцию в направлении к океану или внутриматериковым впадинам, т.е. эти вещества поступили в водоемы из природных геохимических потоков и формы этих соединений сформировались в результате естественных процессов.

Иное дело регионы интенсивного антропогенного воздействия. Современные почвы таких регионов стали во многих случаях иначе или даже принципиально по-другому влиять на продукционный процесс в водоемах. Если в доиндустриальный период почвы выступали в основном как фактор положительного воздействия на продукционный процесс в аквасистемах, то в техногенный этап развития общества ситуация изменилась. Соединения, поступающие в водоемы из почв, в первую очередь освоенных, стали весьма часто негативно воздействовать на биологическую продуктивность гидросферы Главная причина этого — загрязнение водоемов (табл. 6, 7) вследствие техногенного и сельскохозяйственного загрязнения почв.

Последствия данного процесса многоплановы и неоднозначны. Среди наиболее негативных последствий — упрощение структуры биологической продукции и снижение видового состава обитателей водоемов при их значительном загрязнении агрохимикатами, вынесенными из почвы. В процессе эвтрофирования вод чрезмерное развитие получают водоросли. Исследования факторов, наиболее ответственных за эвтрофирование, показали, что среди них важнейшими являются фосфор и азот. Среди других факторов следует отметить органический углерод, гормоны, микроэлементы, а также витамины (Экологические проблемы..., 1984; Kecney, 1973; Schindler, 1974; и др.).

Особенно значителен "вклад" в эвтрофирование фосфора. Перестройка водных фитоценозов от преобладания диатомовых водорослей к преобладанию синезеленых связана прежде всего с изменением соотношения содержания фосфора и азота в воде водоемов. При изменении соотношения общего фосфора к общему азоту от 1:40, реже 1:1000 до 1:8 (иногда 1:5) имеет место быстрая деградация видового состава фитопланктона. Начинают доминировать виды синезеленых водорослей, способные фиксировать атмосферный азот; их доля в сообществе по биомассе может достигать 90% и более (Коплан-Дикс и др., 1985).

Насколько могут существенно влиять антропогенные стоки на изменение природного соотношения азота к фосфору в водах, свидетельствуют следующие обобщенные данные. В поверхностном и подземном стоке с естественных лесных водосборов отношение общего фосфора к общему азоту в среднем составляет 1:100 (от 1:15 до 1:2000), а в поверхностном стоке с сельскохозяйственных угодий — 1:10 (от 1:3 до 1:15), в сточных водах городов и крупных животноводческих хозяйств — от 1:3 до 1:5 (Коплан-Дикс и др., 1985).

ПОЧВЕННЫЙ ЗАЩИТНЫЙ БАРЬЕР АКВАТОРИЙ

Основное проявление защитной функции почв заключается в том, что почва благодаря своей огромной активной поверхности в состоянии поглощать многие вредные соединения на пути их миграции в водные экосистемы, а также снижать избыточное поступление биофильных элементов. Эта роль почв оказывается исключительно важной, поскольку, например, радиоактивные изотопы из водной среды поглощаются организмами гораздо активнее, чем из почвы, что может привести к быстрому нарушению в них обмена веществ. Коэффициенты накопления большинства изучавшихся радиоизотопов у пресноводных растений достигают порядка десятка тысяч, тогда как у наземных растений они обычно меньше единицы.

Такое резкое снижение поступления элементов в растения из почвы — наглядный пример того, что она представляет собой сильный природный сорбент, благодаря чему оказывается мощным барьером для многих элементов и соединений на пути их миграции в водоемы стока. Сорбционная сила почв настолько велика, что химические элементы могут поглощаться из недонасыщенных

растворов, из которых самостоятельные минералы многих элементов образоваться не могут. Поэтому для ряда редких элементов (рубидия, цезия и др.) сорбция фактически единственный механизм концентрации (Перельман, 1977).

Возможности сорбционной функции почв, к сожалению, не беспредельны. В настоящее время в связи с резко возросшими антропогенными "нагрузками" она уже во многих случаях не справляется со своими "задачами". В результате в речные воды и водоемы поступают избыточные количества многих соединений. Например, во многих странах водные экосистемы стали страдать от того, что в них попадают органические отходы, которые, по данным В.А. Ковды (1975, 1985б), в преобладающем числе стран, особенно индустриально развитых, сбрасываются в овражно-речную сеть и водную среду. В результате возникает явление эвтрофирования водоемов: острый дефицит растворенного кислорода вследствие его расхода на окисление органических веществ; избыточное минеральное и азотное питание водорослей и микроорганизмов; денитрификация, десульфирование с образованием сероводорода, метана, этилена; гибель рыбы и других животных, населяющих водоемы; заболевание людей и животных в случае потребления загрязненной воды.

Особенно недопустимо эвтрофирование водоемов в результате нерационального внесения фосфорных удобрений, приводящего к тому, что значительная или бóльшая их часть смывается с полей. Данный процесс происходит на фоне ограниченных запасов фосфатов, основные залежи которых могут истощиться за 75—100 лет. Поэтому разумное использование фосфатных удобрений стало проблемой особой важности, ибо, как образно заметил Э. Деви, фосфор слишком драгоценен, чтобы отдавать его на "съедение" синезеленым водорослям.

Выброс во внешнюю среду отходов и нерациональное использование всевозрастающего количества агрохимикатов чреваты не только отравлением речной воды и водоемов. Почвы, загрязненные вредными соединениями и элементами, становятся непригодными. Так, часто страдают очень плодородные пойменные земли в связи с загрязнением рек. На сорбционных почвенных барьерах может в десятки раз увеличиваться содержание различных канцерогенных соединений и тяжелых металлов. Например, в верхней части профиля аккумулируется свинец, особенно в гидроморфных условиях. Часть свинца вступает в биологический круговорот и может вредить растениям. "Свинцовая опасность" достаточно велика, так как поступление этого элемента в сточные воды значительно, а в городской пыли его может содержаться до 1%.

Пребывание в почве сорбированных ею загрязнений нередко измеряется годами, десятилетиями и более продолжительными отрезками времени (особенно в случае непромывного водного режима). Так, под Хиросимой и Нагасаки почвы до сих пор содержат повышенное количество продуктов радиоактивного распада, хотя с момента атомных взрывов прошло уже длительное время.

Таблица 8

Категории защищенности подземных вод от вертикального проникновения химического загрязнения

Категория защищенности	Грунтовые воды			Напорные воды
	Мощность выдержанных водоупорных слоев зоны аэрации, м			Мощность глин первого от поверхности выдержанного водоупора, м
	глины	суглинки	чередование глин и суглинков	
Защищенные	>10	>100	>(5 + 50)*	10
Условно защищенные	3—10	30—100	<(5 + 50) или > (1,5 + 15)	3—10
Незащищенные	3	30	(1,5 + 15)	3

*Первая цифра — мощность глины, вторая — суглинка.

Почва выполняет также важную роль сорбционного защитного экрана от загрязнения подземных вод (Основы гидрогеологии, 1983; и др.). Известны случаи, когда при фильтрации сточных вод и детергентов (очистителей) до 95% загрязнителей задерживалось в верхнем 15—30-сантиметровом слое почвы, отличающейся значительной величиной удельной поверхности.

Однако не все почвы обладают таким высоким сорбционным эффектом. Он заметно снижен в почвенных разностях, сформированных на кристаллических породах. Кроме того, существует ряд загрязнителей, которые практически не сорбируются мелкоземом, например нитраты. Недостаточно эффективно срабатывает почвенный защитный барьер от загрязнений в зонах постоянной интенсивной химической нагрузки на ландшафт. Это относится прежде всего к районам широкого использования минеральных удобрений. В таких районах отмечается площадное загрязнение верхних водоносных горизонтов соединениями азота, фосфора и калия. Например, в некоторых странах в засушливых зонах обнаружены огромные площади с содержанием в грунтовых водах нитратов более 250 мг/л. Для сравнения можно отметить, что в лучше защищенных глубоких горизонтах подземных вод тех же районов содержание нитратов не превышает 1 мг/л. Высокое содержание нитратов связано с попаданием в верхние водоносные горизонты азотных удобрений, слабо удерживаемых почвой, и последующим концентрированием нитратов в связи с воздействием сухого климата (Handa, 1974; Основы гидрогеологии..., 1983).

Таким образом, можно сделать вывод, что почвенная и прилегающая к ней грунтовая толщи, хотя и имеют исключительное значение для защиты подземных вод от загрязнений, далеко не всегда могут успешно осуществлять эту функцию. В связи с этим необходимо установление уровня защищенности подземных вод от загрязнения. Степень защищенности подземных вод определяется действием ряда факторов (Роговская, 1976; Основы гидрогеологии..., 1983). Среди этих факторов можно выделить: 1) почву и ниже-

лежащие горизонты зоны аэрации; 2) первый от поверхности региональный водоупор; 3) гидродинамическую изолированность основного водоносного горизонта; 4) растительный покров; 5) состав подземных вод, обусловливающий характер взаимодействия между водой и загрязнителем; 6) фильтрационные свойства пород; 7) локальные особенности интенсивной фильтрации. Необходимо также учесть климатические (гидротермические) особенности территории, а также длительность, интенсивность и характер ее загрязнения.

Существенным показателем защищенности подземных вод оказывается мощность водоупоров, в зависимости от которой Н.В. Роговской (Основы гидрогеологии..., 1983) выделено несколько категорий защищенности: защищенные, условно защищенные и незащищенные (табл. 8).

Данные табл. 8 показывают, что собственно почвенный покров, являясь первым мощным препятствием на пути проникновения загрязнителей в подземные воды, не может полностью защитить их от загрязнения, особенно в случаях интенсивного или длительного действия загрязнителей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОСФЕРЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Одна из актуальных задач современного природопользования — разумное, бережное использование природных ресурсов, и в первую очередь водных. Острота водоресурсной проблематики имеет отчетливую тенденцию к нарастанию. Причины этого многочисленны, видное место среди них занимают существовавший длительное время явный недоучет гидрологических функций почв и их изменений человеком. В последние годы особую значимость приобрели именно вопросы антропогенных воздействий на гидросферу, имеющих место при хозяйственном освоении почвенного покрова. Среди них значительный интерес представляет влияние антропогенных трансформаций почв на изменение водообмена различных уровней.

Изменение влагооборотов из-за антропогенного преобразования почв может быть прямым и косвенным. В первом случае причина изменения влагооборотов заключается в антропогенной трансформации свойств самих почв; во втором случае причина обусловлена изменением общей гидрологической обстановки, вызванной хозяйственным освоением земель (замена лесов на травянистые ценозы, орошение, осушение и др.).

Необходимо сразу же подчеркнуть, что проблема влияния освоения почв человеком на влагообороты в природе решается весьма противоречиво. В ней существуют локальные, региональные и глобальные аспекты, находящиеся в достаточно сложных отношениях. Например, локальное улучшение влагооборота на какой-либо ограниченной территории (например, осушение болота) может вызвать со временем ухудшение региональных влагооборотов (увеличение в районе сухости воздуха в летние месяцы из-за сокращения общей площади болотных массивов — аккумуляторов влаги).

Много внимания уделяется в последние годы прогнозам изменения глобального водообмена. Данные прогнозы могут быть успешно осуществлены лишь при условии всестороннего анализа изменения гидрологических обстановок в связи с деятельностью человека, прежде всего сельскохозяйственной (Клиге, 1985; Львович, 1986), поскольку главный потребитель воды (около 80%) — сельское хозяйство, что связано в первую очередь с развитием орошения. В мире орошается более 250 млн га земель, приуроченных главным образом к зонам недостаточного увлажнения.

Интенсификация водопотребления человеком, особенно для целей сельского хозяйства, явилась одной из причин сокращения запасов поверхностных и подземных вод суши, которые в период с 1894 по 1975 г. сокращались со средней скоростью около 316 км^3 в год. Одновременно на такую же величину увеличивался объем океана, благодаря чему за указанный срок он пополнился на 56253 км^3 воды, или $4{,}3 \cdot 10^{-3}$% его массы (Клиге, 1985). При существующих климатических условиях данная тенденция сохранится и в будущем. Сокращение запасов воды на континентах (прежде всего пресной воды) обостряет проблему ограниченности ресурсов пресных вод.

В этой связи особую актуальность приобретают вопросы рационального использования воды на орошение. Ведь до сих пор в связи с несовершенством оросительных систем значительная, а то и бóльшая часть поливной воды тратится на инфильтрацию. В то же время при реализации прогрессивных способов полива и строительстве современных гидротехнических сооружений удается существенно сократить напрасные потери воды при одновременном увеличении урожайности возделываемых культур.

В самостоятельную проблему вылилось влияние сельскохозяйственного использования почв на состав речных и озерных вод, который подвержен особенно сильному воздействию минеральных удобрений, в изобилии вымываемых с полей. Данный вопрос получил разностороннее освещение в монографии "Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши" (Коплан-Дикс и др., 1985).

В настоящее время подавляющая часть континентальных вод в той или иной степени затронута процессами эвтрофирования. Особенно большой вклад в эвтрофирование водоемов вносят антропогенные поступления биофильных веществ. Значительные их количества поступают в воды в результате вымывания из почвы и с ее поверхности минеральных удобрений. Кроме того, загрязнение водоемов имеет и косвенную связь с использованием минеральных удобрений (загрязнение среды при добыче сырья для удобрений, ежегодные их потери при производстве, транспортировке, хранении и др.). В результате антропогенные поступления в водоемы биофильных элементов резко возросли (см. табл. 6, 7); для фосфора в XX в. они возросли на порядок. В начале века антропогенные поступления фосфора составляли около 20% в общем потоке P в гидросфере, в 40-х годах — 27%, в 60-х годах природный и антропогенный потоки фосфора сравнялись, а в 80-х годах антропогенный поток заметно "вышел вперед".

Одновременно падала и степень замкнутости антропогенного круговорота фосфора в экосистемах: за период с 1900 по 1980 г. она снизилась с 80 до 39%. В итоге в 1980 г. в процессе хозяйственной деятельности было сброшено почти 11 млн т фосфора (в 1900 г. было сброшено в несколько раз меньше — 3,6 млн т). И.С. Копланд-Дикс с соавторами указывают, что "в современных условиях значительно больше половины поступлений фосфора в водные объекты прямо или косвенно связано с перестройкой потоков питательных веществ, обусловленной применением минеральных удобрений" (1985. С. 158).

Во многом аналогичная картина складывается и по ряду других элементов, например азоту (Экологические проблемы..., 1984).

Для успешного решения вопросов рационального использования и охраны водных ресурсов важное значение приобретают определение характерных общих ресурсных особенностей современной гидросферы и ориентация в соответствии с этим водоохранных программ (табл. 9).

Анализ данной проблемы показал, что среди таких особенностей в числе первых должно быть отмечено *функционально-динамическое единство различных вод гидросферы, в том числе почвенных и вод живого вещества.*

Единство вод гидросферы, реализуемое прежде всего через влагообороты и периодическое обновление водных масс различных типов, давно признано как фундаментальное теоретическое положение, убедительно обоснованное В.И. Вернадским и многими крупными гидрологами. Это положение в общем виде сейчас фактически никем не оспаривается. Однако, к сожалению, оно далеко не всегда берется за основу при разработке конкретных рекомендаций по рациональному использованию и охране водных ресурсов.

Ярким примером недоучета взаимосвязи различных вод гидросферы являются высказывания ряда гидрологов о целесообразности широкомасштабного использования сточных вод в земледелии. Подобного рода рекомендации опираются прежде всего на то, что такие воды приносят полям не только влагу, но и ценные элементы питания. Эти соображения, безусловно, заманчивы и в определенной мере не лишены оснований. Однако здесь не учитываются важнейшие обстоятельства, не позволяющие, как нам представляется, рассматривать как перспективное широкое использование сточных вод в земледелии[1] при современных способах их очистки.

Во-первых, ни один из существующих способов очистки сточных вод не избавляет их от загрязнений до нужного уровня. Об этом прямо говорят ведущие гидрологи: "Когда в сточной воде содержатся сотни различных загрязнений, трудно найти такие методы, которые позволили бы полностью от них избавиться, т.е. довести сточную воду до состояния естественной воды рек и водоемов" (Львович, 1986. С. 184).

[1] Проблема сельскохозяйственного использования сточных вод корректно не разработана, не выяснены отдаленные последствия применения таких вод в зеледелии.

Таблица 9

Почвенно-гидрологические мероприятия по рациональному использованию ресурсов гидросферы

Ресурсные особенности гидросферы	Мероприятия по рациональному использованию и охране водных ресурсов
Функционально-динамическое единство различных вод гидросферы, в том числе почвенных и вод живого вещества	Разработка единых принципов и взаимосвязанных методов использования и охраны различных водных ресурсов
Ограниченность ресурсов пресных вод	Разработка и реализация приемов и технологий экономного использования воды в сельскохозяйственной, промышленной, бытовой и других сферах
Планетарно-региональноландшафтная неоднородность распределения ресурсов пресных вод	Планирование развития сельского хозяйства, промышленности и поселений с учетом пространственно-временно́й неоднородности распределения водных ресурсов
Уменьшение запасов пресных вод на душу населения	Усиление эффективности водосберегающих мероприятий и технологий повторного использования воды и очистки сточных вод
Чувствительность почвенно-наземной, подземной и океанической гидросферы к загрязнению	Всемерное ограничение, а в перспективе — практическое исключение различных видов загрязнения почвенно-наземной, подземной и океанической гидросферы
Снижение опреснительного эффекта влагооборотов в техногенный период	То же, в сочетании с сохранением и восстановлением естественных ландшафтов и природных влагооборотов
Возрастание значимости водных ресурсов для человечества	Усиление полнокомплексной разработки научных основ рационального использования и охраны водных ресурсов и создание социально-экономических предпосылок для их реализации; развитие почвенной гидрологии как актуального междисциплинарного направления

Во-вторых, при решении проблемы охраны водных ресурсов необходимо видеть эту проблему целиком и проявлять заботу о сохранении в чистоте не только вод открытых водоемов, но и всех других вод гидросферы, в том числе почвенных и вод живого вещества. По отношению к водоемам совершенно справедливо считается, что "ориентирование на прекращение сброса сточных вод, в том числе и обработанных со́временными недостаточно совершенными способами биологической очистки, является главным в охране вод в условиях будущего" (Там же. С. 230). Этот же принцип должен применяться и ко всем другим частям гидросферы, в том числе к почвенным водам. То, что почва в состоянии в определенной мере нейтрализовать и до известной степени обезвредить загрязнения, попадающие в нее со сточными водами, не может служить основанием

для широкомасштабного полива ими сельскохозяйственных угодий или удобрения земель осадком сточных вод.

Рекомендации использовать сточные воды для полива сельскохозяйственных угодий и применять в качестве удобрений органические компосты из осадков сточных вод в значительной мере основаны на данных об увеличении в почвах в этих случаях содержания ряда биофильных элементов, прежде всего Ca и Mg. Однако при этом, как правило, не учитывается, что в почвах одновременно накапливаются многие тяжелые металлы, поступающие затем в растения. В опытах по удобрению посевов осадком сточных вод (Кук, 1970) было показано, что в сухом веществе удобренных культур содержание никеля возрастало более чем в 2 раза, меди в 3 раза, цинка более чем в 4 раза по сравнению с контролем. Отмечается также проникновение ртути, кадмия, свинца в растения, а затем в организм человека по пищевым цепочкам при загрязнении почвы соединениями этих металлов (Fathi, 1983].

Антропогенные загрязнения почв, в том числе сточными водами, длительное время недооценивались в плане негативных последствий для окружающей среды и здоровья человека. В последние годы данная проблема приобрела особую остроту и стала многими восприниматься с должной объективностью. Известные гигиенисты Г.И. Сидоренко и Е.А. Можаев прямо подчеркивают, что "большое влияние на здоровье населения может оказывать загрязнение почвы населенных мест, так как она контактирует и с водами, и с атмосферным воздухом, в значительной мере определяя их санитарное состояние и особенно влияя на качество поверхностных и подземных вод, сельскохозяйственных растений, выращиваемых на ней, развитие насекомых — переносчиков заболеваний и т.д." (1987. С. 39).

В приведенном высказвании особого внимания заслуживает признание зависимости качества практически всех вод гидросферы от санитарного состояния почвы. Загрязнение почвы в результате действия различных загрязнителей (выбросы мусора и промышленных отходов, нерациональное применение высоких доз минеральных удобрений, полив сточными водами, загрязнения транспортом и т.п.) неизбежно приводит к ухудшению санитарного состояния почвы и, следовательно, к снижению качества природных вод. При этом страдают не только поверхностные воды, но даже наиболее защищенные подземные воды, поскольку почвенно-грунтовая толща защищает их от загрязнения далеко не полностью и зачастую лишь оттягивает время загрязнения. Поэтому надежды использовать почву все более широко в качестве естественной фабрики по переработке антропогенных выбросов и отходов, а также в качестве планетарной свалки лишены объективных оснований, ибо в этом случае общее загрязнение окружающей среды, в том числе гидросферы, будет неуклонно нарастать.

Перспективные решения проблемы загрязнения природы все чаще связываются с другими подходами. "Генеральный путь решения проблемы загрязнения среды заключается в постепенном переходе к безотходной, малоотходной и энергосберегающей технологии. Развитие производств с безотходной технологией, при которой вредные выбро-

сы в окружающую среду практически отсутствуют и в то же время обеспечивается рациональное использование сырья, природных ресурсов и энергии, можно считать одним из наиболее перспективных направлений в дальнейшем развитии народного хозяйства" (Сидоренко, Можаев, 1987. С. 108).

Стратегическое значение малоотходной и безотходной технологии для защиты гидросферы от загрязнения подчеркивают сами гидрологи. По мнению М.И. Львовича, охрана водных ресурсов "должна исходить из профилактических принципов; в промышленности она должна быть нацелена на бессточную (лишенную водоотведения) и безотходную технологию" (1986. С. 220). В будущем возрастут также масштабы работы промышленности на замкнутом оборотном водоснабжении на основе локальной регенерации отработанной воды. В свете указанных перспектив решения проблемы охраны гидросферы становится особенно понятным значение разработки единых принципов и взаимосвязанных методов рационального использования и защиты от загрязнения различных водных ресурсов, включая воды почвенной оболочки Земли.

Другая важная ресурсная особенность гидросферы, которую необходимо в полной мере принимать во внимание при создании и совершенствовании систем ее рационального использования и охраны, — это *ограниченность ресурсов пресных вод на фоне их нарастающего потребления* (см. табл. 9).

Единовременный объем русловых вод, наиболее доступных для потребления, составляет 1200 км^3; благодаря круговороту ежегодно их воспроизводится примерно 40 000 км^3, что в 33 раза больше русловой воды мира. Годовой расход воды в мире на нужды населения, промышленности, теплоэлектроэнергетики, животноводства уже в 1980 г. превысил 900 км^3. Одновременно расход воды на орошение составил 2810 км^3 в год. Таким образом, в 80-е годы годовой объем воды, используемый человеком для различных целей, в несколько раз превысил единовременный объем русловых вод мира. Если бы не постоянное их возобновление и не наличие запасов подземных пресных воды, развитие общества уже давно было бы лимитировано нехваткой пресной воды. Однако даже при наличии планетарного механизма круговорота воды, восполняющего водозабор человеком воды из источников, начинает все острее проявляться общая ограниченность пресных вод на Земле. Ведь потребность в воде постоянно возрастает. И расход воды на возобновление к 2000 г., по расчетам ряда ученых, возрастет примерно в 1,5 раза по сравнению с 1980 г. (Львович, 1986; и др.).

В этой связи особую остроту приобретает проблема разработки и реализации приемов и технологий экономного использования воды в сельскохозяйственной, промышленной, бытовой и других сферах. Наибольшую значимость имеет рациональное использование воды на орошение, являющееся главным потребителем пресных вод. Однако реализация водосберегающих технологий сопряжена с большими экономическими затратами и организационными трудностями Одна из главных причин в том, что в мире пока доминируют способы по-

лива тысячелетней давности, приводящие к тому, что до 50% забираемой воды тратится впустую на вертикальной и боковой оттоки, а также испарение. При этом происходит деградация непосредственно орошаемых почв и вторичное засоление прилегающих земель. Анализ данной проблемы в целом дан В.А. Ковдой (1981а).

На серьезность проблем нерационального использования водных ресурсов обращают внимание многие ученые. Так, Е.Б. Величко и Б.Б. Шумаков вскрывают факты нарушения экономного использования воды при рисосеянии на Кубани, приводящие к пагубным экологическим последствиям: "Рис был признан престижной отраслью народного хозяйства. Престижной в такой степени, что на протяжении ряда лет наиболее целесообразной формой его производства была даже провозглашена монокультура.

В результате этого для интересов рисосеяния мы пожертвовали интересами ряда других отраслей, не менее важных. Мы пошли на огромный перерасход воды на единицу орошаемой площади посевов риса, на резкую недодачу воды на нужды рыбовоспроизводства (а значит, на снижение добычи рыбы), на огромные затраты электроэнергии для закачки воды на рисовые поля и откачки ее с этих полей в Азовское море. В стремлении давать как можно больше риса мы довели некогда равновесную систему биосферы зоны рисосеяния и ее окрестностей до грани экологического неблагополучия. Исчерпав водные ресурсы края на рисосеяние, мы заморозили проблему мелиорации древних протоков правобережья Кубани, превратив их в цепочки засоляющихся и заболачивающихся водоемов" (1987. С. 178).

Имеющие место нарушения водосберегающего и экологически обоснованного использования водных ресурсов в сельском хозяйстве вызывают все большую тревогу и озабоченность.

Особое значение приобретает практический опыт рационального использования водных ресурсов. Так, в передовых хозяйствах Узбекистана благодаря применению более совершенных способов полива добиваются сокращения затрат поливной воды при одновременном росте урожайности сельскохозяйственных культур.

При разработке научных основ экономного использования воды в сельскохозяйственной и других сферах необходимо все большее внимание обращать на многоаспектность этой проблемы и выделение в ней нескольких уровней: а) собственно-технологического; б) эколого-экономического; в) организационно-правового и др. Проблема в целом может быть успешно решена только при условии ее одновременного решения на всех уровнях. Так, разработанные технологии экономного и экологически сбалансированного водопользования, которые, как правило, сопряжены с дополнительными экономическими затратами, не получат широкого внедрения, пока не будут включены механизмы материальной заинтересованности предприятий и организаций, использующих эти технологии. А это может произойти в широких масштабах при условии экономической стимуляции разработки и внедрения экологически оправданных технологий, т.е. когда будет решена проблема на эколого-экономическом уровне. Совершенно необходимо одновременно решение и организационно-правовых вопросов

Таблица 10

Балансовая оценка ресурсов пресных вод (Львович, 1986)

Элементы водного баланса, мм	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия	СССР
Осадки	734	726	686	670	1648	736	500
Полный речной сток	319	293	139	287	583	226	198
Подземный сток	109	76	48	84	210	54	46
Поверхностный сток	210	217	91	203	373	172	152
Валовое увлажнение территории	524	509	595	467	1275	564	348
Испарение	415	433	547	383	1065	510	300

рационального водопользования, предусматривающего систему оплаты по конечным результатам, юридическую ответственность за грубые нарушения предусмотренных нормативов и др.

Следующая характерная ресурсная черта гидросферы — это *планетарно-регионально-ландшафтная неоднородность распределения ресурсов пресных вод.*

Различная обеспеченность водными ресурсами наиболее крупных частей суши континентов выражена достаточно отчетливо (табл. 10). Самая богатая водными ресурсами на единицу площади (по слою стока) — территория Южной Америки. Полный и подземный сток здесь в 2 раза больше, чем в Европе, занимающей второе место по водообеспеченности. Далее идут Азия, Северная Америка, Африка, Австралия. По общему объему полного и подземного стока, зависящего от площади, распределение континентов следующее: первое место занимает Азия, далее идут Южная Америка, Северная Америка, Африка, Европа и Австралия с Океанией.

Неоднородность распределения водных ресурсов отчетливо проявляется по отдельным странам и регионам. Это в полной мере относится и к СССР, где на огромной территории водные ресурсы распределены крайне неравномерно и невыгодно в ряде случаев для ведения хозяйства. Известно, что около 2/3 речного стока приходится на северные районы, а население и хозяйство сосредоточены прежде всего в центральных и южных районах. В СССР 80% хозяйств сосредоточены в районах, где имеется менее 20% ресурсов пресных вод. Это создает многие трудности, обусловленные относительной маловидностью густонаселенных районов, развитых в экономическом отношении (Клиге, 1985).

Пути преодоления хозяйственных трудностей, возникающих в связи с неоднородностью распределения водных ресурсов, многоплановы, сопряжены с дополнительными затратами. Часто возникают серьезные осложнения экологического порядка. Примером явилась попытка

форсированно решить проблему неравномерного распределения речных вод в Западной Сибири и ЕТС путем переброски части стока северных рек на юг. Проект переброски при более тщательном экологическом его анализе оказывается сопряженным с огромными негативными последствиями в случае его реализации. Среди них: а) подтопление, затопление и изъятие из землепользования больших площадей ландшафтов и почв, в том числе высокоплодородных пойменных земель; б) уменьшение водообеспеченности районов, изъятие части стока; в) снижение биологической продуктивности прибрежных районов Северного Ледовитого океана и увеличение его ледовитости в связи со снижением притока теплых речных вод; г) ухудшение климатических условий, изъятие речного стока и глобальное осложнение климатической обстановки в связи с нарастанием общей ледовитости Северного Ледовитого океана; д) разрушение определенной части памятников культуры и изменение природных условий на части особо охраняемых территорий и др.

К сказанному следует добавить огромные затраты, которые необходимы на осуществление самого проекта. Ясно, что реализация данного проекта на фоне нерационального использования имеющихся водных ресурсов в южных районах переброски оказалась бы необоснованной. Поэтому приостановка реализации данного проекта специальным постановлением явилась весьма своевременной.

Проект переброски части стока обнажил ряд очень серьезных проблем научного обоснования крупномасштабного использования водных ресурсов в связи с расширением сельскохозяйственного производства. Выяснился недостаточный учет негативных экологических последствий нарушения взаимосвязи и сложившегося типа функционирования компонентов природы, в том числе почвенного покрова, на обширных территориях. Одна из причин этого недоучета — общая слабая изученность экологических функций природных компонентов, прежде всего почвы (Никитин, 1977; Ковда, 1985б; Добровольский, Никитин, 1986).

Доминировавшее отношение к почве как объекту сельскохозяйственного труда, несомненно, облегчало оправдание намеченного изъятия значительной части северных почв из естественного продукционного процесса, поскольку при этом предполагалось усиление производительности агробиогеценозов на юге за счет дополнительного поступления вод с севера. Фактически почвенные потери на севере оценивались лишь как частичные потери землепользования, которые рассматривались как несущественные, поскольку предполагалась их компенсация за счет увеличения плодородия дополнительно орошаемых почв южных районов.

Но при таком подходе имеет место явное упрощение реальных экологических потерь, поскольку с утратой или деградацией естественных почв на достаточно обширных пространствах происходят региональные негативные изменения в функционировании биосферы в связи с нарушением многочисленных экологических функций почв и связанных с ними биоценозов. Причем определенные негативные следствия могут быть отмечены даже там, где ожидались явные поло-

жительные эффекты в природных процессах от крупного перераспределения водных ресурсов между регионами.

Так, в числе доводов о целесообразности переброски части стока западносибирских рек с севера на юг выдвигалось утверждение, что данная переброска приведет к снижению заболоченности севера Западной Сибири. При этом болота и болотные почвы, как правило, рассматривались как природные феномены с общей негативной или малоценной экологической значимостью. Функциональный подход не позволяет, однако, согласиться с таким утверждением. Болота и болотные почвы выполняют многие положительные экологические функции. Так, они оказываются одним из регуляторов содержания диксида углерода в воздушной оболочке. Участвуя в связывании CO_2 атмосферы в процессе торфо- и подстилкообразования, болотные почвы тем самым ограничивают интенсивное антропогенное увеличение диоксида углерода в воздушной подушке. Следовательно, процессы широкомасштабного разболачивания и деградации болотных почв могут привести к дополнительному возрастанию CO_2 в атмосфере, что нежелательно (Добровольский, Никитин, 1986; Горшков, 1987б и др.).

Не менее важно при оценке других экологических потерь в связи с изъятием и деградацией почв при подтоплении, затоплении или осушении почв учитывать не только собственно почвенные потери, но и утрату почвообитающих организмов, в том числе и редких видов. Мало кто знает, что на каждом квадратном метре почвы средней полосы СССР можно встретить до 100 разных видов почвенных обитателей. Это незнание объясняется запоздалым развитием почвенной экологии, следствием чего явился недоучет значимости почвообитающих организмов в функционировании экосистем и биосферы в целом. В последние годы наметился определенный прогресс в данной области, показателем чего является, в частности, выход в свет такой книги, как "Почвенная фауна в кадастре животного мира" (Криволуцкий и др., 1985). Разработка специальных кадастров почвообитающих организмов, естественно, предполагает обязательный учет возможных потерь живого вещества почв в случае их трансформации в результате намечаемых водохозяйственных мероприятий.

Таким образом, несмотря на то что водообеспеченность различных регионов явно неравноценна и естественное региональное распределение воды в ряде случаев невыгодно для ведения хозяйства, мы не можем односторонне решать проблемы оптимизации водопользования. Любые сколько-нибудь значительные региональные перераспределения водных ресурсов наряду с ожидаемыми выгодами несут с собой, как правило, многие негативные экологические последствия, своевременно предвидеть и оценить которые оказывается важнейшей задачей прикладного гидроэкологического прогноза.

При решении конкретных задач данного прогноза обязательным оказывается учет изменения многочисленных экологических функций почвы и связанных с ней биоценозов. Поскольку при крупномасштабных водохозяйственных преобразованиях почв и ландшафтов серьезные экологические потери фактически неизбежны, должно полу-

Таблица 11

Антропогенная нагрузка на водные ресурсы по регионам, % к показателям по СССР, 1985 г. (Бабич, Григорьев, 1987)

Показатель	СССР	Регион		
		Европейская территория СССР	Сибирь и Дальний Восток	Средняя Азия и Казахстан
Число жителей на 1 км^2	100	72	11	17
Численность городского населения	100	294	19	94
Площадь орошаемых земель	100	76	12	12
Ресурсы речного стока	100	26	69	5
Водопотребление	100	49	7	44
Отношение водопотребления к ресурсам речного стока	100	188	10	942
Отношение водоотведения к ресурсам речного стока	100	225	15	712

чить все более широкое распространение планирование развития сельского хозяйства, промышленности и поселений с учетом пространственно-временно́й неоднородности распределения водных ресурсов.

В этой связи, по-видимому, должны быть пересмотрены сложившиеся представления о приоритетности для развития сельского хозяйства южных районов, благоприятных по тепловым ресурсам, но недостаточно обеспеченных влагой. Необходимо заново переосмыслить идею Н.И. Вавилова об "осеверении" сельского хозяйства. Кроме того, особую актуальность в связи со сложностью дополнительного снабжения сельского хозяйства водой приобретает проблема развития богарного земледелия и маловодоемкого орошения.

Сложность и экологическая нежелательность дальнейшего увеличения водоснабжения сельского хозяйства традиционными способами признается все бо́льшим числом самих гидрологов и мелиораторов. Признается необходимость все более широкого применения в ирригации механизированных методов полива, позволяющих одновременно повышать производительность труда и сильно сократить количество расходуемой воды. Например, капельное орошение позволяет в 3—4 раза тратить воды меньше, чем ручное орошение. Все большее распространение должно получать внутрипочвенное орошение. Перспективным и экологически более обоснованным рассматривается увеличение доли подземных водохранилищ, которые по общему объему достигнут масштаба поверхностных (Львович, 1986).

При разработке направлений и систем рационального использования гидросферы приходится также принимать во внимание уменьшение запасов пресных вод на душу населения. В настоящее время население различных стран и регионов обеспечено водными ресурсами весьма неравномерно (табл. 11). Даже для больших территорий обеспеченность водой на душу населения колеблется в больших пределах:

от 4,76 тыс. $м^3$/год в Европе до 44,3 тыс. $м^3$/год в Южной Америке и до 94 тыс. $м^3$/год в Австралии с Океанией в расчете на полный речной сток.

Обеспеченность водными ресурсами отдельных стран изменяется в еще бóльших пределах, чем водообеспеченность населения материков. Причем исследователи устанавливают явную зависимость уровня развития промышленности и сельского хозяйства отдельных стран от ресурсов пресных вод. Так, высокое развитие данных отраслей хозяйства в Нидерландах и Венгрии связывается с тем, что в этих странах используется не только речной сток, формирующийся на их территории, но и транзитный сток, идущий с территории других государств. Нидерланды получают транзитом 80 $км^3$/год стока Рейна, а Венгрия — еще большее количество стока Дуная (Львович, 1986).

Проблема обеспеченности водными ресурсами на душу населения, остро стоящая для ряда стран в настоящее время, еще больше может обостриться в будущем. Ведь за последнее столетие отмечается постоянное снижение годовой обеспеченности населения мира ресурсами пресных вод. В связи с ростом населения обеспеченность его водными ресурсами уменьшилась с 1850 г. более чем в 2 раза. Причем в течение каждого из трех последних десятилетий снижение обеспеченности водой населения мира происходило в 3 раза быстрее, чем в течение столетия до 1950 г. Значительное снижение обеспеченности водными ресурсами в связи с продолжающимся ростом населения ожидается и в ближайшие десятилетия.

Среди мероприятий, тормозящих падение обеспеченности водными ресурсами мира, многие гидрологи называют прежде всего создание водохранилищ, число которых постоянно увеличивается (Клиге, 1985; Авакян и др., 1987). Однако, как уже подчеркивалось, создание поверхностных водохранилищ чревато многими экологическими потерями. Поэтому приоритет должны получать подземные водохранилища. Их главные преимущества в том, что они не требуют изъятия значительных территорий из сферы активного функционирования биосферы и землепользования; вода из них почти не тратится на испарение и в меньшей мере подвержена загрязнению. Вместе с тем созданию новых подземных водохранилищ должны предшествовать полнокомплексные исследования и совершенствование способов их организации. Полагают, что подземные водохранилища целесообразно создавать в пределах распространения пресных подземных вод и на сравнительно незначительных глубинах. В случае нерегламентированного нагнетания воды в скважины на большую глубину в горизонты, где находятся рассолы, могут происходить местные землетрясения. Современные подземные водохранилища имеют своих предшественников. Туркмены издавна практиковали подземное накопление пресных вод в Каракумах. Поверхностный сток на такырах направлялся в колодцы, где он поступал под землю, образуя линзы пресной воды, которая затем использовалась для водоснабжения населения и водопоя овец (Львович, 1986).

Отмеченный путь предотвращения дальнейшего уменьшения обеспеченности населения водными ресурсами, конечно, не может быть

признан достаточным. Он должен сочетаться с постоянным усилением водосберегающих мероприятий и улучшением технологий повторного использования воды и очистки сточных вод, позволяющих не только снизить общее потребление воды, но, что не менее существенно, предотвратить дальнейшее падение качества природных пресных вод. Ведь, по данным Всемирной организации здравоохранения, не обеспечены питьевой водой соответствующего качества более 2 млрд человек.

Одна из важнейших причин снижения качества природных вод — продолжающееся промышленное, бытовое и сельскохозяйственное загрязнение гидросферы. В результате этого стала отмечаться *повышенная чувствительность почвенно-наземной, подземной и океанической гидросферы к загрязнению.*

Эпоха научно-технической революции наряду с крупнейшими достижениями человеческого разума породила и ряд сложнейших глобальных проблем, среди которых загрязнение гидросферы, почвенной оболочки и других геосфер Земли оказалось особенно тревожным. Достаточно сказать, что в 80-е годы загрязнение биосферы явилось основной причиной гибели исчезающих организмов. В ближайшие десятилетия ожидается дальнейшее нарастание загрязняющего пресса на природу. Данная проблема приобрела исключительную значимость для всей цивилизации и стала предметом специальной заботы правительств многих стран и мирового сообщества в целом, поскольку для своего решения (особенно в части охраны гидросферы и атмосферы) она нуждается в международном природоохранном сотрудничестве.

Исключительная актуальность проблемы борьбы с загрязнением окружающей среды подчеркивалась на XXVII съезде КПСС: "К серьезным выводам приводит анализ еще одной группы противоречий — противоречий глобального масштаба, затрагивающих самые основы существования цивилизации. Речь идет прежде всего о загрязнении окружающей среды, воздушного бассейна и океанов, истощении природных ресурсов. Проблемы обостряются не только избыточными нагрузками на природные системы вследствие научно-технической революции, роста масштабов деятельности человека... Все отчетливее вырисовывается потребность в эффективных международных процедурах и механизмах, которые обеспечивали бы рациональное использование ресурсов планеты как общечеловеческого достояния".

Необходимость международного решения многих проблем охраны гидросферы диктуется в первую очередь тем, что речной сток не подчиняется государственным границам и загрязнения, выброшенные в природную среду в одной стране с транзитными водами, легко попадают на территорию другой державы. Необходимость глобального решения проблемы загрязнения окружающей среды со всей остротой ставит задачи всемерного ограничения и в перспективе практического исключения различных видов загрязнения почвенно-наземной, подземной и океанической гидросферы.

При реализации этих задач все большее значение приобретает охрана почв и почвенно-грунтовых вод от загрязнения различных видов, особенно сельскохозяйственного и промышленного. Внесение

высоких доз минеральных удобрений делает биосферу недостаточно пригодной для человека по санитарно-гигиеническим показателям. "В настоящее время большой интерес вызывают к себе минеральные соединения азота как загрязнители окружающей среды, особенно в связи с подозрением на возможности их трансформации в канцерогенные соединения" (Сидоренко, Можаев, 1987. С. 17).

Мнение о безопасном применении нитратов в качестве минеральных удобрений в настоящее время изменилось. Из нитратов и нитритов почвы и ее растворов образуется нитрит-ион, который не только загрязняет почвенно-наземную гидросферу, но и, превращаясь в NO, поступает в стратосферу, где, соединяясь с озоном, оказывает дополнительное разрушающее воздействие на озоновый экран. Удобрение полей нитратами нередко оказывается опасным для здоровья человека, особенно детей. Если для взрослых людей допустимо поступление до 1000 мг нитратов, то для грудного — всего 10—20 мг. Учитывая это обстоятельство, гигиенисты предлагают "приготовлять для новорожденных фасованную стерильную питьевую воду, содержащую ограниченные концентрации нитратов и заодно и натрия" (Сидоренко, Можаев, 1987. С. 19).

При понимании всей остроты проблемы антропогенного загрязнения почв и гидросферы положительные практические сдвиги до сих пор явно недостаточны, что во многом связано с запаздыванием в разработке и реализации естественнонаучных, экономических и правовых основ ее решения в региональном и особенно глобальном масштабах.

Дело осложняется также и тем, что уже сегодня загрязнение и деградация гидросферы и окружающей среды в целом должны блокироваться не только на основе традиционных методов, более легко доступных и тем не менее осуществляемых далеко не в полном объеме. Жизнь требует разработки принципиально новых подходов (Гирусов, 1976; Добровольский, Никитин, 1986; Гиренок, 1987; и др.). Так, М.И. Львович (1986) считает, что охрана гиросферы на основе соблюдения ПДК загрязняющих ее веществ уже не оправдает себя в будущем. Это он относит прежде всего к загрязнению рек сточными водами, которое, по его аргументированному мнению, должно быть со временем сведено к нулю. Одновременно ряд гидрологов высказывают суждение о том, что главным природным переработчиком антропогенных загрязнителей должна быть почва. С этим как принципиальной стратегической установкой согласиться невозможно. В связи с достижением критического уровня загрязнения гидросферы и биосферы в целом экологически приемлемым оказывается лишь ноосферный путь взаимодействия с природой. Технологические предпосылки его осуществления просматриваются уже сейчас. Одними из мощных механизмов сведения к минимуму сельскохозяйственного загрязнения среды оказываются строго дозированное локальное внесение удобрений и всемерное развитие биологического земледелия. В водном хозяйстве, например городском, интенсивно загрязняющем гидросферу, возможно, появится и такой путь, как перевод городского водоснабжения на замкнутый оборотный цикл (Львович, 1986).

В качестве существенной ресурсной особенности гидросферы, проявляющейся в связи с увеличением антропогенного поступления в нее солей, следует также назвать *снижение опреснительного эффекта* природных влагооборотов в техногенный период. Данное нежелательное явление может быть блокировано уже рассмотренными водо- и почвоохранными мерами, а также восстановлением нарушенных естественных ландшафтов и влагооборотов.

В заключение отметим отчетливое возрастание значимости всех видов водных ресурсов, в том числе почвенных, для человечества, что делает особенно актуальной дальнейшую полнокомплексную разработку научных основ их рационального использования и охраны. Очевидна и актуальность развития почвенной гидрологии как междисциплинарной области исследований.

Глава третья

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА АТМОСФЕРУ

Если тесная связь гидросферы и почвы уже стала достаточно очевидной, то зависимость атмосферных процессов от почвенной оболочки на первый взгляд может показаться слабой или неуловимой. В действительности же воздействие почвы на воздушную оболочку, так же как и на гидросферу, многопланово и существенно. Это определяется прежде всего единством всех геосфер планеты, что со всей определенностью показал В.И. Вернадский (1926, 1987).

Тесная зависимость состава и динамики атмосферы от почвы диктуется в первую очередь их взаимопроникновением через газообразную фазу почвы. Не случайно поэтому ряд исследователей выделяют подземную атмосферу, являющуюся своего рода продолжением собственно атмосферы. Другой причиной тесной связи атмосферы и почвы оказывается постоянное физическое воздействие на динамичные нижние слои воздушной оболочки подстилающей поверхности, представленной не только океаном и растительностью, но и почвенным покровом.

Значимость влияния почвы на атмосферу определяется еще и тем, что, хотя условная внешняя граница атмосферы проходит на высоте около 1000 км, основная ее масса, равная $5{,}27 \cdot 10^{18}$ кг, сосредоточена в относительно тонком приземном слое (Кан, 1982). Поскольку между различными частями атмосферы существует постоянный обмен веществом и энергией, то результаты взаимодействия нижних слоев воздушной оболочки с почвой сказываются в той или иной мере на всей атмосфере.

Характерная черта атмосферы — ее многослойность. Всемирная метеорологическая организация в 1962 г. пришла к выводу, что по характеру распределения температуры в воздушной оболочке выделяются следующие сферы: тропосфера (0—11 км), стратосфера (от 11 до

50—55 км), мезосфера (от 50—55 до 70—85 км), термосфера (от 80—85 до 800 км), экзосфера (выше 800 км) (Кан, 1982).

Наиболее разносторонне и постоянно почва взаимодействует с тропосферой. Высота тропосферы в разное время года и на разных широтах неодинакова: на полюсах — порядка 8—10, в умеренных широтах — 9—12, а на экваторе — 16—18 км. Воздух в тропосфере не только движется в вертикальном и горизонтальном направлениях, но и непрерывно перемешивается. Следовательно, физические и химические изменения, возникшие в воздушных массах в зоне контакта их с почвенно-растительным покровом, за короткое время сказываются на вышележащих слоях.

С точки зрения взаимодействия атмосферы с земной поверхностью ее разделяют на нижний пограничный слой и верхний, называемый свободной атмосферой. В пограничном слое происходят суточные изменения метеорологических показателей и движение воздуха в значительной мере зависит от трения о земную поверхность, в том числе о почвенно-растительный покров. В данном слое выделяют самый нижний приземный слой высотой 50—100 м с ослабленным изменением потоков водяного пара и тепла с высотой.

В целом в атмосфере температура с высотой изменяется достаточно сложно. В тропосфере она убывает на каждые 100 м более чем на полградуса и у верхней ее границы в умеренных широтах составляет −50—60°. В лежашей выше стратосфере, отделенной от тропосферы тропопаузой (мощностью 1—2 км), температура вначале медленно, а затем довольно быстро растет и достигает среднегодового значения около 0° на верхней ее границе. В стратосфере почти исчезает водяной пар, а облачность не формируется, за исключением перламутровых облаков, изредка образующихся на высоте 20—25 км.

Длительное время полагали, что стратосфера отличается слабым перемешиванием воздушных масс. Однако использование космических летательных аппаратов позволило установить наличие интенсивной циркуляции и вертикального передвижения воздуха. Это весьма существенное обстоятельство, свидетельствующее о том, что многие газообразные и тонкодисперсные соединения, имеющие почвенный и антропогенный генезис, могут проникать через тропосферу в стратосферу и оказывать воздействие на находящийся в ней озоновый слой (Заварзин, 1984).

Динамичность и сложность строения атмосферы, ставшие особенно явными при изучении околоземного космического пространства ракетными аппаратами, заставляют по-новому ставить многие вопросы взаимодействия воздушной оболочки с другими геосферами Земли и особенно с педосферой. Упрощенная трактовка роли почв в природных процессах негативно сказалась и на понимании взаимоотношения атмосферы с педосферой. В подавляющем большинстве случаев учитывалось и изучалось влияние атмосферных процессов на почвообразование и долгое время игнорировалась как самостоятельная проблема обратная связь — воздействие самой почвы на воздуш-

ную оболочку. Это же воздействие, как будет показано ниже, достаточно содержательно и нуждается в специальном исследовании, значимость которого особенно возрастает в связи с глубоким, нарастающим антропогенным изменением почвенного покрова, в ходе которого подвергаются существенной трансформации и его атмосферные функции.

Прежде чем перейти к характеристике этих функций, отметим, что вопросы изучения связи почв и атмосферы рассматривал В.И. Вернадский. Им была опубликована в 1944 г. специальная статья программного характера "О значении почвенной атмосферы и ее биогенной структуры". К сожалению, указанная работа В.И. Вернадского имеет в определенной мере незавершенный характер, что до известной степени затрудняет полное восприятие заложенных в ней идей.

В связи с особой значимостью данной публикации для понимания постановки проблемы взаимодействия почвы и атмосферы остановимся специально на некоторых ее положениях. В первую очередь обращает на себя внимание общая направленность статьи, отраженная в самом ее названии. Заголовок фактически свидетельствует о том, что проблема атмосферных функций почвы как крупная самостоятельная задача фиксировалась уже в первой половине XX в., причем ставилась она крупнейшим естествоиспытателем. К сожалению, в дальнейшем данная проблема разрабатывалась крайне медленно. Первая работа монографического плана появляется в отечественной литературе лишь спустя более 40 лет — это небольшая книга "Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха" (М., 1985). Отдельные публикации на данную тему были и раньше, но они носили или узкоспециальный, или обзорный характер.

Интересна подборка конкретного фактического материала, использованного В.И. Вернадским. Он рассматривает во взаимосвязи два важнейших эмпирических обобщения. Первое формулируется так: "Жизнь геологически вечна" (1944. С. 137). Обосновывается этот вывод ссылками на специальные работы крупных американских геологов Ч. Шухерта и К. Дёнбара, показавших, что "мы нигде на нашей планете не имеем геологических слоев, которые бы образовались в среде, лишенной жизни". Второе эмпирическое обобщение, вытекающее из работ акад. Н.Г. Холодного, кратко сводится к следующему. Первые живые обитатели Земли, примитивные микроскопические организмы, названные Н.Г. Холодным архебионтами, обладали способностью к воздушному питанию. В.И. Вернадский обращает внимание на следующие цитируемые им дословно высказывания Н.Г. Холодного: "Колыбелью жизни на Земле была, по всей вероятности, поверхность обнажившегося из-под воды дна мелких водоемов, и первые этапы своего развития архебионты проводили не в воде, а на поверхности влажного, но твердого субстрата. В связи с этим архебионты были приспособлены главным образом к воздушному питанию: необходимые им углеродистые и азотистые соединения они получали из окружающей атмосферы — в виде различных

органических веществ (в первую очередь углеводородов) и аммиака" (Вернадский, 1944. С. 140).

Приведение В.И. Вернадским двух разделяемых им перекрещивающихся между собой эмпирических обобщений неизбежно приводит к интегральному выводу о взаимодействии геологических слоев и атмосферы с наземными микроорганизмами с древнейших времен. Этот вывод убедительно подтверждается новейшими исследованиями.

В.И. Вернадский также указывает на то, что древние примитивные организмы, остановившиеся в эволюционном развитии (персистенты), могут находить условия для своего сохранения именно в почве. Такие организмы и их материальные остатки "находятся в областях нашей планеты, где затруднено или отсутствует непосредственное воздействие солнечных лучей или вообще лучистой энергии... Почва, вернее почвенная атмосфера, как раз является такой областью" (Там же. С. 142). Данное положение нуждается в дальнейшем развитии и при решении проблемы взаимодействия почвы и воздушной оболочки, поскольку выявление и изучение архаичных форм жизни, до сих пор сохраняющихся в почве, поможет вскрыть механизм изменения древней атмосферы.

Существенным для понимания истории постановки ряда вопросов, рассматриваемых в данной главе, оказывается и указание В.И. Вернадского на явную недостаточность химического изучения атмосферы. "Мы до сих пор даже для тропосферы — нижней газовой зоны оболочки — не имеем полного ее химического анализа. Нет никакого сомнения, что в ней должны находиться все химические элементы. Подобно тому, как это доказано для морской воды, т.е. для гидросферы и для верхней части литосферы, т.е. коры выветривания, нельзя не подчеркнуть, что все металлы должны находиться в тропосфере. Это давно обратило на себя внимание геохимиков. Совершенно ясно, что такое исследование должно иметь большое значение для медицины, для метеорологии и особенно для биохимии, ибо разнообразие газовых минералов в тропосфере должно исчисляться тысячами видов" (Там же. С. 143).

К сожалению, слишком долго господствовало представление об атмосфере как о механической смеси ограниченного числа газов с постоянными количественными соотношениями. Исследования последних десятилетий существенно изменили это положение. Однако до сколько-нибудь полного решения проблем изучения воздушной оболочки и ее взаимоотношений с педосферой и другими геосферами Земли, поставленных еще В.И. Вернадским, все еще далеко. К тому же все нарастающее изменение атмосферы человеком выдвинуло ряд новых серьезных задач ее всестороннего изучения. Среди них и выявление, анализ и комплексное исследование атмосферных функций почвы и их нарушений в результате нерационального землепользования.

ПОЧВА КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ

Среди атмосферных функций почвы выделяется ее влияние на формирование газового состава атмосферы. Оно обнаруживается в двух главных формах — опосредованном и прямом воздействии почвы на состав атмосферных газов. Опосредованное влияние определяется прежде всего зависимостью функционирования наземных биоценозов, контролирующих многие параметры атмосферы (содержание кислорода, CO_2, микрогазов и др.), от свойств почв. Прямое воздействие заключено в самом газообмене между почвой и воздушной оболочкой. Масштабы влияния почвы на газовый состав атмосферы оказываются неожиданно впечатляющими, особенно если рассматривать его в историческом плане.

Долгое время считалось, что ощутимое воздействие живого вещества Земли на состав атмосферы выражалось в фотосинтетической деятельности вначале одноклеточных организмов Мирового океана, а затем высшей растительности континентов после образования ею сплошного зеленого покрова. Отсюда, естественно, следовал вывод, что значительное влияние почвы (прежде всего опосредованное) на формирование состава атмосферы началось лишь со времени завоевания суши растениями и возникновения первых развитых почв. Однако в настоящее время признается, что практически вся геологическая история тесно переплетена с историей жизни на Земле и что даже в самых древних породах, имеющих возраст более 3 млрд лет, присутствуют следы жизнедеятельности живых организмов в их микроскопических формах (Заварзин, 1984). Таким образом, не только в океане, но и на суше абиогенная стадия длилась недолго по геологической шкале времени. Отсюда вытекает весьма важный вывод — заселенность суши живыми организмами исчисляется миллиардами лет и такой же древний возраст имеют первые примитивные почвы планеты. Следовательно, существенное воздействие почв и почвообразования на состав атмосферы началось намного раньше возникновения высшей растительности на суше. Говоря об этом, необходимо дать некоторые пояснения относительно нашего понимания почвы.

Мы не связываем возникновение почв с поселением на поверхности материнского субстрата высшей растительности. Это условие оказывается обязательным для формирования полноразвитых почв (собственно почв), имеющих хорошо выраженный макроморфологический профиль, расчлененный на ряд генетических горизонтов. Первичное же примитивное почвообразование имеет место уже при появлении низшей растительности и микроорганизмов (Полынов, 1956; Сушкина, Цюрупа, 1973; Ковда, 1985б; и др.). Продукт такого почвообразования (примитивные почвы, или микропочвы) существенно отличается от полнопрофильных почв, но тем не менее имеет почвенную природу. В связи с самостоятельным значением проблемы первичного почвообразования и ее недостаточной разработанностью мы не имеем возможности подробно останавливаться на ней. К сказанному лишь добавим, что, по-видимому, имеет смысл шире использовать понятия "субпедогенное" и "педогенное" тела — близкие к почве образо-

вания, или почва в широком понимании, включающая в себя собственно почвы (классические докучаевские), примитивные наземные (микропочвы и полупочвы[1]) и подводные (почвы и полупочвы). Многие теоретические и методологические трудности, возникающие при использовании понятия "педогенное тело", несмотря на кажущуюся сложность, разрешимы. Так, вопрос о нижней границе почвы, формирующейся при отсутствии высшей растительности, может быть решен, как нам представляется, достаточно корректно (Никитин, 1980а). Дадим некоторые пояснения этому.

При решении вопроса о границах какого-либо природного образования можно за таковые принять границы структурных компонентов или процессов, формирующих его. Определение нижней границы почвы по ее структурным составляющим обычно сопряжено со значительными трудностями из-за наличия общих черт в морфологии и вещественном составе нижних горизонтов почвы и прилегающей к ней коры выветривания. Поэтому лучше, на наш взгляд, определять нижнюю границу почвы по пространственной локализации процессов, непосредственно ее образующих. Среди таких процессов в первую очередь должны учитываться процессы двустороннего обмена веществом между собственно почвенными и подпочвенными горизонтами. Там, где прекращается этот обмен, вероятно, и проходит нижняя граница почвенного тела. Обычно за такую границу принимается глубина распространения корней. С этим можно согласиться, если имеются в виду полноразвитые ненарушенные почвы, заселенные высшей естественной растительностью с глубокой корневой системой. Однако для многих окультуренных и некоторых целинных почв этот критерий оказывается недостаточным в связи с поверхностным расположением корней ряда растений. Например, невозможно объективно провести нижнюю границу почвы по глубине распространения корневых систем на пахотных землях или в подзолистых разновидностях, развивающихся в ельниках мертвопокровных. Еще более усложняется определение нижней границы почвы при отсутствии на ней высшей растительности.

В связи с этим нужны дополнительные критерии, которые фиксировали бы зону обмена веществом между собственно почвенными и подпочвенными горизонтами. Одним из таких важных критериев должна служить глубина, с которой может осуществляться поднятие влаги по капиллярам. Действительно, в случае поверхностной корневой системы или ее полного отсутствия обмен веществом между почвенными и подпочвенными горизонтами определяется поступлением соединений из нижних слоев в процессе капиллярного поднятия растворов, достигающего 4 м в суглинках, заметно уменьшающегося в песках и увеличивающегося в глинистом субстрате. Таким образом, нижняя граница функционирующей почвы может быть установлена по максимальной глубине, с которой возможно заметное поступление вещества в деятельный слой почвообразования с помощью корней или восходящего движения растворов или того и другого одновременно.

[1] Термин „полупочвы" использован И А Соколовым

Таблица 12

Сравнение состава атмосферы и магматических газов Толбачинского извержения, об. %

Соединение	Атмосфера*	Магматические газы	
		с учетом паров воды	сухие
H_2O	1,4	78,56	—
N_2	77,5	11,87	55,36
O_2	20	0,01	0,05
Ar	0,93	0,06	0,30
CO_2	$3{,}3\cdot10^{-2}$	4,87	22,71
H_2	$5\cdot10^{-4}$	3,01	14,04
HCl	10^{-7}	0,57	2,66
HF	0	0,056	0,26
CO	$1{,}2\cdot10^{-5}$	0,39	1,86
SO_2	$2\cdot10^{-8}$	0,03	0,14
H_2S	$2\cdot10^{-8}$	0,16	0,75
NH_3	10^{-7}	0,11	0,51
CH_4	$1{,}4\cdot10^{-4}$	0,44	2,05
NO_x	10^{-8}	0,0	0,0
N_2O	$3{,}3\cdot10^{-5}$	0,0	0,0
O_3	10^{-6}	0,0	0,0
He	$5{,}2\cdot10^{-6}$	0,001	0,005
Ne	$1{,}8\cdot10^{-5}$	—	—
Kr	$1{,}1\cdot10^{-6}$	—	—
Xe	$9\cdot10^{-8}$	—	—

*По данным зарубежных и отечественных исследователей (Заварзин, 1984)

Переходя к рассмотрению конкретных видов влияния почвы на формирование состава атмосферы, отметим, что здесь существуют два относительно самостоятельных аспекта: воздействие почвы на атмосферу в течение истории ее развития и современное влияние почвы на воздушную оболочку. Остановимся на первом аспекте проблемы.

В настоящее время исследователи полагают, что в истории атмосферы выделяются три этапа (Будыко и др., 1985). Первый из них приурочен к началу докембрия, когда существовала первичная атмосфера и стала формироваться вторичная воздушная оболочка. Первичная атмосфера, по-видимому, образовалась из газово-пылевого облака — источника вещества для построения Солнечной системы. Вторичная атмосфера возникла из газов, попавших в нее вследствие дегазации верхней мантии и земной коры (табл. 12). Состояла она в основном из углекислого газа и паров воды, а также небольшого количества азота и водорода (Walker, 1977). Второй этап истории атмосферы включает основную часть докембрия — до начала фанерозоя. Третий этап относится к фанерозою — от кембрия до четвертичного периода включительно.

Относительно оценки состава вторичной атмосферы существуют

различные мнения. Имеются высказывания о незначительном изменении ее состава — в течение геологически длительных отрезков времени. Однако все чаще высказываются суждения о существенном изменении состава вторичной атмосферы на различных этапах ее эволюции. В истории вторичной атмосферы выделяют два главных периода — бескислородной и кислородной атмосферы. Граница между этими периодами обозначилась около 2 млрд лет назад (Будыко и др., 1985).

Если рассматривать участие почвы в формировании состава атмосферы, определяя почву как систему, формирующуюся при участии всех классических факторов почвообразования, в том числе растительного покрова, то время активного включения почвообразования во взаимодействие с атмосферными процессами необходимо датировать силуром, когда происходило массовое заселение суши сосудистыми растениями.

Однако, как уже говорилось, у нас нет оснований жестко связывать генезис почв с участием в их формировании высшей растительности. Почвы и педогенные тела могут возникать и при несколько ином сочетании факторов почвообразования, когда живое вещество редуцировано до простейших его форм и в предельном случае представлено только микроорганизмами. Есть все основания полагать, что примитивное почвообразование и примитивные почвы (или протопочвы) были широко распространены ранее на Земле, сочетаясь прежде всего с верхними горизонтами древнейших кор выветривания и осадочных пород, выходящих на поверхность (Ковда, 1985б).

Основанием для такого заключения служат факты обнаружения жизни на Земле в породах возрастом около 4 млрд лет. Г.А. Заварзин (1984) подчеркивает, что наиболее древние осадочные породы Исуа (Гренландия) возрастом 3,8 млрд лет содержат следы биологической активности: в них обнаружен углерод, по изотопному составу соответствующий фотосинтетическому, и есть отложения железа, свидетельствующие о возможном фотосинтетическом источнике O_2. В кремнях Варавууна (Австралия) возрастом 3,5 млрд лет обнаружены строматолиты и микрофоссилии трихомных микроорганизмов. Указание на возможность фотосинтетических процессов в столь далеком прошлом не противоречит тому, что существование кислородной атмосферы исчисляется временем около 2 млрд лет, поскольку условия для возникновения кислородной атмосферы были созданы задолго до конца этапа бескислородной атмосферы (Будыко и др., 1985). Процесс перехода бескислородной атмосферы в кислородную был, по мнению указанных авторов, определен появлением и широким распространением автотрофных организмов.

Факты присутствия микроорганизмов в древнейших геологических слоях позволили говорить об их крупнейшем вкладе в биологизацию Земли и качественное изменение ее атмосферы (Заварзин, 1984; Будыко и др., 1985; и др.). Однако в этих справедливых высказываниях просматривается тенденция рассматривать воздействие микроорганизмов на древнюю атмосферу как автономное, даже когда они существовали в поверхностных горизонтах горных пород суши. В то же время очевидно, что в последнем случае микроорга-

низмы оказывались уже, как правило, компонентом почв или педосистем (Никитин, 1980а), следовательно, их воздействие на атмосферу не может быть понято достаточно полно без учета взаимодействия с газовой оболочкой всей почвенной системы, включающей и микроорганизмы как свою наиболее активную часть.

Действительно, микроорганизмы в поверхностных горизонтах горных пород могут проявить себя как геохимически действенная сила в основном тогда, когда сформировалось педогенное тело (почва) с его функционально-динамическими и экологическими возможностями. Здесь особое значение начинает играть сложная системная организация почвы (Добровольский, 1986; Добровольский, Никитин, 1986), являясь компонентом которой, микроорганизмы приобретают качественно новые геохимические возможности.

В чем причина усиления деятельности микроорганизмов в случае наличия сформировавшихся почв? Прежде всего почва обеспечивает принципиально большее содержание микроорганизмов в единице объема поверхностных горизонтов зоны гипергенеза. Достигается это сочетанием двух обстоятельств: резким возрастанием тонкодисперсных фракций, формирующихся в ходе почвообразования—выветривания и обеспечивающих колоссальное увеличение (в десятки тысяч раз) активной поверхности мелкозема по сравнению с поверхностью монолитных массивно-кристаллических пород, и существованием микроорганизмов почвы в основном в состоянии адсорбции на многочисленных активных поверхностях мелкозема, благодаря чему они могут концентрироваться в почве в огромных количествах — до нескольких миллиардов микробных клеток в 1 г мелкозема (Звягинцев, 1974, 1987). Естественно, что такое исключительное сосредоточение в почве микроорганизмов позволяет им выполнять принципиально бóльшую по масштабам и результативности работу по преобразованию атмосферы. Не меньшее значение имеет и то обстоятельство, что почва, являясь сложноорганизованным биокосным телом с большим разнообразием внутрипрофильных микроэкологических ниш, обеспечивает развитие разнообразных групп почвенных микроорганизмов, организующихся в действенную работающую микробиологическую систему. Есть все основания считать, что атмосферопреобразующая деятельность такой системы окажется существенно эффективнее, нежели работа упрощенных микробных сообществ, освоивших непочвенные среды. Ведь комплекс почвенных микроорганизмов отличается сразу по двум важнейшим показателям: общему количеству микроорганизмов и их видовому разнообразию. "По микробному разнообразию почва — самая богатая среда обитания по сравнению с другими естественными средами, такими, как природные воды, геологические отложения, силос, рубец жвачных животных, кишечник, молочные продукты и т.д." (Звягинцев. 1987. С. 5).

Кроме указанных причин принципиального усиления геохимической работы почвенных микроорганизмов по преобразованию состава атмосферы, необходимо также указать на исключительное значение того обстоятельства, что почва оказывается влагопроводящим и воздухоносным телом, как правило, с быстрым отведением водораство-

римых метаболитов и высокой скоростью газообмена с нижними слоями тропосферы. Благодаря последнему изменения, произведенные микроорганизмами с газообразной фазой почв, почти сразу отражаются на прилегающих к ней воздушных слоях.

В.И. Вернадский высоко оценивал газовый обмен почв и ее живого вещества с атмосферой: "Почва, взятая без газов, не есть почва. Роль почв в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в ее живом веществе и которая способна к переносу благодаря проникающим в почву газам. Говоря о значении биохимических процессов в почвах и о значении почвы в области биосферы, мы, другими словами, скрыто указываем на первенствующую роль газов в почвенных процессах и на значение этих газов в газовом обмене земной коры" (цит. по: Звягинцев, 1987. С. 129).

Таким образом, говоря об общем значении микроорганизмов в биологизации приповерхностных геосфер Земли и изменении состава ее атмосферы, мы должны специально подчеркнуть, что большой вклад в указанные процессы микроскопических форм жизни во многом был обусловлен их тесной связью с почвой и педогенными телами (в определенных пространственных интервалах). Есть все основания полагать, что эта связь имеет такой же возраст, какой у наиболее древних геологических отложений, испытавших воздействие живого вещества. Поэтому, рассматривая факторы трансформации атмосферы в древний, дофанерозойский, этап ее развития, мы должны включить в число этих факторов не только микроорганизмы, но и почвы.

В каких же конкретных формах проявилось участие почвы в формировании газового состава атмосферы на ранних стадиях ее развития? Отвечая на этот вопрос, необходимо сразу отметить, что подавляющее большинство исследователей видят наиболее существенный результат трансформации древней атмосферы в ее переходе из бескислородного режима в кислородный. Причем данный процесс перехода, как полагают, во многом был регламентирован процессом удаления избытка CO_2 из атмосферы, благодаря чему создавались предпосылки для увеличения количества свободного кислорода в атмосфере (Вернадский, 1987).

Г.А. Заварзин (1984) также прямо указывает на то, что важнейшим фактором накопления кислорода в атмосфере является образование недоокисленной органики, в процессе формирования которой поглощается атмосферный углерод.

Участие почвы в связывании избытка углерода атмосферы было многоплановым. Опосредованное участие заключалось в том, что, являясь одной из сред обитания древних организмов, почва оказалась одним из важнейших факторов создания их биомассы, в элементном составе которой доминировал углерод, являющийся ведущим компонентом живого вещества (табл. 13).

Кроме того, в процессе минерализации отмирающей биомассы происходит связывание углерода в продуктах гумификации. Следует

Таблица 13

Соотношение элементов в разных резервуарах органического углерода (Заварзин, 1984)

Резервуар	Соотношение элементов (по: СКОПЕ-14)				Резервуары, 10^{15} г С (по: СКОПЕ-13)
	C	N	S	P	
Наземные растения	194	1,8	0,8	1	820
Наземные животные	78	11	1,1	1	1
Бактерии	43	4,3	0,2	1	6
Грибы	188	11,7	0,8	1	
Почвенное органическое вещество	54	3	1,2	1	
Морские растения	129	12	2,9	1	
Морские животные	93	12	0,7	1	3
Морские осадки (поверхностные)	212	16		1	$1 \cdot 10^7$ (за 10^8 лет)
Ископаемое топливо	9300	36	130	1	6000
Растворимая органика океана	—	—	—	—	1000

также учитывать и то, что в функционирующей почве постоянно продуцируется значительное количество углеродсодержащих метаболитов связанных с ней организмов. Метаболиты, особенно в условиях промывного водного режима (доминировавшего в древности), регулярно выносятся за пределы почвенного профиля, поступая в различные геохимические потоки, в том числе и те, которые поставляют материал для нефтегазообразования, особенно интенсивно концентрирующего и консервирующего углерод.

Необходимо также учитывать и трату атмосферного диоксида углерода на внутрипочвенное химическое выветривание с участием угольной кислоты. Есть основание полагать, что значительного количественного выражения может достигать и включение углекислого газа в гидросферу через почвенное гидрологическое звено — вынос в океан с поверхностными и почвенно-грунтовыми водами растворенного в них CO_2 и участие последнего в формировании субаквальных карбонатных отложений.

Нельзя переоценивать вклад почвы в трансформацию состава атмосферы (как нельзя абсолютизировать и другие функции почвы), поскольку изменение любой глобальной оболочки определялось функционированием и динамикой всей системы взаимосвязанных геосфер Земли и биосферы в целом. Но для более полного и правильного понимания эволюции и развития геосфер, в том числе воздушной оболочки, полный учет взаимодействия их с почвенным покровом планеты оказывается совершенно необходимым (см. табл. 2).

Одним из важных показателей изъятия CO_2 из древней атмосферы с помощью педо- и гипергенного механизма является обогащение углеродом осадочной оболочки по сравнению с гранитной, из которой она в значительной мере образовалась. Эволюция состава осадочной

оболочки, основная часть материала которой испытала воздействие почво- и корообразования, освещена в ряде работ (Ронов, 1980; Будыко и др., 1985; и др.).

В качестве наиболее важных для понимания рассматриваемых в данной работе вопросов следует отметить следующие положения по эволюции осадочной оболочки, изменению ее состава и особенно содержанию в ней углерода.

Прежде всего, основная часть осадочной оболочки сосредоточена на материках планеты — областях континентального почвообразования и выветривания. Здесь сосредоточено около 70% массы осадочной оболочки. На континентальный блок вместе с шельфом и материковыми океаническими склонами приходится 91% объема пород этой оболочки. На ложе же океанов, занимающее 58% общей площади планеты, приходится всего 9% общего объема осадочных пород.

Необходимо, однако, отметить, что около половины общего объема осадочных пород континентов (46%) сосредоточено в толщах палеозоя, сформировавшихся за 335 млн лет, т.е. за интервал времени, составляющий 21% продолжительности неогея (1,6 млрд лет). Отложения же позднего протерозоя, составляющие лишь 16% объема осадочной оболочки, формировались за период, составляющий 64% длительности неогея (Будыко и др., 1985). Отсюда можно сделать общий вывод, что, хотя формирование осадочной оболочки, а следовательно, и влияние педо- и гипергенеза на эволюцию атмосферы началось около 4 млрд лет назад, масштабы этого влияния были в различные геологические эпохи неравнозначны.

Общий вклад осадочного вещества в земную кору с учетом метаморфизованных осадков докембрия составляет не менее 35% общей ее массы. Относительно распределения углерода в осадочной оболочке А.Б. Роновым опубликованы следующие придержки: доминирует карбонатный углерод, общая масса которого составляет $860 \cdot 10^{20}$ г; больше всего его содержится в осадочных породах континентов — $563 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 66% общей его массы; в осадках шельфа и материкового склона находится $224 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 26%; меньше всего содержат углерода осадки пелагиали океана — $73 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 8% общих его запасов в осадочной оболочке (Будыко и др., 1985).

Суммарная масса органического углерода меньше массы карбонатного углерода, но также достигает огромной величины — $118 \cdot 10^{20}$ г. Наиболее емким резервуаром органического углерода, как и карбонатного, оказались осадки континентов, испытавшие в той или иной степени воздействие почво- и корообразования. Углерода здесь накоплено $83 \cdot 10^{20}$ г $C_{орг}$, или 71% общей массы органического углерода осадочной оболочки. В осадках шельфа и материкового склона его в 2,5 раза меньше — $33 \cdot 10^{20}$ г, или 28% общей массы органического углерода. В осадках пелагиали океанов — $1{,}7 \cdot 10^{20}$ г $C_{орг}$, или 1,4% (Будыко и др., 1985).

Количественные показатели накопления свободного кислорода, тесно связанного с изъятием из атмосферы CO_2, могут быть охарактеризованы следующими величинами, полученными для неогея — последних 1,6 млрд лет (Ронов, 1980; Будыко и др., 1985). Приход кисло-

рода, поступившего в атмосферу за неогей, составил $314 \cdot 10^{20}$ г. Общий расход кислорода (затраты на окисление железа и серы, осадочной оболочки, серы вод океана и др.) составил $180 \cdot 10^{20}$ г. Масса O_2 в современной атмосфере составляет $12 \cdot 10^{20}$ г. "Расход кислорода ($180 \cdot 10^{20}$ г) на 43% меньше по сравнению с его приходом в результате захоронения в осадках остаточного органического углерода ($314 \cdot 10^{20}$ г)" (Будыко и др., 1985). Формирование остаточного органического углерода было прямо или опосредованно связано с педо- и гипергенезом. В результате несбалансированная окислением масса кислорода оказалась равной $134 \cdot 10^{20}$ г.

Вывод об участии древних докембрийских почв и педогенных образований в формировании и эволюции состава атмосферы, особенно в накоплении в ней кислорода, со всей определенностью следует из ряда других фундаментальных работ по эволюции состава воздушной оболочки. Так, Г.А. Заварзин подчеркивает, что "кислородная атмосфера была сформирована до появления высшей наземной растительности" (1984. С. 148). Причем, согласно некоторым расчетам, еще "3 млрд лет назад содержание освободившегося кислорода было 80% от современного уровня" (Там же. С. 152). Основными продуцентами кислорода в древние эпохи Г.А. Заварзин считает цианобактерии (синезеленые водоросли): "Цианобактерии единственные возможные продуценты O_2 для формирования кислородной атмосферы, предшествовавшей развитию эукариот" (Там же. С. 161). Причем обращается внимание на то, что цианобактерии могли занимать не только водные, но и наземные местообитания, подтверждением чего является их значительное распространение в современных такырных, солончаковых и других почвах. "Наземные цианобактериальные сообщества вполне могли населять континенты в далеком прошлом подобно тому, как они населяют сейчас поверхность такыров и солончаков..." (Там же. С. 121).

Как и другие исследователи, Г.А. Заварзин в вопросе накопления кислорода в атмосфере большое внимание уделяет образованию органического вещества и изъятию при этом из воздушной оболочки избытка CO_2, что обеспечивает формирование кислородной атмосферы. Одновременно отмечается, что, согласно данным Н.В. Лопатина, более 3 млрд лет на Земле доминировало накопление органического вещества водорослевого происхождения. Ассимиляция углекислоты атмосферы при формировании основных запасов биомассы древних организмов осуществлялась, по-видимому, при участии прежде всего аэробов и факультативных анаэробов, характерных в первую очередь для почвенных и напочвенных сред обитания. "На протяжении большей части истории органический углерод поступал из реакций автотрофной ассимиляции CO_2 через рибулозобифосфатный путь, свойственный организмам, развивающимся в присутствии кислорода" (Там же. С. 151).

Резюмируя сказанное об эволюционном изменении атмосферы с древнейших времен, можно констатировать, что существенная трансформация ее состава в результате деятельности живых организмов началась задолго до поселения высшей растительности на суше. Срок

воздействия живого на атмосферу исчисляется 3,5—4 млрд лет. Есть основания полагать, что примерно таким же временем должно определяться и участие почв во взаимодействии с воздушной геосферой Земли. Жизнь с момента ее появления в бактериальной форме оказалась неразрывно связанной не только с водной средой обитания, но и другими средами, в том числе с поверхностью горных пород, превращавшихся за геологически короткие сроки в педогенные тела и примитивные почвы, обеспечившие принципиально более интенсивное воздействие древних микроорганизмов на атмосферу. Новый этап в изменении атмосферы наступает в фанерозое после развития континентальной биосферы — появления в ней сложноорганизованных биоценозов и почв. Но этот новый этап при всей его важности не должен затмевать собой исключительное значение предыдущего, гораздо более продолжительного периода. Всестороннее изучение вклада данного периода в общую эволюцию атмосферы поможет глубже понять основную направленность ее истории, полнее изучить механизм изменения воздушной оболочки, что весьма важно для правильного понимания не только прошлого, но и будущего ее развития.

В данном разделе было рассмотрено в основном эволюционное изменение углекислотно-кислородного режима атмосферы в результате ее взаимодействия с живыми организмами и почвами. Но влияние живого вещества и почв распространяется и на состав других компонентов атмосферы, что обусловлено теснейшей связью процессов функционирования и газового метаболизма почвенно-биологических систем с жизнью биосферы и ее воздушной оболочки, что особо отмечал В.И. Вернадский: "Газы биосферы те же, которые создаются при газовом обмене живых организмов. В биосфере существуют только они одни: O_2, N_2, CO_2, H_2O, H_2, CH_4, NH_3... Это не может быть случайностью" (1926. С. 46).

ПОЧВА — РЕГУЛЯТОР ГАЗОВОГО СОСТАВА СОВРЕМЕННОЙ АТМОСФЕРЫ

Современная атмосфера, возникшая в ходе длительного развития Земли, не находится в стабильном состоянии по газовому составу. Несмотря на выровненность соотношения составляющих компонентов в различных зонах, атмосфера пребывает в состоянии их непрерывного пространственно-временно́го изменения, особенно в нижних слоях тропосферы, граничащих с почвенно-растительным покровом. Установлено, что состав тропосферы достаточно сложен и разнообразен.

Длительное время господствовало представление о том, что биогенное воздействие на атмосферу исходит со стороны растительности суши и океана. Но в последнее время оно претерпело значительную трансформацию и дополнение. Все большее число исследователей подтверждают высказанное ранее теоретическое положение В.И. Вернадского о существенном воздействии и почвы на состав атмосферы. Экспериментальные наблюдения позволили показать, что "почва выступает как мощный регулятор газового состава атмосферы" (Звягинцев, 1987. С. 129).

Значительное воздействие на состав атмосферы во многом обусловлено особыми свойствами почвы, определяющими ее влияние на воздушную оболочку.

Среди этих свойств следует прежде всего отметить пористость почвы: количество пор в ней составляет 10—60% объема. Благодаря расположению почвы на стыке с атмосферой, пористому сложению и активному продуцированию газов почвенной биотой газообмен между воздухом и почвой совершается весьма интенсивно. По мнению Д.Г. Виленского, 20-сантиметровый слой почвенного покрова обменивает свой воздух с атмосферой в течение нескольких часов. По данным других исследователей, в пахотном горизонте почти полное обновление воздуха происходит каждый час (Рассел, 1955).

Газообмен почвы и атмосферы, основанный на диффузии, а также конвекции, существенно зависит от разности температур почвы и воздуха, влияния ветра, осадков, уровня грунтовых вод и верховодки. Особенно сильно зависит газообмен от увлажненности почвы, снижаясь по мере ее возрастания. При переходе от сильно увлажненной до водонасыщенной почвы скорость газообмена уменьшается в миллион раз (Звягинцев, 1987). Эти данные свидетельствуют, насколько легче протекает газообмен между почвой и атмосферой по сравнению с газообменом между водными массами и прилегающими к ним воздушными слоями. Как правило, полное насыщение почвы влагой — явление редкое. В почве постоянно присутствует газовая фаза разнообразного состава. Даже на больших глубинах имеется некоторое количество кислорода, в связи с чем восстановительные условия наблюдаются только в отдельных локусах.

Масштабы потребления и выделения газов почвой характеризуются исключительным размахом. За 1 ч кислорода потребляется 1000—4000 л/га, в таких же примерно количествах выделяется углекислый газ. Если бы не было постоянного воздухообмена с атмосферой, запасов кислорода в почве хватило всего на 12—48 ч, в некоторых разностях — на 100 ч (Звягинцев, 1987).

Существенное воздействие почвы на состав атмосферы обусловлено также сильным различием их газовой фазы. Почвенный воздух по ряду показателей состава отличается в десятки и сотни раз от атмосферного, несмотря на высокоскоростной взаимообмен с ним. Это связано с тем, что продуцирование и потребление газов почвы осуществляются весьма быстро в силу интенсивной деятельности почвенной биоты. По сравнению с атмосферным почвенный воздух содержит в 10—100 раз больше углекислоты и во много раз меньше кислорода. Различия по азоту несущественные. Почвенный воздух, кроме того, постоянно содержит пары воды (насыщенность влагой близка к 100%) и ряд микрогазов. В нем также имеются летучие органические соединения (табл. 14), которые хотя и содержатся в небольших количествах, но могут иметь большое значение в балансе веществ из-за быстрого круговорота и сильного физиологического действия этих соединений и органического вещества почв в целом (Звягинцев, 1987; Алиев, 1988).

Значимость влияния почвы на динамику состава приземного слоя

Таблица 14

Летучие органические вещества, образуемые микроорганизмами почвы в анаэробных условиях (Звягинцев, 1987)

Продуцент	Летучие органические вещества
Clostridium	Муравьиная, уксусная, пропионовая, капроновая, изокапроновая, валериановая, изовалериановая, акриловая, кротоновая кислоты; 2, 3 -бутандиол, метанол, этанол, изобутанол, изопентанол, ацетоин; диметилсульфид
Смешанные бактериальные культуры, различные чистые культуры бактерий	Муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная, валериановая, изовалериановая, капроновая, молочная, янтарная кислоты; уксусный альдегид, ацетоин, этилацетат, диацетил, этанол; 2, 3-бутандиол и еще ряд неидентифицированных веществ
Почва с анаэробными условиями	Метан, этан, пропилен, бутан, изобутан, бутен, ацетальдегид, ацетон, метилкетон, метилпропилкетон, диацетил, этанол, н- и изо-пропанол, н- и изо-бутинол, уксусная кислота, метилмеркаптан, диметилсульфид, диметилдисульфид

атмосферы определяется также значительными различиями газовой фазы почв разных ландшафтных зон планеты. Это, в частности, отчетливо прослеживается в выделении почвой CO_2 в атмосферу. Торфяно-глеевые почвы тундры выделяют около 0,3 т/га CO_2 в год, подзолистые хвойных лесов — от 3,5 до 30, бурые и серые лесные широколиственных лесов — от 20 до 60, степные черноземы — 40—70, красные, ферраллитные субтропиков и тропиков — 50—90 т/га (Заварзин и др., 1985). Существенны и сезонные колебания состава почвенного воздуха. Так, содержание кислорода в воздушной среде различных почв в разные сезоны года изменяется в десятки раз (Зборищук, 1985).

В результате внутригодичной изменчивости почвенного воздуха и деятельности наземных растений отмечаются сезонные изменения концентрации различных газов в атмосфере, например CO_2 (Бютнер, 1986). Но благодаря постоянному перемешиванию воздушных масс изменения концентрации компонентов атмосферы в глобальном масштабе в целом сильно снивелированы. Это, однако, не должно приводить к общему выводу о несущественности пространственно-временно́й изменчивости состава атмосферы. Данной проблеме необходимо уделить пристальное внимание, поскольку при определенных условиях изменчивость состава атмосферы, особенно приземных слоев тропосферы, может достигать значительного размаха на локально-ландшафтном и регионально-зональном уровнях.

Особенно заметным может быть изменение приземных слоев тропосферы на локально-ландшафтном уровне при таких состояниях погоды, когда замедляется или сводится к минимуму перемешивание воздушных масс. В это время выделяемые почвой и живыми организмами газообразные соединения концентрируются в пограничном слое

тропосферы и ее изменившийся на короткое время состав может существенно иначе воздействовать на обитателей биогеоценозов. К сожалению, вопросы взаимодействия наземных организмов с воздушной частью экосистем вообще разработаны слабо. В то же время анализ данной проблемы показал ее исключительную значимость. В этой связи нами было предложено специальное понятие „аэробиоценоз" — совокупность взаимосвязанных наземных организмов и воздушной среды их обитания. Аэробиоценоз вместе с биопедоценозом (педосистемой) — совокупностью почвообитающих организмов — и самой почвой образует биогеоценоз в целом, или экосистему (Никитин, 1980а).

Положение об аэробиоценозе заставляет существенно по-новому рассмотреть роль взаимодействий наземных организмов с атмосферой и значение почвы в изменении газового состава атмосферы. Прежде всего приобретает большой экологический смысл анализ выделения почвой в атмосферу *всей совокупности летучих соединений и газов,* в том числе микрогазов и воздушных органических примесей, поскольку жизнедеятельность наземных организмов тесно связана не только с основными компонентами атмосферы, но и теми, которые находятся в небольшом количестве.

Всесторонний учет поступлений в атмосферу газов и летучих органических веществ из почвы имеет еще один важный аспект, приобретающий особое значение в настоящее время в связи с мощным воздействием человека на биосферу и воздушную оболочку. Этот аспект связан с возможным негативным воздействием на озоновый экран ряда химических элементов и соединений, попадающих из тропосферы в стратосферу. Часть разрушителей озонового экрана, например закись азота, по-видимому, может образовываться в заметном количестве при нерациональном хозяйственном использовании почв. Таким образом, исследование всего разнообразия газообразных веществ, образующихся в почве и поступающих из нее в атмосферу, представляет теоретический и практический интерес.

При рассмотрении состава почвенного воздуха следует отметить, что в нем выделяются макрогазы, постоянно присутствующие в почве, и микрогазы — газы-эфемеры. Макрогазы состоят из азота, кислорода, углекислого газа.

Содержание азота в почвенном воздухе близко к его содержанию в атмосфере.

Количество кислорода в почвенном воздухе колеблется в широких пределах — от десятых долей процента до 21%. Сильный перепад содержания кислорода в почве существенно влияет на состояние биоценозов. Недостаток кислорода угнетает развитие корневых волосков, способствует развитию болезнетворных микроорганизмов, вызывающих корневую гниль, приводит к массовой гибели всходов растений. Хотя, по данным И.П. Гречина, полный анаэробный процесс имеет место при снижении содержания кислорода до 2,5%, угнетение воздухолюбивых культур может отмечаться в случае длительного сохранения концентрации кислорода порядка 10—15% (Зборищук, 1985). Таким образом, кислородный режим почв, тесно завися-

щий от взаимодействия их с атмосферой, физического состояния мелкозема и деятельности почвенной биоты, является одним из важнейших факторов функционирования биоценозов в целом.

Не менее значительно биологическое влияние углекислого газа почвы, содержание которого колеблется от 0,03 до 8—12%. Экологическое значение этого газа двойственно. Положительная его роль связана прежде всего с обеспечением им фотосинтеза. Поэтому так важны процессы дыхания и разложения, протекающие в почве, для атмосферных запасов CO_2. Известно, что диоксид углерода атмосферы примерно на 90% имеет почвенное происхождение. В то же время в случае избытка CO_2 в составе почвенного воздуха (более 3%) отмечается угнетение растений.

В состав микрогазов и летучих органических веществ почвы включают: N_2O, NO_2, CO, предельные и непредельные углеводороды (этилен, ацетилен, метан), водород, сероводород, аммиак, меркаптаны, терпены, фосфин, спирты, эфиры, пары органических и неорганических кислот и др. (Заварзин, 1984; Зборищук, 1985; Звягинцев, 1987; и др.). Хотя содержание микрогазов и летучих компонентов редко превышает $1 \cdot 10^{-9} — 1 \cdot 10^{-12}$%, этого может оказаться достаточно для снижения активности биоты. Происхождение микрогазов в составе почвы достаточно сложно и определяется многими процессами, реакциями разложения и новообразования органических веществ и метаболизмом ее микроорганизмов, трансформацией удобрений и гербицидов и их поступлением в почвы с продуктами антропогенного загрязнения атмосферы (Зборищук, 1985; Смит, 1985).

В проблеме взаимодействия почвы и атмосферы важное место занимает не только выделение газов почвенными системами, но и противоположный процесс — *поглощение почвами атмосферных газов.* Однако данная проблема разработана явно недостаточно. В ней отчетливо выделяется несколько относительно самостоятельных крупных направлений: изучение механизма поглощения газов почвой во всей его полноте, выяснение особенностей поглощения отдельных газов, определение пространственно-временной изменчивости газопоглотительной функции почв и выявление причин, вызывающих данную изменчивость, особенно антропогенного характера.

В последнее десятилетие достигнуты определенные успехи в изучении проблемы поглощения и усвоения атмосферных газов почвами. Наиболее значительные достижения получены в исследовании фиксации атмосферного азота почвенными микроорганизмами (Мишустин, 1975; Умаров, 1986; Алиев, 1988; Broadbent, 1981; Copone, Teylor, 1980; и др.).

Вопросы изучения биологической ассимиляции азота почвами имеют исключительное значение. В мировом земледелии в последнее десятилетие повышение урожайности достигалось в основном за счет более широкого внесения минеральных удобрений, а такой путь становится все более дорогостоящим. Ведь повышение урожайности зерновых с 20 до 40 ц/га (в 2 раза) требует увеличения суммарных затрат в 10 раз (производство, хранение, транспортировка, внесение удобрений и т.п.). Причем главная часть затрат связана с

Таблица 15

Баланс азота в биосфере, млрд т/год (Алиев, 1988)

Источник поступления и потерь	Delwiche, 1970	Дельвич, 1972	Skinner, 1976
Поступление			
Биологическая фиксация:			
симбиотическая	0,014	0,014	0,035
несимбиотическая	0,030	0,030	0,104
морская	0,010	0,010	0,036
Фиксация за счет электрических разрядов в атмосфере	0,076	0,008	0,010
Промышленный синтез	0,030	0,030	0,050
Сжигание ископаемого топлива	—	0,020	0,020
Ювениальные поступления	0,002	—	—
Речной сток	—	0,030	—
Общее поступление	0,0918	0,042	0,255
Потери			
Денитрификация:			
земная (почвенная)	0,043	0,043	—
морская	0,040	0,040	—
Речной сток (включая потери за счет удобрений)	—	0,030	—
Отложение	0,0002	0,0002	—
Общие потери	0,0842	0,1132	—
Остаток	0,0086	0,0288	

производством азотных удобрений. При этом массовое применение минеральных азотных удобрений ухудшает и без того сложную экологическую обстановку на планете, поскольку коэффициент использования азотных удобрений не превышает 50% и в связи с этим происходит сброс огромных количеств растворимых азотнокислых и аммонийных солей в водоемы, накопление их в почве, а также поступление газообразных соединений азота в атмосферу (Умаров, 1986).

В то же время микробиологическая фиксация атмосферного азота почвами оказывается экологически безвредной для окружающей среды и одновременно позволяет избежать огромных энергозатрат, так как осуществляется за счет солнечной энергии. Масштабы азотфиксации почвами длительное время недооценивались, так как считалось, что к усвоению азота атмосферы способна немногочисленная группа микроорганизмов, в основном связанная в своей жизнедеятельности с бобовыми растениями. Однако выяснилось, что механизм биологической фиксации азота значительно разнообразнее и эффективнее и включает существенно большее число азотфиксаторов (табл. 15). Была выявлена активная азотфиксация в ризосфере и филлосфере небобовых растений, получившая название ассоциативной азотфиксации. "Ассоциативная азотфиксация осуществляется самыми разными бактериями при развитии в ризосфере и филлосфере всех растений во всех природ-

ных зонах, в силу чего имеет большую экологическую значимость" (Умаров, 1986. С. 3).

По данным Е.Н. Мишустина, суммарная азотфиксация наземных экосистем в течение года составляет около 175—180 млн т, из которых 99—110 млн т приходится на почвы различных сельскохозяйственных угодий. Это значительно превышает то количество азота, которое усваивается посевами из вносимых азотных удобрений. В результате главная масса азота в урожае (70—75%) представлена азотом "биологическим" и азотом минерализованного гумуса почвы (Умаров, 1986). Значительность масштаба биологической азотфиксации выдвигает в качестве актуальной задачи изучение закономерностей ее проявления. Некоторые из этих закономерностей уже сейчас устанавливаются достаточно надежно. Так, отмечено, что азотофиксация различно проявляется не только в разных природных зонах, но и заметно варьирует в одной и той же зоне в зависимости от свойств почв и характера биоценоза. Кроме того, динамика азотфиксации зависит от конкретных возможностей ее проявления с той или иной степенью полноты. В связи с этим введено понятие потенциальной азотфиксирующей активности почв, отражающее максимально возможный уровень азотфиксации в случае оптимизации влияющих на нее факторов.

Азотфиксация в почве отчетливо возрастает при повышении температуры, оптимизации увлажнения и внесении легкодоступного энергетического субстрата. Последнее связано с проявлением более общей закономерности — активизацией деятельности организмов при наличии легкоусвояемых веществ. Ярким выражением данной закономерности оказывается кометаболизм — способность микроорганизмов активизировать разрушение труднодоступных для них соединений при наличии легкодоступного материала. Полагают, что кометаболизм широко распространен в природе и имеет важное экологическое значение. По этому принципу может протекать разрушение гумуса почвы в случае обогащения ее легкодоступными корневыми выделениями и опадом. Активизировать мобилизацию гумуса можно также внесением даже относительно небольшого количества таких легкоусвояемых органических веществ, как глюкоза, сахароза, зеленые удобрения и др. (Умаров, 1986).

За последнее время особую актуальность приобрел вопрос о влиянии на азотфиксацию органического вещества почв. Это связано с открытием реакций восстановления азота ароматическими органическими соединениями без участия биологических систем, за счет образования азотом комплекса с координационно ненасыщенными соединениями переходных металлов (Алиев, 1988). В результате установлено много общего в механизме биологической и химической азотфиксации и открыты новые пути связывания молекулярного азота. "Одним из таких путей... является связывание азота гумусовыми кислотами почв" (Алиев, 1988, С. 4).

Газопоглотительная функция почв достаточно отчетливо прослеживается и по отношению к другим газам. К сожалению, сведения по данному вопросу весьма фрагментарны и пока что в основном можно констатировать сами факты поглощения почвой различных газообраз-

ных компонентов, в частности так называемых газообразных примесей атмосферы — оксида углерода, диоксида серы и сероводорода, газообразных углеводородов и др. (Смит, 1985).

Сделаны и некоторые интегральные обобщения относительно поглотительной функции почвы. Так, Бон (Bohn, 1972) отмечает, что почвы поглощают органические газы тем быстрее и тем в бо́льших количествах, чем больше их молекулярный вес и число замещенных в соединении функциональных групп (азотных, фосфорных, кислородных, серных и др.). Поглощение органических газов с низким молекулярным весом и меньшим числом замещений зависит, скорее всего, от наличия соответствующих комплексов микроорганизмов. Однако удаление неорганических газов из почвы, по мнению этого ученого, определяется прежде всего химическими и физическими процессами. Следует отметить общую слабую разработанность прямого экспериментального исследования поглощения — выделения различных газов почвой. Вместе с тем, когда удается разработать и внедрить в практику исследования методы прямого измерения газообмена в полевых условиях, результаты, как правило, превосходят ожидания и позволяют получить качественно новую информацию. Ярким примером могут служить достижения в изучении азотфиксации почв (Умаров, 1986).

В решение проблемы поглощения газов почв заметный вклад внесли наблюдения за поглощением антропогенных газообразных примесей атмосферы. Выяснилось существенное поглощение почвой CO. Известно, что оксид углерода образуется при различных процессах горения в результате неполного окисления углерода. Это приводит к огромному ежегодному поступлению оксида углерода в атмосферу — в 70-х годах выбрасывалось CO более $60 \cdot 10^{14}$ (Seiler, 1974). Характерная черта планетарного распределения CO — более высокая концентрация оксида углерода в Северном полушарии. Это объясняется тем, что основным поставщиком данного газа являются страны и регионы, расположенные преимущественно в умеренных широтах, — США, Европа, Япония.

Первые доказательства значимости почвы в усвоении оксида углерода были получены в 1926 г., дальнейшие исследования помогли подкрепить и развить первые наблюдения. Было установлено, что процессы поглощения CO достаточно многочисленны: а) поглощение почвой, б) фиксация высшими растениями, в) реакция с животным гемопротеином, г) миграция в стратосферу с последующими фотохимическими реакциями, д) окисление до диоксида углерода в тропосфере с помощью OH; е) поглощение океаном. Однако, как подчеркивает Смит, если опираться на достоверные данные, существенное значение имеют только первых два процесса. Причем из этих двух факторов поглощения "наиболее важным поглощающим агентом служат почвы" (Смит, 1985. С. 93).

Из числа конкретных наблюдений за поглощением оксида углерода почвами следует отметить эксперименты с почвенной смесью в опытных сосудах (Inman, Ingersoll, 1971), в которых было обнаружено снижение CO почти до нулевого уровня в течение 3 ч. Изначаль-

ное содержание оксида углерода в воздухе во время опыта было $13{,}8 \cdot 10^4$ мкг/м^3. В эксперименте установлена важная роль биологических процессов в усвоении CO, подтверждением чего служит прекращение поглощения CO после обработки почвы антибиотиками. Отмечена также более высокая активность в усвоении CO естественных почв по сравнению с окультуренными, а также почв с большим содержанием органики и низким pH.

Обнаружена, кроме того, значительная изменчивость в усвоении оксида углерода различными почвами. Так, при изучении поглощения CO почвами провинций Соединенных Штатов Америки установлено, что скорость поглощения ими оксида углерода колебалась в пределах 7,5—109 мг/ч на 1 м^2 (Смит, 1985).

Была также рассчитана величина суммарного усвоения оксида углерода почвами мира, которая разными исследователями оценена различно. По оценкам Сейлера (Seiler, 1974), она составляет $4{,}5 \cdot 10^8$ т в год, по оценкам Ингерсола и коллег (Ingersoll et al., 1974) — 14,3 млрд т в год. Обращается внимание на особо важную роль лесных почв в усвоении CO. В связи с тем что скорость усвоения оксида углерода возрастает по мере увеличения его концентрации в атмосфере, лесные почвы и экосистемы оказывались особенно важными поглотителями CO вблизи промышленных районов и городов. В планетарном масштабе леса мира и их почвы (особенно умеренных и тропических широт) являются глобальными естественными поглотителями оксида углерода (Смит, 1985). Эффективность поглощения CO почвами во многом объясняется способностью микроорганизмов усваивать атмосферный оксид углерода. Полагают, что фактически все микроорганизмы с гемопротеинами и цитохромоксидазой или другими энзимами, вступающими в реакцию с оксидом углерода, в той или иной степени фиксируют его.

Почва также активно поглощает диоксид серы и сероводород, причем обнаружено, что данный процесс происходит быстрее, чем поглощение оксида углерода (Smith et al., 1973). По оценкам Эриксона, глобальное усвоение диоксида серы составляет не менее $25 \cdot 10^9$ кг серы. В поглощении серы, по-видимому, участвуют как микробиологические, так и химические агенты. Имеются данные, что сорбция диоксида серы почвами приводит к образованию сульфита и сульфата, а сорбция сероводорода — к образованию сульфидов металлов и элементарной серы (Breemner, 1978). Из числа других газообразных соединений, поглощаемых почвой, следует отметить усвоение углеводородов, происходящее, по-видимому, в основном микробиологическим путем. Так, активно поглощается почвой этилен, содержащийся, в частности, в выхлопных газах.

Таким образом, газопоглотительная способность почв, особенно наглядно обнаружившаяся при изучении усвоения педосферой газообразных антропогенных примесей атмосферы, свидетельствует, что почвенный покров Земли действительно оказывается одним из важных регуляторов газового состава воздушной оболочки. Показателем этого является не только выделение почвой многочисленных газов в атмосферу, но и не менее эффективное поглощение их.

Необходимо особо отметить *поглощение почвой газов, выделяющихся из недр Земли.*

Данная проблема, научная и практическая, значимость которой несомненна, к сожалению, не осмыслена достаточно полно. Одна из причин этого связана с тем, что анализ взаимодействия почв и воздушной оболочки проводится лишь до верхней границы их раздела, проходящей по поверхности почвы и прилегающему слою тропосферы. В то же время некоторые исследователи высказывали иную точку зрения. Так, В.И. Вернадский не ограничивал пространственные границы тропосферы зоной стыка ее с почвенной поверхностью. "Наша обычная воздушная атмосфера, так называемая тропосфера, не заканчивается на земной поверхности, она проникает внутрь Земли по всем пустотам и трещинам. Эта подземная тропосфера, начинаясь в коре выветривания, идет глубоко внутрь земной коры, на несколько километров, по крайней мере в стратисферу, проявляясь во всех пустотах, трещинах, пустых промежутках и непрерывно закономерно меняясь в своем химическом составе. Подземная атмосфера соприкасается с тропосферой, в которой мы живем, но химический характер ее резко различен, ибо на всем ее протяжении в нее входят различные газы, новые соединения, многие из которых благодаря химическим реакциям не входят в тропосферу и заканчиваются в подземных атмосферах. Обмен между атмосферой в обычном понимании и между подземными атмосферами заторможен" (Вернадский, 1960. С. 380).

Из данного принципиального для рассматриваемого нами вопроса положения В.И. Вернадского вытекает ряд весьма существенных следствий. Во-первых, атмосфера в обычном понимании и подземная атмосфера стыкуются через коры выветривания, почвы, а точнее через почвенную атмосферу. Во-вторых, несмотря на существенно иной химический состав подземной атмосферы, многие содержащиеся в ней газы не попадают в воздушную оболочку, так как они поглощаются в процессе взаимодействия с подземными слоями и особенно почвой.

В-третьих, взаимодействие почвы с подземной атмосферой представляет весьма важную область исследований.

Значимость вопросов взаимодействия почв и подземной атмосферы становится все более очевидной, что связано с установлением значительного разнообразия проявлений подземной атмосферы и большого ее удельного веса в суммарной газовой оболочке Земли. В.И. Вернадский выделял несколько форм проявлений подземной атмосферы: газовые скопления, сгущения, струи или вихри, газовые испарения. Причем "газы, находящиеся в газовых скоплениях и газовых сгущениях в твердых породах или образующие твердые растворы, несомненно, во много раз превышают по весу всю атмосферу" (Вернадский, 1960. С. 338).

В.И. Вернадский обратил внимание и на важность конкретных форм взаимодействия почвы с подземной атмосферой. Так, он отмечал, что "недавно открыты организмы — Hydrogenomonas и другие, живущие во влажных почвах, поглощающие свободный водород, употребляющие его на постройку живых тканей и не допускающие, таким

образом, ухода его с земной поверхности" (1960. С. 351). Перехват водорода, выделяющегося из недр Земли, микроорганизмами почвы имеет исключительное планетарное значение: "Роль этих низших организмов огромна, так как они фиксируют ту составную часть, которая может уйти из земного притяжения, привести к диссоциации нашей планеты в продолжение веков течения земных процессов, которым несть числа" (Там же. С. 351).

Современные исследования дают убедительные доказательства продуктивности идей В.И. Вернадского о важности и разнообразии процессов взаимодействия наземной и подземной атмосферы. Получены новые материалы, свидетельствующие об интенсивном использовании почвенными микроорганизмами водорода — важнейшего энергетического субстрата и газового метаболита микробных систем. "Множество почвенных бактерий способно расти на водороде как энергетическом субстрате. Так называемые водородные бактерии — организмы, обладающие в дополнение к другим энзиматическим системам гидрогеназой и системой автотрофной ассимиляции углекислоты, оказались весьма разнородной группой, включающей множество далеких друг от друга генетических форм... Водород, какого бы происхождения он ни был, в том числе и глубинного, эффективно поглощается почвенным бактериальным фильтром" (Заварзин, 1984. С. 7—8).

Работы микробиологов показали также, что в почве распространена микрофлора, окисляющая углеводороды. Причем повышенные концентрации бактерий, окисляющих пропан и гептан, были обнаружены над залежами нефти и газа. В то же время в приземном воздухе этих районов до вскрытия месторождений углеводороды отсутствовали, что свидетельствует об эффективности работы бактериального фильтра. "Подземной сфере образования углеводородов из метаморфически перерабатываемого органического вещества осадочных пород противостоит бактериальная система, способная не допустить эти газы на поверхность и защищающая атмосферу от их проникновения" (Там же. С. 134).

Экологическое значение данной функции почвенных и подпочвенных микроорганизмов трудно переоценить, ведь благодаря их действию атмосферная среда обитания высших организмов оказывается защищенной от вредного действия горючих газов. Там, где в районе промыслов уничтожается почвенный защитный бактериальный фильтр, содержание углеводородных газов достигает десятых долей процента, а иногда и нескольких процентов.

Изучение состава почвенной микрофлоры, окисляющей углеводороды, показало, что она весьма разнообразна и многочисленна. В ее состав особенно много входит каринеподобных бактерий, численность которых составляет 10^3—10^5 клеток на грамм почвы. Повышенное количество бактерий, окисляющих углеводороды, в местах их глубинного поступления используется для газобактериальных съемок.

При поступлении из нижележащих земных слоев газов, которые одновременно генерируются самой почвой, например азота, метана, водорода, происходит усиление функций соответствующих обычных

групп микроорганизмов, превращающих данные газы в свои обычные продукты.

Подводя итог рассмотрению материалов по характеристике почвы как регулятора состава атмосферы, можно констатировать, что газорегуляторная функция почвы наряду с аналогичной функцией наземных биоценозов оказывается действенным механизмом поддержания состава атмосферы в определенном режиме, сформировавшемся в ходе ее эволюции. Это достигается многообразием и эффективностью конкретных форм влияния почвы на атмосферу: выделением многочисленных газообразных почвенных продуктов в атмосферу, биологическим и физико-химическим поглощением газов тропосферы, фиксацией газов, выделяющихся из недр Земли, и др.

Газорегуляторная функция почвы в той или иной мере распространяется, по-видимому, на бóльшую часть атмосферных газов. Но особенно действенной она оказывается применительно к газам, содержащимся в малом количестве (Заварзин, 1984), экологическая роль которых, однако, весьма значительна. В связи с ярко выраженной способностью почвы влиять на газовый состав атмосферы возникает насущная необходимость в усилении исследований газорегуляторных функций почвы. Особенно это касается углубленного изучения механизмов воздействия почвы на состав воздушной оболочки и изучения пространственно-временнóй изменчивости продуцирования и поглощения газов почвами. В связи с установлением принципиально большего генетического и экологического разнообразия почв возникает задача существенного расширения набора объектов исследования по "газовой" программе. Ощущается также потребность в расширении числа измеряемых газообразных продуктов, вырабатываемых или поглощаемых почвами, особенно испытавших антропогенные изменения. Решение этих задач позволит существенно полнее оценить значимость газовых функций почвы в биосфере и точнее измерить количественную сторону их выражения, которая на сегодня пока что представляется весьма приближенно.

ПОЧВА — ИСТОЧНИК И ПРИЕМНИК ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА И МИКРООРГАНИЗМОВ АТМОСФЕРЫ

Пограничное положение почвы среди приповерхностных геосфер Земли определяет многообразие ее взаимодействий с каждой из них. Существенным моментом взаимосвязи почвы с атмосферой оказывается их обмен не только газами, но и тонкодисперсным твердым веществом и микроорганизмами, способными при определенных условиях попадать в воздушную оболочку с почвенной поверхности, а затем, спустя определенное время, вновь возвращаться на нее, переместившись, как правило, на изрядное расстояние.

Главная причина двустороннего движения твердого вещества и микроорганизмов в системе почва—атмосфера заключается в наличии потоков воздушных масс значительной силы, способных отрывать от горизонтов почв мелкозем (в случае их обнажения) и перемещать его аэральным путем на то или иное расстояние в зависимости от раз-

Таблица 16

Выпадение эоловой пыли в океанических областях и некоторых районах суши (Ильичев, Таргульян, 1985)

Объект исследования	Выпадение эоловой пыли		Источник
	мм/год	г/м^2 в год	
Поверхность Мирового океана	0,002—0,004	2,8—4,4	Windom, 1969; Лисицин, 1974
Равнина Шарон, Ближний Восток	0,010	12	Karmeli et al., 1968
Южная тайга Русской равнины	0,025	36	Таргульян и др., 1974
Современные выпадения пыли (в основном антропогенной) в промышленно развитых районах ЕТС	0,030—0,240	30—200	Пьявченко, 1967, 1970
Курская лесостепь	0,130—0,220	до 250	Герасимов, 1968
Каштановая почва сухого Причерноморья	2	240	Бараков, 1913
Саксаульники Репетека	1—3	до 3600	Кесь, Федорович, 1975

мерности составляющих частиц (табл. 16). Как отмечает В.А. Ковда (1973), наиболее мелкие частицы способны облетать вокруг Земли

Значение воздушного поступления в атмосферу твердого вещества почв и кор выветривания хотя и очевидно для природоведов, тем не менее еще не оценено с должной полнотой. Вместе с тем в данном случае мы сталкиваемся со многими процессами, весьма значимыми для биосферы. Так, налицо существование механизма обмена минеральным, органическим и живым веществом ландшафтов, отстоящих друг от друга на многие сотни и даже тысячи километров. Показателен в этом отношении факт переноса тонких фракций минералов с поверхности африканских почв, в частности, в районы Англии. Здесь были отмечены выпадения "красного дождя" из тонкой пыли, состоящей из частиц кварца, покрытых пленкой гидроксидов железа и примеси галита, полевых шпатов и других минералов, принесенных, как полагают, северо-западными ветрами из Сахары. Подобное явление мы наблюдаем в восточных районах Азии, где пылеватый материал южных пустынь попадает воздушным путем в лесные районы Сибири, откладываясь на поверхность местных почв, что существенно осложняет их генетический анализ.

Попадающие в атмосферу частицы почвенного мелкозема оказывают разнообразные воздействия на происходящие в ней процессы. Общая их оценка затруднительна, поскольку они слагаются из эффектов, имеющих зачастую неоднозначное значение для климата и биосферы. Существует мнение, что наличие некоторого количества пылеватого материала способствует выпадению дождей, поскольку частички пыли оказываются центрами конденсации паров влаги. Это об-

стоятельство может иметь положительное значение, когда образование осадков затруднено (например, в тундровой зоне), а общее их количество сравнительно невелико.

Другой эффект от запыленности воздуха — сильное снижение притока солнечной радиации к земной поверхности, что также может обладать определенным положительным действием (например, в районах, страдающих от сильного перегрева нижних слоев атмосферы и почвенного покрова).

В то же время попадание в воздушную оболочку большого количества мелкозема часто оказывается причиной многих стихийных бедствий: засыпание песком, переносимым бурями, поселений, водоемов, почв и растительности; развевание плодородного слоя земель; ухудшение качества воздуха. Поэтому в целом запыление атмосферы — процесс нежелательный, особенно когда он достигает больших размеров. Прежде всего к пагубным результатам приводит ветровая эрозия почв, которая усугубляет общую эродированность земель.

Обычно считают, что к наиболее ветроэродируемым землям относятся почвы легкого механического состава. Эти разности в случае их распашки действительно активно развеиваются. При несоблюдении противодефляционных мер разрушение легких почв ветровой эрозией за несколько лет использования возрастает в 5—10, а в некоторых случаях — в 10—15 раз. В то же время ряд исследователей обращают внимание на то, что слабой устойчивостью к ветровой эрозии отличаются многие почвы. Так, американский исследователь Чепил полагает, что активно эродируются не только легкие, но и тяжелые почвы, в которых обилие илистой фракции способствует образованию многочисленных микроагрегатов, легко передвигающихся ветром. Более устойчивыми оказываются почвы среднего механического состава. Однако единого ряда ветроэродируемости почв вывести нельзя, поскольку в зависимости от конкретных природных условий и свойств почв он будет сильно варьировать.

В связи с сильным обнажением земной поверхности в результате хозяйственной деятельности процессы поступления в атмосферу вещества почвы резко активизировались. Но, к сожалению, многие стороны данных процессов изучены недостаточно. В связи с этим заслуживают поддержку высказывания ученых о необходимости углубленного развития дефляциоведения (Заславский, 1987), которое можно рассматривать как особую научную дисциплину.

Особый интерес представляет проблема поступления в атмосферу микроорганизмов почвы.

Идея о населенности воздуха мельчайшими организмами была высказана еще Лукрецием более 2 тыс. лет назад. Надежное же экспериментальное обоснование ее появилось в прошлом веке. Большая заслуга в этом принадлежит Пьеру Микелю, который на протяжении многих лет проводил ежедневные микробиологические анализы воздуха различных районов Парижа. Исследования Микеля показали, что в 1 $м^3$ воздуха содержится до нескольких тысяч бактерий и микроскопических плесневых грибов, количество которых сильно изменчиво и зависит от особенностей местности, сезона года и других факторов.

Ф. Грегори (1964) в книге "Микробиология атмосферы" разделяет вывод Микеля о том, что источником большей части бактерий, присутствующих в атмосфере, служит почва, мелкие сухие частицы которой подхватываются ветром и поднимаются в воздух. Это положение сохраняет свою силу до настоящего времени. Однако оно дополняется данными о том, что источником других микроорганизмов, например грибных спор, является не только почва. Так, микроорганизмы могут попадать в воздух из вод океанов при образовании брызг, с дикорастущих растений и другим путем.

Следует отметить, что микробы, попавшие в атмосферу с восходящими токами воздуха, поднимаются часто на значительную высоту. Например, при изучении микрофлоры воздуха над Москвой Е.Н. Мишустиным было отмечено, что летом и осенью количество бактерий на высоте 500 м составляло 2—3 тыс. на 1 $м^3$, причем при сильном ветре оно возрастало до 7—8 тыс. С высотой содержание бактерий заметно снижалось, однако на высоте 2000 м над центром Москвы оно было еще значительным и в среднем составляло 650 на 1 $м^3$. В окружающей загородной зоне на этой же высоте количество бактерий было в 4—5 раз меньше (цит. по: Добровольский, Никитин, 1986).

Уэстон отметил, что в воздухе над районом Кембриджа (Англия) на высоте 3000 м бактерии и грибы встречаются в изобилии, однако выше они попадаются уже редко. Существенно, что внутри облаков содержание микроорганизмов было выше, чем над облаками или под ними (цит. по: Грегори, 1964).

Характерной особенностью воздушного распространения микроорганизмов является не только подъем на значительную высоту, но и возможность переноса на большие расстояния, несмотря на то что большинство их осаждается вблизи источника. К сожалению, вопрос о многокилометровых переносах микробов изучен пока недостаточно и ряд его аспектов находится пока в стадии рабочих гипотез. Однако такие факты, как обнаружение микроорганизмов в различных типах воздушных масс, в том числе арктических и полярных, свидетельствуют о реальности дальних перемещений в атмосфере многих микроорганизмов, которые могут распространяться на расстояние от нескольких метров до десятков, сотен и даже тысяч километров.

Говоря об общем значении воздушного распространения микроорганизмов, в том числе почвенного происхождения, необходимо отметить, что, по данным Ф. Грегори, существует несколько аспектов этого явления.

Прежде всего в ряде случаев реально распространение воздушным путем возбудителей некоторых заболеваний растений, животных и человека. Еще отец медицины Гиппократ полагал, что эпидемические заболевания у людей могут возникать при вдыхании воздуха.

Благодаря воздушному переносу зачатков возможно также освоение организмами новых территорий. Существует даже гипотеза Аррениуса о проникновении спор некоторых организмов сквозь космическое пространство. О возможности межпланетного обмена бактериями говорил В.И. Вернадский (1926, 1987).

Следует отметить также, что с постоянным обменом различных экосистем микробами в определенной мере связано отсутствие ярко выраженной зональной смены микрофлоры почв различных природных зон (Красильников, 1958), поскольку благодаря повсеместному распространению воздушным путем микроорганизмов фактор географической изоляции, столь важный для животных и растений, для бактерий и грибов практически не имеет значения.

Следует также обратить внимание на то, что воздушные массы становятся на тот или иной срок средой для многих переносимых ими микроскопических форм. В приземных слоях воздуха отмечено около 12 тыс. видов бактерий и актиномицетов, в воздух попадают споры 40 тыс. видов грибов, мхов, печеночников, папоротников и близких к ним форм и пыльца 100 тыс. видов цветковых растений. Все это свидетельствует о важности аэробиологии — науки, изучающей вопросы воздушной миграции, выживаемости организмов в газообразной оболочке Земли и источников их поступления в нее.

В проблеме взаимодействия воздушных масс с почвенным, а также растительным покровом существует еще один важный аспект, которому, однако, уделяется малое внимание. Это ветровой перенос почвенного мелкозема, микроорганизмов, спор и пыльцы растений с последующим отложением их на поверхности различных водоемов. Масштабы данного явления пока еще не оценены с необходимой точностью и полнотой. Однако имеются отдельные сведения, говорящие о его значительном размахе.

Экологическое значение аэрального поступления в водоемы вещества почв и биоценозов может быть ощутимым и многоплановым. В случае воздушного поступления материала засоленных почв (Орлова, 1983) возможно возрастание засоленности поверхностных вод и ухудшение их качества. Попадающая пыльца цветковых растений может включаться в процессы трансформации и биологический круговорот водных экосистем.

Органическое и минеральное вещество почв, отложенное воздушными массами в океанических широтах, вступает в различные трансформационные биохимические циклы океана (Биогеохимия океана, 1983).

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ВЛАГООБОРОТ АТМОСФЕРЫ

Среди существенных почвенных экологических функций выделяется также влияние почвы на энергетический режим и влагооборот атмосферы. Воздействие почвенного покрова на тепловой режим атмосферы определяется прежде всего поглощением и отражением почвой солнечной радиации, отчего зависит в значительной мере динамика тепла и влаги в нижних слоях атмосферы. В количественном отношении процессы поглощения — отражения солнечной радиации почвами и материнскими породами могут заметно различаться. Обращает на себя внимание то, что почвообразование изменяет отражательную способность породы. Например, по данным Щербакова, исходные бурые суглинки отражают около 18—19% солнечной радиации, распа-

ханные черноземы на тех же породах — 5—7%, подзолы — до 30%, солончаки — до 35% (см. Добровольский, Никитин, 1986).

Таким образом, по сравнению с четвертичными материнскими почвообразующими породами отражательная способность почвенного покрова более дифференцированна, поскольку она определяется не только свойствами пород, но и свойствами самих почв, зависящими от их генетических особенностей. Пестрота отражательной способности почвенного покрова особенно ощутимо сказывается на динамике энергетических показателей атмосферы в связи с широкой распашкой земель, обнажающей поверхность самих почв.

Значение трансформации почвой солнечной энергии, приходящейся на ее поверхность, оказывается первостепенным в связи с высокой долей солнечной радиации, непосредственно достигающей почвенно-растительного покрова. Согласно расчетам Вудвелла, можно принять, что из 100% солнечной энергии, попадающей в систему земля—атмосфера, приходится на облака — 52%, рассеивается в атмосфере — 15, поглощается аэрозолями, CO_2 и др. — 9, сразу достигает земной поверхности — 24% (Круговорот веществ..., 1980). Причем из 52% энергии, приходящейся на облака, после взаимодействия с ними поглощается облаками — 10, отражается 25, направляется к земной поверхности и достигает ее — 17%.

В последние годы обращено внимание на необходимость всестороннего изучения участия почвы в формировании и регулировании влагооборота атмосферы (Добровольский, Никитин, 1986). Данная почвенная функция проявляется прежде всего в том, что благодаря задержанию с помощью почвы выпадающих атмосферных осадков на поверхности суши оказывается возможным испарение значительной их части и повторное выпадение.

Долгое время считалось, что решающим фактором обеспечения ландшафтов суши влагой является многократный оборот водяного пара. Однако в 50-х годах было установлено, что его вклад заметно меньше, чем полагали ранее. Так, по данным М.И. Будыко (1977), на Европейской территории СССР осадки, выпадающие за счет использования пара местного испарения, составляют около 12%. Основной же влагоперенос идет за счет испарения с поверхности океана.

Однако местный влагооборот оказывает сильное влияние на относительную влажность воздуха, которая в значительной мере определяет общее количество осадков. Так, при относительной влажности ниже 40% осадки незначительны, но они быстро возрастают при увеличении ее до 50—55% и более (Будыко, 1977). Кроме того, значение осадков местного испарения велико потому, что они могут предотвращать губительное действие засух или существенно ослаблять их отрицательное влияние.

Роль почв в формировании влагооборота в целом достаточно велика. Почва не только способствует увеличению общего количества водяного пара, поступающего в атмосферу, но и посредством местного круговорота выравнивает процесс водообеспечения ландшафтов. Это имеет немаловажное значение, так как влагоперенос с океана на сушу подвержен частым перебоям и резким колебаниям. В то же

время на Земле имеется много неустойчивых экосистем, существование которых тесно зависит от особенностей микроклимата в почвенно-растительном ярусе. Примером могут служить реликтовые леса в засушливых районах, которые после вырубки не возобновляются.

Интенсивное использование почвенного покрова нарушает веками сложившийся вклад почвенного звена в общий круговорот влаги в атмосфере. Уничтожение лесов на огромных пространствах и широкая распашка земель, активизировавшая поверхностный сток, привели к общему снижению влагозадержания на суше и уменьшению буферной водорегулирующей способности почвенного покрова Земли, что явилось одной из причин аридизации многих участков суши и учащения резких колебаний климата (Ковда, 1981а; 1985б). Возросла частота экстремальных явлений в воздушной оболочке: засух и сопутствующих им пыльных бурь, ливней и наводнений, резких понижений температур в зимний период и т.д.

Наличие признаков снижения сбалансированности существующих климатических условий не может не вызывать тревоги, так как все большее число ученых склоняются к мысли, что существовавшие ранее представления об однозначности и высокой устойчивости современного климата не отвечают действительности. Так, М.И. Будыко (1977) предполагает, что современный климат не является единственно возможным при существующих внешних климатообразующих факторах. При имеющейся в настоящее время величине притока тепла к внешней границе атмосферы возможно существование устойчивого полного оледенения планеты ("белой Земли") с очень низкими температурами на всех широтах. Он обращает внимание на то, что распространение снежного и ледового покрова на всю Землю может произойти уже при снижении солнечной постоянной на 4%. При увеличении солнечной постоянной на 2% будет происходить отступание ледового покрова.

Вывод о большой чувствительности современного климата заставляет обращать самое пристальное внимание на все причины возможного нарушения сложившейся климатической обстановки, ибо когда та или иная система находится в неустойчивом состоянии, то достаточно небольших воздействий, чтобы вызвать изменения, направление которых трудно заранее предугадать. Поэтому анализ климатообразующей роли почв является важной составной частью исследований всей системы факторов, формирующих современный климат Земли.

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Став фактором глобального масштаба, человеческая деятельность существенно отразилась и на атмосферных функциях почвенного покрова (табл. 17). В настоящее время можно констатировать *ослабление и изменение экологически важных атмосферных функций педосферы.* Данное явление тесно связано с деградационными процессами в биосфере, вызванными нерациональным использованием ее ресурсов.

Таблица 17

Основные антропогенные изменения атмосферных функций почвы

Типы изменений почвенных функций и их проявление	Основные причины изменений функций	Главные экологические следствия изменений
Общее глобальное ослабление и изменение планетарных газовых функций педосферы	Широкомасштабное хозяйственное освоение природы; сокращение зон активного функционирования биосферы (опустынивание, застройка и др.)	Снижение сбалансированности регионально-глобальных круговоротов вещества и энергии
Редукция и трансформация некоторых газовых функций педосферы	Эрозия, загрязнение почв, антропогенное снижение биологической активности нерационально используемых земель	Нарушение отдельных составляющих круговоротов вещества и энергии
Локальное усиление газовых функций почвы	Строгое соблюдение требований передовой агротехники; реализация биологического земледелия и охраны почв	Ослабление деградационных изменений биосферы
Глобальное(?) и региональное усиление функций почвенного источника и приемника твердого вещества и микроорганизмов атмосферы	Активизация антропогенной дефляции почв; антропогенное загрязнение воздушной оболочки	Снижение санитарно-гигиенических показателей воздушной среды, усиление деградационных изменений биосферы
Неоднозначное изменение климатообразующей функции почвы	Водные мелиорации почв и антропогенные изменения альбедо почвенно-растительного покрова	Локально-региональное увеличение климатической увлажненности или засушливости

Воздействие почвы на газовый состав атмосферы во многом уменьшилось из-за разрушения земель и снижения их плодородия на обширных территориях. Зона активно функционирующей педосферы за исторический период сильно сократилась физически (потери почв из-за эрозии, прокладки дорог, строительства хозяйственных и бытовых объектов и т.п.). Кроме того, сохранившиеся почвы сильно изменили свои свойства, причем часто в негативную сторону. Одна из причин этого — общая антропогенная дебиологизация биосферы, существенно нарушающая эволюционно сложившиеся в ней взаимосвязи и снижающая естественную продуктивность экосистем и плодородие почв. "Сокращение размеров биомассы, численности и разнообразия видов организмов нарушает общий эволюционный процесс, разрывает пищевые цепи, уменьшает энергетические ресурсы, изменяет биогеохимические круговороты веществ в экосистемах. Почвы обедняются, утрачивают плодородие и отзывчивость на приемы агрикультуры" (Ковда, 1985б. С. 50).

Одновременно с ухудшением свойств, изменением биологической активности и плодородия почв претерпевают отрицательные изменения

их важнейшие атмосферные функции. Особенно серьезные последствия возникают при нарушении нормального газообмена в системе почва—атмосфера, часто имеющего место при ухудшении физического состояния почв. Негативные последствия сказываются прежде всего на составе самой почвенной атмосферы, которая для почвенного покрова планеты мощностью в 1 м имеет объем воздуха в среднем $33 \cdot 10^3$ км^3 с суточно-сезонными колебаниями от $15 \cdot 10^3$ км^3 при полевой влагоемкости до $51 \cdot 10^3$ км^3 при воздушно-сухом состоянии почвы (Заварзин и др., 1985).

Наибольшие изменения в почвенном воздухе производят водные мелиоративные мероприятия. При строгом соблюдении рациональной технологии водных мелиораций негативные изменения сведены к минимуму, а по ряду показателей воздушный режим почв оптимизируется. Этот вопрос был специально рассмотрен Н.Г. Зборищук (1985) применительно в основном к орошаемым черноземам.

Известно, что важным показателем воздушного состояния почв является коэффициент аэрации (КА) — соотношение концентраций O_2/CO_2, показывающее степень отличия состава почвенного воздуха от атмосферного. Для атмосферного воздуха КА = 700. Изучение связи коэффициента аэрации с биологической продуктивностью почв дало возможность вывести экологические придержки для различных значений КА (Зборищук, 1985): сверхизбыточная — более 100, избыточная — 100—50, оптимальная — 50—20, затрудненная — 20—10, неэффективная — 10—3, критическая — менее 3.

Важно отметить, что оптимальная аэрация (КА = 20÷50) характерна для обычного состояния черноземов. Наиболее плодородные почвы также характеризуются величиной КА, равной 20—50, что может считаться оптимальным для развития растений. При поливах же черноземов коэффициенты аэрации нередко падают до 10 и ниже. В случае же снижения КА до 3—10 отмечается угнетение развития воздухолюбивых культур, при котором происходит опадение завязей, развитие гнилостных бактерий, общее снижение биологической продуктивности. Поэтому в случае использования оросительных водных мелиораций особое значение приобретает реальное соблюдение умеренного орошения со строгим выполнением технического режима полива.

Как правило, недопустимым оказывается орошение почв высокими дозами. Так, если полив черноземов нормой менее 200 м^3/га воды мало изменяет состав почвенного воздуха, то полив нормой 450—500 м^3/га (широко распространенная норма при дождевании) вызывает существенные изменения в компонентном составе почв. Так, содержание диоксида углерода в почвенном воздухе может достигать 2—3%, что неблагоприятно сказывается на развитии аэролюбивых культур. При повышенной концентрации CO_2 уменьшается скорость поглощения воды корневыми волосками, что снижает эффективность полива.

При поливах значительными нормами (450—500 м^3/га) отмечается также заметное общее изменение газовой фазы почв. Так, снижается сумма CO_2 и O_2, что может свидетельствовать об увеличении

Таблица 18

Изменение состава почвенного воздуха при поливе нормой 1000 м³/га чернозема с обесструктуренным пахотным горизонтом (Зборищук, 1985)

Глубина, см	До полива		3-й день после полива		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	H_2S*
10	0,30	20,65	1,75	16,05	—
20	0,75	20,00	3,35	11,30	+
30	1,75	18,05	3,75	9,95	+
40	2,00	17,80	3,60	10,30	+
50	2,30	17,50	3,00	11,85	—
100	1,30	18,80	1,80	13,30	—

*Качественная проба: минус — нет, плюс — есть.

в составе почвенной атмосферы N_2, о возможной денитрификации и потере азота в газообразной форме (Зборищук, 1985). Особенно отрицательно изменяется фазовый состав почв при поливах нормой 1000 м³/га (табл. 18). Концентрация CO_2 повышается до 3% и более на фоне сильного снижения концентрации кислорода (10% и меньше); появляются следы сероводорода, что свидетельствует о затрудненности газообмена с прилегающими слоями тропосферы.

Полив высокими дозами и особенно переполив приводят со временем к подъему уровня грунтовых вод на отдельных участках, а также к общему ухудшению физического состояния почв и потере их плодородия. Естественно, в связи с деградацией почвы в данном случае имеет место и ослабление их атмосферных функций.

В случае строгого соблюдения научно обоснованной системы орошения почв их плодородие может сохраняться на высоком уровне; процессы трансформации атмосферного воздуха при этом протекают интенсивно. Так, отмечено увеличение выделения CO_2 орошаемых аридных почв. Часть диоксида углерода, дополнительно выделяемого почвой, используется растениями и тем самым активизирует фотосинтез (Ковда, 1985б), часть поступает в атмосферу.

Говоря о влиянии сельскохозяйственной деятельности на газообмен в системе почва—атмосфера в целом, необходимо отметить, что данный вопрос во всех своих аспектах пока не решается достаточно корректно, поскольку сельскохозяйственный процесс производит сложные неоднозначные изменения в атмосферных функциях почв. Общая количественная оценка этих изменений не поддается учету даже в отношении наиболее изученных газов, например азота. "На протяжении последнего столетия круговорот азота интенсивно изучался, однако собранную обширную информацию трудно использовать для количественной характеристики биогеохимического цикла азота и антропогенных воздействий на этот процесс. Это обусловлено отсутствием согласованности результатов исследований отдельных научных школ и авторов, а также неполнотой сведений, приводимых для тех или иных превращений азота в различных экосистемах" (Рыжова, 1985. С. 91).

Таблица 19

Скорость газообмена дождевых червей, населяющих 0,1 $м^3$ верхнего слоя почвы, мл/сут (Бызова, 1986)

Показатель	Пятнистая тундра	Ельник кустарниково-зеленомошный	Ельник кислично-зеленомошный	Дубрава	Посев люцерны
Потребление кислорода	1,91—6,72	6,24	97,2	112,8	21,2
Выделение углекислого газа	1,54—5,38	5,0	77,8	90,2	17,0

Антропогенное ослабление и изменение атмосферных функций почвы происходит и при химизации сельскохозяйственных угодий. Так, в результате широкого применения азотных удобрений в почвах сильно снизилась естественная азотфиксация. По данным Е.Н. Мишустина, почвы не дополучают миллионы тонн азота, усваиваемого почвенными микроорганизмами.

Подавление почвенной биоты в результате применения агрохимикатов, обработки полей тяжелыми сельскохозяйственными орудиями приводит к уменьшению ее численности и разнообразия и, как следствие этого, — к ослаблению газовых функций почв в целом. Это, в частности, прослеживается по изменению скорости газообмена у бесповоночных животных почвы. Отмечено, что даже на полях с посевами трав газообмен дождевых червей, благоприятствующих их развитию, ниже, чем в продуктивных зональных экосистемах (табл. 19).

В результате антропогенного изменения почвенного покрова происходят также редукция и трансформация некоторых газовых функций педосферы. Наиболее наглядным примером может служить потеря гумусовой оболочкой Земли накопленного в ней в ходе эволюции органического вещества. В результате распашки земель, недостаточного внесения органических удобрений, осушения заболоченных почв и т.д. происходит минерализация гумусовых запасов планеты, вследствие чего в атмосферу вновь возвращается диоксид углерода, в свое время изъятый из нее для образования живого и гумусового вещества. Масштабы этого процесса весьма ощутимы. Полагают, что в результате уничтожения естественной растительности и минерализации гумуса антропогенно измененных почв в атмосферу поступило CO_2 до 20% от общей прибавки диоксида углерода в воздушной оболочке за техногенный период.

Исследователи с тревогой отмечают сокращение запасов углерода на суше. При этом подчеркивается, что "сокращение массы органического углерода суши происходит, по-видимому, в основном за счет разрушения почвенного гумуса" (Горшков, 1987б. С. 295). Ускоренное окисление гумуса почв в результате их распашки и использования под пастбища привело к уменьшению в них содержания углерода на 20—50% и значительному в связи с этим пополнению поступлений

CO_2 в атмосферу. Эти процессы, согласно прогнозам, имеют тенденцию к усилению в ближайшем будущем. Рост концентрации диоксида углерода в атмосфере составляет ежегодно 0,8—1,5 *ppm*. В середине 80-х годов среднеземная концентрация CO_2 в воздушной оболочке составила 330—340 *ppm*, что на 10—12% превышает количество диоксида углерода в атмосфере в доиндустриальную эпоху (Ковда, 1985б).

Факты сокращения фиксированного углерода на суше, особенно в почвенном покрове, и, как следствие этого, возрастание CO_2 в атмосфере свидетельствуют о явной антропогенной редукции и трансформации некоторых важнейших функций почвенной оболочки и биосферы в целом. Так, очевидно, что на современном этапе измененный хозяйственной деятельностью почвенный покров не в состоянии эффективно выполнять функцию поглотителя и консерватора избытка CO_2 атмосферы. Более того, налицо трансформация углеродонакопительной функции педосферы в противоположную — углеродовыделительную. Это, естественно, не может не вызывать повышенной озабоченности за будущее биосферы. Очевидно, что редукция и трансформация эволюционно сложившихся газовых функций почвы в глобальном масштабе — явление негативное со многими дополнительными осложнениями и отрицательными последствиями в будущем.

Особое беспокойство вызывает продолжающееся наступление человека на почвенно-растительный покров Земли, сопровождающееся дальнейшей деградацией органогенных горизонтов многих автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв, в том числе торфяных — эффективных поглотителей CO_2. При проектировании крупных осушительных мероприятий часто не принимается в расчет экологическая полифункциональность и значимость болотных экосистем и почв. При оценке их роли в природных процессах совершенно необходимо принимать во внимание то, что они, помимо всех других функций, выполняют еще и функцию фиксатора диоксида углерода атмосферы, дальнейшее существенное увеличение содержания которого может привести к глубокой перестройке современной природной обстановки на Земле с многочисленными непредсказуемыми, в том числе отрицательными, явлениями.

Среди антропогенных изменений атмосферных функций педосферы обособляется категория *локальных усилений газовых функций почв отдельных сельскохозяйственных угодий*. Примером таких усилений может служить уже упоминавшееся увеличение азотфиксации и выделения почвами в тропосферу CO_2 при их регламентированном орошении и возрастании их биологической активности.

Усиление деятельности биоты и газовых функций пахотных почв отмечается при дополнительном использовании энергетического материала в различной форме — внесение навоза и сидератов, запахивание соломы и пожнивных остатков. Исследования влияния органических удобрений на состав почвенного воздуха показали неоднозначность этого влияния. Так, при внесении в южный чернозем удобрений в виде свежего навоза нормой 100 т/га произошло возрастание концентрации CO_2 в почвенном воздухе на порядок

(Зборищук, 1985). Однако благодаря тому, что условия аэрации в почве были нормальными, изменение состава почвенного воздуха, вызванное разложением органического вещества, осуществлялось при достаточно благоприятном газообмене с тропосферой, что весьма важно для благополучия произрастающих растений. При нарушении условий газообмена, например в случае уплотнения поверхности почв, интенсивность трансформации почвенного воздуха, обусловленная разложением органического вещества удобрений, начинает превышать интенсивность газообмена с тропосферой, что может неблагоприятно отразиться на состоянии посевов. Известно, например, что на повышение содержания диоксида углерода в составе почвенного воздуха сельскохозяйственные культуры реагируют различно: аэролюбивые овощные культуры (помидоры, баклажаны и др.) испытывают угнетение, кукуруза же увеличивает биомассу на зеленый корм благодаря развитому ассимиляционному аппарату.

Таким образом, экологические следствия усиления газовых функций почв тесно зависят от состояния почв, способов обработки, форм и доз вносимых удобрений, вида сельскохозяйственной культуры и др. В связи с этим при планировании урожайности должен быть установлен оптимальный диапазон концентраций газов для каждой конкретной культуры. Однако этот вопрос для многих культур пока не разработан (Зборищук, 1985).

Необходимо также отметить *региональное и глобальное усиление функции почвенного источника и приемника твердого вещества и микроорганизмов атмосферы.* Активизация данной функции вызвана всевозрастающим хозяйственным прессом на Землю. Почвы оказались лишенными защитного растительного покрова на обширных пространствах пахотных угодий, а также в районах интенсивного строительства, добычи полезных ископаемых, в районах чрезмерного выпаса скота и высокой рекреационной нагрузки. Во всех этих случаях поверхность почвы в течение значительной или большей части года, а то и круглый год, непосредственно соприкасается с воздушными слоями тропосферы и каждый раз при активизации их динамики подвергается дефляционному воздействию.

Особенно мощно процесс развевания и воздушного переноса почвенного мелкозема происходит во время пыльных бурь. Только за один день — 12 мая 1934 г. — с Великих Равнин США ветер снес 300 млн т почвы, что снизило плодородие земель на площади около 4 млн га (Кальянов, 1976).

Современное поступление в атмосферу почвенных частиц и адсорбированных ими микроорганизмов суммируется с попаданием в воздух с поверхности обрабатываемых почв агрохимикатов. Это стало одним из острых факторов, сильно ухудшающих санитарно-гигиеническое состояние атмосферы. Так, сдуваемые с поверхности почв пестициды наносят значительный ущерб здоровью людей, страдают или гибнут многие полезные животные.

Увеличение поступления в атмосферу почвенных частиц может иметь, кроме упомянутых, еще несколько последствий. Усиливаются такие малоучитываемые процессы, как физическое выветривание и

разрушение природных, хозяйственных и бытовых объектов при взаимодействии их с минеральными частицами, переносимыми воздушными потоками. Р. Кейдал в монографии "Твердые частицы в атмосфере и в космосе" (1969) отмечает "весьма живописное проявление действия атмосферной пыли и песка — красивые и странные фигуры выветривания, вырезанные в скалах носящимися в воздухе частицами" (С. 30). Особенно часто данные фигуры встречаются в аридных регионах. Можно полагать, что в связи с расширением антропогенного опустынивания многих территорий земного шара (Ковда, 1981б) указанные процессы возрастают.

Необходимо в полной мере учитывать и то обстоятельство, что минеральные частицы составляют значительную часть аэрозольного балласта воздушных масс населенных районов. Смог в районе Лос-Анджелеса, по данным Р. Кейдала, примерно на 60% состоит из минералов и других неорганических веществ сложного химического состава.

Следствием возрастания взвешенных частиц в атмосфере, в том числе почвенного происхождения, явилось расширение процесса приема почвой оседающих на ее поверхность аэрозольных компонентов. Эти компоненты могут быть представлены в основном частицами почв и кор выветривания, принесенными воздушными потоками из других районов. Одноразовые порции такого материала могут достигать огромных размеров. Лишь при одном выпадении в 1901 г. на африканские пустыни и на Европу осело 2 млн т пыли. Около 10 млн т красной пыли, принесенной с северо-запада Африки, выпало на территорию Англии в 1903 г. (Кейдал, 1969).

В эпоху техногенеза почва начала выполнять еще одну антропогенно обусловленную функцию: она стала служить своего рода противогазом — поглотителем твердых, а также газообразных загрязнителей атмосферы. Механизм данного явления оказался достаточно сложным. В нем обнаружена весьма существенная особенность: почвенно-растительный покров не только пассивный приемник осаждающихся на него под действием силы тяжести загрязнителей. Установлена отчетливая зависимость интенсивности осаждения от свойств поверхности растений и почв. «Скорость осаждения обычно является функцией поверхности поглотителя (почвы или растительности) и зависит от того, мокрая она или сухая. Ее можно представить как скорость, при которой абсорбирующая поверхность "очищает" воздух от примеси. Если скорость осаждения равна 1,0 см/с, это означает, что данная поверхность каждую секунду полностью удаляет данную примесь из слоя воздуха толщиной 1,0 см, причем "очищенный" слой немедленно заменяется "новым" загрязненным слоем» (Смит, 1985. С. 76).

В связи со сказанным обостряется проблема недопущения регионального и глобального загрязнения атмосферы, в ходе которого несет экологические потери не только воздушная оболочка, но и населяющие ее живые организмы, а также почвенный покров планеты. Установлено, что "в наземных экосистемах главным хранилищем атмосферных загрязнителей антропогенного происхождения является

почва" (Смит, 1985. С. 76). Ученые со все большей серьезностью и тревогой заявляют о недостаточности принимаемых мер по борьбе с загрязнением воздушного океана планеты, приобретшим исключительный размах (Израэль и др., 1983; Розанов, 1984; Ковда, 1985б; Добровольский, Никитин, 1986; Сидоренко, 1987; Smith, Dochinger, 1975; и др.). В связи с многочисленными негативными последствиями загрязнения атмосферы эта проблема должна приобрести более комплексное звучание. В данном случае мы имеем дело, по существу, с загрязнением всей биосферы через воздушную среду.

Имеются достаточно многочисленные материалы, особенно в зарубежной литературе, по поглощению отдельными почвами атмосферных твердых примесей антропогенного происхождения. Загрязнение через атмосферу отмечено даже для наиболее удаленных от населенных пунктов районов ледовой зоны и Сибири.

Установлено значительное накопление многими почвами свинца. Источники поступления антропогенного свинца в атмосферу многочисленны: сжигание бензина, содержащего свинцовые присадки; сжигание угля, мусора и поверхностей, покрытых красками с примесью свинца, и др. В связи с тем что частицы свинца, попадающие в атмосферу, имеют размеры, как правило, меньше 0,5 мкм, они оказались во всех уголках земного шара (Smith, 1976). Фактически на Земле нет ни одного района, не испытавшего в той или иной мере воздушного загрязнения свинцом и многими другими техногенными компонентами. Обычная концентрация свинца (фоновый уровень) в верхних горизонтах незагрязненных и незасоленных почв составляет примерно 10—20 мкг/г. Однако, например, для лесных почв различных районов умеренного пояса отмечено возрастание содержания свинца. Как правило, возрастание это сравнительно слабое, но необходимо принимать во внимание длительность сохранения привнесенного свинца в почвах и, следовательно, существование для многих из них реальной опасности постепенного "освинцовывания". Полагают, что попавший в почву техногенный свинец может сохраняться в гумусовом горизонте около 5000 лет (Benninger et al., 1975).

Изучение миграции свинца в восточных районах США показало, что его атмосферное поступление в лесные почвы может достигать 200—400 г/га в год при весьма незначительном выносе за пределы экосистемы. Так, на одном из участков годовое поступление свинца в лесную экосистему составило 266 г/га при выносе его водными потоками не более 6 г/га. Огромное несоответствие между этими двумя цифрами объясняется накоплением свинца в почве (Смит, 1985).

Почвы поглощают многие другие элементы: цинк, кадмий, медь, никель, марганец, ртуть, селен, железо и др. Кадмий, никель, фтор, таллий, ртуть и ряд других микроэлементов потенциально фитотоксичны.

Особенно в значительных размерах накапливают почвы атмосферные антропогенные примеси вблизи городов, промышленных объектов, шоссейных дорог. Так, в 10 м от шоссейной дороги с интенсивным движением уровень свинца выше фонового в 5—15 раз, а на расстоянии в несколько метров — иногда в 30 раз (Смит, 1985). На-

Таблица 20

Время жизни тяжелых металлов* в почвах под ельником (Швеция)

Металл	pH	Контрольная почва	Загрязненная почва	Металл	pH	Контрольная почва	Загрязненная почва
Mn	4,2	3	30—40	V	4,2	17	2
	3,2	1,5	4		3,2	25—30	6—7
	2,8	0,5	1,5		2,8	9	9
Zn	4,2	7	9	Cu	4,2	13	80—120
	3,2	2	3		3,2	11	18—20
	2,8	0,8	1,2		2,8	9	6
Cd	4,2	6	20	Cr	4,2	20	100—150
	3,2	3	4—5		3,2	18—20	50—70
	2,8	1,3	1,7		2,8	15	50—70
Ni	4,2	5	15	Pb	4,2	70—90	200
	3,2	2	4—5		3,2	40—50	100
	2,8	2	2		2,8	20	17

*Число лет, необходимых для 10%-ного снижения уровня загрязнения металлом. Данные рассчитаны на основе лизиметрических экспериментов по выщелачиванию загрязнений искусственно подкисленными осадками, эквивалентными ежегодному просачиванию 150 л/м^2 (Смит, 1985).

копление экосистемами металлов из техногенных воздушных примесей связано с тем, что загрязненные почвы освобождаются от них в процессе естественного самоочищения, как правило, значительно медленнее, чем незагрязненные (табл. 20).

Антропогенное воздействие на систему атмосфера—педосфера привело также к *неоднозначному изменению климатообразующей функции почв.*

Заметное воздействие на глобальный климат может оказывать дополнительное поступление CO_2 из почвы в результате усиления минерализации почвенного органического вещества при хозяйственном использовании земель. По некоторым данным, 15—20% антропогенного увеличения диоксида углерода в атмосфере за техногенный период вызвано освоением почв и уничтожением естественной растительности.

Отмечаются также определенные изменения местных климатических условий в связи с антропогенной трансформацией почв. Эти изменения могут иметь различный, в том числе противоположный, характер. Так, в результате широкомасштабных осушительных мелиораций без двойного водорегулирования в районах их проведения стали отмечаться более частые атмосферные засухи. Одна из причин этого — снижение поступления в атмосферу водяного пара местного происхождения в связи с осушением почвенного покрова, это затрудняет процесс образования дождевых осадков.

В районах широкого распространения оросительных мелиораций местные климатические изменения носят уже другой характер. В таких районах нередко отмечается увеличение облачности (Клиге, 1985), а

также определенное увеличение годовой суммы осадков. Изменяется, кроме того, и температурный режим нижних слоев тропосферы и самой почвы.

Определенное воздействие на климат может оказывать и увеличившаяся антропогенная запыленность атмосферы (Ковда, 1985б), обусловленная, в частности, возрастанием твердых частиц почвенного происхождения.

В последние годы обсуждается также возможное негативное воздействие на озоновый экран некоторых газов почвенного происхождения, количество которых может возрасти при непродуманном нерациональном использовании почвенного покрова. Хотя основными разрушителями озонового экрана считаются техногенные загрязнители атмосферы, в первую очередь фреоны, нельзя сбрасывать со счетов и другие источники, среди которых оказывается закись азота (Заварзин, 1984; Первова, Розанов, 1985; и др.), которая, в частности, может попадать в атмосферу в результате недоиспользования сельскохозяйственными культурами азота химических удобрений. "Не используемый растениями азот частично теряется либо путем улетучивания газообразных продуктов (N_2, N_2O), образующихся при трансформации азота удобрений, либо в результате вымывания в глубокие слои почвы и далее в гидросферу" (Первова, Розанов, 1985. С. 16).

Поскольку сельскохозяйственные растения используют азот минеральных удобрений в среднем лишь на 30—50% (Башкин, 1986), загрязнение атмосферы закисью азота может представлять серьезную опасность, особенно если учесть, что, по прогнозам, мировая промышленность будет и в дальнейшем наращивать производство азотных удобрений. Опасность заключается в том, что закись азота, являясь вполне устойчивой в тропосфере, при попадании в стратосферу вступает в реакцию с озоном, что может способствовать нарушению сложившегося в атмосфере равновесия.

Затронутые вопросы основных антропогенных изменений атмосферных функций почвы показывают, что техногенез породил ряд серьезных проблем, вызванных нарушением эволюционно сложившихся функциональных взаимосвязей в системе атмосфера—педосфера. Рассмотрим в общем виде *задачу нормализации и оптимизации атмосферных функций почвы.*

Решение этой задачи весьма непростое. Одна из основных трудностей — невозможность точно рассчитать и предсказать суммарные изменения атмосферы, вызванные антропогенными и естественными причинами. Кроме того, даже если допустить, что точный планетарный эколого-географический прогноз будет реализован в ближайшем будущем и на его основе удастся научно обосновать необходимую скоординированную систему рационального использования природных ресурсов с соблюдением требований оптимизации всех глобальных экологических функций, включая почвенно-атмосферные, то окажется чрезвычайно сложным реализовать требования гармоничного землепользования. Поясним сказанное некоторыми примерами.

В последние десятилетия в очень многих публикациях приводятся доводы, подкрепленные расчетами о возрастании в атмосфере

концентрации диоксида углерода и ряда других газов, обладающих парниковым эффектом (метан, оксилы азота и др.), приводящим к ощутимому глобальному потеплению климата (Будыко, 1977; Будыко и др., 1985; и др.).

Казалось, можно было бы в связи с этим сделать достаточно точный количественный прогноз изменения климата будущего. Такие прогнозы действительно осуществлялись на основе расчета тенденций роста CO_2 в атмосфере, однако точность их оказалась невысокой. Одна из причин этого — более медленное накопление диоксида углерода в воздушной оболочке, чем ожидалось (Ковда, 1985б). Механизмы связывания CO_2 (океан, целинные почвы, особенно болотные) продолжают "работать" и сейчас, хотя и в ослабленном виде. Сложность климатического прогноза связана и со многими другими причинами: а) наличием многих факторов, влияющих на климат; б) противоположно направленным характером влияния различных факторов, как естественных, так и антропогенных; в) несовершенством или недостаточностью методических приемов сбора и обработки исходной информации и др.

Поэтому не случайно, что даже такой популярный фактор климатических изменений, как рост концентрации CO_2 в атмосфере, пока еще не является общепризнанным. Математическое выявление вклада антропогенного поступления CO_2 в атмосферу (антропогенного сигнала) в общее глобальное изменение климата, по мнению некоторых ученых, не дает однозначного ответа. «Тщательный анализ привел к выводу, что это все еще невозможно сделать; "антропогенный сигнал" не выходит за уровень шумов (природно обусловленной изменчивости климата)» (Кондратьев, 1987. С. 7).

Сложность предсказания общих глобальных изменений даже в случаях, казалось бы, прогнозируемых заставляет с исключительной осторожностью относиться к утверждениям тех природоведов, которые считают, что ряд глобальных антропогенных изменений природы экологически положительны, а потому не должны вызывать особой тревоги. К таким желательным изменениям некоторые географы относят антропогенное увеличение содержания CO_2 в атмосфере, поскольку это увеличение вроде бы блокирует возможное очередное естественное похолодание климата и одновременно интенсифицирует фотосинтез. Однако если действительно принять эту точку зрения, то можно очень многое оправдать из того крайне нежелательного или вредного, что делается обществом сейчас на Земле. Можно даже пытаться оправдать загрязнение Мирового океана, мотивируя это тем, что оно приводит к снижению его способности забирать CO_2 атмосферы. Можно пытаться оправдать и деградационную минерализацию гумусовой оболочки планеты, поскольку этот процесс дает дополнительную прибавку CO_2 в воздухе. Такие попытки рассматривать происходящие антропогенные глобальные изменения природы отдельно, выделяя в них негативные и позитивные (следовательно, желательные) процессы, представляются, однако, весьма проблематичными и малоперспективными, по крайней мере до тех пор, пока не будет в полной мере изучена динамика и взаимосвязь всех

компонентов биосферы и не будет реализован достоверный прогноз планетарных изменений природы на ближнюю и дальнюю перспективы.

Поэтому исследователи, комплексно оценивающие современную динамику природной среды, с полным основанием предупреждают об опасности стихийной антропогенной трансформации биосферы. Так, В.А. Ковда, хотя и приводит данные об увеличении урожайности в ряде районов в связи с возможным влиянием роста CO_2 в воздухе, тем не менее обращает внимание на реальность серьезных отрицательных последствий в будущем при дальнейшем возрастании концентрации диоксида углерода в атмосфере. "Возможные значительные изменения климата Земли и уровня океана могут наметиться лишь через 30—50 лет, однако нельзя откладывать предупредительные меры до того времени, когда угроза станет очевидной. Комплексы мер по усилению связывания CO_2 должны осуществляться уже теперь" (Ковда, 1985б. С. 79). В данном утверждении, по-существу, содержится призыв к сохранению исторически сложившихся природных круговоротов вещества и энергии как одной из стратегических линий взаимодействия человека и биосферы.

Именно принцип максимального сохранения и восстановления нарушенной естественной окружающей среды может дать наибольший положительный эффект на современном этапе развития природоведческой науки.

Все большее число исследователей приходят к выводу, что нашу Землю и особенно ее биосферу следует рассматривать как весьма сложную динамическую систему с эффективно действующим регионально-планетарным гомеостатическим механизмом, основанным на исторически сбалансированном функционировании геосфер, взаимодействие которых осуществляется в значительной мере по принципу обратной связи. Проявлением обратной связи оказывается, в частности, нейтрализация крупных отклонений в функциональных параметрах, возникающих в какой-либо одной геосфере за счет соответствующих изменений в динамике других геосфер. В итоге имеет место выравнивание (сглаживание) наметившихся возмущений в режиме функционирования биосферы. Однако это выравнивание может достаточно успешно осуществляться до тех пор, пока геосферы Земли не претерпят существенной антропогенной трансформации, носящей пока в основном деградационный характер.

В биосфере, несмотря на ее значительные негативные изменения, пока действуют регуляторные и компенсаторные механизмы. Подтверждением этому служит, например, уже упоминавшееся связывание избытка антропогенного CO_2 атмосферы природными процессами фиксации диоксида углерода, осуществляемыми океаном, почвой, живым веществом. Стремление поддержать, не разрушить эти регуляторно-компенсаторные механизмы биосферы и должно быть определяющим при выборе путей использования природных ресурсов, в том числе почвенных. Другая стратегия, призывающая, например, к усилению какой-либо одной функции биосферы или к так называемому исправлению регионально-глобальных недостатков природы на современном этапе развития науки и практики, не в состоянии успешно

реализовать себя и чревата непредсказуемыми последствиями негативного характера.

Сделанный вывод опирается не только на общие логические выводы и аргументы системного подхода. Количественный анализ функционирования биосферы (Горшков, 1987а) приводит к тому же заключению, общий смысл которого может быть выражен так: биосфера, созданная планетарным эволюционным процессом, — эффективный механизм обеспечения необходимых условий существования жизни на Земле в ее современных высокоорганизованных формах; ни сама биосфера, ни ее компоненты ничем не могут быть заменены. Задача "исправления", усиления и тем более коренной переделки отдельных естественных составляющих биосферы или их крупных блоков в настоящее время не решается сколько-нибудь корректно, поскольку последствия таких сложных операций не могут быть надежно предсказаны.

Считая, что сохранение и восстановление естественных природных круговоротов и биосферы в целом — стержневой ориентир в выборе путей рационального природопользования, необходимо отметить, однако, следующее. При выработке природоохранных и природовосстановительных программ необходимо обязательно учитывать их крайне трудную практическую реализуемость. В связи с этим целесообразно выделить два аспекта — идеальный и реально осуществимый уровень природосохранения. Оба они должны разрабатываться одновременно и во взаимосвязи. Нельзя ограничиваться только одним каким-либо уровнем. Так, если делать ставку на максимальное (полное) сохранение естественной природы, то положительных сдвигов практически может не оказаться, поскольку предлагаемые в этом случае природоохранные меры в действительности невозможно будет осуществить. Если же ограничиться только реально осуществимыми в данный момент природоохранными мероприятиями, то деградационные изменения в биосфере продолжатся по нарастающей.

В заключение отметим, что для решения проблемы нормализации и оптимизации атмосферных функций почвы особое значение имеют: 1) блокировка дальнейшего загрязнения воздушной оболочки и окружающей среды в целом; 2) экологизация сельского и лесного хозяйства; 3) восстановление утраченных позиций почвенного покрова и биосферы; 4) усиление и конкретизация научного обоснования систем и приемов рационального землепользования и природопользования; создание необходимых технических, экономических и правовых предпосылок реализации этих систем и приемов.

Глава четвертая

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА ЛИТОСФЕРУ

Проблема литосферных функций почвы на первый взгляд может показаться неправомочной. Действительно, если влияние почвенного покрова на взаимодействующую с ним атмосферу и гидросферу достаточно очевидно в связи с подвижностью и способностью к перемешиванию контактирующих с почвой воздушных и водных масс, то воздействие почвы на каменную оболочку воспринимается как малозначительное. Поэтому не случайно длительное время углубленно изучалась лишь роль литосферы в почвообразовании и были установлены основные особенности почвообразовательного процесса на различных исходных субстратах.

Однако феномен обратной связи ощутим и в рассматриваемом случае. Литосфера своими поверхностными слоями не только определяет направление и разнообразие почвообразовательного процесса, но и сама во многих своих проявлениях и трансформациях зависит от жизни и динамики покрывающей ее тонким слоем почвы. В первую очередь воздействие почвообразования испытывают на себе коры выветривания и осадочная оболочка в целом. Но и другие составляющие литосферы, если брать геологические масштабы времени, связаны прямо или чаще всего опосредованно с событиями, реализующимися в поверхностном слое — почвенной пленке планеты. Прежде чем рассмотреть эту область явлений, кратко отметим основные структурно-динамические особенности литосферы.

Литосфера — сложное образование, где вещество представлено в основном в твердом состоянии. Достигает она мощности до 120—150(200) км, состоит из земной коры и верхней части внешней мантии до астеносферы. Полагают, что подстилающий астеносферный слой отличается высокой пластичностью, допускающей возможность вертикальных погружений в него и горизонтальных смещений по нему вышележащей жесткой литосферы.

Особый интерес представляют строение и динамика земной коры, верхняя часть которой непосредственно соприкасается с почвой. Земная кора — относительно тонкая (5—60 км) твердая оболочка. Толщина ее составляет всего лишь 1/200 часть радиуса Земли. Однако она занимает особое место среди других геологических оболочек земного шара, поскольку отличается сложным генезисом. Полагают, что земная кора — продукт взаимодействия мантийного слоя с гидросферой и атмосферой. В действительности генезис земной коры еще более сложен, поскольку она формируется также при взаимодействии с живым веществом и почвенным покровом. На это обратил внимание В.И. Вернадский, считавший земную кору в основном областью былых биосфер.

Земную кору сверху вниз подразделяют на осадочный слой — (стратисферу) мощностью от первых метров до 20 км; гранитно-метаморфический (или просто гранитный) слой, сложенный кислыми магматическими породами, гнейсами, кристаллическими сланцами и

имеющий мощность обычно не более 25 км. Ниже выделяется базальтовый слой средней мощностью около 15 км, образованный магматическими и метаморфическими породами основного состава, а также гранулитами — гнейсами, содержащими гранат. Такое строение земная кора имеет на континентах.

Океаническая кора выглядит, как правило, существенно иначе. Под слоем рыхлых осадков средней мощностью около 0,7 км (на континентах около 3 км) залегает слой мощностью около 1,7 км, образованный преимущественно базальтами. Ниже идет слой мощностью около 5 км, состоящий из преобразованных путем гидратации горячих глубоко залегающих ультраосновных пород — серпентинитов.

Сильно различаются континентальная и океаническая кора и по возрасту. Первая значительно старее: некоторые ее участки датируются временем около 4 млрд лет. Океаническая же кора существенно моложе — ее возраст примерно 150 млн лет (Ясаманов, 1987).

Для понимания существа взаимосвязей почвы и литосферы, несомненно, первостепенное значение имеет динамика каменной оболочки. Однако в настоящее время пока отсутствует хорошо разработанная теория тектоники литосферы. Продолжают сосуществовать две конкурирующие концепции — представление о тектонических режимах, признающее примат вертикальных движений земной коры (Белоусов, 1986; и др.), и учение о тектонике литосферных плит, важнейшим элементом которого является признание горизонтальных смещений и дрейфа материков.

Не вдаваясь в подробности рассмотрения современных геодинамических и геотектонических работ, отметим, что в большинстве их, независимо от того, в рамках какой геологической школы они выполнены, отмечается большое значение обмена веществом и энергией между континентальными сухопутными регионами (главными носителями почвенного покрова) и океаническими бассейнами. При этом отмечается особое значение в процессах взаимодействия и обмена веществом между континентами и океаном переходных зон.

Однако проблема взаимодействия почвенной оболочки и литосферы, конечно, не может исчерпываться только глобальным аспектом, ярким выразителем которого оказываются исследования взаимосвязи континентов и океанов. Самостоятельной, не менее важной стороной проблемы является всестороннее изучение экзогенных геологических процессов, их переплетений с процессами почвообразования. Именно здесь зачастую наиболее полно раскрывает себя механизм связи почвы и геологических систем, именно здесь обнаруживаются явления, понимание которых имеет первейшее значение для рационального использования и охраны почвенного покрова и геологической среды.

ПОЧВА — ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ И ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЛИТОСФЕРЫ

Верхняя часть литосферы, граничащая с гидросферой и воздушной оболочкой, находится в особых термодинамических и геохимических условиях. Поверхностные горизонты литосферы испытывают постоянное разрушающее воздействие ряда агентов. На континентах особую

разрушающую силу несут с собой движущиеся воды и ветер, наиболее интенсивно воздействующие на незащищенные почвенным и растительным покровом дневные горизонты геологических пород.

Легко представить, что произошло бы с каменной оболочкой Земли, если она была бы полностью лишена защитного почвенно-растительного чехла. Прежде всего поверхность литосферы была бы подвержена мощному фронтальному эрозионному воздействию текучих вод. Даже сейчас, когда сведение естественной растительности и распашка земель не охватили сплошь весь земной шар, ежегодно с поверхности континентов сносится в конечные водоемы стока — моря и океаны — более 10 млрд т вещества в результате действия антропогенной эрозии (Лисицин, 1978). Не менее тяжелые потери возникают от дефляции, приобретающей бурный, затяжной характер при уничтожении почвенно-защитного чехла. Наглядный пример — катастрофический размах антропогенного опустынивания земного шара (Ковда, 1981а, 1985; и др.).

Кроме защиты дневных горизонтов каменной оболочки от разрушающего действия ветровой и водной эрозии, почва выполняет не менее существенную функцию, являясь важным условием прогрессивного развития литосферы. В чем это проявляется?

Установлено, что литосфера Земли существенно отличается от литосфер других планет земной группы. Главная особенность заключается в существенно большей ее развитости, разнообразии пород и форм рельефа и принципиально большем вкладе экзогенных факторов, и в первую очередь гидрологических, в преобразование лика земной поверхности. "Вследствие полного отсутствия воды на безатмосферных планетах — Луне и Меркурии или наличия ее в малом количестве и не в жидкой фазе на Марсе и Венере на этих планетах отсутствует активный круговорот воды в природе. Отсюда — крайняя пассивность проявления экзогенных процессов и, как следствие, — необычайная консервативность орографических элементов (крупные формы рельефа существуют миллиарды лет). Экзогенные процессы не могут подавить эффект метеоритной бомбардировки, поэтому кратерный тип рельефа безраздельно господствует на Луне, Меркурии, Венере и преобладает на Марсе" (Криволуцкий, 1985. С. 270).

Ярким примером консервативности эндогенных форм рельефа на Марсе в связи с ослабленностью там экзогенного преобразования поверхностных слоев литосферы оказывается сохранение до сих пор вулканов-гигантов высотой более 20 км, вершины которых парят в стратосфере. На Земле в силу мощного проявления экзогенеза — качественно иное структурно-динамическое состояние литосферы, которая оказалась гораздо более продвинутой в эволюционном плане. И одна из важнейших причин этого — наличие на нашей планете развитого почвенного покрова. Материалы второй главы, где охарактеризована гидрологическая роль почвы, убедительно доказывают, что во многом именно благодаря гидросферным функциям почвы реализуются в течение многих миллионов лет влагообороты на Земле, имеющие столь существенное значение в глубоком экзогенном преобразовании каменной оболочки. "С циркуляцией воды во внешней

области Земли связано функционирование на нашей планете мощного комплекса экзогенных процессов, оказывающих огромное влияние на другие компоненты — литосферу, органический мир, вовлечение их в глобальные круговороты" (Криволуцкий, 1985. С. 270).

Но дело далеко не только в собственно круговороте воды, который сам по себе мог бы породить в основном лишь разрушение и экзогенную переработку эндогенного рельефа, а также измельчение до определенной степени исходных пород и их эрозию, о чем говорилось выше. Кардинальное значение имеет то обстоятельство, что действие воды на литосферу Земли одновременно сочетается с преобразующим влиянием живого вещества, неразрывно связанного в своих главных проявлениях с почвенной оболочкой. В результате происходит суммирование, взаимоусиление влияния воды и живых организмов на литосферу. Важнейшим следствием этого оказывается качественное, многократное (в сотни и тысячи раз) повышение реактивности химических процессов экзогенного преобразования литосферы. И что особенно важно, это преобразование носит отнюдь не только характер разрушения, как полагали долгое время.

Экзогенез на Земле, неразрывно переплетенный с воздействием на литосферу живого вещества и почвообразовательного процесса, выступает и как созидатель, формирующий новые формы рельефа и способствующий образованию целого класса экзогенных соединений, минералов, пород и полезных ископаемых.

Преобразование литосферы Земли благодаря отмеченным особенностям ее трансформации отличается не только разнообразием результатов в горизонтальном срезе каменной оболочки, но и глубоким проникновением в ее недра. Так, если на Марсе осадочный слой прерывист и его мощность измеряется, как правило, метрами или десятками метров, то на Земле осадочный чехол практически сплошь покрывает кристаллический фундамент земной коры, достигая в ряде мест глубины 20 км. Глубокое преобразование литосферы сложной совокупностью процессов (тесно связанных с функционированием живого вещества и почвы), которое можно назвать биосферизацией каменной оболочки, впервые по-настоящему было оценено В.И. Вернадским в его знаменитом высказывании о земной коре как области былых биосфер. В.И. Вернадский считал, что земная кора "захватывает в пределах нескольких десятков километров ряд геологических оболочек, которые когда-то были на поверхности Земли биосферами. Это биосфера, стратисфера, метаморфическая (верхняя и нижняя) оболочка, гранитная оболочка. Происхождение их всех из биосферы становится нам ясным только теперь. Это былые биосферы" (1987. С. 35).

Значительный вклад вносит почва и в эффект сбалансированности развития литосферы, под которым мы понимаем определенную уравновешенность эндогенных и экзогенных факторов ее эволюции, внутренних и внешних источников энергии литосферы, а также существование процессов возврата в каменную оболочку теряемого ею вещества. До сих пор это значение педосферы еще не осмыслено сколько-нибудь полно, подтверждением чему являются достаточно

односторонние (без учета геосферных функций почвы) попытки объяснить причины существования у Земли тектонически активной развитой литосферы, а также полноценной атмосферы и гидросферы. Доминируют в этом вопросе пока что чисто геологический и геофизический подходы.

Так, активность литосферы и наличие атмосферы у нашей планеты нередко объясняются только ее геофизическими особенностями, прежде всего достаточной массой Земли, обеспечивающей необходимый запас ее внутренней энергии и блокирующей благодаря значительной силе тяжести отлет в космическое пространство выделяющихся из земной коры газов. Конечно, данные причины имеют место и, возможно, являются решающими, но нельзя упускать из поля зрения другие существенные факторы. Среди них следует, несомненно, принимать в расчет экзогенный источник энергетической подзарядки тектонических процессов литосферы, действующий во многом благодаря почвообразовательному процессу. Генезис данного источника связан с формированием в ходе почвообразования — выветривания богатых энергией соединений и минералов и отдачей этой энергии в недра Земли при поступлении данных веществ в планетарные депрессии в ходе миграции соединений с континентов в океаны.

Весьма существенным для поддержания активности литосферы, в частности ее способности подпитывать воздушную оболочку газами, является способность почвы связывать ряд глубинных газов (диоксид углерода, азот, водород) и возвращать их вновь в литосферу при захоронении и погребении осадочного материала, прошедшего через почвообразовательный процесс. Без такого многократного возврата в литосферу выделенных ею газов наша планета не имела бы той концентрации газов, какую мы наблюдаем сейчас в современной атмосфере Земли. Она оказалась бы или чрезмерно разреженной, как на Марсе, или же, наоборот, была бы исключительно насыщенной газами, как на Венере, атмосфера которой в 90 раз плотнее земной (Криволуцкий, 1985).

Исключительное значение влиянию газовых функций почвы и живого вещества на эволюцию земной коры придавал В.И. Вернадский: "Роль почвы в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в живом веществе почвы и способна к переносу благодаря проникающим в почву газам. Говоря о значении биохимических процессов в почвах и значении почвы в области биосферы, мы, другими словами, скрыто указываем на первенствующую роль газов в почвенных процессах и значении этих газов в газообмене земной коры" (1960 С. 304).

БИОХИМИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ

В биохимическом преобразовании верхнего слоя литосферы почва принимает косвенное и непосредственное участие. Косвенная роль заключается в том, что без почвы, являющейся основной средой обитания организмов суши, активное биохимическое изменение литосферы

было бы, по существу, невозможно, живые организмы и их метаболиты без почвы не представляли бы серьезного фактора глобального преобразования лика Земли.

Непосредственное участие почвы в рассматриваемом процессе многопланово. Прежде всего почва выступает как поставщик органических кислот специфической и неспецифической природы, возникающих в процессе гумусообразования. Причем важно отметить, что растворяющей способностью обладают не только фульвокислоты, но и гуминовые кислоты (Пономарева, Плотникова, 1980).

Реальность активного изменения пород почвенными кислотами почвы была доказана специальными экспериментами, которые ставились еще в прошлом веке. Из более поздних исследований следует остановиться на опытах В.В. Пономаревой (1964) по разложению минералов фульвокислотами.

В эксперименте, в котором выяснялось взаимодействие растворов фульвокислот с минералами в течение 100 дней, была выявлена их значительная растворяющая способность. Для всех взятых минералов отмечалась заметная потеря в весе: для нефелина — 15,3%, роговой обманки — 5,7, апатита — 3,2, микроклина — 2,3%. Другие минералы также растворялись, что проявлялось, в частности, в заметном увеличении pH растворов после взаимодействия с минералами:

	pH
Исходный раствор фульвокислот	3,5
Тот же раствор после взаимодействия с минералами:	
нефелином	6,1
апатитом	4,5
роговой обманкой	4,7
микроклином	4,2
биотитом	6,5
мусковитом	6,1
оливином	5,2
каолином	6,3
известняком	7,3

Сравнительное изучение в течение 6 мес растворяющего действия четырех растворителей на первичные и глинистые минералы (дистиллированной воды, 0,005 н. лимонной кислоты, 0,005 н. HCl, 0,005 н. фульвокислоты) показало, что наибольшим растворяющим действием на минералы характеризовались фульвокислоты (табл. 21), несмотря на то что pH их раствора (3,1) был значительно выше pH раствора HCl (2,54). При этом было зафиксировано интересное явление: растворимость первичных минералов в лимонной кислоте, фульвокислоте и в HCl варьировала в целом незначительно. Растворимость же глинистых минералов, особенно монтмориллонита, в фульвокислотах была в 3—4 раза выше, чем в HCl.

Учет количества отдельных элементов, перешедших в раствор, показал, что растворение минералов имеет сложный и неидентичный характер. Например, железо характеризуется исключительно большим выходом в фульвокислоты из роговой обманки и слабым — из биотита. Обращает на себя также внимание довольно слабое извлечение магния

фульвокислотами из всех минералов, за исключением монтмориллонита. Это позволяет предполагать, что в условиях опыта при взаимодействии фульвокислот с первичными минералами наряду с разложением последних мог происходить и синтез глинистых минералов, при котором частично фиксируется мобильный магний.

Растворяющее действие гуминовых кислот также доказано экспериментально (табл. 22). Сводка первых данных по этому вопросу сделана К.Д. Глинкой. В его учебнике "Почвоведение" (1927) обращается внимание на то, что исследователей вначале больше всего интересовал важный в практическом отношении вопрос взаимодействия между фосфорнокислыми удобрениями и гуминовыми кислотами или производными этой группы. Так, было найдено, что раствор гуминовых веществ в аммиаке растворяет $Ca_3(PO_4)_2$. В опытах Эйхгорна было установлено, что гуминовая кислота способна растворять фосфорит и соли других минеральных кислот.

Ряд опытов по растворяющей деятельности гуминовых кислот был поставлен самим К.Д. Глинкой, который использовал их щелочные растворы. Им было показано заметное растворение под действием данных веществ натролита, каолинита, биотита, некоторых цеолитов. В результате проведенных экспериментов К.Д. Глинка пришел к выводу, что щелочные растворы гуминовой группы представляют собой энергичный реактив. "При действии их на природные алюмосиликаты происходит не только частичное разложение последних, но и сложный обмен между неразложенной частью алюмосиликата и минеральным комплексом раствора, причем в обменную реакцию, кроме щелочей и щелочных земель, вступают и полуторные окислы" (1927, С. 111).

В дальнейшем на роль гуминовых кислот как важных растворителей минералов почвообразующих пород обратила внимание В.В. Пономарева. В условиях эксперимента было показано, что гуминовые кислоты чернозема могут оказывать на минералы такое же разлагающее действие, как и фульвокислоты. Однако по своему воздействию на минералы они обладают не только сходством, но и глубокими различиями. Так, в условиях опыта гуминовые кислоты совершенно не поглощались порошками первичных минералов и из их растворов не осаждался Al, как это имело место в случае фульвокислот. Это объясняется химическим различием между этими кислотами, которое заключается прежде всего в исключительно выраженной способности гуминовых кислот осаждаться Ca, а фульвокислот — Al (Пономарева, Плотникова, 1980). Данная особенность гуминовых кислот приводит к тому, что они выщелачивают из минералов пониженное количество кальция (см. табл. 22).

Растворяющее воздействие гуминовых кислот на алюмосиликатные минералы в условиях эксперимента ставит закономерный вопрос: почему, несмотря на растворяющее действие, например в черноземах, этих кислот на алюмосиликатные минералы, последние в природных условиях остаются устойчивыми? В.В. Пономарева данное противоречие объясняет тем, что в естественных степных экосистемах гуминовые кислоты образуются из растительных остатков, богатых кальцием,

Таблица 21

Способность растворения минералов, % от растворения в HCl (Пономарева, 1964)

Минерал	HCl, 0,005 н.	Дистиллированная вода	Лимонная кислота 0,005 н.	Фульвокислота, 0,005 н.
Нефелин	100	4	68	96
Роговая обманка	100	25	86	142
Оливин	100	20	115	130
Биотит	100	12	76	90
Микроклин	100	14	52	167
Монтмориллонит	100	249	370	430
Каолин	100	67	118	364

Таблица 22

Растворение минералов гуминовыми и фульвокислотами за 200 сут опыта (Пономарева, Плотникова, 1980)

Минерал	Растворы кислот, 0,005 н.	Общая минерализация растворов, мг/л	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Нефелин	фк	277	120	53	—	—	—	39	65
	гк	416	137	100	—	—	—	30	77
Монтмориллонит	фк	97	35	3	7	50	3	—	—
	гк	85	47	12	13	13	0	—	—

Таблица 23

Освобождение SiO_2 из минералов под влиянием кислото-щелочеобразующих микроорганизмов (Аристовская, 1980)

Микроорганизмы	pH		Извлечение SiO_2 из различных минералов, мг/л		
	в исходной среде	в культуре	40 сут	70 сут	70 сут
			нефелин	плагиоклаз	кварц
Penicillium notatum	6,6	3,1	124,0		
	6,3	1,9	—	4,0	
	4,9	1,9	—	—	0,8
Sarcina ureae	7,8	9,6	13,0		
	6,8	9,5	—	2,6	
	5,8	9,5	—	—	14,0

который блокирует функциональные группы гуминовых кислот с самого начала их образования.

В заключение характеристики растворяющей способности гумусовых кислот следует также указать на опыты по разлагающему действию на силикатные минералы (кварц, микроклин, плагиоклаз, каолинит и др.) 0,005 н. растворов гуминовых и фульвокислот, а также соляной и лимонной кислот. Эксперимент длился в течение 200 сут. Давая интерпретацию данного опыта, В.В. Пономарева (1964) отмечает, что каждой из исследованных кислот нельзя дать какую-то общую оценку агрессивности по отношению к силикатным минералам вообще. По отношению к разным минералам и элементам, входящим в их состав, а также различным срокам разложения на первое место по степени агрессивности может выступать то одна, то другая кислота. Степень диссоциации кислот не имеет решающего значения для степени разложения силикатных минералов. Наиболее сильно диссоциированная соляная кислота не всегда стоит на первом месте по степени агрессивности. Лимонная кислота — быстро действующая, но и быстро расходующая себя. Наиболее длительно действующими оказались гумусовые кислоты.

Кроме кислот, возникающих при гумусообразовании, важными агентами разрушения и изменения минералов литосферы являются попадающие в почву продукты жизнедеятельности обитающих в ней микроорганизмов (табл. 23). В результате совместного действия эти агенты оказываются важнейшими факторами мобилизации химических элементов, законсервированных в кристаллических решетках, которые идут на питание различных живых существ биосферы.

Процесс микробиологической деструкции минералов материнских пород особенно наглядно проявляется на ранних стадиях почвообразования, когда в исходном субстрате еще не накопилось зольных веществ и минералы породы оказываются почти единственным источником питания живых организмов (Аристовская, 1980). Этот

вывод находит подтверждение в работах по первичному почвообразованию (Сушкина, Цюрупа, 1973).

Преобразование поверхностного слоя литосферы под действием микроорганизмов почвы включает два противоположно направленных процесса: разрушение минералов породы и новообразование минералов при участии микроорганизмов. Первый процесс может включать как прямое, так и косвенное воздействие микроорганизмов на кристаллические решетки минералов, приводящее к переходу в подвижное состояние содержащихся в породе элементов. Прямое воздействие может быть двух типов — разрушение с помощью ферментов и с помощью микробных слизей (Silverman, 1967). Причем второй тип имеет не меньшее, а возможно, большее значение в разрушении минералов материнских пород, так как действие микробных слизей по сравнению с ферментативным воздействием имеет менее специфический характер.

Однако, несмотря на довольно широкое распространение слизеобразующих микроорганизмов и возможность прямой деструкции минералов ферментами, в природе более универсальным средством мобилизации элементов из кристаллических решеток является, по-видимому, косвенное воздействие микрофлоры на минералы (Аристовская, 1980). Оно заключается в разрушении породы с помощью сильных химических реагентов, продуцируемых почвенными микроорганизмами в процессе обмена веществ. Эти реагенты представлены разнообразными минеральными и органическими кислотами, биогенными щелочами, хелатообразователями и, по-видимому, веществами, обладающими сильными редуцирующими свойствами.

Большинство исследователей в настоящее время полагают, что среди кислотных продуктов микробного происхождения в процессах выветривания большую роль играют не минеральные, а органические кислоты, которые продуцируются как микроскопическими грибами, так и бактериями. Микроскопические грибы, характеризующиеся способностью к кислотообразованию, наиболее часто образуют щавелевую, лимонную и глюконовую кислоты (Wagner, Schwartz, 1965). Бактерии могут образовывать различные органические кислоты: муравьиную, уксусную, масляную, молочную, щавелевую, винную и др. (Low, Webley, 1959; и др.).

Важно отметить, что среди продуцируемых микроорганизмами кислот многие обладают способностью к образованию комплексных и внутрикомплексных соединений — хелатов, что повышает их агрессивность по отношению к минералам и делает взаимодействие с ними более разнообразными. Шатц с соавт. выдвинули в 50-х годах получившее признание предположение, что хелатизация — один из главных факторов почвообразования, а выделение микроорганизмами комплексообразователей имеет приспособительное значение, поскольку позволяет существовать организмам в среде, где элементы минерального питания законсервированы в кристаллических решетках.

Представляет интерес вопрос о соотношении вклада гумусовых кислот и указанных низкомолекулярных органических кислот в разложение минералов материнских пород. По мнению Т.В. Аристовской,

более высокое содержание в почвах фульво- и гуминовых кислот не является бесспорным доказательством их главной роли в процессах деструкции минералов. Низкомолекулярных кислот в почве содержится действительно меньше: в подзолистых разностях была обнаружена щавелевая, лимонная, фумаровая и некоторые другие органические кислоты в количестве 5—7% общего углерода сорбированных органических веществ. Однако надо учитывать, что данные кислоты в отличие от гумусовых не накапливаются в почве по причине их доступности для многих почвенных организмов. Поэтому значение низкомолекулярных кислот, характеризующихся высокой агрессивностью, в преобразовании материнского субстрата может быть значительным, несмотря на кратковременность пребывания их в почве (Кауричев и др., 1974).

Среди агентов преобразования минералов заметную роль могут играть биогенные щелочи, вклад которых, однако, в процессы выветривания остается пока слабо изученным. В то же время образование биогенных щелочей — широко распространенный в природе процесс, который в отдельных микроочагах может протекать даже в кислых подзолистых почвах. Основным источником биогенных щелочных соединений могут быть соли слабых органических кислот и сильных оснований, образующихся при разложении растительных остатков, среди продуктов минерализации которых оказываются карбонаты и бикарбонаты. Щелочи образуются также при аммонификации белковых веществ. Они могут накапливаться в почве после внесения навоза и других азотсодержащих соединений, а также при разложении богатых основаниями пород.

В процессах выветривания в щелочных почвах большое значение имеет биогенная сода. Образование микроорганизмами карбонатов и бикарбонатов при минерализации богатого опада приводит к сильному повышению pH почвенных растворов, что вызывает разрушение алюмосиликатов.

К числу реагентов, образуемых с помощью микробов, относятся также сильные восстановители: водород, сероводород, метан и др., которые, по-видимому, в определенных условиях могут также участвовать в процессах преобразования минерального субстрата.

Таким образом, биохимический аппарат, которым располагает микрофлора почвы для деструкции минералов, в высшей степени гибок и разнообразен. В зависимости от условий среды может быть использовано то или иное из имеющихся средств для освобождения химических элементов из породы (Аристовская, 1980). Последнее заключение можно в равной мере отнести ко всей совокупности почвенных биохимических агентов преобразования литосферы, к которым, кроме гумусовых кислот и метаболитов микроорганизмов, относится также такой существенный фактор, как прижизненные выделения растений (Роде, 1947; Ковда, 1973, 1985б; и др.).

Рассмотрим главные результаты биохимического воздействия почвенных агентов выветривания на поверхностную часть литосферы. Здесь необходимо назвать прежде всего перевод законсервированного в массивные глыбы и кристаллические решетки вещества литосферы

Таблица 24

Концентрация железа и марганца в объектах литосферы и биосферы (Глазовская, Добровольская, 1984)

Объект	Коэффициент концентрации	
	Fe	Mn
Объекты литосферы:		
литосфера	1	1
кислые породы	0,53	0,54
основные породы	1,68	1,50
ультраосновные породы	1,93	1,62
Производные биосферы:		
глины, сланцы	0,65	0,85
песчаники	0,20	0,00
карбонатные породы	0,07	1,1
почвы	0,74	0,9
конкреции в почвах	3—10	10—150
конкреции морские	—	10—500
латериты	5—10	5—10
осадочные железные руды	5—15	2—200
бокситы	2—10	1—4
живое вещество	0—0,04	0,08

в подвижное состояние. Достигается это за счет ряда процессов, среди которых следует в первую очередь отметить размельчение в результате физического и биохимического выветривания грубого материала массивно-кристаллических пород до размерностей, позволяющих перемещаться ему под действием различных факторов на значительные расстояния.

Известно, что дальность переноса частиц умеренно сильным ветром значительно возрастает при уменьшении их размеров. Если для гравия дальность переноса составляет всего лишь несколько метров, то для тонкого песка она достигает нескольких километров, алеврита — сотен километров. Тонкий же алеврит и глинистые частицы могут перемещаться вокруг земного шара.

Одна из важнейших форм мобилизации вещества поверхностных слоев литосферы — перевод значительной его части в коллоидальные и истинные растворы, обладающие высокой миграционной активностью и способные перемещаться с водными потоками через континентальные пространства до глубинных зон Мирового океана.

В результате длительного действия почвенных агентов выветривания и мобилизации вещества земной коры достигается одно из главнейших условий динамического развития и функционирования зоны гипергенеза — образование фонда лабильных соединений и элементов, создающего необходимые предпосылки для различного типа миграции веществ и круговоротов.

Другим важным следствием почвенного выветривания оказывается резкое возрастание удельной поверхности преобразованных почво-

образованием исходных массивно-кристаллических пород. Представление о размерах поверхности мелкозема, образующегося в результате воздействия почвообразовательного процесса, дают расчеты, показывающие, что суммарная поверхность 1 $м^3$ суглинка составляет более 10 $км^2$. Если теперь учесть, что поверхность 1 $м^3$ плотной горной породы, не затронутой выветриванием и почвообразованием, составляет всего около 6 $м^2$, что становится ощутимым колоссальное — в сотни тысяч раз — увеличение активной поверхности субстрата, имеющее место в ходе превращения монолитной исходной породы в разнородный мелкозем (Добровольский, Никитин, 1986).

При этом необходимо подчеркнуть особую роль почвенных биохимических агентов выветривания, приводящих к образованию наиболее деятельной субколлоидальной и коллоидальной фаз, отличающихся наибольшей удельной поверхностью. Чисто же физическое выветривание, связанное с измельчением породы в результате повторяющегося ее нагревания и охлаждения, может, по-видимому, диспергировать субстрат преимущественно до пылеватой фракции (Чижиков, 1968).

Резкое возрастание активной поверхности имеет исключительное значение для процессов, происходящих в верхних слоях литосферы. Б.Б. Полынов (1956) подчеркивает, что громадное количество молекулярных сил, которые до раздробления твердого тела уравновешивались между собой, после раздробления вступает во взаимодействие с новой средой. Естественно, чем больше поверхность, тем успешнее протекают эти взаимодействия.

Благодаря сильной диспергации материала возникает новый мощный фактор взаимодействия — поверхностные силы, которые обусловливают проявление ряда природных процессов: поглощение газов, паров жидкости, адсорбцию элементов и соединений из растворов и др.

К числу важнейших изменений, происходящих в литосфере под воздействием или при участии мобильных продуктов почвообразования, относятся синтез в зоне гипергенеза различных минералов и соединений и концентрация ряда элементов (табл. 24). В качестве одного из основных результатов биохимического и химического преобразования литосферы следует назвать особление в ее поверхностной части коры выветривания, формирование которой тесно связано с почвообразовательным процессом и в значительной мере является его следствием (Добровольский, Никитин, 1986).

ПОЧВА — ИСТОЧНИК ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Почвенная оболочка, облекая литосферу Земли, оказывается важнейшим источником для формирования в ней минералов, пород и полезных ископаемых. По существу, вся осадочная и метаморфическая оболочки образовались при участии в той или иной степени вещества, испытавшего отчетливое воздействие почвообразовательного процесса. Н.М. Страхов в фундаментальном труде "Основы теории литогенеза" подчеркивал, что важнейшим условием образования осадочных пород

является мобилизация вещества на водосборах. Причем в случае гумидного породообразования, широко распространенного на земном шаре, особое значение приобретает выветривание (в том числе внутрипочвенное) в результате сильного развития "химических и химико-биологических процессов, которые обычно оттесняют далеко назад процессы чисто физического разрушения пород" (1960а. Т. 1. С. 6).

Мобилизация вещества, основу которой составляет переход соединений, законсервированных в кристаллических решетках, в подвижное состояние, наиболее эффективно осуществляется на территории с развитым почвенным покровом, который при наличии достаточного атмосферного увлажнения оказывается мощной фабрикой по производству исходного материала для пород и полезных ископаемых, как органогенных, так и минеральных.

Если ознакомиться с доминирующими гипотезами и теориями *образования органогенных полезных ископаемых — торфов, углей, нефти,* то большинство из них прямо указывает на важность процессов исходного накопления органогенного материала на поверхности Земли с последующей его трансформацией в более глубоких слоях.

Наибоее очевидно участие почвообразования при формировании торфов. Причем исследования последних лет показали, что вклад почвообразовательных процессов в торфонакопление в действительности оказывается еще большим, чем это можно было считать до недавнего времени. Как правило, полагали, что предпосылки торфообразования климатические и геоморфологические — значительная атмосферная увлажненность территории в сочетании с ее слабой дренированностью. Не отрицая значимости этих факторов, следует, однако, подчеркнуть, что в число ведущих торфообразователей должна быть обязательно включена и почва.

Влияние почвообразовательных процессов на торфонакопление может обнаруживаться в нескольких формах. Важнейшая из них — стимуляция процесса заболачивания самой почвой вследствие такого изменения ее свойств, при котором создаются предпосылки для накопления избыточных запасов влаги, достаточных для начала болотообразовательных процессов. Данный тип заболачивания, получивший название автохтонного, считается вполне реальным для обширных гумидных территорий. "Автохтонное заболачивание, согласно почвенной гипотезе, развивается вследствие переувлажнения над уплотненными иллювиальными генетическими горизонтами, формирующимися в результате саморазвития почв. Увеличение уплотнения этих горизонтов во времени вызывает и прогрессирующее нарастание переувлажнения автохтонной влагой, что в конце концов создает условия для торфонакопления" (Караваева, 1982. С. 274).

Богатый фактический материал, показывающий непосредственное влияние почвообразования на формирование торфов, дают исследования заболоченных почв и ландшафтов Западной Сибири (Орлов, 1975; Никитин, 1980б, 1985; Добровольский и др., 1981; Караваева, 1982; и др.). Показано, что торфяные горизонты часто подстилаются минеральными почвенными генетическими горизонтами с пониженной водопропускной способностью. Особенно наглядно это проявляется при

формировании болот на массивах, сложенных легкими породами. Почвы этих массивов в результате развития генетического профиля приобретают иллювиальные прослойки и целые горизонты с пониженной водопроницаемостью, что, "включает" процесс торфонакопления. В результате происходит взаимоусиление торфо- и иллювиообразования, поскольку при возникновении торфяных подстилок и горизонтов в минеральной части профиля активизируется глеевый процесс, приводящий к мобилизации железа, глинистой плазмы и других компонентов, их миграции вниз с последующим частичным осаждением, приводящим к снижению фильтрационной способности почвогрунтов и дальнейшему усилению заболачивания. Необходимо обратить внимание на участие в формировании иллювиальных горизонтов легких пород не только соединений железа, которое ранее считалось главным их типоморфным элементом. Состав и генезис этих горизонтов сложен, причем существенным их компонентом во многих случаях является глинистая плазма (Никитин, Федоров, 1977; Никитин, 1980б, 1985).

Разнообразие материала, способного к миграции в почвенном профиле при его заболачивании, и формирование слабоводопроницаемых иллювиальных горизонтов, несомненно, облегчают процесс торфообразования. Существенно и то обстоятельство, что возникновение иллювиальных прослоек и горизонтов, являющихся предпосылкой торфонакопления, может происходить достаточно быстро. Так, специальне эксперименты в полевых условиях (Никитин, 1980б, 1985; Добровольский и др., 1981; и др.) позволяют полагать, что заметные иллювиальные аккумуляции железа и глинистой плазмы при определенных условиях могут отмечаться уже в первые годы формирования почвенного профиля.

Кроме материалов, позволяющих со всей определенностью говорить, что почва является одним из факторов, "запускающих" процесс торфонакопления, существуют факты и суждения, дающие основание считать, что почвенный профиль, даже будучи уже покрытым торфяным материалом той или иной мощности, продолжает влиять на скорость роста и состав торфяных горизонтов. Это влияние идет по нескольким направлениям и осуществляется в силу действия нескольких причин. Во-первых, скорость роста торфа в значительной мере зависит от степени затрудненности вертикальной фильтрации влаги через иллювиальные горизонты почвы. Во-вторых, состав торфа во многом определяется богатством минеральных горизонтов почвы химическими элементами, идущими на построение биомассы растений-торфообразователей.

К сожалению, эти виды влияния подстилающей минеральной почвенно-грунтовой толщи на кроющие их торфяные горизонты пока не принимаются должным образом в расчет, подтверждением чему является широко распространенное деление болот на верховые и низинные по принципу их связи с типом водного питания. Как правило, полагают, что верховые болота имеют атмосферное питание и дают бедный по составу торф, а низинные болота формируются под влиянием грунтовых вод и содержат богатый по зольному составу торфяный материал.

В действительности же достаточно много случаев, когда болота имеют грунтовое или смешанное питание, а торфяная масса отличается бедным составом. Это наблюдается, например, в Западной Сибири при заболачивании песчаных почв, формирующихся на бедных олигомиктовых кварцевых песках, когда грунтовые воды оказываются слабоминерализованными, а болотные биоценозы — олиготрофными. В то же время при заболачивании богатых почвогрунтов зольность образующегося торфа может соответствовать зольности торфа типично низинного болота, хотя грунтового питания у него может и не быть. Поэтому не случайно некоторые исследователи предлагают разделять торфы на низинные и верховые не по типу водного питания болот, а по реальному зональному составу самих торфов, в принципе полигенетичных по своей природе.

Говоря о существенном влиянии почвообразования на формирование торфов, разумеется, необходимо отдавать себе отчет, что почва одна не определяет развитие процессов заболачивания и торфонакопления, имеющих многофакторную обусловленность. Кроме отмеченного автохтонного заболачивания, тесно связанного с саморазвитием почв, существует и другая опосредованная форма — аллохтонное заболачивание, по-видимому, доминирующее в условиях равнинного рельефа. "Аллохтонное заболачивание возникает и развивается благодаря поступлению на суходол дополнительной влаги от болота при его горизонтальном росте. Происходящее при этом заболачивание суходольных почв является их метаморфозом (а не саморазвитием, как при автохтонном течении процесса), так как причина эволюции — дополнительная влага, поступающая извне" (Караваева, 1982. С. 275).

Несмотря на неоднозначность конкретных путей заболачивания, связь его с почвообразованием в той или иной форме существует. Поэтому отсутствие специального комплексного анализа влияния на торфонакопление процессов почвообразования наряду с другими факторами не только обедняет общую теорию формирования болот и торфов, но и ориентирует на одностороннее их хозяйственное использование без учета всех экологических последствий освоения заболоченных ландшафтов. Вместе с тем последнее обстоятельство приобретает все большую актуальность в связи с возрастанием хозяйственной значимости торфов и болот.

В настоящее время мировые запасы торфа исчисляются более чем в 300 млрд т. Около 95% запасов торфа сосредоточено в странах умеренного пояса Северного полушария — СССР, Финляндии, Канаде, США, Швеции, Великобритании, ФРГ, Ирландии, ГДР и др. Около 80% торфяных запасов сосредоточено в Европе и Азии, при этом более 50% приходится на СССР (табл. 25).

Почвообразование оказывает существенное влияние на торфонакопление и генетически связанное с ним углеобразование. На это обратил внимание еще М.В. Ломоносов: "Горные уголья с турфом сродны и... они из турфа родились, и помышляют их для такой же потребы" (цит. по: Оленин, Марков, 1983).

Взаимосвязь торфо- и угленакопления обусловлена прежде всего

Таблица 25

Распределение мировых запасов торфа (Оленин, Марков, 1983)

Регион	Геологические запасы торфа, млрд т		Доля в мировых запасах торфа, %
	1	2	
Европа и Азия:	227,2	283,8	83,3
СССР	158,1	200,0	58,7
Финляндия	25,0	31,2	9,1
Швеция	9,0	11,2	3,3
Польша	6,0	7,5	2,2
ФРГ	6,0	7,5	2,2
Великобритания	5,0	5,7	1,7
Ирландия	5,0	5,8	1,7
ГДР	4,0	5,0	1,5
Другие страны	8,9	9,9	2,9
Северная и Центральная Америка:	48,6	50,7	14,9
США	12,6	14,7	4,3
Канада	35,0	35,0	10,3
Куба	1,0	1,0	0,3
Южная Америка	0,3	0,4	0,1
Африка	3,5	4,8	1,4
Австралия	0,7	1,7	0,3

1 — по данным II Международного конгресса по торфу; 2 — уточненные и сопоставимые при условной 40%-ной влажности.

тем, что и торф и многие виды ископаемых углей явились результатом консервации растительных остатков, образовавшихся при совместном влиянии климата, растительности, геологической обстановки и, конечно, почвообразования. Почвенный фактор во многих работах, однако, не упоминается, что опять-таки указывает на явный недоучет многообразия роли почв в природных процессах.

Конкретные условия углеобразования еще точно не установлены. При анализе этих условий в основном уделяется внимание палеоклиматическим и палеоботаническим данным. О характере почвенного покрова эпох угленакопления можно судить лишь весьма ориентировочно и косвенно. Принято считать, что климат периодов формирования каменных углей был теплым и влажным, создавшим оптимальные условия для развития наземной растительности (Давиташвили, 1971; Оленин, Марков, 1983; и др.).

Сходство и различие торфо- и углеобразования были в основных чертах верно подмечены уже М.В. Ломоносовым. Если процессы торфонакопления происходят в виде неполного распада растений при участии микроорганизмов в условиях обилия влаги, низких температур и давления за короткое время (4—12 тыс. лет), то при углеобразовании растительные элементы претерпевают воздействие более высокого давления и температуры в течение многих миллионов лет.

Необходимо также отметить стадийность превращения торфа в различные виды твердых горючих ископаемых: торф — бурый уголь —

каменные угли — антрацит — шунгит — графит. Последняя стадия — наиболее высокая степень преобразования углей, которую иногда выделяют в качестве самостоятельной под названием "ультраметаморфизма" (Основы геологии горючих ископаемых, 1987).

Есть основания говорить также и об определенном значении почвенной оболочки Земли для формирования нефти и газа, находящихся в "родственных" связях с углем, на что, в частности, обращает внимание А.М. Акрамходжаев: "В химическом составе угля, нефти и природного газа много общего. Прежде всего преобладает углерод и присутствуют водород, кислород, азот, т.е. те элементы, которые являются основой жизни на Земле" (1985. С. 8).

Долгая дискуссия о неорганическом и органическом происхождении нефти и газа завершилась признанием гипотезы органического генезиса нефти, получившей не только необходимое экспериментальное подтверждение, но и блестящую проверку практикой. "Из 40 тысяч месторождений нефти и газа во всем мире ни одно не открыто на основании прогноза, исходящего из гипотезы неорганического происхождения нефти" (Там же. С. 3).

Согласно теории органического происхождения нефти и газа, получившей убедительное развитие в трудах И.М. Губкина, Н.Б. Вассоевича, Н.Ф. Двали, А.Э. Конторовича, В.А. Соколова, А.А. Трофимука и др., основным источником нефти и газа является рассеянное органическое вещество в осадочных толщах. Именно из этого вещества в результате десорбции сорбированных ими углеводородов после их миграции в пористые коллекторы и концентрации в ловушках образуются залежи нефти.

Генезис рассеянного органического вещества, доминирующего в составе суммарного органического вещества Земли, достаточно сложен и неоднозначен. Установлены факты генетической связи типов нефтегазовых месторождений с типами рассеянного органического вещества. Так, установлено, что в толще пород, где развита в основном сапропелевая органика, обычно имеются залежи жидких углеводородов (нефти), а там, где преобладает гумусовая органика, формируются преимущественно газовые месторождения (Акрамходжаев, 1985).

Сейчас трудно сколько-нибудь определенно говорить о количественном вкладе почвообразования в формирование нефтегазовых месторождений, но ясно одно: этот вклад достаточно заметен. Ведь почва, особенно в гумидных ландшафтах, которые доминировали в истории Земли, постоянно отдавала и отдает с почвенными водами колоссальные количества подвижных органических, в том числе гумусовых, веществ в озера, реки,моря, океаны и континентальные отложения. Нет сомнения, что органическое вещество почвенного происхождения составляет заметную долю в рассеянном органическом веществе осадочных пород, послужившем источником нефти и газа.

Кроме того, не следует забывать и об опосредованном влиянии почвы на формирование нефтегазовых месторождений. Ведь если следовать наиболее разработанному положению И.М. Губкина о том, что матерью нефти являются прежде всего мелководные части былых

бассейнов с их пышно развитым растительным и животным миром, то приходится признать существенное влияние на накопление исходного для нефтегазообразования биогенного материала почвенных соединений, приносимых с континентов. Эти соединения во многом определяют повышенную биологическую продуктивность (Страхов, 1960а. Т. 1; и др.) и накопление материнского для нефтегазообразования осадочного материала в морях.

Таким образом, оценивая вклад почвообразования в формирование горючих полезных ископаемых Земли, необходимо констатировать, что этот вклад не только представителен, но для ряда ископаемых является определяющим. Ведь большинство твердых горючих ископаемых (торф, бурый уголь, каменные угли и др.) есть не что иное, как трансформированные органогенные горизонты былых торфяных почв. В связи с этим заслуживает поддержки соображение Р.Э. Вески об особой почвенной стадии преобразования исходного органогенного вещества осадочной оболочки.

Предложение о выделении особой почвенной стадии в единой цепи преобразования изначального органогенного осадочного вещества перекликается с положением академика И.М. Губкина о каустобиолитах как общем исходном материале для различных горючих ископаемых (нефти, углей, сланцев и др.), развитым в его фундаментальном труде "Учение о нефти" (1932). И.М. Губкин обращал внимание на то, что, хотя характер первичного материала для образования нефти был несколько иной, чем для формирования твердых горючих ископаемых, эти полезные ископаемые имеют много общего как в отношении исходного субстрата, так и условий его преобразования. "Исходный материал для нефти и условие его отложения и превращения были близки и связаны непрерывными переходами с таковыми же для углей. Вот почему безусловно правильным является утверждение, что и уголь и нефть — члены одного и того же генетического ряда каустобиолитов, на что мы все время настойчиво указываем" (1932. С. 396). "Таким образом получается сплошной ряд каустобиолитов от антрацита, представляющего собой крайний член ископаемых углей, до жидкой нефти и углеводородных газов" (Там же. С. 13).

Рассматривая формирование исходного материала для нефти, он подчеркивал сложную его природу и накопление из нескольких источников. Отмечая важное значение для образования нефти биогенных илов морских мелководий, И.М. Губкин указывал, что "к органическому материалу биогенных илов присоединялся еще органический материал, сносимый впадающими в него реками, который смешивался с биогенными илами" (Там же. С. 396). На значительный же вклад почвообразования в органический материал, сносимый реками, обращалось внимание неоднократно.

Рассмотренные вопросы вклада почвообразования в формирование горючих полезных ископаемых свидетельствуют о существенном значении еще одного результата взаимодействий почвы с литосферой Земли. Становится ясным, что область влияния почвенной оболочки отнюдь не исчерпывается той маломощной пленкой земной коры, в ко-

торой она расположена в настоящее время. Если рассматривать геологические масштабы времени в размере эпох и периодов, то перед нами со всей убедительностью предстает грандиозное распространение влияния почвенной оболочки на значительную, а возможно и бóльшую, часть литосферы.

Закон всеобщей связи предметов и явлений в данном случае получает еще одно убедительное подтверждение в лице почвы — объекта, которому пока что в подавляющем большинстве случаев продолжают приписывать сугубо утилитарную, агрономическую роль. Насколько это несостоятельно, свидетельствует рассмотренная выше теснейшая зависимость образования запасов горючих ископаемых от почвы.

Изложенный материал и обобщения заставляют обратить внимание на явную недостаточность внимания к почве и почвоведению со стороны дисциплин и специалистов, занимающихся теорией формирования твердых, жидких и газообразных горючих ископаемых и практикой их добычи.

Недостаточен часто и интерес самих почвоведов к смежным и родственным наукам. В результате реальные контакты и связи родственных дисциплин нередко оказываются слабыми, что замедляет своевременное взаимообогащение новыми подходами, методами и теоретическими обобщениями. Так, очевидно, многое может дать усиление связи классического почвоведения с болотоведением. В почвоведении ряд экспериментальных полевых и лабораторных разработок получили углубленное развитие и могли бы с успехом применяться при изучении болот и торфяных почв. Не сбрасывая со счетов специфику объектов исследования, тем не менее хотелось бы видеть более широкую реализацию комплексных междисциплинарных почвенно-болотоведческих исследований, намеченных по единой программе. Ясно, что более углубленное изучение механизма и результатов болотообразования помогает более всесторонне решать и вопросы торфонакопления и углеобразования, имеющие исключительную практическую значимость.

В этих вопросах еще много неопределенного, и, возможно, более широкий подход к их решению с учетом всех процессов и факторов торфо- и углеобразования (в том числе почвенного фактора) поможет найти ответы там, где они раньше не находились. Так, установлено, что в природе не всегда бурый уголь переходит в каменный, несмотря на повышение температуры и давления. Не исключено, что данное явление в определенной мере связано и со спецификой почвенно-биологических условий, в которых формировался исходный для бурых углей торфяной органогенный материал. Одной из конкретных причин этого может оказаться доминирование в составе гумусовых кислот бурых углей гуминовых фракций. Этот вывод следует из заключений специалистов в области углеобразования. Так, В.Е. Раковский считает, что "при высокой термоустойчивости гуминовых кислот бурые угли сохраняются на этой стадии и не всегда переходят в каменные" (Основы геологии горючих ископаемых, 1987. С. 312).

На исключительную важность комплексных междисциплинарных исследований в решении проблем генезиса и механизма образования

горючих ископаемых неоднократно указывали крупнейшие авторитеты в данной области. Так, И.М. Губкин (1932), с удовлетворением отмечая подключение к работам геологов-нефтяников, специалистов в области химии, ратовал одновременно за более действенное участие в этих исследованиях микробиологов. Этот призыв выдающегося ученого продолжает звучать исключительно остро и сейчас. Его лишь следует расширить, отметив необходимость тесного контакта современных исследователей горючих ископаемых с почвоведением, которое уже внесло определенный вклад в практику поисков нефтегазоносных месторождений.

В тесной связи с почвообразованием и выветриванием находится *формирование минеральных полезных ископаемых,* образование которых включает в качестве одного из важнейших звеньев мобилизацию вещества выветриванием материнских пород.

Б.Б. Полынов (1956) при рассмотрении генезиса коры выветривания обращал внимание на то, что к ней и почвам приурочены определенные виды рудных месторождений: болотная, озерная, руды, обогащенные железом, марганцем и другими элементами.

В коре выветривания, тесно связанной с почвообразованием, представлены месторождения ряда полезных ископаемых, которые могут образоваться различными путями. В одних случаях происходит высвобождение в результате разрушения породы самородных металлов и устойчивых минералов (золото, платина, серебро, титанистый железняк, касситерит, гранат, алмаз и др.). В других случаях имеет место накопление вторичных образований (каолины, бентониты, охры и др.) в результате процессов окисления, гидролиза, синтеза и других геохимических реакций. Кроме того, полезные ископаемые могут образовываться при выпадении соединений из насыщенных растворов, путем метасоматоза, карстовых явлений и т.п.

На тесную связь образования полезных ископаемых в поверхностной части литосферы с ее геохимическим изменением в ходе выветривания и почвообразования указывал Н.М. Страхов (1960. Т. 1). Он обратил внимание на то, что если химическая дифференциация вещества при мобилизации его на водосборах выражена слабо, то образование экзогенных полезных ископаемых подавлено. Особенно это характерно для ледовых зон, где развитие осадочных пород (и связанных с ними месторождений) протекает в наиболее простой, примитивной форме — механического осадкообразования с невыраженной или минимально выраженной дифференциацией вещества. В связи с этим в отложениях ледового типа практически нет сколько-нибудь ценных полезных ископаемых.

Иная картина наблюдается в гумидных зонах, где благодаря активному воздействию почвообразования и выветривания на исходные породы происходит массовое высвобождение элементов из кристаллических решеток, что создает необходимые предпосылки для формирования дифференцированных продуктов при экзогенном образовании полезных ископаемых.

Особенно значительными рудные месторождения оказываются в условиях влажного тропического климата, где в корах выветрива-

ния возникает латеритный тип бокситов и железных руд. По данным зарубежных исследователей, в латеритной коре современных тропиков мощность бокситового горизонта элювия может достигать 10—15 м, причем сами бокситы отличаются высоким качеством.

Весьма существенным обстоятельством оказывается то, что экзогенное рудообразование в различные этапы развития биосферы претерпевало значительное изменение. Специальное рассмотрение этого вопроса Н.М. Страховым позволяет говорить о том, что характер континентальной биосферы, и прежде всего происходящих в ней почвенно-биологических процессов, во многом определяли интенсивность и механизм рудообразования. Так, при рассмотрении рудообразования в триаде Al—Fe—Mn в докембрии Н.М. Страхов приходит к выводу, что "одной из особенностей докембрийского рудонакопления в изучаемой триаде является необычная его интенсивность, далеко оставляющая за собой интенсивность рудного процесса послепротерозойских эпох" (1960. Т. 2. С. 172). Одна из главных причин повышенной интенсивности докембрийского рудообразования, по Н.М. Страхову, — более высокое содержание CO_2 в атмосфере в докембрии и в связи с этим более кислые значения pH природных вод и их высокая агрессивность, обеспечивающая активную мобилизацию вещества для рудообразования из исходных пород. В кембрии же в конце протерозоя под влиянием наземной растительности началась быстрая убыль CO_2 в атмосфере и поднялся pH природных вод (Там же. С. 200).

Нельзя не отметить, что в перечне причин ослабления кембрийского рудообразования в триаде Al—Fe—Mn учтено в основном изменение ботанического фактора и последствия этого изменения. В то же время очевидно, что необходимо принимать в расчет всю совокупность процессов, происходящих в биосфере, в том числе и характер влияния почвообразования на геохимическую обстановку рудообразования в различные геологические эпохи. Так, становится ясным, что уменьшение содержания CO_2 в атмосфере обусловлено не только появлением растительности на континентах, но и колоссальным связыванием диоксида углерода при формировании почвенного органического вещества подвижного и фиксированного в гумусе почвенных горизонтов, торфах, углях и других каустобиолитах. Причем весьма существенным резервуаром фиксированного CO_2 оказывается растворенное косное органическое вещество — промежуточный продукт минерализации отмерших животных и растений, возникающий на континентах при существенном или определяющем участии почвенных микроорганизмов. На важную роль растворенных органических соединений обращает внимание и сам Н.М. Страхов: "Главную по массе часть современного органического вещества нашей планеты составляют растворы его — промежуточный продукт минерализации живого вещества, на втором месте стоит автотрофное живое вещество и далеко на третьем месте — гетеротрофная живая материя" (1960. Т. 2. С. 297). Количественные соотношения между данными типами вещества оказываются такие: общая масса автотрофного живого вещества составляет (по В.А. Успенскому) $539{,}68 \cdot 10^9$ т, гетеротроф-

ного — $1{,}54 \cdot 10^9$ т, растворенного косного органического вещества (по В.А. Скопинцеву) около $1300 \cdot 10^9$ т.

Кроме фиксирования углерода, почвообразование могло оказать влияние на изменение рудообразования при переходе от докембрия к кембрию и через другие механизмы. Могло произойти снижение интенсивности выветривания и в силу такого обстоятельства, как снижение температуры почв и кор выветривания в связи с перехватом части солнечной радиации лесной растительностью и общим уменьшением теплоемкости атмосферы из-за ослабления парникового эффекта CO_2, уменьшившего свою концентрацию. Кроме того, появление высшей деревянистой растительности в кембрии обусловило уменьшение количества попадающих непосредственно в почву атмосферных осадков, что могло приводить к ослаблению элювиальных процессов, отмеченному С.В. Зонном и А.Н. Геннадиевым для современных лесных гумидных ландшафтов по сравнению с безлесными.

Не менее важен вывод Н.М. Страхова о том, что в кембрии произошло и существенное изменение фациальных профилей ряда других месторождений, что опять-таки связано с отмеченными изменениями биосферы и почвенной оболочки Земли. Для рудонакопления триады Al—Fe—Mn в докембрии была характерна садка данных металлов в морях, причем в значительной мере в глубоководных их частях, поскольку именно здесь создавались условия для нейтрализации весьма кислых растворов Al, Fe, Mn, поступавших с континентов в эпохи высокого содержания CO_2 в атмосфере. В кембрии ситуация во многом изменилась: повышение pH природных вод снизило геохимическую подвижность Al, Fe, Mn и их осаждение в геохимической системе континент—океан могло осуществляться гораздо ближе к континенту. "Прогрессирующая убыль CO_2 в атмосфере вызвала у всех членов триады резкое ослабление рудообразования и одновременно передвижение их в направлении к берегу, что обусловлено падением геохимической подвижности у всех членов триады. Особенно резко сказалось это смещение в направлении к континенту у наименее подвижного Al_2O_3: его рудные накопления с конца протерозоя локализуются почти целиком в пределах водосборных пространств, лишь слегка заходя в самую периферическую часть морских бассейнов. Значительно сдвигаются в направлении к берегу и железные руды... Параллельно с передвижением рудных фаций в направлении от более глубоководных частей моря к берегу и на континенты убыль CO_2 в атмосфере вызвала существенную перестройку *самого механизма* образования рудных концентраций" (Страхов, 1960. Т 2. С. 204).

Примером изменения механизма рудообразования может служить формирование кембрийских железных руд в условиях, когда миграция железа оказалась сильно затрудненной, что вызвало коагуляцию Fe уже в прибрежной зоне морей. "Руды глубоководные сменились мелководными; рудоотложение приблизилось к берегу, а впоследствии вошло даже в реки. Эта перемена места рудообразования сопровождалась трансформацией всего петрографического облика руд. Наличие волнений в мелководной зоне не давало рудному осадку приобрести тонкую слоистость, и вместо типичных для декембрия джеспилитов

стали формироваться неслоистые или только очень грубослоистые руды" (Там же. С. 200).

Проведенное рассмотрение некоторых аспектов связи почвообразования с экзогенным рудообразованием показывает, что эта связь прослеживается вполне отчетливо, она отличается глубиной и эффективностью, но явно мало привлекает внимание исследователей, что, естественно, не может не сказаться отрицательно как на построении общей теории экзогенного рудонакопления, так и его региональных проявлений.

Прямое и опосредованное участие почвообразования отмечается также и при *формировании всей осадочной оболочки.* Почвообразовательные процессы задействованы в том или ином виде, в той или иной степени в создании всех групп осадочных пород: обломочных, глинистых, аллитных, железистых, марганцевых, фосфатных, карбонатных, кремнистых, солей, каустобиолитов. Это проникновение почвообразования в осадочный литогенез обусловлено прежде всего теснейшей прямой или опосредованной связью почвы с живым веществом Земли. Роль же живого вещества в создании стратисферы признается все более значимой. "Осадочная оболочка Земли сложена горными породами, в формировании которых в той или иной форме участвовало живое вещество. Часть горных пород сложена остатками когда-то живущих на Земле организмов. Это карбонатные, кремнистые породы и каустобиолиты, а частично — и фосфатные породы. Продуктами метаболизма живых организмов образованы другие горные породы — железистые и марганцевые. Наконец, для третьих роль живого вещества осуществлялась главным образом в форме деструктивной функции на стадии гипергенеза. Таковы аллиты, соли, обломочные и глинистые породы" (Лапо, 1987. С. 195).

Кроме источника элементов для построения тел и продуктов метаболизма живых организмов, идущих в дальнейшем на построение биогенных осадочных пород, почва, будучи биокосной системой, выполняет и другую важную функцию — она оказывается переходной фазой превращения живого и биокосного вещества в косное. Это касается в первую очередь почв аккумулятивных ландшафтов, в которых осуществляется процесс захоронения вещества, созданного живыми организмами или при участии их. "Биокосные системы творят осадочные породы Земли. После захоронения жизнь в них замирает и биокосное тело превращается в косное" (Там же. С. 144).

Конечно, нельзя сводить весь механизм формирования осадочной оболочки и слагающих ее пород к работе живого вещества и влиянию почвообразовательных процессов. Этот механизм весьма сложен и включает в качестве движущих факторов чисто физические силы, хемогенные, океанические, атмосферные и другие факторы. Но мы вынуждены постояно акцентировать внимание на значимости почвы и связанного с ним живого вещества для процессов литогенеза, потому что очень длительное время (а во многих случаях и сейчас) глобальные функции педосферы полностью игнорировались или учитывались явно недостаточно. На это отчетливо указывал В.И. Вернадский, когда давал высокую оценку работам Б.Л. Личкова по сов-

ременному литогенезу на материковых равнинах, где тот обращал внимание на важную роль почвы в континентальном литогенезе. Б.Л. Личков "развил идеи, связанные с литологическим значением почв (и подпочв), которые мне представляются правильными и которые ярко проявляются в лёссах и лёссовидных породах. Значение неморских, терригенных образований в стратисфере, в строении наших континентов не обращало на себя достаточно внимания и не учитывалось в достаточной мере в выводах геологов" (Вернадский, 1987. С. 70).

Оценивая общий вклад почвы в континентальный литогенез, необходимо отметить очевидное влияние тесно взаимосвязанных процессов почво- и корообразования не только на формирование мощных толщ осадочных пород, которые прорабатываются почвообразованием по мере их накопления, но и не менее сильное воздействие данных процессов на плотные породы. Эти породы претерпевают интенсивное воздействие почво- и корообразования, одним из важнейших результатов которого оказываются диспергация и растворение вещества, законсервированного в кристаллических решетках, с последующим поступлением значительной части мобилизованного консервативного материала в геохимические потоки в системе континент—океан. В океане вещество, поступившее с суши, в результате процессов почвообразования и выветривания включается в морской и океанический седиментогенез через стадию обработки и трансформации его биофильтраторами, пополняя материал, идущий на формирование морских и океанических осадочных пород.

Обращают на себя внимание факты интенсивной мобилизации почвообразованием и выветриванием континентального вещества даже в тех случаях, когда данная мобилизация охватывает лишь самый поверхностный слой горных пород. Это объясняется тем, что, как показали наблюдения, наиболее активное биогенное выветривание горных пород реализуется в пределах тонкой поверхностной пленки, толщина которой в случае скальных пород обычно колеблется от долей миллиметра до 5 мм, изредка превышая 1 см. Развита эта пленка во всех климатических поясах (Лапо, 1987). На важность данного обстоятельства, свидетельствующего о фактической пространственной непрерывности литосферообразующего действия почвообразования—выветривания, давно обратил внимание В.И. Вернадский: "На плотных выходах горных пород, в частности в области лавовых потоков, базальтических покровов, выходов на поверхность массивных пород, как батолитов, или пород осадочных, плотных известняков или кварцитов, например, кора выветривания сходит на нет, на немногие сантиметры и даже миллиметры. Но химические, биохимические и механические процессы, идущие в этих ничтожных по толщине пленках в порядке исторического времени, сказываются в течение геологического времени как мощные геологические явления" 1987. С. 70).

Именно результативность совокупной работы процессов био-, педо- и коропреобразования горных пород, помноженная на длительность их протекания, обусловила грандиозность масштабов

преобразования исходных пород литосферы. Как полагал В.И. Вернадский, итог этой работы не ограничивается формированием осадочной оболочки, а распространяется и на нижерасположенную гранитную оболочку. Он считал, что гранитная оболочка Земли есть "область былых биосфер".

Эта идея, казавшаяся ранее парадоксальной, в конце концов стала получать все большую поддержку. Известный норвежский петрограф и геохимик Т.В. Барт пришел к выводу, что "все породы, которые мы видим сегодня, когда-то были осадками... Породы видоизменялись плутонизмом, метаморфизмом, метасоматозом, они были по крайней мере часто переплавлены и находились в форме магм и лав, но когда-то в прошлом они образовались из осадков" (цит. по: Лапо, 1987. С. 195).

Возможный механизм формирования гранитного слоя из осадочных пород пока остается гипотетичным. Согласно тектонике литосферных плит в процессе поддвига океанической коры под континентальную осадки, отложенные в океан, вновь попадают в континентальные зоны земной коры, где подвергаются метаморфическим преобразованиям.

ПЕРЕДАЧА АККУМУЛИРОВАННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И ВЕЩЕСТВА АТМОСФЕРЫ В НЕДРА ЗЕМЛИ

Участие почв в данном процессе изучено недостаточно, хотя реальность этого участия в настоящее время не вызывает сомнения. Особого внимания заслуживает проблема обмена энергией и веществом между разными слоями литосферы. В.И. Вернадский считал, что гранитная оболочка — метаморфизованная и переплавленная, когда-то бывшая на поверхности биосфера суши.

Н.В. Беловым и В.И. Лебедевым (1957) было установлено, что атомные структуры основных минералов зоны гипергенеза по сравнению с главными минералами изверженных пород характеризуются повышенными запасами энергии, поскольку они образуются в процессе выветривания (и почвообразования) при эндотермических реакциях с поглощением солнечной энергии. Это оказывается весьма важным обстоятельством, поскольку данные минералы составляют основную массу осадочных пород, которые в областях опускания земной коры попадают в достаточно глубокие горизонты планеты. Для этих горизонтов характерны высокие температуры и давление, поэтому вещество, образовавшееся при почвообразовании и выветривании, перестраивается в атомные системы с меньшей энергоемкостью. Выделяемое при этом тепло стимулирует внутриземные процессы.

Указанный энергетический источник является важной составной частью в энергетике общего процесса развития Земли наряду с другими видами энергии, в частности теплом, выделяемым при распаде радиоактивных элементов. Радиоактивная энергия рядом исследователей считается доминирующей компонентой. Однако, как отмечает А.Е. Криволуцкий (1985), доля каждого вида энергии пока не может

быть определена достаточно точно. Поэтому следует в полной мере учитывать все составляющие энергетического баланса Земли.

Рассмотренный Н.В. Беловым и В.И. Лебедевым (1957) механизм энергетических процессов может объяснить, по их мнению, многие явления в земной коре, например локальность возникновения магматических расплавов, ибо только породы, состоявшие вначале в основном из минералов гипергенного происхождения (в отличие от пород обломочных), несут необходимые запасы энергии.

Почва также участвует в передаче вещества атмосферы в недра Земли. Суть этой функции заключается в том, что в процессе почвообразования происходит поглощение газов, которые в составе почвенных соединений поступают в осадочные породы. Н.В. Белов и В.И. Лебедев отмечают, что вместе с органическим веществом осадочные породы уносят с собой добавочные количества кислорода за счет окислов: Fe_2O_3, MnO_2, SO_4^{2-}, которые в глубинах претерпевают восстановление до FeO, MnO, S^{2-}. Б.Б. Полынов указывает также на важную роль почв в фиксации атмосферного азота в его глобальном круговороте, отмечая, что поступление азота в состав органических соединений происходит преимущественно в почве. Но, конечно, особенно важное значение имеет связывание почвенно-растительным покровом диоксида углерода с последующим погребением в осадочной оболочке.

Масштабы аккумуляции углерода в стратисфере достигают колоссальных величин. Только органического углерода в фанерозойских отложениях накоплено более $9 \cdot 10^{21}$ г. Карбонатного углерода содержится в несколько раз больше. Аккумуляция CO_2 атмосферы при формировании органического осадочного вещества Земли и карбонатных осадочных пород имеет принципиальное значение для поддержания геологической активности планеты и постоянного выделения из недр диоксида углерода и других газов в воздушную оболочку. Это связано с уже указанным механизмом стимуляции внутриземных эндогенных процессов за счет передачи в глубинные слои гипергенного вещества, богатого энергией и различными элементами, в частности углеродом.

Отмечена положительная связь между активизацией вулканической деятельности и образованием наземных аккумуляций органического вещества и накоплением карбонатных осадочных пород. Связь эта двусторонняя: благодаря связыванию CO_2 и возврату его в недра Земли подновляется глубинный источник диоксида углерода, идущего на пополнение его содержания в атмосфере. Это пополнение позволяет поддерживать жизнь на Земле и формировать резерв CO_2 путем накопления органического вещества и карбонатных пород. Если бы не было такого двустороннего процесса, то многие важнейшие процессы биосферы и сама жизнь на Земле быстро бы исчерпали себя, поскольку наличный подвижный фонд элементов, обеспечивающих проявление жизни (например, содержание CO_2 в атмосфере в данный момент времени), весьма мал. Так, "расчеты показывают, что при ограниченном подвижном резерве углерода в равновесной системе атмосфера—океан—биосфера карбонатонакопление и жизнь должны

были геологически мгновенно исчерпать свои ресурсы, если бы не действовал механизм выноса и связывания глубинной углекислоты" (Ронов, 1980. С. 65).

Специальный анализ А.Б. Роновым затронутого здесь вопроса позволил ему сформулировать геохимический принцип сохранения жизни, отражающий зависимость проявлений живого от динамики литосферы и геологической активности планеты в целом. "Жизнь на Земле и других планетах, при прочих равных условиях, возможна лишь до тех пор, пока эти планеты активны и происходит обмен энергией и веществом между их недрами и поверхностью. С энергетической смертью планет неизбежно должна прекратиться и жизнь" (Там же. С. 71). Понятно, насколько важно изучение всех процессов, в том числе почвенных, обеспечивающих поддержание геологической активности Земли.

АНТРОПОГЕННЫЕ НАРУШЕНИЯ ЛИТОСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЧВЫ

Без специального разбора содержания и характера литосферных функций педосферы сама постановка вопроса о влиянии антропогенных изменений почвы на литосферу Земли могла бы показаться неправомочной. Действительно, каким образом воздействие человека на тонкую почвенную пленку планеты может ощутимо сказаться на состоянии и развитии подстилающей ее земной коры, в тысячи раз превосходящей по мощности современные почвы? Однако изложенный материал, наглядно свидетельствующий об отчетливом взаимоопределяющем воздействии друг на друга почвы и литосферы, позволяет прийти к однозначному выводу: крупномасштабные антропогенные трансформации почвенного покрова далеко не безразличны для литосферы, особенно для ее дальнейшего развития.

Действительно, как было показано в предыдущих разделах, эволюция и состав литосферы тесно сопряжены с теми процессами, которые развертывались в самой ее верхней части, переходящей в кроющий почвенный слой — "крышу" земной коры. Доказано, что осадочные породы, большая часть каустобиолитов и многие экзогенные минеральные полезные ископаемые формировались при сопутствующем или определяющем участии почвенного материала и почвообразовательных процессов. Естественно ожидать, что существенные изменения почвенного покрова человеком могут заметно сказаться на состоянии и особенно дальнейшем развитии литосферы, в первую очередь верхних слоев стратисферы (осадочной оболочки). Однако всестороннее исследование данной проблемы затруднено рядом серьезных обстоятельств, в числе первых из которых необходимо назвать сильно различающийся временно́й масштаб процессов, сформировавших литосферу, и процессов антропогенного изменения ее поверхностных слоев и почвенного покрова. Суть вопроса в следующем: каким образом сиюминутные по геологической шкале времени антропогенные изменения педосферы могут отразиться на литосфере, сформировавшейся в течение многих миллионов лет? Ответ будет достаточно определенным: качественные изменения, вносимые человеком в жизнь

и эволюцию почвенной оболочки, не могут в конце концов не сказаться в отдаленном будущем на судьбе литосферы.

На самом деле, безразлично ли в перспективе для литосферы то, что почвенно-растительный покров сейчас все более и более перестает выполнять такую важнейшую литосферную функцию, как связывание газов атмосферы (N_2, CO_2) и аккумуляцию солнечной энергии с последующей их передачей в глубокие горизонты земной коры в местах формирования мощных осадочных пород и каустобиолитов?

В уже цитированной работе А.Б. Ронова сделан совершенно однозначный вывод: будущее планеты прямо зависит от ее геологической активности, в частности от способности недр питать воздушную оболочку диоксидом углерода. Без такого допинга атмосфера Земли за относительно короткий срок может лишиться того необходимого минимального содержания CO_2, без которого благополучное функционирование биосферы окажется невозможным.

Нормальное же, не искаженное человеческим вмешательством почвообразование, обеспечивающее связывание и захоронение диоксида углерода и энергетически богатого гипергенного вещества, гарантирует продление геологической активности планеты, поскольку эффективно возвращает в недра выделенный ими газовый материал, тем самым обеспечивая возможность повторного многократного выделения этого материала.

Крупномасштабное же осушение болот и потери гумусового вещества пахотных почв приводят к деградации почвенного механизма связывания атмосферного диоксида углерода, который постоянно теряется планетой в результате его частичного отлета в космическое пространство. Если допустить, что фиксация почвенно-растительным покровом поступающего из глубин CO_2 прекратится полностью и одновременно будет снят механизм возврата атмосферного диоксида углерода в литосферу, то легко представить те общие тяжелые последствия для биосферы Земли, которые со временем непременно проявят себя.

В настоящее время связывание CO_2 почвами и растительностью Земли продолжается, но уже в сильно ослабленной форме, что не может не внушать серьезных опасений. Не может не вызывать обоснованной тревоги и продолжающееся широкомасштабное освоение болотных почв, которые из накопителей превратились в местах их осушения в дополнительный источник CO_2 для атмосферы, утратив тем самым свою функцию фиксатора и "возвратчика" литосфере диоксида углерода.

Не менее значительные антропогенные изменения претерпевают и другие литосферные функции почвенной оболочки. Проведенный анализ этих изменений дал возможность произвести их группировку. В первую очередь выделяются антропогенные изменения функции защиты почвой литосферы от чрезмерной эрозии и обеспечение условий ее нормального развития. Здесь следует отметить резкое локальное и региональное ослабление указанной функции, а также глобальное ухудшение почвенных условий нормального развития поверхностных слоев литосферы. Главная причина деградации почвенной функции

Таблица 26
Эрозионный снос почв реками в моря и океаны, т/год (Swaminathan, 1979)

Период	Масса
20-е годы	$3 \cdot 10^9$
60-е годы	$9 \cdot 10^9$
70-е годы	$24 \cdot 10^9$

защиты литосферы — всевозрастающая антропогенная эрозия почв, которая за техногенный период увеличилась многократно (табл. 26).

Среди видов деградации функции почвенно-биохимического преобразования верхнего слоя литосферы выделяются: глобальное ослабление биохимического преобразования литосферы, локальное и региональное изменение естественно сложившихся направлений биохимического преобразования литосферы, появление очагов с новым типом почвенно-биохимической трансформации ее поверхностного слоя и др. Участие почвы в процессах формирования пород и полезных ископаемых в настоящее время также претерпело серьезные изменения. Так, отмечается локальное и региональное прекращение участия почвы в формировании каустобиолитов, имеет место общее глобальное ослабление вклада почвы в современные процессы формирования ряда органогенных и минеральных полезных ископаемых, изменяется соотношение процессов формирования полезных ископаемых и вмещающих пород.

Приведем несколько примеров, свидетельствующих о важности учета антропогенных изменений литосферных функций почв, возникающих вследствие широкомасштабного освоения почвенного покрова. Известно, что одной из ярко выраженных тенденций антропогенного преобразования природы явилось сведение лесов и замена их пахотными угодьями. В литературе уже неоднократно отмечалось, что это отрицательно сказывается на кислородном режиме планеты, приводит к уничтожению ценных видов растений и животных, вызывает деградацию многих почв из-за усиления эрозии. Но исчерпываются ли только сказанным негативные последствия уничтожения лесных ландшафтов? Оказывается, нет, поскольку при этом начинают испытывать существенную трансформацию многие геохимические глобальные круговороты. Для того чтобы определить сущность этой трансформации, необходимо выявить главные планетарные функции лесов и лесных почв. В число таких функций входит прежде всего биохимическое преобразование верхних слоев литосферы, в ходе которого происходят высвобождение и мобилизация законсервированных в кристаллических решетках элементов и их включение в различные ветви глобальных геохимических круговоротов. Поэтому не случайно образование многих видов полезных ископаемых наиболее широко развито в гумидных лесных регионах (Страхов, 1960. Т. 2). Уничтожение лесов на больших площадях, приводящее к ослаблению хими-

ческой денудации и усилению механической, оказывается одним из мощных факторов нарушения и упрощения естественного литогенеза, что неизбежно должно сопровождаться ослаблением процессов, ответственных за образование ряда полезных ископаемых.

Рассматривая данный вопрос, необходимо обратить внимание на то, что сведение лесов сопровождается не просто изменением естественного почвообразования и выветривания на огромных пространствах, но и качественным их преобразованием, в ходе которого они часто приобретают противоположную направленность под воздействием агротехнических мероприятий. Так, человек, освоивший лесные земли, стремится различными приемами (внесение извести, сидерация и др.) нейтрализовать почвенную кислотность. Конечно, это необходимое агротехническое мероприятие, существенно повышающее урожайность многих сельскохозяйственных культур. Но оно принципиально меняет направленность ряда природных процессов, необходимых для поддержания тех геохимических круговоротов, которые складывались в течение длительной эволюции природы. Возникает, однако, закономерный вопрос: нужно ли стремиться к сохранению этих круговоротов?

Важность сохранения и поддержания исторически обусловленного типа взаимодействия природных компонентов в особых доказательствах не нуждается — многие убедительные аргументы приводятся В.И. Вернадским, В.А. Ковдой и др. Основную суть доказательств можно свести к бесспорному положению: современное человечество ответственно перед будущими поколениями за ту экологическую среду, которую оно им оставляет. Поэтому изменения, вносимые в природу человеком, должны обязательно оцениваться не только с точки зрения сегодняшнего и ближайшего дня, но и последствий на отдаленную перспективу. Однако прогнозные исследования пока распространяются в основном на ближайшие десятилетия, что явно недостаточно. Необходимость развивать дальнюю футурологию становится все более очевидной. Некоторые ученые и общественные деятели это осознали достаточно глубоко, но такое осознание отразилось пока лишь в научно-фантастических произведениях, где высказываются преположения о тех изменениях, которые произойдут со средой обитания и планетой в целом через тысячи и миллионы лет.

Разумеется, у землян сегодня иные первоочередные проблемы, но это не значит, что всестороннее изучение влияния антропогенных изменений глобальных почвенных функций, в том числе литосферных, на ход будущего развития Земли должно быть также отнесено к будущему. Ведь некоторые из этих изменений уже сейчас становятся факторами негативных трансформаций ряда планетарных процессов. Нельзя допустить, чтобы деградация почвенного покрова и его литосферных функций уничтожила бы "кожу" литосферы (защитную почвенную оболочку) и превратила бы нашу планету в оскальпированную Землю.

Главая пятая

ОБЩЕБИОСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВЫ

Материалы предыдущих глав свидетельствуют о разнообразии гидросферных, атмосферных и литосферных функций почв. Заслуживает также специального рассмотрения группа общебиосферных почвенных функций.

ПОЧВА КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗМОВ СУШИ

Огромное значение почвы как среды обитания для растений и животных Земли проявляется прежде всего в том, что именно с ней связано существование большинства видов живых организмов и образование основной массы живого вещества планеты.

Еще сравнительно недавно полагали, что основная биомасса Земли сосредоточена в Мировом океане. Такое суждение основывалось прежде всего на доминировании водной поверхности над сушей. Однако более точные подсчеты показали, что масса живого вещества континентов многократно превышает биомассу океана. Объясняется это в первую очередь большой плотностью жизни в наземных биогеоценозах, в том числе в почвенной оболочке Земли. Так, подсчеты распределения зоомассы на суше показывают, что бóльшая ее часть приурочена к почвенному ярусу в связи с исключительной его насыщенностью жизнью (Добровольский, Никитин, 1986; и др.). В связи с тем что проявления жизни на континентах и в океане существенно различаются и по многим другим показателям, представляется целесообразным специально рассмотреть особенности функционирования живого вещества суши и его взаимосвязь с почвенной средой обитания.

Для обеспечения целостного изучения живого и уяснения его планетарной роли В.И. Вернадским (1926) было разработано фундаментальное понятие живого вещества, которое он определял как совокупность всех организмов биосферы в данный момент существования, численно выраженных в элементарном химическом составе, весе, энергии.

Основоположник учения о биосфере считал, что живое вещество неразрывно связано в своих проявлениях с земной корóй, трактовавшейся им широко: "Организм является неразрывной частью земной коры, представляет собой механизм, ее изменяющий, и может быть отделен от нее только в нашей абстракции" (Вернадский, 1979. С. 357). Столь тесная связь живого и косного вещества с неизбежностью приводит к существенным изменениям в функционировании живого в случае значительных преобразований факторов среды — почвенных, геологических и др. Наиболее крупным уровнем функциональной дифференциации живого вещества планеты оказывается уровень биосферы океана и суши Земли.

К настоящему времени накоплен обширный материал, свидетель-

ствующий о наличии глубоких, в том числе качественных, различий в функционировании живого вещества в условиях почвенно-воздушной среды континентов и в условиях водной среды Мирового океана. Выявление и специальный анализ этих различий имеют важное значение для понимания фундаментальных закономерностей биосферы.

Своеобразие живого вещества суши и океана проявляется в нескольких планах: общеструктурно-функциональном, биогеоценотическом, эволюционном и др. В данном разделе рассматриваются в основном общеструктурно-функциональные особенности живого вещества суши.

В специальной литературе, раскрывающей своеобразие жизни на суше и в море, содержится обильный фактический материал, характеризующий отдельные показатели живого вещества континентов и океанов. Однако этот материал не обобщен с единых позиций функционального подхода, в результате чего до сих пор не выявлены наиболее общие особенности живого вещества почвенно-воздушной среды обитания, которые бы объясняли его более частные специфические черты.

По нашему мнению, к этим общим особенностям следует прежде всего отнести *более высокую концентрацию в пространстве и времени живого вещества суши по сравнению с океаном.* Так, несмотря на то что пространство, пригодное для жизни, на суше меньше в 2,4 раза по площади и в 11 раз по объему, чем в океане (Айзатуллин и др., 1980), биомасса суши, по современным данным, в сотни раз превышает общее количество живого вещества океана. По данным Т.А. Айзатуллина с соавт. (Физическая география..., 1980), общая живая биомасса суши в 200 раз больше, чем океана, а в единицах сухой массы — в 350 раз; на единицу поверхности имеющаяся биомасса суши в 1000 раз больше, чем океана. По данным Н.И. Базилевич с соавт. (1971), биомасса суши, рассчитанная на восстановленный растительный покров, превышает запасы живого вещества океана более чем в 700 раз и составляет $2{,}42 \cdot 10^{12}$т.

Другое существенное проявление пространственной концентрации живого вещества суши — сосредоточение его преимущественно в очень узкой по вертикали (метры — десятки метров) зоне фотосинтеза (место контакта литосферы и атмосферы). Эта пограничная зона высшей концентрации жизни ограничена почвенным слоем и тем нижним слоем тропосферы, где обитают древесные растения.

В океане картина иная. Во-первых, здесь зона концентрации фотосинтезирующего живого вещества значительно больше по вертикальной протяженности, чем на суше. Во-вторых, на всех глубинах океана жизнь достаточно представительна как в качественном, так и в количественном отношении. Следовательно, пространство океана освоено живыми организмами более равномерно, чем пространство суши. Это, в частности, подтверждается данными по распределению запасов планктона по основным вертикальным зонам океана (Богоров, 1969).

Концентрация живого вещества суши во времени выражается прежде всего в том, что обновление и накопление биомассы на кон-

тинентах в течение года приурочены к вполне конкретным, часто ограниченным по протяженности периодам, вне которых наблюдается резкий спад активности большинства организмов, вплоть до состояния их полного или почти полного покоя. В океане хотя и имеют место сезонные колебания в функционировании живого вещества, в целом биологические процессы в течение года идут более ровно (Богоров, 1969; Зенкевич, 1977).

Чем же можно объяснить высокую концентрацию живого вещества на суше? К числу основных причин, определяющих данное явление, следует прежде всего отнести наличие богатого по запасам почвенно-грунтового источника питания растений, расположенного непосредственно в корневой зоне. Благодаря существованию на континентах развитого почвенного покрова и горных пород, богатых элементами питания, растения при наличии благоприятных климатических условий получают возможность накопления огромных запасов биомассы, особенно в лесах, где сосредоточено более 80% живого вещества Земли (Базилевич и др., 1971).

Значительные размеры плодородия и особенно наличие мощного депо элементов питания в "лице" гумуса почвы позволяют наземным автотрофам значительно плотнее заселять сушу. Это существенно повышает образование биомассы не только за счет аккумуляции элементов из почвы, но и за счет более полного фотосинтетического использования на единицу занимаемой площади солнечной радиации.

В океане ситуация иная. Здесь использование солнечной энергии затруднено не только из-за ее заметного поглощения водой, но и, что самое главное, из-за ограниченности пищевых ресурсов в зоне фотосинтеза, вследствие чего в морской воде лимитирована плотность заселения фитопланктоном данной зоны. Это оказывается одной из важных причин снижения эффективности фотосинтеза в океане (Физическая география..., 1980).

Дефицит элементов питания автотрофных организмов в океане связан с замедленностью их поступления из депонирующих источников, которые в отличие от почвенных резервов питания наземных биогеоценозов находятся на большом расстоянии от потребителя. Главный источник для фотосинтетиков океана — глубинные океанические зоны. Из них элементы попадают в верхние слои в основном за счет перемешивания водных масс, осуществляемого достаточно медленно (Физическая география..., 1980).

Пополнение биофильными элементами фотосинтетической зоны океана за счет речного стока, чему ранее приписывалась очень важная роль, имеет ограниченное значение — в основном для продукционного процесса в морях, особенно в полосе их контакта с континентами (Лисицын, 1978). Существует, кроме того, воздушное пополнение пищевого фонда океана, поскольку ежегодно в Мировом океане оседает 4,9—9,3 млрд т пыли (Айзатуллин и др., 1984), но этот источник имеет подчиненное значение.

Другая существенная особенность живого вещества суши — его *большее видовое и структурно-функциональное разнообразие, а также более интенсивное преобразующее воздействие на среду.*

Систематики насчитывают на Земле около 2 млн живых организмов, из них 1,5 млн животных и около 500 тыс. растительных организмов в широком понимании. При этом в океане обитает около 160 тыс. видов животных и 10 тыс. видов растений (Физическая география..., 1980). Следовательно, более 90% видов организмов, существующих в настоящее время на планете, приурочено к суше. Особенно велико преобладание наземных видов в мире растений. Лишь около 1% видов растительных организмов — обитатели океана, остальные — сухопутные организмы, теснейшим образом связанные с почвой. Несколько иначе обстоит дело у животных. Здесь обитатели океанической среды составляют примерно 8% от общего числа видов животных Земли.

Более высокое видовое разнообразие наземного живого вещества свидетельствует о большей напряженности и результативности эволюционного процесса на суше, что во многом связано с большей контрастностью и более высокой дифференциацией природной среды континентов, особенно почвенной. Л.А. Зенкевич отмечал, что "океан представляет собой царство относительного однообразия и обширных однородных пространств, а воздушная (наземная. — *Е.Н.*) среда — царство контрастов и пестроты ландшафтов" (1977. С. 40).

Большая сложность экологической обстановки на суше не только явилась одной из существенных причин повышенного видообразования на континентах, но одновременно определила и противоположный эффект — ограниченность перехода к наземному обитанию многих специализированных существ, прежде всего животных. На данное обстоятельство прямо указывает Л.А. Зенкевич: "Через грань морская вода — воздух смогли пройти лишь очень немногие организмы". Через данный барьер прошли примерно шесть классов трех типов животных. "Не сумели преодолеть этот барьер около 60 классов 18 типов, оставшихся в море" (1977. С. 68).

Большая сложность и дифференцированность наземной среды порождают *большее структурно-функциональное разнообразие живого вещества суши.* Эта особенность континентальной биосферы проявляется в нескольких аспектах. Так, на суше выделяется значительно большее число растительных зон со специфическими типами биологического круговорота. Высокая изменчивость почвенно-геологических, а также климатических условий вызывает значительную региональную, ландшафтную, экосистемную неоднородность живого вещества суши. Данное обстоятельство способствует формированию высокоструктурированных биоценозов суши с достаточно прочными внутрибиогеоценотическими связями. Это наряду с обилием видов наземных организмов приводит к высокой мозаичности биогеоценозов суши, их значительной автономности и большой пестроте биогеохимических процессов, протекающих на континентах. В океане вследствие значительно меньшей дифференциации среды биогеоценозы характеризуются относительной непрочностью границ и внутрибиогеоценотических связей (Зенкевич, 1977).

Ряд данных и обобщений позволяют также говорить о более интенсивном преобразующем воздействии живого вещества суши на

Таблица 27

Основные биогеоценотические функции живого вещества

Почва	Нижние слои тропосферы	Водный компонент	Биогеоценоз в целом (БГЦ)
Биохимические преобразования субстрата и формирование плодородия. Диспергирование субстрата. Оструктуривание мелкозема. Катализация текущих биохимических процессов	Регулирование воздушных потоков в БГЦ. Биогенизация воздушных слоев БГЦ. Преобразование солнечной радиации	Перераспределение выпадающих осадков. Насыщение осадков биогенными компонентами. Регулирование расхода воды в БГЦ	Интегрирование различных компонентов БГЦ. Обеспечение гомеостаза и эволюционной пластичности БГЦ. Включение в биокруговорот элементов из различных компонентов БГЦ. Обеспечение процессов аккумуляции и трансформации вещества и энергии

окружающую среду и ее компоненты. Доказательства[1] этого положения достаточно многочисленны. Так, в результате фотосинтеза поглощение и выделение CO_2 и O_2 в атмосферу живым веществом на суше происходят в 4 раза быстрее, чем в океане (Добродеев, Суетова, 1976). На единицу площади растения суши обновляют CO_2 и O_2 в 12 раз интенсивнее, чем живое вещество океана. «Основными "легкими" планеты следует считать растительность экваториального и субэкваториального поясов суши» (Добродеев, Суетова, 1976. С. 47). Общий запас аккумулированной энергии Солнца в органическом веществе суши в несколько раз выше, чем в продукции океана.

Говоря о причинах высокого преобразующего воздействия живых организмов почвенно-воздушной среды обитания, следует подчеркнуть, что во многом оно достигается вследствие высокого уровня структурно-функциональной организации наземных биогеоценозов. Благодаря этому успешно осуществляются многочисленные биогеоценотические функции живого вещества суши (табл. 27), определяющие мощный суммарный эффект "работы" континентальной биосферы. Естественно, что без развитой почвенной оболочки данная работа не могла бы осуществляться успешно. Поэтому реализация многочисленных функций живого вещества суши напрямую зависит от педосферы.

Существенная особенность заключается также в *пространственно-временно́й асимметрии структуры и функций вещества суши* по отношению к живому веществу океана. Данная особенность имеет многоплановое проявление.

[1] Эти, а также другие доказательства со временем могут быть уточнены или пересмотрены в свете новых данных, полученных Е.Н. Мишустиным и др.

В первую очередь можно отметить асимметрию общей структуры живого вещества суши и океана. Так, для наземного живого вещества, тесно связанного с почвенно-грунтовой толщей, характерно резкое преобладание фитомассы над зоомассой, на долю которой приходится менее 1% общей биомассы суши (Базилевич и др., 1971). В океане соотношение биомассы растительных и животных организмов иное. Здесь биомасса животных превышает фитомассу. Так, по данным В.Г. Богорова (1969), биомасса фитопланктона и фитобентоса Мирового океана составляет в сумме 1,7 млрд т, биомасса же зоопланктона, зообентоса и нектона (рыбы и др.) — более 32 млрд т.

Причина этого — в существенном различии продукционного процесса на суше и в океане. В наземных условиях фитомасса формируется в основном многоклеточными растениями с развитой корневой системой и ярко выраженной способностью к образованию длительно сохраняющихся вегетативных органов — среднее время обновления растительности суши 5 лет (Добродеев, Суетова, 1976). В океане основными продуцентами фитомассы оказываются одноклеточные организмы с очень коротким сроком обновления (у фитопланктона — 1 сут). Благодаря этому годовая продукция фитопланктона в единицах живой массы, по данным Т.А. Айзатуллина с соавт. (Физическая география..., 1980), приближается к ежегодной продукции наземной фитомассы, составляя $4{,}3 \cdot 10^{11}$ т/год против $4{,}5 \cdot 10^{11}$ т/год, или даже превосходит ее.

Значительные различия отмечаются и в составе живых организмов суши и океана. Хотя и в континентальной, и в океанической биосфере животные по числу видов преобладают над растениями, соотношение этих групп организмов в указанных местообитаниях разное. На суше видов животных больше, чем видов растений, примерно в 3 раза, в океане — в 16 раз. Таким образом, в океане живое вещество не только по характеру биомассы, но и по соотношению видов значительно сильнее сдвинуто в сторону зоокомпонентов.

Аналогичная закономерность прослеживается, если рассмотреть таксономическую структуру живого вещества на уровне типов, классов и подклассов и ее соотношение с видовой структурой. Так, на суше видовое разнообразие животных приходится на ограниченное число таксономических единиц и обусловлено в основом насекомыми, птицами и млекопитающими. В океане видовое разнообразие животных обеспечивается значительно бóльшим числом крупных таксонов: моллюсками, ракообразными, рыбами, простейшими, кишечнополостными, свободноживущими червями, губками, мшанками, иглокожими, низшими хордовыми и др. (Богоров, 1969).

О большей "зоологичности" океана свидетельствуют также данные С.А. Зернова, определившего места происхождения классов и подклассов современной флоры и фауны. Крупные таксоны животных формировались в основном в морской среде: в океане 76%, на суше — 18% и в пресной воде — 6%. Для растений данные показатели существенно иные и составляют соответственно 50, 42 и 8% (см. Богоров, 1969), т.е. роль почвенно-воздушной среды суши в становлении крупных таксонов для растений больше, чем для животных.

Значительные различия общей структуры живого вещества суши и океана являются важной причиной неодинакового вещественного состава наземной и океанической биомассы. Так, живое вещество суши в связи с доминированием в нем растительных организмов оказывается значительно менее зольным, чем живое вещество океана. Об этом, в частности, свидетельствуют показатели продукции живого вещества. Например, по сухому весу биомасса суши, по данным О.П. Добродеева, И.А Суетовой (1976), более чем в 2 раза превышает биомассу океана: $1{,}8 \cdot 10^{11}$ т/год против $0{,}8 \cdot 10^{11}$ т/год. По количеству органического вещества превышение более чем в 3 раза: $1{,}7 \cdot 10^{11}$ против $0{,}5 \cdot 10^{11}$ т/год. Однако соотношение по зольному остатку иное: продукция живого вещества океана значительно превосходит биомассу суши — соответственно $3{,}8 \cdot 10^{11}$ и $8{,}6 \cdot 10^{9}$ т/год. Иным оказывается и элементарный состав живого вещества суши и океана.

Асимметрия живого вещества суши и океана отчетливо прослеживается и в характере его пространственного распределения. Например, и для того и для другого свойственна географическая зональность, которая, однако, проявляется по-разному в континентальной и океанической биосфере. На суше зональность выражена более полно. На ней выделяется значительно большее число зон, контрастно отличающихся друг от друга. В океане географическая зональность выражена в целом проще (Зенкевич, 1977). Кроме того, в океане нет резких различий между богатыми и бедными жизнью областями, какие наблюдаются на суше, где запасы биомассы по поясам разнятся в 96 раз (Леонтьев, 1982).

Некоторые исследователи (Добродеев, Суетова, 1976) полагают, что распределение биомассы в океане значительно сильнее нарушается явлениями азональности, чем на суше. Этому способствуют океанические течения, зависимость живого вещества прибрежных районов океана от поступления биофильных элементов суши и др.

Асимметрия функций живого вещества суши и океана проявляется вполне отчетливо и разнообразно. Она обнаруживается, например, в круговороте CO_2 и O_2. На суше основными поглотителями углекислого газа оказываются умеренный и субарктический пояса, где в почвенно-грунтовой толще захороняются значительные массы мертвого неокисленного органического вещества, разложение которого затруднено из-за низких температур. Вследствие пониженных здесь затрат кислорода на процессы окисления органического вещества происходят частичное пополнение им атмосферы и компенсация перерасхода O_2 наземными ландшафтами жарких поясов, где процессы окисления идут очень интенсивно (Добродеев, Суетова, 1976). В океане картина иная. Захоронение CO_2 в осадках здесь происходит в основном в жарких поясах, которые благодаря этому оказываются одним из источников абсолютного поступления свободного O_2, попадающего в атмосферу в результате фотосинтеза.

Асимметрия в функционировании живого вещества суши и океана обнаруживается и в сроках наступления одноименных биологических сезонов. Так, биологическое лето в морях Полярного бассейна начинается в августе, а в умеренных широтах — в мае (Богоров,

Таблица 28

Затраты энергии на почвообразование и энергия, аккумулируемая в растительном веществе, ккал/см^2 в год (Волобуев, 1960, цит. по Ковда, 1973)

Природные зоны	Общая затрата энергии на почвообразование (включая эвапотранспирацию)	Энергия, ежегодно аккумулируемая в растительном веществе
Тундра и пустыня	1000—5000	5—60
Черноземные степи	15 000—30 000	150—360
Влажные субтропики	40 000—50 000	600—1600
Влажные тропики	50 000—70 000	1500—3500

1969). В соответствующих поясах суши летний биологический сезон наступает, как правило, в другие сроки.

Различия наблюдаются и в зонах максимального фотосинтеза. На суше данные зоны расположены в жарких поясах, в океане — в холодных (Добродеев, Суетова, 1976). Одна из причин этого — снижение концентрации углекислого газа в океанической воде при ее нагревании.

Н.И. Базилевич также отмечает значительные различия в годичном потреблении элементов живым веществом суши и океана. Так, живое вещество суши потребляет кальция 75% общего годичного потребления его организмами Земли. По калию более близкие значения: 57% — суша, 43% — океан. По годичному потреблению ряда других элементов на первое место выходит живое вещество океана: организмы моря потребляют 67% фосфора, 52% азота, 62% суммарного количества зольных элементов. Выявленные соотношения потребляемых элементов дали основание Н.И. Базилевич (1974) в первом приближении считать, что кальций можно рассматривать как типоморфный элемент биохимии суши, азот и фосфор как типоморфные элементы Мирового океана. Калию, по ее мнению, принадлежит двоякая роль.

Таким образом, охарактеризованные выше материалы и их анализ свидетельствуют о существенных особенностях функционирования живого вещества суши, что во многом определяется теснейшей его связью с почвенным покровом Земли, являющимся специфической сухопутной средой обитания организмов планеты.

Важнейшая особенность почвенной среды обитания — *способность почвы быть аккумулятором и источником вещества и энергии для организмов суши.* О масштабах проявления данной функции можно судить по круговороту и накоплению органического вещества (табл. 28) в биосфере (Ковда, 1973; Гришина, 1982; Горшков, 1987б).

В почвенной оболочке Земли, по данным М.М. Кононовой (Круговорот вещества в природе..., 1980), сосредоточено около 2500 млрд т гумуса. Распределены запасы гумуса по зонам неравномерно: около половины приурочено к ферраллитным и черным тропическим почвам; в черноземах, несмотря на их ограниченные площади, сосредоточено около 200 млрд т гумуса; в подзолистых почвах —

Таблица 29

Приблизительные расчеты новообразования гумуса по М М Кононовой Л.Н Александровой (Круговорот вещества в природе , 1980)

Запас в почвах мира, млрд т	Ежегодное поступление опада, млрд т	Ежегодное новообразование гумуса, млрд т С	Период формирования запасов гумуса, годы
Гумус — 2500 $С_{гумус}$ — 1500	Опад 115—117 $С_{опад}$ 50—70	— 1—2	— 800—1500

183 млрд т. Ежегодное образование гумусовых веществ в пересчете на углерод составляет 1—2 млрд т. Период формирования запасов гумуса составляет 800—1500 лет (табл. 29).

В настоящее время в связи с широким освоением почвенного покрова и усилением эрозии почв происходит сокращение мировых запасов гумуса. В год их уменьшается на 1,2—1,4 млрд т, а за последние 100 лет потеряно около 400 млрд т гумуса. Отмечается также снижение темпов новообразования гумуса из-за уменьшения поступления опада более чем на 40% в связи с сельскохозяйственной деятельностью. В доисторическое время, по данным С.П. Горшкова и др. (Круговорот вещества в природе..., 1980), новообразование гумуса в биосфере составляло 1,8—3,6 млрд т в год. Таким образом, наряду с проблемой рационального использования различных минеральных ресурсов перед человевечеством возникла не менее острая проблема разумного использования и охраны почвенного гумуса.

РОЛЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ И БИОСФЕРЫ

Проявление данной глобальной функции педосферы лучше всего можно проследить при рассмотрении влияния почвы на обособление природных зон и их динамику. При освещении затронутого вопроса использовались в основном материалы по лесной зоне как наиболее показательной.

Природные зоны — основная единица почвенно-географического районирования земного шара. Именно порядок чередования и пространственная ориентация зон определяют структуру континентальной части географической оболочки и биосферы. Однако до сих пор само определение природной зоны и установление ее конкретных границ, а также вычленение в ней наиболее крупных составных частей связывались почти целиком с климатическим фактором. Анализируя взгляды А.А. Григорьева, С.В. Колесникова, М.И. Будыко и других ведущих географов на причины зональности, А.Е. Криволуцкий прямо отмечает: "Из высказываний этих ученых можно заключить, что основным фактором формирования географических зон является климат" (1985. С. 315).

Отдавая должное климатической обусловленности природных зон, нельзя не подчеркнуть важной роли почвенного покрова в их обособлении и внутренней дифференциации, функционировании и эволюции (Добровольский и др., 1981; Никитин, 1985).

Вклад почвенного покрова в *зональную дифференциацию географической оболочки* по форме может быть различен. В ряде случаев именно от характера почвенного покрова зависит прежде всего выделение особой зоны (подзоны). В качестве примера можно указать на зональное разделение лесной Европейской территории СССР. Ряд исследователей расчленяют ее на две зоны — тайгу и хвойно-широколиственные или смешанные леса, опираясь в первую очередь на климатические различия северной и южной частей. Однако в природоведческой литературе существуют и иные зональные подразделения лесной территории ЕТС. Например, ее относят к одной таежно-лесной зоне с разграничением на северную, среднюю и южную тайгу (Ливеровский, 1974; Добровольский, Урусевская, 1984; и др.).

При объяснении причин указанного расхождения в зональном разграничении лесной территории ЕТС необходимо учесть особенности почвенного покрова этой области. Здесь отчетливо доминируют почвы подзолистого ряда, которые, как правило, оказываются малоблагоприятным субстратом для требовательных широколиственных пород (Карпачевский, 1981). Поэтому, несмотря на благоприятные климатические показатели восточноевропейских районов, широколиственные породы здесь встречаются далеко не всегда, что и дает основание многим природоведам рассматривать здесь всю лесную территорию в качестве таежной зоны. В данном случае почвенный покров, по существу, "не позволяет" разграничиться растительному покрову в той мере, в какой это "разрешают" климатические условия.

Но картина может быть и противоположной, когда зональная дифференциация природных комплексов усиливается почвенным фактором. Пример — подзона подтайги, выделяемая некоторыми исследователями на территории Западно-Сибирской равнины прежде всего в связи с тем, что в данной полосе широко распространены почвы с повышенным содержанием гумуса (дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, дерново-глеевые, серые лесные и др.), покрытые в основном березово-осиновыми лесами (Ливеровский, 1974).

Во многом благодаря установлению существенной неоднородности почвенного покрова природных зон в последние годы остро встала проблема их разукрупнения. Особенно отчетливо она обозначилась по отношению к таежной зоне. В 50-е годы Ф.Н. Мильковым было предложено разделить тайгу Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин на две самостоятельные зоны. В дальнейшем данное соображение было поддержано и развито. Так, Ю.П. Пармузин (1985) разделяет тайгуСССР на западноевропейскую приокеаническую, восточноевропейскую умеренно континентальную, западносибирскую континентальную, среднесибирскую резко континентальную, восточносибирскую экстраконтинентальную и дальневосточную муссонную зоны.

Наши исследования показали, что зональное разделение тайги

должно быть еще более дробным. Так, на основании комплексного сравнительного изучения почв и ландшафтов тайги ЕТС и Западной Сибири был сделан вывод о необходимости детализации природного районирования данных регионов на уровне крупных таксонов (Никитин, 1985). Предложено таежную область двух великих равнин рассматривать как состоящую из двух подобластей — восточноевропейской и западносибирской, включающих в себя ряд широтно-меридиональных таежных зон. Первая подобласть состоит из зон северной, средней и южной восточноевропейской тайги; вторая подобласть — из зон северотаежно-болотной, среднетаежно-болотной и болотно-южнотаежной.

Такое более детальное зональное разделение тайги равнинных регионов во многом обусловлено существенными изменениями таежных почв как с севера на юг, так и с запада на восток. Накопленный фактический материал, в частности, показывает, что реперные таежно-лесные почвы — глеево-подзолистые, собственно подзолистые и дерново-подзолистые — по совокупности генетических признаков, особенностям режимов и свойствам могут рассматриваться как относящиеся к родственным, но все же различным генетическим типам. И следовательно, разделение восточноевропейской тайги на указанные выше широтные зоны вполне оправданно с почвенно-географической точки зрения.

Оправданно и выделение самостоятельных таежных зон в Западной Сибири с отграничением их от "таежных" зон Восточно-Европейской равнины. Подтверждение этому мы видим в установлении принципиальных отличий почв данных регионов. Так, при переходе от восточноевропейской к западносибирской тайге отмечается существенное различие общей структуры почвенного покрова и почвенных сочетаний данных регионов, появляются новые доминирующие почвы высоких таксономических рангов в западносибирских таежно-лесных ландшафтах: слабоподзолистые (субподзолистые), буровато-глеевые, дерновые оподзоленные глееватые и др., существенное генетическое своеобразие которых в том, что они относительно молоды и не полностью развиты (Никитин, 1985).

Разукрупнение природных зон в связи с обнаружением более сильной неоднородности их почвенного покрова имеет большое теоретическое и практическое значение. Так, оно оказывается важной предпосылкой более дифференцированного использования почвенных и других естественных ресурсов зон. Одновременно данное разукрупнение ставит новые проблемы изучения зональности и влияния почвенного покрова на дифференциацию географической оболочки и биосферы. Например, возникает необходимость введения новых понятий в системе почвенно-географических категорий районирования высшего ранга. В этой связи нами предложено понятие макрозоны, или семейства зон, которое объединяет наиболее родственные зоны. Так, все выделяемые широтно-меридиональные таежные зоны объединяются в общую таежно-лесную макрозону, или семейство таежно-лесных зон.

Еще более значителен вклад неоднородности почвенного покрова во внутризональную дифференциацию природных и почвенных зон.

Особенно весомыми он оказывается при вычленении низших единиц почвенно-географического районирования — округов и районов. В данном случае именно характер структур почвенного покрова в сочетании с литолого-геоморфологическими условиями определяет конкретные границы районирования.

Коснемся некоторых аспектов роли почвенного покрова в *функционировании природных зон* как узловых составляющих географической оболочки. Отметим прежде всего функцию почвенного покрова как главного гомеостатического стабилизатора динамических параметров природных зон. Действительно, если рассмотреть взаимосвязь различных составляющих зонального комплекса (растительного покрова, животного мира, климата, грунтовых вод и почвенного покрова), то можно увидеть особенно заметный вклад почвенного звена в выравнивании амплитуды текущих, повторяющихся изменений компонентов природных зон.

Например, буферная функция почвы наглядно обнаруживается во взаимодействии ее с растительным покровом и животным миром. Известно, что растительность зон в период вегетации особенно сильно зависит от сезонной динамики влаги и тепла. Так, в случае длительных перерывов в поступлении атмосферных осадков и слаборазвитых почв с низкой водоаккумулятивной способностью неизбежно сильное угнетение растений вплоть до полной их гибели. Ведь при отсутствии достаточного поступления влаги к корневым системам большинство видов высших растений начинает испытывать увядание через несколько часов, реже через несколько дней. Поэтому наличие необходимых почвенных влагозапасов — первостепенное условие сохранения растительного покрова и связанных с ними зооценозов в их сложившемся составе. Следует при этом отметить, что благодаря внутризональной вариабельности водно-физических и других свойств почвы связанные с ними фитоценозы в пределах каждой зоны претерпевают в своем составе значительные изменения, что способствует увеличению разнообразия растительности природных зон и тем самым повышает ее устойчивость к экстремальным воздействиям среды. В данном случае почвенный покров выступает как фактор видового разнообразия и адаптивной пластичности растительности природных зон. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении влияния почв на зональные зооценозы. При этом важно подчеркнуть, что деградация естественных почв при антропогенном воздействии приводит одновременно к деградации связанных с ними сообществ растительных и животных организмов: снижается их структурированность и видовое разнообразие, распадается единый генофонд вида на ряд мелких изолированных популяций и др.

В самостоятельную задачу выделяется выяснение влияния почвенного покрова на *эволюцию природных зон.*

В определении причин изменения зон во времени пока доминирует климатическая концепция, связывающая развитие природных зон со значительными климатическими трансформациями. В то же время ряд исследований заставляет с полным вниманием отнестись к роли других компонентов географической оболочки, особенно почвенного

звена, в эволюционном изменении природных зон. Так, анализ истории таежно-лесной зоны показал, что различные ее крупные регионы во времени изменялись явно неоднозначно. Это, в частности, позволяет говорить о специфике развития различных частей лесной зоны, связанной в значительной мере с региональными особенностями эволюции почвенного покрова таежно-лесных областей.

Например, И.М. Гаджиев (1982) обосновал гипотезу сокращенной по числу стадий трехэтапной голоценовой эволюции почв и ландшафтов южной тайги Западной Сибири: сухостепная или, возможно, полупустынная стадия (тундростепная, по данным других авторов) постепенно сменяется лесостепной, а затем таежной, наступившей после среднеголоценового оптимума и продолжающейся по настоящее время. В то же время многие палинологи принимают гипотезу четырехстадийной смены ландшафтов в голоцене: лесотундра — еловые леса — лиственные березовые и осиновые леса — хвойные леса с господством пихты и кедра.

Специальный анализ этого вопроса (Никитин, 1983) показал, что во многом теоретически оправданны положения, развиваемые И.М. Гаджиевым, о своеобразии эволюции почв на территории современной западносибирской тайги, проявляющемся в сравнительной немногочисленности эволюционных этапов и широком распространении генетических разностей, сохраняющих среднеголоценовый черноземовидный профиль в современных таежных условиях. Причем сокращение числа стадий эволюции ландшафтов на обширных территориях тайги Западной Сибири непосредственно связано с особенностью почвообразования в этом регионе.

Известно, что характерная особенность почвенного покрова современной южной тайги Западной Сибири — широкое распространение на большей части голоценовой истории высокогумусированных почв. Эти почвы обладают значительным плодородием и буферностью, что способствует устойчивости сформировавшихся на них биоценозов. Поэтому вполне понятны утверждения о длительном сохранении возникших в свое время в "таежных широтах" лесостепных экосистем и слабой их трансформации, несмотря на существенные изменения природных условий, вплоть до подвижек ландшафтных зон.

Таким образом, охарактеризованные выше положения свидетельствуют о значительной роли почвенного покрова в жизни природных зон — их пространственной изменчивости, функционировании и эволюции. Поэтому становится очевидной необходимость более полного учета влияния почвенного покрова на дифференциацию и динамику географической оболочки и биосферы.

ПОЧВА — СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО БИОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТОВ

Два данных типа круговорота обычно рассматривают изолированно, без должного интереса к почве как связующему звену.

Одно из главных различий биологического и геологического круговоротов заключается прежде всего в темпах и сроках заверше-

ния их полного цикла. Геологический круговорот протекает несопоставимо более медленно, чем биологический. Поэтому за относительно короткие сроки, измеряемые годами, десятилетиями, столетиями, на отдельных отрезках геологического круговорота доминирует одно направление потока вещества — снос на плакорах и накопление в акваториях. Биологический же круговорот за те же сроки может обеспечивать полный цикл (от создания биомассы до ее разрушения).

Другое важное различие данных круговоротов на подавляющей части суши заключается в противоречивости их взаимодействия. Биологический круговорот в отличие от континентального отрезка геологического в целом направлен на аккумуляцию и удержание элементов на водоразделах, испытывающих постоянную денудацию. Следует при этом подчеркнуть, что общая накопительная направленность биологического круговорота была бы невозможна без почвы, которая оказывается мощным аккумулятивным и сорбционным барьером на пути мобильных соединений, образующихся после разложения органического опада. Особую роль здесь играют гумус, органо-минеральные комплексы и вторичные минералы почвы, образование которых приводит не только к связыанию элементов, мобилизованных биологическим круговоротом, но и к их обменому поглощению, являющемуся эффективным механизмом удержания вещества от его выведения из биогеоценозов континентальным геохимическим потоком (Глазовская, 1972; и др.).

Наглядным примером важности почвы в реализации аккумулятивной деятельности биологического круговорота могут служить материалы по биохимическим циклам элементов в различных природных зонах. Исследования Т.И. Евдокимовой, Т.Л. Быстрицкой, В.Д. Васильевской, Л.А. Гришиной, Е.М. Самойловой (1976) показали, что в случае нарушения почвенного покрова происходит принципиальное изменение в соотношении рассматриваемых круговоротов в сторону ослабления биологического и усиления геологического. Так, после распашки лесостепной зоны Европейской территории СССР геологический круговорот возрос во много раз. Вследствие эрозии почв ежегодно с поверхности водоразделов сносится около 200 млн т плодородной земли, из которых около 20 млн т полностью теряется, так как поступает в реки. В доисторический период в биологический круговорот вовлекалось биофильных элементов примерно в 30 раз больше, чем поступало их в геологический круговорот. В современный период количество биофилов, мигрирующих в биологическом круговороте, всего лишь выше их выноса в геологический круговорот.

В степной зоне Русской равнины в доисторическое время вовлечение биофилов в биологический круговорот в 50 раз превышало их поступление в геологический. В настоящее время поступление N, P, Ca, S, Mg в биологический круговорот лишь в 2—10 раз выше их выноса поверхностным стоком. Для этих элементов существует угроза быстрой потери их ландшафтами плакоров. Предотвратить данный процесс, компенсируя его только внесением минеральных

удобрений, трудно. Существует другой, более действенный путь — сокращение ветви геологического круговорота за счет полного снятия или значительного уменьшения твердого и жидкого стока, вызываемого водной эрозией. Для степных пространств, так же как и для лесостепи, это первоочередная задача (Евдокимова и др., 1976).

Приведенные примеры показывают, что почвенный покров — важный регулятор взаимодействия биологического и геологического круговоротов, и, следовательно, при нарушении почвенной оболочки Земли неизбежно возникают глубокие изменения в сложившихся геохимических потоках биосферы. Таким образом, ненарушенный почвенный покров оказывается также защитным барьером и условием нормального функционирования биосферы в целом. В этом заключается его еще одна весьма важная глобальная экологическая функция.

ПОЧВА КАК ФАКТОР БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

До сих пор оценка эволюционной значимости почвы не реализована в полной мере, в том числе среди почвоведов, особенно специалистов-практиков, которые нередко смотрят на почву лишь как на объект хозяйственного использования. Среди биологов до фундаментальных исследований М.С. Гилярова (1949, 1968) эволюционному значению почв также не уделялось должного внимания, хотя именно анализ взаимодействия наземных растений и животных с почвенной средой помогает вскрыть и лучше понять многие особенности их развития.

Специфичность почвы, отмечает М.С. Гиляров, как совершенно особого естественноисторического тела, позволившая В.В. Докучаеву выделить ее в качестве "четвертого природного тела", недооценивается или чаще вовсе не принимается во внимание биологами. Анализ условий обитания животных в почве дает возможность раскрыть исключительное значение особенностей этих условий в эволюции животного мира, в процессе освоения суши исходными организмами. К этому следует добавить, что оценка почвы как основного фактора эволюции органического мира привела некоторых ученых к мысли, что средой зарождения жизни была почва.

К настоящему времени накоплены достаточно обширные сведения, свидетельствующие об огромном значении почвы в биологической эволюции биосферы. Поскольку они систематизированы главным образом по животному миру, то роль почвы как фактора биоэволюции мы рассмотрим на эколого-зоологическом материале, проанализированном в работах М.С. Гилярова и его школы.

Оценивая роль почвы в эволюционном процессе, М.С. Гиляров (1949) в первую очередь обращает внимание на то, что почвенная оболочка по главнейшим экологическим особенностям может рассматриваться как среда промежуточная (между водной и воздушной), через которую возможен постепенный переход от водного образа жизни к наземному без резкого изменения организации живого. Такая особенность почвы определяется прежде всего водно-воздушными ее свойствами, по которым она является как бы промежуточной между водой и атмосферой.

Воздух в почве, как правило, насыщен парами воды. Даже в пустыне в жаркий сухой период года в песке на глубине нескольких сантиметров воздух в почве близок к насыщению парами влаги (>90%). Благодаря водонасыщенности воздушной фазы для почвы разрешим известный физиологический парадокс "дыхание всегда происходит в воде", который связан с тем, что газообмен между поверхностью дыхательных органов и средой обычно происходит через жидкость.

Отсутствие угрозы гибели от высыхания в почве создает предпосылки для перехода к обитанию в ней водных форм животных с развитой способностью к кожному дыханию, широко распространенной у многих обитателей водоемов. При переходе же к жизни в воздушной среде кожное дыхание становится невозможным. У насекомых препятствием этому служит образование хитинового покрова, в связи с чем функция дыхания должна осуществляться отдельными участками — трахеями, образовавшимися в результате вдавливания дыхательных поверхностей внутрь.

Другой особенностью почвенной среды, способствовавшей переходу водных организмов к обитанию в почве, явилось обилие здесь органического вещества, что, по-видимому, оказалось основной предпосылкой для поселения в ней многих обитателей бентоса.

В результате освоения почвы в ней стали жить представители разных систематических групп животных. Среди беспозвоночных в почве распространены организмы разной степени эволюционной продвинутости.

Широко представлены в почве Protozoa. Причем важно отметить, что среди простейших нет настоящих обитателей воздушной среды. Простейшие либо типичные обитатели водоемов, хотя бы таких, как капли воды в трещинах деревьев, либо почвенные обитатели, находящиеся в основном или в подвижных почвенных растворах, или в состоянии адсорбции на почвенных частицах в пленках воды (Гиляров, 1949). Рассматривая пути перехода от водной среды к почвенной таких представителей простейших, как раковинные амебы (корненожки), исследователи отмечают, что особено благоприятные условия постепенного освоения почвы складываются на участках суши, прилегающих к водоемам (озерам и особенно болотам), где всегда имеются частицы ила и органические остатки и где моховые кочки неравномерно и непостоянно увлажнены. Из 1100 видов корненожек большинство представлено обитателями заросших растительностью пресноводных водоемов и болот, более 11% встречается в почве.

Важным звеном в переходе к наземному (в широком значении слова) обитанию оказалась почва и для различных групп червей, где выделяются земляные (дождевые) черви, без которых нельзя представить животный мир большинства почв. Для олигохет, обитающих в водной среде, где преобладают пресноводные формы, также отмечается переход к жизни в почве. В качестве примера можно указать на Enhytracidae, численность которых на 1 $м^2$ выражается нередко тысячами и десятками тысяч.

Отмечен также случай приспособления типичной водной олигохеты Tubifex к обитанию в почве. Было установлено, что после осушения одного из озер в почве продолжали жить и размножаться трубочники, в организации которых произошли определенные изменения. Этот случай приспособления к жизни в почве типичного обитателя бентоса убедительно подтверждает возможность перехода водных беспозвоночных к наземному образу жизни через почву.

Широко распространены в почвах и круглые черви — нематоды, которые живут повсюду, в том числе и в почвах сухих зон. Первоначальной же средой является море.

Среди многощетинковых червей (Polychaeta) основная масса — обитатели моря. Однако и здесь были найдены полихеты, переходящие к наземному образу жизни, которые дышат воздухом и обитают в почвах мангровых зарослей.

Подавляющее большинство свободноживущих плоских червей — турбеллярий — являются водными обитателями. Но и среди них встречаются формы, переходящие к наземному образу жизни. Причем для неводных турбеллярий характерно обитание именно в почве, а также подстилке. При этом многие формы встречаются во влажной почве чаще, чем в воде (Гиляров, 1949). Имеются обитатели почв и среди немертин, хотя большинство их — морские формы.

Переход от водного к наземному образу жизни через почву отмечен также среди ракообразных, характерной средой которых является море. В качестве примера можно привести наземных мокриц, которые распространены широко и встречаются также в пустынях. Днем, когда угроза гибели от высыхания особенно велика, пустынные мокрицы скрываются в норах.

В процессе освоения суши почва выполняла важную роль переходной среды не только по отношению к беспозвоночным, но и многим позвоночным животным. М.С. Гиляров подтверждает данное положение рядом примеров. Так, известны случаи зарывания в почву некоторых рыб. Например, вьюн проводит сухой летний период, зарывшись в грунт пересыхающего водоема. Лабиринтова рыба Anabas scaundes, имеющая приспособление к длительному пребыванию вне воды жаберные полости, может переползать в мокрой траве на большие расстояния из водоема в водоем. При неблагоприятных условиях анабас закапывается в землю, где длительное время сохраняет жизнеспособность. Частая встречаемость при раскопках послужила причиной того, что эта рыба получила название "земляной".

В почве также проводят сухой период и двудышащие, зарывшись в высыхающий ил или в землю. Из земноводных после нереста зарываются в землю и зимуют в ней тритоны; проводят сухой период года в земле и жабы.

У рептилий эмбриональный период связан с почвой — в ней осуществляется развитие их яиц.

Роль почвы как переходной среды выявляется и при анализе экологии тех наземных животных, которые в процессе эволюции в наибольшей степени освободились от связей с почвой. Например, даже для такой ксерофильной группы насекомых, какими являются саранчевые, почва

продолжает оставаться определенное время средой их обитания — в ней проходит развитие их яиц.

Переход к обитанию в почве сопровождался выработкой разнообразных физиолого-морфологических приспособлений у различных групп животных. Так, отсутствие света приводит к потере зрения и пигмента покровов у обитателей глубоких почвенных горизонтов. У животных, поселяющихся в верхних слоях почвы или часто выходящих на ее поверхность, пигментация и зрение сохраняются.

При переходе от водной среды к почвенной многие животные вырабатывают приспособления, защищающие их от высыхания в случае недостатка влаги в почве. Например, у полихет, немертин, турбеллярий отмечается утолщение наружных покровов и снижение их проницаемости. Некоторые полихеты имеют развитые кутикулы, особенно выраженные на голове, где они образуют подобие капсулы. Кроме того, происходит развитие желез, выделяющих большое количество слизи.

Следует, однако, подчеркнуть, что кутикула, несмотря на снижение своей проницаемости, у почвенных форм продолжает оставаться пригодной для диффузии дыхательных газов и испарения, благодаря чему многие беспозвоночные почвы дышат всей поверхностью. Это оказывается возможным прежде всего в силу высокой насыщенности почвенного воздуха влагой.

В случае же обитания в воздушной среде требуется значительно более эффективная защита от высыхания, исключающая кожное дыхание (Гиляров, 1949, 1968). У членистоногих, приспособленных к жизни в сухой атмосфере, такая защита связана с образованием на их покровах тончайшего слоя эпикутикулы, состоящей из восковых и жироподобных веществ. Появление таких водонепроницаемых покровов неизбежно требует развития специальных органов дыхания — трахей.

Отсутствие эпикутикулы у влаголюбивых обитателей почвы — мокриц, губоногих многоножек, ногохвосток, личинок насекомых и др. — позволяет им использовать кожное дыхание. Такое дыхание, однако, делает многих животных весьма зависимыми от влажности почвы и вынуждает их к миграциям в глубь почвы в более влажные горизонты, а также к вторичному использованию метаболической воды и др.

Потребность в насыщенном влагой воздухе у почвенных животных с кожным дыханием нередко определяет конкретные особенности их экологии. Так, пустынная мокрица в Средней Азии встречается на лёссовых почвах, где она укрывается в норах, уходящих на глубину до 1 м, что позволяет ей дышать воздухом, насыщенным влагой. На легких же почвах отсутствуют благоприятные условия для обитания мокриц, что объясняется прежде всего невозможностью рыть глубокие норы с маленьким диаметром в горизонтах с рыхлым сложением.

Приспособительные изменения отмечаются у почвенных животных и при оплодотворении (Криволуцкий, 1969). Установлено, что характер оплодотворения зависит от влажности среды. У водных животных обычно наблюдается наружное оплодотворение, при котором происходит выбрасывание половых продуктов в воду. У обитателей воздушной среды доминирует внутреннее оплодотворение (введение самцами спермы в половые протоки самки) — в противном случае в

сухой атмосфере яйцеклетка и сперма быстро бы погибли. У почвенных же животных имеются разные варианты "наружно-внутреннего" оплодотворения, при котором в простейшем случае оставленная самцом на поверхности субстрата капелька спермы подбирается самкой половыми крышками.

К числу важных адаптаций следует отнести приспособленность многих животных почвы к перенесению сильных физических воздействий. Например, такие мелкие обитатели почвы, как тихоходки, обладают необыкновенной способностью быстро впадать в анабиоз и переносить облучение высокими дозами рентгеновских и ультрафиолетовых лучей, высокие концентрации кислот и др. Показано, что этих животных можно без вреда держать 20 мес при температуре –190°С. Такая поразительная выносливость тихоходок, сочетающаяся со способностью распространяться ветром на любые расстояния, позволяет им заселять практически всю поверхность суши. Это характерно и для многих других обитателей почвы — нематод, микроартропод, простейших, устойчивость которых к неблагоприятным воздействиям факторов среды очень велика. Например, коллемболы — один из отрядов низших бескрылых насекомых (вторая по численности группа микроартропод) — поразительно устойчивы к низким температурам и нередко бывают активны даже в мерзлой почве, а развитие их яиц не прекращается при температуре вплоть до 2—3°С (Криволуцкий, 1969).

Отмечается также изменение характера движения при переходе к обитанию в почве. Например, полихета Lycastopsis amoboinensis при обитании под опавшими листьями передвигается, как сколопендра, по поверхности субстрата, но в почве она движется, как земляной червь.

У многих почвообитающих животных, переходящих к жизни в почве, наблюдается изменение формы тела. Отмечено, что обитание в системе мелких полостей между почвенными частицами приводит к значительному уменьшению размеров корненожек по сравнению с обитателями водной среды. Измельчению животных способствуют также недостаток пищи и низкое содержание O_2. Мелкие размеры клетки обеспечивают более быструю диффузию в нее кислорода.

Для корненожек, живущих в почве, характерно также отсутствие раковинок сложной формы, среди которых преобладают удлиненно-овальные, сферические или полусферические. Выступы у раковинок — иглы, шипы, имеющиеся у полуводных и водных форм и способствующие, по-видимому, фиксации на листьях водных растений и увеличению поверхности, у почвенных видов развиты слабо или полностью отсутствуют (Гельцер, Корганова, 1976; и др.).

Значительную роль в заселении корненожками почвы сыграли образование плоской вентральной поверхности (подошвы) и приобретение полусферической формы, позволившей организму лучше использовать промежутки между почвенными частицами неправильной конфигурации. Форма и величина раковинок в значительной мере определяют преимущественно приуроченность разных видов корненожек к разным горизонтам профиля. Так, сжатые дорсо-вентрально раковинные амебы в основном обитают в подстилке. Между твердыми

частицами гумусового горизонта живут довольно крупные полусферические виды. В нижние горизонты с плотным сложением и малым количеством гумуса корненожки почти не проникают. Здесь лишь отмечены единичные экземпляры рода Plagiopyxis (Schonborn, 1973).

Значительные изменения формы и размеров тела в связи с обитанием в почве наблюдаются у панцирных клещей (Криволуцкий, 1977). Приспособление к обитанию в глубоких горизонтах у клещей заключается в тонких покровах, коротких ногах, удлиненной форме тела, отсутствии крупных щетинок. Поверхностно обитающие виды имеют иную форму.

Оценивая характерные эволюционные особенности почвообитающих животных в целом, можно отметить следующее.

Прежде всего, животный мир почвы (по сравнению с наземным) более архаичен. Так, для широко распространенных низших почвенных беспозвоночных характерна сапрофагия — питание разлагающимися растительными и животными остатками. Растительноядность же (фитофагия) распространена среди почвенных беспозвоночных реже, причем главным образом среди более высокоорганизованных форм (Гиляров, 1949, 1968).

Другими показателями архаичности животного населения почв являются наличие примитивных черт организации и замедленность эволюции у ряда его представителей. Замедленность эволюции почвообитающих животных по сравнению с наземными была рассмотрена Д.А. Криволуцким (1977) на примере панцирных клещей (орибатид) почвы. Например, роды Cultoribula и Achipteria живут уже минимум 140 млн лет, в то время как среднее время существования рода у лошадей — 5,6 млн лет, хищных млекопитающих — 6,5, аммонитов — 20 и даже у пелицинод (медленно эволюционирующей группы) — 78 млн лет. Причина медленной эволюции почвенных орибатид автором связывается прежде всего со стабильностью среды их обитания, где постоянно сохраняется высокая влажность воздуха, сглажены колебания температуры, а инсоляция незначительна.

При переходе от наземного существования к обитанию в почве у некоторых видов наблюдается упрощение организации. Так, отмечается редукция защищающих от высыхания приспособлений у форм, переходящих от открытого к почвенному образу жизни, например у слизней (Гиляров, 1949).

Архаичность животного мира почвы в известной мере проявляется и в высокой степени постоянства ее населения по составу в различных местностях (по сравнению с наземными организмами), что связано с более слабыми колебаниями влажности и температуры почвы. Это обнаруживается особенно отчетливо при группировке почвенного населения по крупным систематическим категориям.

Указаное своеобразие животного мира почв — следствие особенностей почвы как среды обитания, главными чертами которой являются буферность (способность противостоять резким изменениям основных параметров) и значительное разнообразие почвенных условий в пределах профиля: каждый горизонт — особая экологическая ниша. Благодаря

Таблица 30

Встречаемость личинок 100 семейств жуков в различных местообитаниях (Гиляров, 1949)

Почва (включая A_0)	Мертвая и гнилая древесина, детрит и т.д.	Внутри живых растительных тканей	На поверхности листьев, открытые местообитания	На животных	В воде	Неизвестно
30(+4)*	33(+12)	10(+9)	1(+2)	1(+1)	8(+2)	15

*В скобках представители семейств, для которых не только данное местообитание является типичным.

этому почвенные животные, с одной стороны, защищены от экстремальных воздействий факторов внешней среды, а с другой — они обладают возможностью выбора подходящих условий в пределах профиля, что позволяет им избегать дальних и длительных миграций.

Данные свойства почвы как среды обитания сыграли исключительную роль в эволюции животного мира (табл. 30). Характерной особенностью эволюции явилось постепенное освоение не только почвы, но и других сред, в том числе воздушной, требовавшее значительных адаптационных изменений организма. Тенденция к выходу на поверхность отмечена у таких типичных обитателей почвы, как дождевые черви. Эволюция в разных систематических группах этих червей идет по пути перехода от жизни в почве, где они питаются перегноем, к обитанию в почве с периодическим потреблением опада на ее поверхности. Следующий этап — это полный переход к жизни вне минеральных слоев почвы: в лесной подстилке или в растительном войлоке, в гниющей древесине, под мхом на стволах деревьев. Выход на поверхность дождевых червей сопровождается серьезными морфофизиологическими преобразованиями.

Наземный образ жизни требует глубоких адаптационных изменений, которые были бы весьма трудно осуществимыми, если бы имел место сразу резкий переход от водной среды к обитанию на поверхности земли без промежуточного звена — почвы. Нам представляется, что для ряда групп животных такой переход оказался бы невозможным или потребовал бы гораздо большего времени, что привело бы к общему снижению темпов биологической эволюции и ее упрощению. Иными словами, без почвы оказалось бы невозможным то разнообразие наземных форм, которое имеет место в настоящее время.

Данному выводу не противоречит положение о замедленных темпах эволюции собственно почвенных форм, так как, во-первых, без почвы этих форм могло бы вообще не быть, а во-вторых, не все обитатели почвы эволюционируют медленно. Например, в группе почвенных клещей, характеризующейся в целом замедленным формообразованием, выделяются экологические группы, эволюция которых протекает более интенсивно (Криволуцкий, 1977). Так, если у обитателей глубоких

Таблица 31

Количество эндемических родов клещей в разных почвенных экологических группах (Криволуцкий, 1977)

Почвенные экологические группы	Число эндемиков	Процент эндемиков	Всего родов
Обитатели:			
глубоких горизонтов	3	30	10
открытой поверхности	48	32	148
мелких почвенных скважин	15	41	37
Неспециализированные формы	5	21	24
Всего	71	32	219

слоев почвы формообразование действительно весьма замедленно, то у клещей, живущих в поверхностных горизонтах, оно намного интенсивнее. Более активно эволюционируют относительно слабо защищенные тонкопанцирные клещи, обитающие в наиболее динамичной части почвы — ее скважинах и трещинах.

Оценка темпов эволюции по числу эндемичных родов у разных экологических групп клещей показала, что больше всего эндемиков у обитателей почвенных скважин (табл. 31).

Буферность и внутрипрофильное экологическое разнообразие почвы благоприятствуют успешному осуществлению ею и функции хранителя ряда древних форм, которая по-настоящему еще не изучена и не оценена, хотя и имеются факты, свидетельствующие о ее проявлении.

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕБИОСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЧВЕННОЙ ОБОЛОЧКИ

Основные тенденции антропогенных изменений общебиосферных функций почв в целом те же, что и у рассмотренных в предыдущих главах гидросферных, атмосферных и литосферных функций почвенной оболочки. Данные тенденции сводятся прежде всего к ослаблению и частичной или существенной редукции естественных биосферных функций почв.

При рассмотрении антропогенных изменений функции почвы как среды обитания (табл. 32) необходимо отметить следующее. Имеют место глобальное ухудшение почвенных условий жизни организмов суши и общее сокращение жизнепригодного пространства на континентах в связи с изъятием значительной части площадей под бытовое и промышленное строительство, потерей почв в результате эрозии, опустынивания, добычи полезных ископаемых открытым способом и др. Кроме того, отмечается снижение разнообразия почвенно-экологических ниш в результате прогрессирования деградационных процессов. Одновременно имеет место появление новых антропогенно обусловленных почвенно-экологических ниш, часть из которых достаточно благоприятна для обитания наземных организмов (удачно мелиорированные земли, почвы под искусственными лесонасаждениями и т.п.).

Таблица 32

Тенденции антропогенных изменений общебиосферных функций почвенной оболочки

Среда обитания организмов суши	Фактор дифференциации географической оболочки и биосферы	Связующее звено биологического и геологического круговоротов	Фактор биологической эволюции
Глобальное ухудшение почвенных условий жизни организмов суши и общее сокращение жизненного пространства. Снижение разнообразия естественных почвенно-экологических ниш. Появление новых антропогенно обусловленных почвенно-экологических ниш	Уменьшение дифференцирующего влияния почвенного покрова. Появление антропогенно обусловленных аномалий в зональной структуре географической оболочки. Исчезновение ряда естественных растительных зон в сязи с освоением почвенного покрова. Появление новых зонально-региональных образований	Ослабление вклада почвы в поддержание биологического круговорота. Усиленное вовлечение почвенного материала в геологический круговорот. Изменение исторически сложившегося соотношения биологического и геологического круговоротов	Ослабление вклада почвы в прогрессивную эволюцию видов. Исчезновение редких видов организмов в связи с антропогенной деградацией необходимых почвенных местообитаний. Уменьшение генофонда наземных популяций в связи с ухудшением почвенных условий жизни организмов. Появление новых форм(?) организмов в связи с антропогенным изменением почвенной среды обитания

Антропогенные функциональные изменения почвы как фактора дифференциации географической оболочки и биосферы сводятся в первую очередь к уменьшению дифференцирующего влияния почвенного покрова, появлению антропогенно обусловленных аномалий в зональной структуре географической оболочки, исчезновению ряда естественных растительных зон в связи с освоением почвенного покрова, появлению новых зонально-региональных образований. Особенно наглядным примером проявления перечисленных явлений может служить антропогенное изменение лесостепи и степи, где в результате широкомасштабного освоения почвенного покрова фактически перестали существовать как зональные образования лесостепные и степные биоценозы. Одновременно вновь созданный аграрный тип ландшафта оказался качественно отличным от естественных природных комплексов. Причем появление устойчивых специфических признаков свойственно не только агроценозам, но и самим почвам в связи с необратимостью антропогенной (агрогенной) эволюции. Последнее было убедительно показано Ф.И. Козловским: "Агрогенная эволюция в нормальном ряду необратима, что связано с уплотнением, выщелачиванием, лессиважем, слитизацией; в денудационном ряду она

практически (в масштабе столетий) необратима, что связано с пассивной карбонатизацией — припахиванием иллювиально-карбонатного горизонта" (1987. С. 30).

Почвенная функция связующего звена биологического и геологического круговоротов под влиянием антропогенных воздействий испытывает изменение в направлении ослабления вклада почвы в поддержание биологического круговорота, что связано прежде всего с эрозией почвенного покрова и его химическим загрязнением, существенно снижающим общую экологическую активность почв. Одновременно отмечается усиленное вовлечение почвенного материала в геологический круговорот. Хозяйственное использование педосферы Земли в конечном счете приводит к существенному изменению исторически сложившегося соотношения биологического и геологического круговоротов в пользу последнего.

Глубокие антропогенные изменения претерпевает почвенная функция фактора биологической эволюции. Отмечается ослабление вклада почвы в прогрессивную биологическую эволюцию, поскольку с ухудшением почвенных условий жизни наземных обитателей идет деградация структуры естественных популяций живых организмов и имеет место уменьшение их генофонда. Кроме того, все более широким размахом характеризуется исчезновение редких видов организмов в связи с антропогенным разрушением необходимых для них почвенных местообитаний.

Одновременно с сокращением численности видов наземных организмов, вплоть до полного их исчезновения, имеет место появление новых структур популяции, освоение новых, созданных человеком местообитаний, что вносит в современную биологическую эволюцию нетипичные для ее естественного развития черты, еще недостаточно изученные и слабо осмысленные в плане последствий для будущего биосферы.

Глава шестая

ФУНКЦИИ ПОЧВЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Функции почв в наземных экосистемах (биогеоценозах) или, иначе, биогеоценотические функции почв стали рассматриваться во всем своем разнообразии и совокупности лишь в последние 15 лет (Никитин, 1977, 1982а; Карпачевский, 1981; Зонн, 1983; Добровольский, Никитин, 1986; и др.). Основной причиной запоздалого интереса к столь важной проблеме можно считать господство упрощенного понимания экологического значения почвы, сводимого, как правило, к трактовке почвы как источника элементов питания и механической опоры растений. Однако первый же специальный анализ биогеоценотических функций почвы (Никитин, 1977) вскрыл их неожиданно большое разнообразие. Было выделено более 10 почвенных функций, объединенных в отдельные группы по контролирующим их свойствам и параметрам почв (схема 1).

Схема 1

Биогеоценотические функции почвы



В этой совокупности функций наиболее интегральная функция — почвенное плодородие — оказалась равноправно сопряженной со всеми функциями и свойствами почвы, а не только с химическими ее функциями и параметрами.

Рассмотрим основные положения по каждой группе биогеоценотических функций почв, оговорившись при этом, что многие почвенные функции не имеют строгой приуроченности к какому-либо одному конкретному свойству почвы и что приведенная группировка и классификация биогеоценотических функций почв до известной степени условны, как и любая другая классификация.

ФУНКЦИИ ПОЧВЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЕЕ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Отличительная черта наземных экосистем — их теснейшая зависимость от пространственно-временно́й динамики совокупности свойств и фу́нкций почв. Данное утверждение, являющееся в настоящее время уже достаточно тривиальным для исследователей,непосредственно занимающихся проблемами экологического почвоведения, далеко не очевидно для многих других специалистов, проявляющих тот или иной интерес к почве. Так, до сих пор влияние физических свойств почв на ее биологическую продуктивность недооценивается, а зачастую явно принижается. Поэтому всестороннее изучение биогеоценотических функций почвы, обусловленных ее физическими свойствами, имеет такое

же первостепенное значение, как и исследование всех других видов почвенных функций.

В группе функций, контролируемых в основном почвенными физическими параметрами, почва играет роль жизненного пространства, жилища и убежища, механической опоры, депо семян и других зачатков. Первые три функции достаточно подробно были рассмотрены нами ранее (Добровольский, Никитин, 1986). Остановимся на характеристике функции депо.

Функция сохранения и депо семян и других зачатков

Данная функция почв до настоящего времени не рассматривалась и не изучалась сколько-нибудь целенаправленно и систематически, хотя различные стороны ее проявления освещены отдельными наблюдениями.

Благодаря своим свойствам большинство почв оказывается не только жизненным пространством, пригодным для обитания многочисленных видов наземных организмов, но и средой, в которой сохраняются тот или иной срок семена и другие зачатки. На поверхности почвы и в свежем опаде перезимовывают семена высших растений, с тем чтобы на будущий год дать новое потомство или пополнить почвенный семенной запас многолетнего хранения. В почве сохраняются в течение определенного времени цисты, споры многих организмов и яйца беспозвоночных. Дождевые черви откладывают яйца в кокон, образуемый из слизистых выделений кожных желез. У некоторых видов червь откладывает ежегодно 70—100 коконов (Тишлер, 1971). Благодаря отсутствию резких перепадов температур и влажности в почве коконы хорошо сохраняются до завершения развития яиц, которое может длиться несколько месяцев.

Вопрос о длительности сохранения в почве зачатков организмов имеет важное теоретическое и практическое значение. Согласно имеющимся наблюдениям, семена высших растений могут сохраняться в почвенных условиях в жизнеспособном состоянии в течение ряда лет. "Срок хранения семян может быть достаточно большим — для некоторых видов растений многие десятки, а возможно, даже сотни лет" (Петров, 1985. С. 88). Особенно длительно сохраняются микроорганизмы в состоянии анабиоза в условиях многолетнемерзлых почв и грунтов — сотни лет и даже тысячелетия (Голдовский, 1986). Последнее обстоятельство может иметь особое значение, что подчеркивал В.И. Вернадский в отзыве на исследования П.Н. Каптерева, наблюдавшего "оживление" водорослей, микробов из проб вечной мерзлоты в некоторых районах Сибири и писавшего в 1936— 1938 гг. о сохранении организмов в течение многих лет: "П.Н. Каптерев подошел к крупному новому явлению природы — сохранению жизненности организмов (многоклеточных) в вечной мерзлоте. Вопрос идет о возможности сохранения жизни в состоянии анабиоза — и оживления организмов — через сотни, а может быть, и больше лет. Такое явление имеет огромное научное и прикладное значение, учесть всех последствий которого

мы сейчас не можем. Поэтому необходимо не только всесторонне обработать привезенные П.Н. Каптеревым материалы, но и продолжить и развить эту работу в условиях вечной мерзлоты, поставив научно точную новую проверку" (цит. по: Голдовский, 1986).

Способность организмов и их зачатков сохраняться в недеятельном, но жизнеспособном состоянии в течение долгого времени рядом биологов рассматривается как один из двух основных типов адаптации к окружающей среде. Адаптации первого типа (пассивная) обеспечивают уход организма от неблагоприятно складывающихся условий внешней среды путем ослабления обычных связей с ней или разрыва этих связей в случае анабиоза. Адаптации второго типа создают активное приспособление к неблагоприятным условиям путем предохранения от отрицательных последствий влияния среды, без нарушения связей организма с ней. Оба типа адаптации в равной мере важны, однако, как справедливо отмечает А.М. Голдовский, исторически в биологии основное внимание концентрировалось на активном приспособлении к среде высших организмов, т.е. на адаптациях второго типа.

Одна из причин недостаточного внимания к адаптациям первого типа — слабое изучение рассматриваемых в данном разделе функций почвы, которая в ходе биологической эволюции особенно активно использовалась организмами при выработке и реализации пассивных адаптаций. В то же время этот тип адаптаций во многих отношениях особенно ценен. Так, благодаря анабиозу существенно удлиняется хронологический возраст организма, который может оказаться значительно больше его биологического возраста. Например, продолжительность жизненного цикла микроорганизмов, если ее принять равной промежутку между делениями клеток, составит у бактерий 12,5—348 мин. В то же время в состоянии криоанабиоза в вечномерзлых почвогрунтах споры микроорганизмов могут пробыть сотни и даже тысячи лет. Жизненный цикл однолетних растений не превышает одного года, однако в зародышевой стадии в виде семян они могут сохраняться в ксероанабиозе десятки и сотни лет.

То, что почва оказывается благоприятным местом для длительного сохранения зачатков организмов в жизнеспособном состоянии, связано с особенностями ее как среды обитания, среди которых выделяются значительная изолированность и защищенность ее от резких изменений воздушной среды, а также значительно меньшее содержание в почвенном воздухе кислорода. Последнее обстоятельство имеет, по всей вероятности, принципиальное значение; полагают, что именно отсутствие предпосылок для окислительных процессов позволяет жизнеспособным структурам долгое время находиться в состоянии анабиоза. "Можно признать вполне возможным сохранение целостных жизнеспособных структур в нефункционирующем состоянии в течение по крайней мере столетий (а может быть, и тысячелетий) при ... сочетании условий, обеспечивающих более или менее полную изоляцию от внешней среды и тем самым препятствующих выходу из анабиоза и прохождению окислительных процессов под действием кислорода воздуха" (Голдовский, 1986. С. 54).

Наличие предпосылок для сохранения в почве зачатков организмов приводит к их накоплению в ней, в результате чего почва начинает выполнять функцию депо семян и других зачатков. В некоторых исследованиях содержится материал, позволяющий утверждать, что данная функция играет важную роль во многих биоценотических процессах, а ее изучение помогает полнее понять жизнь экосистем суши Земли. Например, такое на первый взгляд странное явление, как быстрое зарастание многих вырубок при отсутствии значительного привноса семян со стороны, становится понятным, если принять во внимание указанную функцию почв. В.В. Петров (1985) показал, что в почвах подмосковных лесов сохраняются в виде запаса семена ряда видов. Причем в исследованных участках леса наблюдалось явное несоответствие между видовым составом растений существующего травянисто-кустарникового яруса и живых семян, содержащихся в почве. Установлено большое влияние человеческой деятельности на формирование почвенного запаса семян. Именно в результате этой многообразной деятельности в лесные почвы заносятся семена самых различных растений, в том числе чуждых естественным древостоям. Значительная часть привнесенных человеком семян остается в почве, формируя ее семенной запас.

Обобщение материалов по сохранению и накоплению семян в почвах лесной зоны В.В. Петровым дано в специальной главе "Банк семян в лесной почве". В заключение изложения вопроса автор делает обоснованный вывод. «Почвенный запас семян в лесу — важный, интересный и еще мало изученный вопрос ... Для наиболее полного опознания "банка семян" в лесной почве нужны обстоятельные дальнейшие исследования. Ими следует охватить все природные районы лесной зоны нашей страны, главнейшие типы леса. Исследователей этого вопроса ждет много интересных открытий» (1985. С. 99, 100). Разделяя данное суждение, отметим, что справедливый призыв автора вполне обоснован не только в отношении лесной зоны нашей страны, но и всех природных зон и почв мира.

Важное проявление почвенной функции сохранения и депо зачатков организмов — наличие в большинстве почв избыточного пула (запаса) микробов, не обеспеченных органическим веществом и другими элементами питания (Звягинцев, 1987), что делает их недеятельными или малодеятельными. Микроорганизмы, образующие пул, хотя и не пребывают в состоянии активного функционирования, в большинстве своем в той или иной степени метаболизируют. "В почве только сравнительно небольшое количество зачатков микроорганизмов находится в состоянии глубокого покоя (эндоспоры бактерий), зачатки других микроорганизмов (споры грибов и актиномицетов) более активно метаболизируют, третьи микроорганизмы находятся в состоянии вегетативных клеток и хотя и очень медленно, но непрерывно метаболизируют" (Звягинцев, 1987. С. 155).

Частичное сохранение физиологической активности организмов микробного пула позволяет им при наличии благоприятных условий, например при поступлении свежего органического вещества, быстро включаться в процессы жизнедеятельности и осуществлять свои поч-

венно-экологические функции. Это оказывается особенно важным, когда почвы формируются в суровых условиях. В таких случаях решающее значение имеют сезонные вспышки активности микроорганизмов в непродолжительные периоды улучшения климатической обстановки (почвы тундры, высокогорий и др.). Не случайно поэтому тундровые и высокогорные почвы, а также таежные почвы мерзлотных районов отличаются значительным запасом дремлющих форм микроорганизмов, характеризуются высоким пулом микробов.

Существенным является и то, что микробный пул оказывается богатым по видовому разнообразию, что весьма важно для успешного функционирования почв и экосистем. "Пул почвенных микроорганизмов отличается не только большой численностью, но и огромным разнообразием. По микробному генофонду почва, вероятно, самый богатый субстрат. Недаром при поисках микроорганизмов — продуцентов определенных ценных веществ (антибиотиков, витаминов, ферментов, аминокислот) в большинстве случаев обращаются к почве как наиболее надежному источнику разнообразных микробов" (Там же. С. 154).

ФУНКЦИИ ПОЧВЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЕЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Сорбция почвенным мелкоземом микроорганизмов

Данной функции долгое время не уделялось должного внимания. Однако специальные исследования (Звягинцев, 1974, 1987; и др.) вскрыли ее исключительно важное значение, поскольку благодаря действию сорбционной функции микроорганизмы защищены от выноса за пределы почвенного профиля. Кроме того, сорбционные свойства почв обеспечивают возможность микроорганизмам концентрироваться в огромных количествах в ограниченном объеме почв.

Учет способности почв к сорбции микроорганизмов помогает полнее понять многие стороны почвообразовательного процесса. С сорбционной функцией связано, по-видимому, заметное увеличение в некоторых подзолистых почвах численности микроорганизмов в средней и нижней частях профиля, обогащенных тонкодисперсным материалом. Рекордное количество микробов в гумусовых горизонтах черноземов также в значительной мере сопряжено с повышенной сорбционной активностью этих горизонтов, отличающихся высокими значениями удельной поверхности.

Наблюдается отчетливая зависимость процесса сорбции от свойств микроорганизмов и особенностей сорбента (Звягинцев, 1974, 1987). Это проявляется, например, в том, что одни микроорганизмы поглощаются интенсивно, другие — в меньшей мере, а третьи вообще не поглощаются определенным сорбентом. Поскольку почва по вещественному составу весьма гетерогенная система, то она представляет собой сложный сорбент с различными свойствами отдельных участков поверхности. В ней практически всегда может сорбироваться хотя бы небольшое количество любого микроорганизма. В связи с этим зависимость сорбции микробов на почве от видовых, штаммовых особенностей и

состояния культуры проявляется слабее, чем в случае простых сорбентов (древесного угля, каолина и др.).

Несмотря на известную "универсальность" сорбционной способности почв по отношению к микроорганизмам, для нее тем не менее характерна отчетливая изменчивость, определяемая прежде всего гранулометрическим, вещественным составом почв, а также их генетическими особенностями. Так, отмечается увеличение сорбции бактерий почвой при утяжелении ее механического состава. Однако данная зависимость не прямо пропорциональна, так как на сорбционные процессы влияют многие факторы.

Сорбция микроорганизмов почвой существенно зависит и от ее минералогического состава, что видно из опытов по взаимодействию почв с отдельными минералами. Опыты показали, что на первом месте по сорбционной способности стоят представители группы монтмориллонита (Звягинцев, 1974).

Сорбция микроорганизмов зависит и от генетических особенностей почв. Так, черноземы больше сорбируют микробных клеток, чем дерново-подзолистые и серые лесные. Обычно больше сорбируют микроорганизмов те почвы, которые обладают более тяжелым механическим составом, большей емкостью поглощения и более высоким содержанием гумуса. О важной роли органического вещества в поглощении микроорганизмов свидетельствуют опыты с прокаливанием образцов мощного чернозема (Звягинцев, 1974): если бактерии Staph. aurens сорбировались на естественной почве более чем на 90%, то на прокаленной — не более чем на 80%. Еще большая разница в сорбции была для клеток Ps. ryosyanea: 60% для естественных и 30% для прокаленных образцов чернозема.

Установлена также определенная зависимость сорбции микроорганизмов от степени их подвижности. Подвижные микроорганизмы слабо сорбируются, что, по-видимому, связано с их способностью противостоять силам адсорбции. Данное положение согласуется с представлениями Т.В. Аристовской о существовании в почве микроорганизмов — обитателей твердой фазы и микроорганизмов — обитателей почвенного раствора. Л.И. Рубенчиком с сотр. высказана интересная мысль о том, что способность сорбироваться — приспособительный признак, выработавшийся у микроорганизмов в процессе их эволюции. Этот вывод сделан на основе данных, показавших, что микроорганизмы, обитающие в воде лиманов, не поглощаются лиманным илом; в то же время микроорганизмы, выделенные непосредственно из ила, сильно им сорбируются.

Следует также отметить, что сорбционной способностью обладают не только живые, но и мертвые клетки микроорганизмов. Убитые нагреванием бактериальные клетки в 90% случаев сохраняют свои сорбционные свойства.

Получен также материал, раскрывающий влияние отдельных факторов на сорбцию микроорганизмов. Установлено сильное влияние величины pH на этот процесс. Выявлено, что существуют значения pH, при которых происходит максимальная сорбция микроорганизмов. При отклонении pH от данных значений как в сторону

увеличения, так и уменьшения сорбция микроорганизмов уменьшается. На границе раздела pH может изменяться на 0,5—0,2 единицы, что, несомненно, существенно влияет на активность адсорбированных микроорганизмов и метаболитов. Формой воздействия адсорбции на процессы, происходящие в почве, оказываются гетерокаталитические эффекты. Так, адсорбенты почвы катализируют восстановление железа, распад сахарозы, антибиотиков и других органических соединений.

Все вышесказанное свидетельствует о многогранности и сложности воздействия адсорбентов и процесса адсорбции на жизнедеятельность и развитие микроорганизмов. В присутствии адсорбента могут изменяться скорость размножения микроорганизмов, морфология клеток, цикл их развития, скорость потребления кислорода, количество и характер образуемых метаболитов и т.д. Конечный эффект действия адсорбентов определяется влиянием на микроорганизмы совокупности факторов, которые изменяются в среде, особенно в микрозонах, при внесении адсорбента (Звягинцев, 1974, 1987).

Сорбция почвой тонкодисперсного вещества

Благодаря огромной активной поверхности, имеющей для различных типов почв значения от нескольких квадратных метров до многих десятков квадратных метров на 1 г мелкозема, почва постоянно выполняет важнейшую функцию сорбента поступающего в почву тонкодисперсного вещества. Основной механизм данной функции почв — адсорбция коллоидами почвы газов, жидкостей, особенно воды, молекул и ионов веществ, поступающих в почву различными путями: из атмосферы, с боковыми и грунтовыми водными потоками, растительным опадом и др.

Имеет место также механическое задержание в порах частиц суспензий и эмульсий и химическое поглощение их почвой при образовании нерастворимых соединений. Выделяют также биологическую поглотительную способность почв — удержание элементов микроорганизмами, корневыми системами и почвообитающими животными. Но это поглощение не является собственно почвенной функцией.

Наибольший интерес представляет адсорбция, размах которой обусловлен громадной активной поверхностью мелкозема многих почв. Поглотительная способность почв, в наибольшей степени зависящая от дисперсности мелкозема, как правило, заметно возрастает при утяжелении механического состава породы. Существенно зависит она и от состава почвенных коллоидов — от соотношения их органических и минеральных компонентов и природы глинистых минералов. Поглотительная способность почв, основы учения о которой были заложены К.К. Гедройцем, имеет исключительное значение в жизни почв и биогеоценозов. Среди положительных эффектов сорбционной функции следует прежде всего назвать удержание почвой в состоянии обменного поглощения элементов питания, поступающих в нее и высвобождающихся в ходе выветривания минералов почвообразующей породы. Существование организмов в ландшафтах гумидного климата

во многих случаях было бы крайне затруднено, если бы питательные соединения немедленно удалялись из почвы выпадающими осадками.

Благодаря сорбционной функции возможна жизнь не только на богатых, но и бедных по составу почвах. Так, В.В. Пономаревой было показано, что произрастание сосновых лесов на кварцевых песках, содержащих более 90% SiO_2, обеспечивается удержанием почвенно-растительным покровом соединений, поступающих с атмосферными осадками и пылью, количество которых значительно. Во многом благодаря сорбционной функции оказывается возможным почти круговой характер естественных биогеохимических циклов элементов в экосистемах Земли По данным В.А. Ковды (1975, 1985б), повторяющееся воспроизводство ненарушенных циклов в природе достигает, по-видимому, 95—98%.

Сорбционная функция оказывает существенное влияние на снабжение растений элементами питания в культурных агроценозах. Это влияние двойственное и характеризуется как положительными, так и негативными эффектами.

К числу положительных эффектов относится прежде всего удержание почвой элементов питания от быстрого вымывания атмосферными осадками. Дж. Кук (1970) считает, например, что закрепление в кислых почвах ("фиксация") фосфора в результате его соединения с железом и алюминием не является только бесполезным расходованием фосфора, как это ранее полагали. Установлено, что фосфорные удобрения не полностью закрепляются, значительная их часть постепенно мобилизуется и может при определенных условиях растворяться и стать доступной растениям.

Положительным проявлением сорбционной функции почв является также удержание элементов питания, вмытых в нижние горизонты. Ветселер (см. Кук, 1970), изучавший накопление нитратов в глубоких горизонтах почв Северной Австралии, установил, что нитраты, вымытые из верхних горизонтов, задерживались в нижних, вплоть до глубины 3 м. Максимальная концентрация нитратного азота отмечалась на глубине 75—120 см. Этот азот не мог быть извлечен неглубоко укореняющимися культурами, но использовался растениями с глубокоидущими корнями (африканское просо и др.).

Но сорбционная функция почв, как уже отмечалось, наряду с положительными может давать и отрицательные эффекты. Так, несмотря на предотвращение чрезмерного вымывания элементов питания из почв благодаря их поглотительной способности, во многих почвенных разностях происходит связывание элементов в малодоступные формы, что значительно снижает эффективность удобрения (Ринькис, 1977; и др.). Почвы могут переводить также значительную часть поступающей в них воды в труднодоступное состояние, создавая мертвый запас влаги. Особенно значительными запасы недоступной влаги бывают в почвах тяжелого механического состава (Судницын, 1979; Самойлова, 1983; и др.). С облегчением механического состава и уменьшением объемной массы запасы доступной растениям влаги возрастают.

В связи с большим значением поглотительной способности почвы в ее функционировании как компонента биогеоценоза важной задачей оказывается выявление оптимального состава почвенного поглощающего комплекса и его регулирование. Полагают, что для большинства растений, возделываемых в СССР, физиологически оптимальное соотношение поглощенных катионов выглядит так: количество обменного кальция должно составлять 60—70% емкости поглощения, обменного магния — 10—15%, калия — 3—5%. Желательно также небольшое количество обменного водорода и ряда других элементов (Ковда, 1973).

Указанное соотношение поглощенных катионов свидетельствует об исключительной физиологической роли кальция в жизни растений. Недостаток доступных для растений соединений кальция обычно приводит к ненормальному их развитию или гибели. Увеличение содержания в поглощенном состоянии таких катионов, как водород (до 30% от емкости поглощения), магний (до 40%), натрий (до 15—20%), также сильно угнетает сельскохозяйственные растения. Особенно отрицательно влияет на питание растений избыточное содержание поглощенного Na.

Среди конкретных способов оптимизации почвенного поглощающего комплекса следует назвать известкование кислых почв, содержащих повышенное количество обменного водорода и алюминия, гипсование солонцовых почв. Благоприятно также действует обогащение почв гумусом: внесение навоза, зеленых удобрений, травосеяние. В песчаных почвах с низкой поглотительной способностью положительные эффекты могут дать внесение глины, сапропелевого ила, торфа, повышенных доз навоза, а также сидерация и длительное травосеяние.

Наиболее плодородные почвы страны — черноземы, пойменные луговые и лугово-дерновые — характеризуются благоприятным составом почвенного поглощающего комплекса и содержат до 70—80% обменного кальция.

При рассмотрении поглотительной способности почв следует обратить особое внимание на то, что проявление сорбционной функции может давать ряд нежелательных явлений в случае загрязнения ландшафтов промышленными отходами, использования сточных вод для полива и ядовитых химикатов для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. Попавшие в почву вредные соединения и элементы могут удерживаться ею многие годы, что способствует включению их в трофическую цепь. Например, ртуть, попавшая на поверхность почвы, вымывается очень медленно (доли процента в год).

Растения и животные нередко страдают от того, что в почву попадают или вносятся соли тяжелых металлов. Токсичность их очень велика, и это одна из причин запрещения применения микроудобрений до выяснения истинной в них потребности. Дж. Кук (1970) обращает внимание на то, что у организмов повреждения могут быть вызваны регулярным использованием таких препаратов, как соли меди, часто применяемые как фунгициды, употреблением в качестве

удобрений городских отбросов или осадка стоячих вод, содержащих тяжелые металлы, в частности цинк.

В опытах установлено, что 1 кг сухого вещества лука-порея, росшего на делянках, удобренных осадком сточных вод (Кук, 1970), содержал гораздо больше цинка и других металлов по сравнению с контролем:

Вариант опыта	Содержание в сухом веществе лука-порея, мг/кг				
	Хром	Медь	Никель	Свинец	Цинк
Без органических удобрений	1,0	6	3	1,4	36
С осадком сточных вод	0,8	16	7	1,9	160

Неблагоприятное влияние городских отбросов и сточных вод на качество урожая сильно затрудняет или делает невозможным их использование в сельском хозяйстве, несмотря на их богатство элементами питания. Необходима разработка специальной технологии по предварительной обработке этих удобрений и конкретным способам их применения. Важным условием решения данной проблемы является установление предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных соединений и элементов в почвах и вносимых в нее указанных удобрений.

Работы в данном плане показывают сложность использования сточных вод в земледелии (Добровольский, Никитин, 1986; и др.). Применение бытовых сточных вод при определенных условиях возможно. Использование же промышленных и смешанных сточных жидкостей проблематично и требует каждый раз конкретного подхода и тщательного выявления допустимых концентраций ингредиентов. Многие виды сточных вод вообще непригодны для полива.

Говоря об источниках загрязнения почвы, следует отметить возросшее значение соединений, попадающих в почву из атмосферы.

В связи с усилением ветровой эрозии и промышленным загрязнением атмосферы аэрозолями в почву попадает изрядное количество пыли, которая может непосредственно оседать на ее поверхности или смываться с произрастающих на ней растений, являющихся эффективными пылеуловителями. Например, установлено, что 1 га пихтового леса в состоянии задержать 32 т частиц пыли, а 1 га букового леса, развивающего общую листовую поверхность в 75 га, может задержать 68 т пыли.

При рассмотрении возможных отрицательных последствий от поглощения почвой попадающих в нее загрязнений следует обратить внимание на проблему радиоактивного загрязнения окружающей среды и почвенного покрова. В обзорах по этой проблеме отмечается, что ее актуальность обусловлена прежде всего развитием атомной промышленности и радиоактивным загрязнением среды (Тихомиров, 1980; и др.).

В случае радиоактивных выпадений из атмосферы часть их задерживается непосредственно на растениях, часть поступает в почву. Интенсивность поступления радионуклидов в растения из почвы обычно меньше, чем при непосредственном загрязнении воздушным путем, что связано с их закреплением мелкоземом. Однако роль почвенного источника радионуклидов может возрастать при многократном

их поступлении на поверхность почвы. В этом случае загрязнение, например, сельскохозяйственной продукции будет пропорционально общему количеству радионуклидов, попавших в почву за все предшествующие годы. Поэтому необходимо исследовать, что происходит с попавшими в почву радиоактивными элементами, а также причины, определяющие их поступление в растения.

Установлено, что накопление растениями радионуклидов существенно зависит от содержания в почвенном растворе элементов биофилов, с которыми радионуклиды находятся в конкурентных отношениях. Так, при увеличении концентрации в почвенном растворе кальция снижается конкурентная способность радионуклидов в ионно-обменной адсорбции на поверхности корней.

В качестве обобщающего показателя, от которого в наибольшей степени зависит переход радионуклидов из почвы в урожай, принимается уровень почвенного плодородия. Чем выше обеспеченность почв элементами питания и чем ближе их соотношение к оптимуму, тем меньше поступает радионуклидов в растения. Это положение подтверждается данными по ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{90}Sr, ^{137}Cs, которые показывают, что эти радионуклиды в наибольших количествах поступают в урожай на бедных почвах (Тихомиров, 1980).

Из конкретных свойств почвы особенно существенное влияние на скорость выноса из нее техногенных радионуклидов оказывают их механический состав и pH. С утяжелением механического состава и уменьшением кислотности радионуклиды удерживаются почвой в течение более продолжительного срока.

Характеризуя проявление почвенной функции сорбента тонкодисперсного вещества, необходимо обратить внимание на то, что поступившие в почву соединения распределяются в ней в соответствии с определенными закономерностями, среди которых важное место занимают хроматографические закономерности, поскольку почва во многом подобна хроматографической колонке. На необходимость изучения почвы с применением новых подходов, в том числе с учетом достижений химии хроматографических процессов, прямо указывала В.В. Пономарева (1964) при рассмотрении проблем генезиса подзолистых почв.

В связи с важностью данного вопроса остановимся на некоторых аспектах изучения почвы и ее сорбционных функций с использованием хроматографического подхода.

Прежде всего возникает необходимость в выделении всех хроматографических зон в почве с целью их изучения. Существующая практика отбора для исследования почвенных образцов по генетическим горизонтами не всегда позволяет выделить в почвенном профиле все зоны аккумуляции мигрирующих соединений, так как для различных элементов эти зоны могут не совпадать.

Известно, что при изучении многих почв генетические горизонты выделяются в первую очередь по изменению окраски. Но, например, в подзолистых почвах окраска определяется главным образом содержанием и формами железа. Следовательно, химический анализ образцов, отобранных по стандартной методике, позволяет выявить

преимущественно динамику железа. Зоны же наибольшей аккумуляции и выноса других элементов могут быть не обнаружены. Более дробный отбор образцов, предлагаемый В.О. Таргульяном с соавт. (1974), Т.А. Соколовой (1980) и др., позволяет избежать потери ценной информации.

В хроматографии накоплено также много ценных для почвоведов данных по механизму разделения на отдельные зоны мигрирующих соединений. Так, установлено, что лучшие результаты по разделению неорганических ионов методом осадочной хроматографии получаются, когда для колонки, через которую пропускались растворы, использовались материалы с величиной зерна 0,1—0,02 мм. В почвах такая размерность частиц широко представлена в случае их формирования на песчаных породах. Поэтому песчаные почвы могут оказаться весьма удобным объектом для выявления еще неизвестных особенностей миграции химических элементов в почвенном профиле.

Знание хроматографических процессов, идущих в почве, весьма важно также для разработки эффективной системы внесения удобрений, поскольку попавшие в почву элементы начинают при наличии осадков перемещаться по почвенному профилю, распределяясь или уходя за его пределы в соответствии с хроматографическими и другими закономерностями.

Одна из причин длительного сохранения загрязненности многих почв — наличие мощных сил адсорбции, прочно удерживающих многие элементы в составе почвенного поглощающего комплекса. Опасность заключается также и в том, что в результате хроматографического распределения попавших в почву загрязнителей последние могут попадать в различные горизонты, образуя несколько зон загрязнения. Поэтому при решении вопроса о степени загрязненности почвы необходимо проводить исследование на всю ее глубину, а не только анализировать верхний слой, как это нередко делается.

Почва — источник питательных элементов и соединений

Данная функция относится к числу наиболее важных и хорошо исследованных. Ее изучению посвящены многочисленные работы, проводившиеся в основном в рамках агрохимических программ. Подробный анализ рассматриваемого вопроса был осуществлен нами ранее (Добровольский, Никитин, 1986), поэтому здесь будут изложены лишь его основные положения.

Необходимо отметить решающую роль питательных элементов почвы, находящихся в растворенном или обменном состоянии в виде ионов, в непосредственном создании биологической продукции. Именно они поглощаются растениями, являющимися исходным звеном в трофических цепях. Прямое же использование достаточно сложных химических соединений для растительных организмов обычно несущественно, хотя в стерильных культурах и наблюдалось усвоение азота аспарагина, ряда аминокислот, а также поступление через корни антибиотиков.

Таблица 33

Среднее содержание элементов в почвах и растениях, мг на 1 кг сухой массы (Ринькис, 1972)

Элемент	В почвах		В растениях
	валовое содержание	растворимое в 1 н. HCl	
Азот	100	60	30 000
Фосфор	800	450	7000
Калий	13 600	1300	30 000
Магний	6000	1400	7000
Кальций	13 700	10 400	30 000
Железо	38 000	1200	200
Медь	15	7	7
Цинк	40	9	20
Марганец	400	250	30
Кобальт	5	2,3	0,15
Молибден	1,5	0,1	1
Бор	15	1,8	3

Подавляющая часть растений одновременно обитает в двух средах: в почве и нижнем слое атмосферы. В связи с этим для них характерны два типа питания — воздушный и почвенный. Атмосфера является главным поставщиком углерода и кислорода. Основным же источником других элементов и влаги оказывается почва, несмотря на то, что частично элементы зольного и азотного питания могут поступать через листья: например, аммиак и окислы серы — из воздуха, соли — из дождевой воды.

Из почвы, помимо воды, растения получают различные минеральные вещества: азот (аммонийный и нитратный ионы), фосфор (моно- и дифосфаты), калий, кальций, магний, серу, железо, марганец, медь, молибден , бор, цинк и др.

Для понимания сущности процесса почвенного питания растений необходимо прежде всего учитывать то, что большинство растительных организмов предъявляют определенные требования к доступным пищевым ресурсам почвы. В результате в естественных экосистемах в ходе длительной эволюции произошла взаимная подгонка почв и поселяющихся на них фитоценозов в целях оптимизации миграции вещества. Как правило, иная картина наблюдается при выращивании большей части сельскохозяйственных культур.

Отчуждение с урожаем значительной или большей доли биомассы, а также возделывание многих растений на почвах, где они изначально не произрастали, ведут к тому, что пахотные земли при отсутствии специальных агротехнических приемов по поддержанию их плодородия перестают справляться со снабжением посевов необходимыми элементами. Поэтому для эффективного использования сельскохозяйственных угодий необходимы постоянное регулирование почвенного плодородия и оптимизация минерального питания растений. Фундаментальные агрохимические исследований Д.Н. Прянишникова, А.В. Соко-

лова, А.В. Петербургского, Н.С. Авдонина, Я.Ф. Пейве, Э. Рассела, В.Г. Минеева и др. показывают, что для этого следует в первую очередь поддерживать в почве достаточное количество всех основных элементов питания в доступных для усвоения формах. Однако во многих случаях это не соблюдается. Часто культурные растения, отличающиеся специфическими требованиями к почвенно-климатическим условиям, выращиваются на землях, которые по водному и пищевому режимам близки к неокультуренным целинным. При этом может наблюдаться явное несоответствие между доступным фондом элементов питания почвы и теми их количествами, которые необходимы для полноценного развития посевов.

По среднему содержанию макро- и микроэлементов в основных типах почв и в выращиваемых на них растениях (табл. 33) можно наглядно убедиться в отсутствии химической "гармонии" между почвами и полевыми культурами (Ринькис, 1972). Так, в почвах концентрация азота (растворимых, а не валовых количеств) ниже почти в 500 раз, чем в культурных растениях, фосфора и калия — приблизительно в 20 раз. В отношении других элементов наблюдается уже иная картина: концентрация магния и кальция в почвах ниже, чем в растениях, в среднем в 3—4 раза, а железо — выше в 6 раз. Неравнозначно соотношение и микроэлементов. Концентрация цинка, молибдена и бора в почвах в среднем ниже, чем в растениях, марганца же и кобальта — выше.

Явное несоответствие в содержании многих биофильных элементов в почвах и полевых культурах особенно наглядно обнаруживается при сравнении пределов колебаний элементов в почвах и полевых растениях. Материалы табл. 34 свидетельствуют о большой пестроте содержания элеметов в почвах. Например, как по валовым, так и растворимым количествам кальция, магния, железа, меди, марганца одни почвы могут быть богаче других в сотни и тысячи раз. Пределы же колебания в содержании кальция, магния, железа, меди и марганца в культурных растениях значительно меньше, чем в почвах: они изменяются лишь в 10—30 раз. Это свидетельствует о том, что почвы как источник элементов питания оказываются очень неравнозначными. В связи с этим возникает необходимость оптимизации пищевого, а также водного и теплового режимов практически всех почвенных разностей с учетом их конкретных особенностей.

Одна из первоочередных задач оптимизации питания растений заключается в значительном увеличении содержания дефицитных элементов в почвах — прежде всего азота, фосфора, калия. Кроме того, почвы нередко нуждаются в увеличении в них доступных форм кальция, магния, серы, ряда микроэлементов. В то же время возникает необходимость в снижении содержания подвижных форм тех элементов, которые обладают отрицательным действием в случае высокой концентрации (H, Al, Cl, некоторые микроэлементы).

При современном уровне развития производства сырья для удобрений в ряде стран с развитым сельским хозяйством эта проблема уже решена. Однако задачи оптимизации функции почвы как источника элементов питания не исчерпываются устранением дефицита необ-

Таблица 34

Пределы колебаний содержания элементов в почвах СССР (Риньkис, 1972)

Показатель	Ca	Mg	Fe	Cu
	г/кг			
Валовое содержание	0,1—131,2	0,5—30	1,4—37,5	1,9—120
Растворимое в 1 н. HCl (1:10)	0,10—86	0,12—12,5	0,06—8,0	1,0—59,1

Показатель	Zn	Mn	Co	Mo
	мг/кг			
Валовое содержание	16—111	100—2200	0,9—37,5	0,3—4,5
Растворимое в 1 н. HCl (1:10)	1,6—31,8	24—840	0,04—8,2	0—0,72

ходимых питательных веществ и ликвидацией токсических концентраций некоторых элементов. Не менее важным оказывается создание благоприятных условий поступления необходимых элементов в организм растения. Установлено, что наиболее легкое и полное усвоение растениями элементов питания происходит тогда, когда их поглощение корнями идет непосредственно из свободных водных растворов, в которых они находятся в растворенном подвижном состоянии. Но в естественных условиях основная часть элементов, попавших в почвенный раствор из удобрений, как правило, адсорбируется на поверхности частиц мелкозема и становится значительно менее подвижной и доступной. В опытах З.И. Журбицкого показано, что при выращивании растений на песчаном субстрате поступление в них элементов питания снижается в несколько раз по сравнению с их поглощением из чистых водных растворов.

Осложняется и поступление в растения ряда элементов в случае значительных изменений pH почвы. Так, по данным Г.Я. Риньkиса (1972), при сильном снижении кислотности в условиях опыта происходило заметное уменьшение поглощения растениями марганца, кобальта и цинка, в меньшей мере — калия и магния. Однако на поглощение растениями азота изменение кислотности субстрата существенно не влияло. С повышением pH субстрата содержание кальция и молибдена в растениях увеличивается. Ряд уменьшения влияния возрастающей величины pH субстрата на поглощение элементов растениями выглядит так:

$$Mn > Co > Zn > Cu > P > Fe > B > Mg > K > N > Mo.$$

Имеются также данные о связывании ряда элементов питания органическим веществом, которое может снижать их поступление в растения. В опытах отмечено заметное уменьшение поглощения растениями фосфора, кальция, магния, меди, цинка, марганца, кобальта, молиб-

дена, бора в случае увеличения содержания гидроксидов железа и алюминия в субстрате. Причем такое уменьшение происходило как при нейтральной и щелочной реакциях субстрата (pH 7,0—8,4), так и при среднекислой (pH 4,8—6,2).

Оценивания общее значение факторов, которые могут ограничить поступление питательных веществ в растения, необходимо подчеркнуть, что их действие заключается не только в ослаблении потока элементов в системе почва—растительные организмы. Положительная роль в формировании урожая органического вещества и тонкодисперсного материала почвы общеизвестна, однако и в отношении этих компонентов необходимо учитывать все возможные формы их воздействия на доступность растениям элементов питания.

Кроме того, приходится обращать постоянное внимание на то, что на одно и то же воздействие разные компоненты почвы и разные растения могут реагировать неодинаковым образом. Так, еще Д.А. Сабинин отмечал, что подкисление среды, окружающей корни, приводит к увеличению поглощения в основном анионов и снижению доступности катионов, а подщелачивание может стимулировать поступление катионов и ограничивать поток анионов.

Важным фактором оптимального питания растений оказывается также благоприятное соотношение доступных элементов в почве. Многочисленными исследованиями установлена тесная взаимосвязь между концентрациями элементов в почве и их количествами, поступающими в растения. Яркий пример взаимодействия элементов при их поступлении в растения — снижение содержания молибдена в кормовых культурах, накапливающегося нередко в токсических для животных дозах, путем применения медных удобрений.

Взаимодействие элементов в процессе минерального питания, обусловливаемое как физико-химическими, так и биологическими явлениями, может идти по типу антагонизма или синергизма. Антагонизм имеет место, когда увеличение концентрации одного элемента тормозит поступление другого. Если же увеличение концентрации одного элемента способствует накоплению другого элемента в растении, то такое явление называется синергизмом.

Между парами элементов как в случае антагонизма, так и синергизма могут существовать не только односторонние, но и двусторонние влияния. Поэтому можно предполагать, что они имеют место практически между любой парой элементов и определяются в основном их концентрацией.

В заключение характеристики важнейшей почвенной функции источника элементов питания необходимо подчеркнуть, что эта функция исключительно динамична и ее успешная реализация в естественных экосистемах и особенно агроценозах зависит от многих факторов. Поэтому в ходе решения практических задач оптимизации почвенного питания растений особое значение приобретает принцип дифференцированного и полнокомплексного динамического подхода при осуществлении мероприятий по повышению и улучшению качества биологической продуктивности угодий.

Функция депо элементов питания, энергии и влаги

Сущность этой функции состоит в том, что почва имеет резерв названных компонентов, который используется организмами при израсходовании наиболее легкодоступных запасов. Почвенное депо образуют соединения, законсервированные в аморфных, кристаллических формах и скоагулированных гумусовых кислотах, подвижные соединения и влага, находящиеся в глубоких горизонтах, и др.

Наличие депо обеспечивает существование организмов, несмотря на периодически возникающие перерывы в поступлении в почву влаги, растительного опада, удобрений. Это — залог устойчивости почвенного плодородия и поддержания необходимых условий существования живых организмов. В случае, когда почвенное депо невелико, в снабжении организмов часто наступают сильные перебои. На таких почвах могут существовать в основном виды, приспособленные к резким колебаниям гидротермического и пищевого режимов. Примером почв со слаборазвитым депо являются таежные почвы, сформировавшиеся на однородных кварцевых песках, на которых произрастает неприхотливая сосна обыкновенная.

В случае хорошо выраженного депо можно выращивать урожаи, не внося полные дозы удобрений. В Англии на почвах Ротамстедской опытной станции культивировалась пшеница, под которую в течение более ста лет не вносились ни органические, ни минеральные удобрения. Урожай составил примерно 14 ц/га (Кук, 1970). Это показывает, что, несмотря на значительные возможности функции депо, получение высоких урожаев только за счет почвенных пищевых резервов ограничено. Однако как в естественных экосистемах, так и агроценозах почвенное депо продолжает играть важную роль буфера, помогающего устранять перебои в снабжении элементами питания и влагой при исчерпании наиболее доступных запасов. Обращая на это внимание, Дж. Кук отмечает, что если в почве нет достаточного пищевого запаса, то культуры полностью зависят от насыщенности поглощающего комплекса элементами питания, который для получения стабильных урожаев должен регулярно пополняться внесением удобрений, поскольку некоторые обменные катионы, например калий, могут быть почти полностью удалены с одним большим урожаем.

Различия почв по запасам элементов питания очень велики. По данным Г.Я. Ринькиса (1972), почвы СССР по валовому содержанию азота различаются в 12 раз, калия — в 11, фосфора — в 176, кальция — в 1310 раз. Различия почв по запасам гумуса могут изменяться в десятки раз (Дмитриев, 1983).

Отмечая важную роль почвенного пищевого депо, необходимо подчеркнуть и тесную зависимость почвенного плодородия от эффективности механизмов перевода потенциально доступных элементов питания в легкоусвояемую форму. Дж. Кук пишет (1970), что большие запасы органически связанного азота в почве не представляют ценности, пока этот азот не будет переведен в минеральную ионную форму. Как показали исследования А.П. Щербакова с соавт. (1983),

такой перевод необязательно идет более успешно в почвах с высоким валовым содержанием азота. Им отмечена тенденция увеличения (в пределах центра Европейской территории СССР) подвижности азотного фонда в направлении от степных черноземов к серым лесным почвам.

Функция стимулятора и ингибитора биохимических и других процессов

Данная функция почвы обусловлена прежде всего тем, что в почву поступают разнообразные продукты метаболизма растений, микробов, животных: аминокислоты, белки, витамины, спирты и др., которые могут стимулировать или угнетать жизнедеятельность живых организмов. К настоящему времени накоплен значительный материал по взаимному влиянию живых организмов посредством поступающих в почвенную и воздушную части биогеоценоза метаболитов.

Рассматриваемая проблема по отношению к почвенной экологии имеет несколько аспектов, среди которых к числу наиболее важных относится выявление вклада почвенных биохимических взаимовлияний в общую динамику экосистем и формирование биологической продукции. Практика показывает, что в ряде случаев существенные стороны жизни наземных биоценозов контролируются данной функцией почв.

В качестве примера можно привести почвоутомление, когда почвы снижают свою производительную способность, несмотря на достаточное количество в них элементов питания и благоприятные климатические условия. Обычно это происходит на пахотных землях при монокультуре. Почвоутомление может быть вызвано развитием специфических патогенных микроорганизмов, паразитирующих на определенных видах растений, увеличением засоренности посевов сорняками и ухудшением водно-воздушного режима почвы. Нередко отмечается угнетение растений под действием корневых выделений. Явления самоугнетения отмечены у костра безостого, гваюлы и др. (Иванов, 1973). Угнетение одного вида другим неоднократно наблюдалось у лесных насаждений. Так, выявлено отрицательное биохимическое влияние на дуб ясеня, вяза, осины, сосны (Колесниченко, 1976).

Выделения определенных растений могут влиять на развитие других растительных организмов не только отрицательно, но и положительно (табл. 35). Так, при исследовании взаимоотношений древесных пород установлено положительное влияние на дуб выделений липы мелколистной и клена остролистного. Отмечено также положительное биохимическое взаимовлияние сосны и лиственницы.

Часто наблюдается и безразличное отношение растений как к собственным, так и чужим корневым выделениям. Например, конопля, картофель, пшеница, ячмень, кукуруза не проявляют признаков самоотравления через корневые выделения (Иванов, 1973). Индифферентны к выделениям друг друга дуб и ель (Колесниченко, 1976).

Говоря о конкретных проявлениях почвенной функции стимуля-

Таблица 35

Отклонение ряда показателей жизнедеятельности растений при воздействии почвенных фитонцидов, % от нормы (Колесниченко, 1976)

Доноры фитонцидов	Растение-акцептор	Фотосинтез	Накопление P^{32}	Рост стволика	
				по высоте	по диаметру
Липа	Дуб	+42	+38	+11	+33
Клен	Дуб	+23	+20	+21	+33
Дуб	Липа	+38	+40	+33	+36
Дуб	Клен	+36	+188	+29	+60

тора и ингибитора в связи с выделениями растений, необходимо отметить сложность установления ее конкретного результирующего действия. Это обусловлено несколькими причинами. Одна из них — возможность противоположно направленных влияний воздушных и почвенных выделений, которые, в частности, обнаружены у дуба и березы бородавчатой. Воздушные фитонциды березы действуют положительно, а почвенные — отрицательно. Другой важный фактор, который необходимо постоянно учитывать, — зависимость действия выделений живых организмов от их концентрации. Так, малые концентрации выделений дуба оказывают положительное влияние на сосну, а большие — отрицательное. Аналогичная картина наблюдается и у сосны и березы (Колесниченко, 1976).

Таким образом, косвенная оценка рассматриваемой функции почв по отношению к конкретному растению только на основании учета особенностей видового состава биоценоза далеко не всегда возможна. Поэтому все большее значение приобретает прямое определение биологически активных соединений непосредственно самой почвы.

Трудности диагностики активаторно-ингибиторных особенностей почв по отношению к тому или иному виду растения обусловлены также эффектами взаимодействия и изменчивости других биогеоценотических функций почвы. Так, лучший рост сосны с небольшой примесью березы может быть связан не только с тем, что выделения березы в небольших концентрациях положительно влияют на сосну, но и с обогащением почвы листовым опадом березы, т.е. усилением почвенной функции источника элементов питания.

Рассматриваемая функция почвы также тесно зависит от выделений микроорганизмов, которые оказывают большое влияние на питание растений (Красильников, 1958). Существуют микробы-антагонисты, подавляющие рост чуждых им микроорганизмов путем выделения веществ типа антибиотиков.

В связи с тем что микроорганизмы образуют сообщества в ризосфере растений, суммарный результат (активация или ингибирование жизнедеятельности растений) будет зависеть не только от особенностей фитоценоза, но и видового состава микробоценоза.

Говоря о механизмах биохимического взаимовлияния живых ор-

ганизмов в почве, следует отметить их многоплановость. Можно вычленить рассмотренное выше непосредственное действие самих продуктов выделения и опосредованное влияние метаболитов через их воздействие на доступность элементов питания и изменение pH почвы.

Примером влияния метаболитов на пищевой режим почвы может служить усвоение элементов питания из нерастворимых органических веществ под действием внеклеточных ферментов растений и микроорганизмов. Известно также, что корни растений выделяют ряд органических кислот (яблочную, щавелевую, янтарную и др.), с помощью которых происходит растворение и усвоение ряда минеральных соединений из почвы (Колесниченко, 1976).

Изменение pH почвенных растворов под действием выделений живых организмов установлено давно. Хорошо известно подкисляющее влияние корневых систем хвойных пород. Например, в зоне распространения корней сосны концентрация водородных ионов выше (на 0,2—0,4, а иногда 0,5—0,8), чем за ее пределами (Ковда, 1973). Влияние на pH почвы оказывается важным фактором взаимодействия живых организмов, поскольку оптимальное развитие многих из них может осуществляться в достаточно узком диапазоне pH.

Активаторно-ингибиторная функция тесно зависит не только от характера метаболитов живых организмов, поступающих в почву, но и от динамики других ее компонентов. Так, большое значение имеет изменчивость влажности почвы, существенно влияющей на динамику метаболитов, поступающих в нее. Установлено, что обмен корневыми выделениями происходит в широком диапазоне почвенной влажности — от 25 до 90% полной влагоемкости. Однако интенсивный обмен корневыми выделениями и их активное биохимическое взаимовлияние наблюдаются при влажности около 70%. Уменьшение или увеличение влажности почвы по сравнению с оптимальными значениями вызывает торможение поглотительной деятельности корневых систем и резкое снижение обмена корневыми выделениями.

Одним из практических следствий изучения изменчивости активаторно-ингибиторной почвенной функции является учет полученных данных для оптимизации структуры посевов. Обращается внимание на перспективность специальных смешанных посевов и посадок с повышенным коэффициентом использования почвенного плодородия благодаря подбору видов с положительным взаимовлиянием и учету изменчивости сезонных и суточных ритмов корневых выделений. В таких посевах вещества, выделяемые корнями одного вида, могут поглощаться корнями другого вида с противоположно направленным ритмом поглотительно-выделительной деятельности и тем самым препятствовать вымыванию из почвы соединений, поступающих из корневых систем.

Эти соединения могут служить дополнительным источником элементов питания и выполнять роль активатора биохимических процессов в почве.

М.В. Колесниченко (1976) приводит факты снижения продуктивности чистых культур ели и сосны в Европе при выращивании 2—3 поколений в течение 200—300 лет. В лесах нашего Севера за 2—3 поко-

ления чистых ельников бонитет их упал со II—III до IV—V класса. Одна из причин данного явления, по-видимому, почвоутомление в одновидовых лесах в связи с неблагоприятным биохимическим взаимовлиянием растений. В качестве одной из мер М.В. Колесниченко предлагает специально подобранные смешанные посадки, консортивные связи и более богатый видовой состав которых препятствуют развитию почвоутомления.

Учет динамики активаторно-ингибиторной функции почв нередко позволяет более объективно оценить причины происходящих изменений в биоценозе, поскольку они контролируются не только конкурентными отношениями видов, но и их биохимическими взаимовлияниями через посредство поступающих в почву продуктов метаболизма.

В последнее десятилетие интерес к биохимическому взаимодействию живых организмов сильно обострился. Этому во многом способствовало развитие работ по аллелопатии — взаимодействию растений посредством продуктов метаболизма (Гродзинский, 1965; Иванов, 1973; Тамбиев, 1984; и др.). Характерно расширение понятий о взаимовлиянии организмов друг на друга, что способствовало обособлению особой пограничной науки, формирующейся на стыке экологии, химии и биохимии, которую все чаще именуют биохимической экологией, но иногда называют химической экологией. Так, М. Барбье считает: "Живые организмы, принадлежащие к растительному и животному царству, влияют на свое окружение путем взаимно перекрещивающегося действия различных молекул. Эти взаимодействия могут происходить между животными, между растениями, между животными и растениями или между растениями и животными. Добавим еще к этому воздействие неживой природы на животных и растения. Изучение таких взаимодействий, а также химических веществ, при посредстве которых они осуществляются, и составляет предмет химической экологии (цит. по: Остроумов, 1986. С. 21).

Следует, однако, обратить внимание на недостаточную изученность среди проблем химической (биохимической) экологии роли почвенного звена в цепи биохимических взаимодействий наземных живых организмов, осуществляемых в значительной мере при участии почвенной среды. В то же время все большее число исследований подтверждают несомненное влияние самой почвы на результаты взаимодействия растений и усиление или ослабление их жизнедеятельности. Данное влияние осуществляется в двух основных формах — в виде прямого и косвенного воздействия. Прямое воздействие обусловлено тем, что органическое вещество почвы, а также определенные ее неорганические и органо-минеральные соединения обладают активирующей или ингибирующей функцией (табл. 36) по отношению к связанным с почвой организмам (Гродзинский, 1965; Карпачевский, 1981; Алиев, 1988; и др.).

Особенно ярко выраженной биохимической активностью обладают гумусовые вещества почвы, механизм действия которых, по мнению А.М. Гродзинского, во многом подобен действию сложных смесей аллелопатически активных веществ, выделяемых растениями и микроорганизмами. Наблюдается двустороннее влияние гумусовых веществ —

Таблица 36

Влияние гуминовых кислот, выделенных из каштановой и желтоземной почв, на рост и развитие огурцов сорта Майский при корневом внесении (Алиев, 1988)

Почва	Вариант опыта	Высота растений, см	Площадь листовой поверхности, см^2	Корни	
				длина, см	объем корневой поверхности, см^3
Каштановая	Фон (питательный раствор)	13,9	108	13,2	4,0
	Фон + ГК 0,001%-ная	22,8	394	17,8	4,3
	Фон + ГК 0,0001%-ная	29,4	449	33,4	7,6
	Фон + ГК$_а$* 0,001%-ная	27,1	463	37,6	7,8
	Фон + ГК$_а$ 0,0001%-ная	39,5	559	48,2	8,0
Желтоземная	Фон + ГК 0,001%-ная	19,1	306	48,6	0,3
	Фон + ГК 0,0001%-ная	40,2	624	74,3	11,0
	Фон + ГК$_а$ 0,001%-ная	26,9	443	56,4	8,0
	Фон + ГК$_а$ 0,0001%-ная	46,5	861	85,5	13,0

*Гуминовая кислота активизированная.

стимулирующее и сдерживающее в зависимости от конкретных свойств почв и особенностей вида. Существенно также то, что в почве могут накапливаться биологически активные вещества, в частности фитонциды (колины). "Наиболее важным местом накопления колинов в среде фитоценоза является почва, потому что атмосфера подвержена очень быстрым сменам; водная среда наземных ценозов по существу неотделима от почвы" (1965. С. 104).

Косвенное влияние почвы на биохимическое взаимодействие организмов посредством экзометаболитов проявляется прежде всего в том, что эти метаболиты, поступив в почвенную среду, ею существенно преобразуются. На данное обстоятельство совершенно справедливо обратил внимание С.А. Остроумов, отметив в этой связи сложность перенесения лабораторных результатов аллелопатических исследований на естественные экосистемы: "Необходимо заранее подчеркнуть, что результаты лабораторных опытов по изучению ингибирующего воздействия смывов и экстрактов растений на другие виды нельзя прямо переносить на природные экосистемы. В естественных биогеоценозах аллелопатические вещества могут адсорбироваться на почвенных коллоидах или подвергаться биотрансформации с участием микроорганизмов и ферментов, что затрудняет использование результатов лабораторных опытов и их прямое приложение к природным экологическим процессам" (1986. С. 34).

Таким образом, всестороннее изучение вклада почвы в биохимическое взаимодействие организмов (почвенная биохимическая экология) оказывается еще одной актуальной проблемой экологического почвоведения. К сожалению, работ в данном направлении проводится недостаточно.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВЫ

В последнее десятилетие при рассмотрении природных процессов и явлений все чаще используется понятие "информация", ставшее универсальной категорией наряду с такими фундаментальными понятиями, как вещество и энергия. Применительно к почве, являющейся сложноорганизованной эволюционирующей системой, употребление данной категории вполне оправданно и позволяет по-новому рассмотреть и интерпретировать уже известные факты и наблюдения.

С позиций информационного подхода почва может рассматриваться как "память" биогеоценоза (экосистемы, ландшафта); фактор регуляции численности, состава и структуры биоценоза; сигнал для сезонных и других биологических процессов; пусковой механизм некоторых сукцессий.

"Память" биогеоценоза (ландшафта)

По существу, данная функция почвы была указана В.В. Докучаевым в его знаменитом афористическом высказывании о почве как зеркале природы, предполагающем отражение в свойствах особенностей факторов почвообразования как в современном, так и историческом аспектах. В дальнейшем высказывание В.В. Докучаева было конкретизировано и почву стали называть зеркалом ландшафта. Д.Л. Армандом почва уже именуется не только зеркалом, но и памятью ландшафта.

Д.И. Берман и С.С. Трофимов (1974) рассматривают почву как память, в которой зафиксирована программа возможностей функционирования связанных с почвой биоценозов, так как процессы и свойства почвы представляют, по их мнению, механизм, возникший в результате адаптации биоценозов к окружающей среде.

Интересна концепция В.О. Таргульяна и И.А. Соколова (1976) о двуединой природе почвы, согласно которой почвенное тело состоит из почвы-памяти — комплекса устойчивых свойств и признаков, возникающих в ходе всей истории ее развития, и почвы-момента — совокупности наиболее изменчивых процессов и свойств почвы в момент наблюдения. Авторы отмечают, что из всех компонентов ландшафта (биогеоценоза, экосистемы) почва обладает наиболее выраженной способностью к отражению факторов географической среды и записывает, хранит в генетическом профиле наибольшее количество информации. Эта способность связана прежде всего с двуединой природой почвы. Благодаря почве-памяти происходит накопление и хранение информации о длительных отрезках развития географической среды. С помощью же почвы-момента происходит быстрое отражение сиюминутных изменений этой среды. В.О. Таргульян и И.А. Соколов обращают внимание на то, что "почвенная память" ландшафта существенно отличается от биологической ("генной памяти") биоценоза. Это связано прежде всего с тем, что почва полностью зависит от условий среды и в отличие от живых организмов не может "мигрировать вслед за факторами среды".

В концепции почвы-памяти и почвы-момента важное место занимают вопросы скорости, полноты отражения профилем изменения ландшафтов. Различные свойства и компоненты почвы отражают факторы и процессы почвообразования с разной скоростью. Поэтому удобно пользоваться понятием "характерное время" (Таргульян, Соколов, 1976). Под характерным временем какого-либо природного объекта или его отдельных компонентов понимается время, которое необходимо для того, чтобы данный объект и его составляющие, развивающиеся под влиянием определенных факторов среды, пришли в равновесие с этими факторами.

Характерное время почвенного профиля в целом иное, чем у отдельных его компонентов. Так, на образование зрелого почвенного профиля требуются сотни, тысячи и десятки тысяч лет, в то время как характерное время у отдельных составляющих почвы оказывается намного меньше. Например, у влажности, температуры оно может составлять часы, сутки; у почвенных растворов — сутки, месяцы; у почвенного поглощающего комплекса — месяцы, годы; у горизонтов Ао и солевых — годы, десятки лет и т.д.

В.О. Таргульян и И.А. Соколов (1976) обращают внимание на то, что, с одной стороны, почва отражает среду, "записывая, запоминая, кодируя" в генетическом профиле информацию о факторах почвообразования; с другой стороны, почва, отражая среду, стремится превратиться в продукт, равновесный с данной комбинацией факторов почвообразования. В ходе этого максимально полное отражение среды почвой наступает тогда, когда все почвенные свойства реализовали свои характерные времена (полный климакс почв[1]); при этом под полнотой отражения среды почвой понимается степень приближения почвы к полному климаксному состоянию.

Следует отметить, что приобретение почвой новой информации нередко сопровождается потерей уже имеющейся. Например, в позднеплейстоцен-голоценовое время на Русской и Западно-Сибирской равнинах происходила неоднократная смена природных условий, обусловившая формирование сложных полигенетических профилей с богатой информацией о различных стадиях развития природного комплекса. Однако в результате трансформации почв в соответствии с изменившимися условиями среды многие профили стали утрачивать часть информации. Наиболее ярким примером может служить деградация реликтовых гумусовых горизонтов в почвах юга лесной зоны, особенно в пределах Русской равнины.

Такие периодические преобразования генетического профиля приводят не только к определенной утрате имеющейся информации, но и затрудняют ее расшифровку. Поэтому почва не является адекватным отражением факторов и процессов почвообразования, а расшифровка накопленной информации оказывается весьма сложной процедурой, которую, по образному выражению В.О. Таргульяна и И.А. Соколова, "можно сравнить с чтением книги, в которой на одних и

[1] В реальных условиях полный климакс почвы маловероятен (Таргульян, Соколов, 1976).

тех же страницах писали многие авторы, каждый писал о своем, но все они дополняли, исправляли и частично зачеркивали друг друга; страницы этой книги перепутаны, а часть их утеряна" (1976. С. 26). Сложность расшифровки информации, содержащейся в почвенном профиле, сильно осложняется тем, что законы ее наложения, усиления и стирания исследованы пока явно недостаточно.

Особый аспект проявления функции почвы как "памяти" ландшафта связан с сохранением в древних почвах информации давней эволюции природной среды. На важность данного аспекта обратил внимание Джеррард, указавший на стратиграфическое значение почв. В ряде работ показана перспективность палеогеографической реконструкции на основе изучения реликтовых педогенных образований и ископаемых почв (Добровольский и др., 1981; Гаджиев, 1982; Дергачева, 1987; Иванов, 1983, 1988; и др.).

Особенно информативным оказывается система гумусовых веществ ископаемых почв, характер которой мало изменяется со временем благодаря изоляции погребенных почв от значительных гипергенных преобразований. М.И. Дергачевой (1987) было показано, что, несмотря на значительное (в 5—10 раз) уменьшение со временем общего содержания углерода, соотношение компонентов гумуса и свойства гуминовых кислот ископаемых почв изменяются незначительно и качественный состав органического вещества зависит не столько от времени, прошедшего после захоронения, сколько от генетической сущности погребенных почв и их гумуса. Автор приходит к выводу о перспективности диагностики древнего почвообразования и палеогеографических реконструкций по почвенному органическому веществу. "Всесторонние исследования состава и свойств гумуса и его отдельных компонентов в ископаемых почвах, сохранность их в пределах, свойственных, очевидно, периоду формирования почв, позволяют предложить самостоятельный метод диагностики древних почв и палеореконструкций, основанный на глубоком познании генетической сущности гумуса почв" (1987. С. 27).

Регуляция численности, состава и структуры биоценозов

Сформировавшись как многокомпонентные сложноорганизованные системы в течение длительных отрезков времени,большинство почв оказывает активное влияние на формирование состава и структуры современных наземных биоценозов. Одна из важных форм этого влияния — воздействие почвенных факторов на конкретную консортивную структуру биоценозов. Многими исследователями показано, что в консортивных связях различных организмов примат принадлежит в целом высшим растениям. Пространственное же распределение этих растений, особенно их корневых систем, в значительной мере определяется реальной динамикой свойств и режимов почвы.

Показано, что в пределах любого типа биоценоза с корнями каждого вида растений связаны специфические комплексы почвообитающих организмов: грибы микоризы, ризосферные бактерии, фито-

фаги — нематоды, насекомые и др. Эта приуроченность к корневым системам почвенных организмов особенно ярко проявляется в аридных условиях, где корни локализуются на участках почвы с наибольшим содержанием влаги. В результате во многих случаях резко проявляется неоднородность распространения почвообитающих животных, причем не только мелких, но и крупных. Интересно отметить, что в моховой тундре, где почвы характеризуются иным гидротермическим режимом, имеет место обратная зависимость: гуще заселены участки между подушками мха (Гиляров, 1968).

Отмечается также связь расселения почвенных беспозвоночных с отдельными свойствами почвы. Было показано, что дифференциация хилопод, пауков, дождевых червей зависит от массы подстилки; проволочников, моллюсков — от pH почвы и т.д.

Влияние почвы на состав биоценозов известно давно. Важной формой его проявления оказывается воздействие почвы на развитие попадающих в нее семян. Из массы семян, как правило, прорастает лишь небольшая часть, что в значительной мере зависит от водно-воздушного, температурного и пищевого режимов почвы, pH, содержания и соотношения в ней метаболитов.

В связи с широким освоением земель и внесением в них удобрений многие почвы претерпевают существенные изменения, что в той или иной форме сказывается на рассматриваемой функции. Примером может служить развитие термофильных микроорганизмов в ряде окультуренных почв северных широт (Мишустин и др., 1979). Известно, что термофилы не свойственны объектам внешней среды, за исключением субстратов с высокой температурой. Поэтому целинные земли отличаются обычно весьма малым их содержанием (в них термофилы сохраняются в латентном состоянии или размножаются весьма слабо). Однако при внесении разогревающегося навоза или компостов в почвах может наблюдаться повышенное содержание данных микроорганизмов. Причем нередко отмечаются парадоксальные факты большей обсемененности термофилами сильноокультуренных почв на севере, чем на юге, что связано с внесением повышенных доз навоза в северные малоплодородные земли.

Способность почвы оказывать регулирующее воздействие на состав и структуру биоценозов приобретает все большее значение при решении практических задач восстановления нарушенного растительного покрова уничтоженных биоценозов. Очевидно, что на почвах, пострадавших в меньшей мере от антропогенных деградационных изменений, восстановление зональных биоценозов пойдет более успешно. Поэтому выявление и сохранение таких почв — одна из первостепенных задач природовосстановительных работ. Так, для лесостепи оказывается весьма важным выявить почвы, где сравнительно недавно произрастали леса различных типов, с тем, чтобы лесовосстановительные работы проводились с учетом оптимального выбора мест лесопосадок. При решении этих вопросов большую помощь могут оказать исследования по истории антропогенного изменения природных зон и картографические материалы по их лесопокрытию в различные периоды голоцена. Например, большой ценностью обла-

дают карты былого распространения дубрав на Европейской территории СССР. Есть основания полагать, что почвы районов, где дуб произрастал сравнительно недавно, являются более перспективными для проведения работ по восстановлению дубрав, поскольку они (при прочих равных условиях) будут, по-видимому, более благоприятно влиять на формирование оптимальной структуры и состава дубравных биоценозов в связи с лучшей сохранностью у этих почв их функционально-регуляторных свойств, формировавшихся на определенном этапе под влиянием дубовых лесов.

Функция сигнала для сезонных и других биологических процессов

Данная функция почв до сих пор не исследована сколько-нибудь полно. В то же время накопилось значительное число фактов, свидетельствующих об определяющем значении для ряда сезонных и других биологических процессов периодически изменяющихся параметров почвы — ее теплового, водного, пищевого, солевого режимов. Эффективность функции сигнала во многом обусловлена эволюционно возникшими адаптациями наземных живых организмов к динамике почвенной среды и тесной зависимостью развития напочвенного яруса биоценоза от почвенного яруса.

Все больше появляется данных, говорящих о том, что формирование надземной фитомассы существенным образом зависит от развития корневых систем, напрямую связанных с почвенными условиями. Причем представления о функциональных особенностях самих корней претерпели значительные изменения в связи с установлением многочисленности их функций в жизни биоценозов. Кроме того, что корень является органом поглощения, запасания и подачи питательных веществ в надземные части растения, он выполняет еще регуляторную роль благодаря тому, что апекс (верхушка) корня "обладает способностью воспринимать действие раздражителей и регулирует меристематическую и тканеобразующие активности, удлинение и тропизмы корня, удлинение стебля, рост и трофику листьев" (Родченко и др., 1988. С. 25). Верхушка корня ответственна также за торможение образования боковых корней, индукцию образования стеблевых почек и проводящих пучков, индукцию развития стеблевых апексов.

Таким образом, особенности развития и функционирования верхушки корня, тесно зависящего от почвенных условий (влажности, температуры, плотности почвы и др.), во многом определяет формирование всей корневой системы и надземных органов. В умеренных широтах весьма сильное регуляторное воздействие на развитие корней (а через них и на всю фитомассу) оказывает температурный режим почв. Темпы роста корня в период прорастания зерна, когда температура почвы обычно едва достигает 6—10°С, определяют в дальнейшем общую продуктивность растения. О.П. Родченко с соавт. (1988) показали, что понижение температуры почвы для пшеницы (на 5—7°С) и кукурузы (на 10—12°С) существенно замедляет про-

растание растений и тормозит синтез белка не только в проростках, питающихся за счет эндосперма, но и в листьях растений, перешедших на автотрофное питание. Эти данные убедительно подтверждают блестящие предсказания Д.А. Сабинина о том, что изменение температуры среды, где развиваются корни, может оказывать неожиданно сильное, глубокое действие на развитие надземных органов.

В условиях холодного и умеренного климата температура почв оказывается и важнейшим фактором весеннего "включения" процессов сезонной активности и вегетации растений. Так, Бобковой было показано, что ведущим фактором пробуждения роста корней в ельнике чернично-зеленомошном северной тайги Европейской территории СССР является температура почв (см. Добровольский, Никитин, 1986). На более холодных затопляемых талыми водами почвах рост ели задерживается на 10—20 дней, несмотря на то что температура воздуха благоприятствует вегетации. В холодные годы период роста корней сокращается. Уменьшается и их биомасса на 8—15%. В умеренном поясе температура почвы контролирует развитие и многих других растений, например лиственницы, на огромных пространствах Сибири.

Говоря о температурном режиме почв как факторе, регулирующем сезонное развитие, следует подчеркнуть, что он определяется многими составляющими: теплоемкостью и темплопроводностью почв, запасами тепла (холода), влажностью, температурой воздуха, потоком радиации и отражающей способностью почвы, интенсивностью излучения в ночные часы и др. Данные параметры во многом определяются основными свойствами почв. Так, в зависимости от механического состава теплоемкость почвы может различаться в 5 раз, а в зависимости от влажности — в 15 раз. Почва в летнее время года, как правило, холоднее воздуха. По данным А.И. Коровина, ее температура в зоне корней в период активной вегетации холоднее воздуха на 2—5° и в самые теплые месяцы севернее 60-й параллели не поднимается выше 12—14° (см. Добровольский, Никитин, 1986).

Существенно также затухание изменений температуры почвы с глубиной. Например, на болотах наблюдается следующий ход температуры: суточные колебания отчетливо обнаруживаются на глубине 15—25 см; годовые — до глубины 3—3,5 м. Таким образом, температура почвы как фактор регуляции сезонных биологических процессов может быть особенно важной для организмов, обитающих на небольших глубинах.

Температура почвы служит не только сигналом начала или прекращения сезонных циклов жизнедеятельности организмов, но и определяет течение ряда физиологических процессов. Например, при понижении температуры почвы происходит снижение интенсивности транспирации, а при повышении — ее усиление. Опытами показано, что дневное прогревание корневой зоны повышает способность растений брать воду и минеральную пищу при низких температурах. При понижении температуры почвы может происходить падение интенсивности фотосинтеза и дыхания, причем у теплолюбивых растений (кукуруза) это уменьшение выражено сильнее, чем у холодостойких (картофель, пшеница).

Не менее существенна роль других почвенных факторов, регулирующих сезонное развитие и активность живых организмов, связанных с почвой. Так, хорошо известно, что в районах недостаточного увлажнения смена фаз развития многих растений в годовом цикле определяется прежде всего динамикой водного режима почв. Ярким примером может служить ускоренное сезонное развитие эфемеров и эфемероидов, обусловленное непродолжительностью периода обеспеченности почв влагой в аридных ландшафтах. Развитие яиц насекомых в почве зависит от ее влажности. Например, у саранчевых оно начинается только в период, когда влажность почвы в слое, в котором отложены кубышки, поднимается выше мертвого запаса.

Примером влияния годовой динамики пищевого режима почв на сезонные изменения в развитии биоценозов могут служить колебания численности микроорганизмов почвы в зависимости от поступления в нее растительного опада. Так, Т.В. Аристовская отмечает осеннюю вспышку численности микробов в ряде почв лесной зоны в связи с обогащением их свежим растительным опадом.

Рассмотренные наблюдения свидетельствуют о существенном значении почвы как фактора, контролирующего сезонные биологические процессы и потому заслуживающего разностороннего исследования.

Пусковой механизм некоторых сукцессий

Тесная зависимость функционирования и динамики наземных биоценозов от свойств почв приводит к тому, что при поступательной трансформации этих свойств начинают испытывать направленные изменения и биоценозы. Наиболее наглядным примером могут служить изменения биоценозов в результате засоления или заболачивания (Ковда, 1973; Караваева, 1982; Добровольский, Никитин, 1986; и др.), которые вызывают стадийное преобразование почвы, порождающее соответствующие сукцессии. Так, в лесной зоне при последовательной смене елового леса сосново-сфагновым болотным комплексом наблюдается закономерная смена фитоценозов. В результате имеет место следующий сукцессионный ряд: ельник кисличник — ельник черничник — ельник долгомошник — ельник долгомошно-сфагновый — сосняк сфагновый — сфагновое болото с карликовой сосной.

Отмечаются и другие формы проявления рассматриваемой функции. Так, М.С. Гиляров (1968) обращает внимание на то, что деятельность почвенных фитофагов может выступать как фактор, определяющий сукцессии растительности покрова. В степи в результате деятельности корневых вредителей некоторые растения погибают, а освободившееся место заселяется другими видами данной ассоциации. В результате происходит постоянная смена мелких фитоценотических комплексов в пределах одного биогеоценоза, обеспечивающая общую стабильность данного фитоценоза. Кроме этого, деятельность почвенных фитофагов может вызывать и сукцессии травянистых растительных ассоциаций в целом. Такие сукцессии были описаны М.Р. Якушевым (см. Гиляров, 1968), который показал, как на лугах Смоленской области уничтожение дернины мягких злаков личинками Phyllo-

pertha norticola L. оказалось первопричиной разрастания мохового покрова и способствовало заболачиванию участка.

Среди других причин смены растительных группировок ряд авторов выделяют также биохимическое влияние растений посредством поступающих в почву корневых выделений. Примером могут служить залежные сукцессии под влиянием аллелопатии (Остроумов, 1986). Так, на брошенных полях быстро поселяется сорная растительность, с которой начинается дальнейшая сукцессия данных экосистем. Повышенный интерес представляют первые стадии этой сукцессии, подробно изученной Э. Райсом (см. Остроумов, 1986) в США. Первая стадия, представленная пионерными сорняками — джонсовой травой, дикорастущим подсолнечником, росичкой кровяной, молочаем лежачим и др., длится всего 2—3 года и сменяется второй стадией однолетних трав с преобладанием низкорослого, чахлого на вид растения аристиды мелкоцветковой. Вторая стадия продолжается существенно дольше — 9—13 лет, а иногда и три десятилетия. Затем наступает наиболее продолжительная третья (субклимаксная) стадия многолетних дерновых трав с преобладанием бородача веничного, длящаяся более 30—40 лет. Выяснилось, что быстрое завершение первой стадии можно объяснить почвенно-аллелопатическими взаимодействиями пионерных сорняков друг с другом и аристидой. Корневые выделения джонсовой травы и подсолнечника вместе с веществами, освобождающимися при гниении их надземных органов и корневищ, угнетали прорастание семян и рост проростков других пионерных сорняков.

Оказалось также, что водные экстракты из тканей ряда видов первых двух стадий (амброзия, аристида, росичка, молочай, подсолнечник, костер) являются сильными ингибиторами для азотфиксирующих бактерий почвы — азотобактера и нескольких видов ризобиума. Данное обстоятельство приводит к слабому накоплению азота в почвах, что продлевает существование видов первых двух стадий, способных расти на бедных почвах. "Экологическое значение подавления азотфиксации в том, что виды первых двух стадий способны расти на бедных азотом почвах; подавляя азотфиксацию, они избавляются от конкуренции со стороны растений, требующих хорошего азотного питания. Тем самым замедляется наступление новой, третьей стадии сукцессии" (Остроумов, 1986. С. 38).

Разнообразие и эффективность воздействия почвенных факторов на сукцессионные изменения биоценозов свидетельствуют о необходимости целенаправленного всестороннего изучения рассмотренной функции почв.

ЦЕЛОСТНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВЫ

Ряд экосистемных функций почвы определяется совокупным действием многих ее свойств и почвообразовательных процессов, в связи с чем почва в этом случае выступает как единое целое. К данной категории относятся функция защитного и буферного биогеоценотического экрана, санитарная роль почв, трансформация почвой вещества и энергии, находящихся или поступающих в экосистемы.

Функция защитного и буферного биогеоценотического экрана

Экосистемы суши находятся в существенно иных условиях, чем экосистемы Мирового океана. Характерная особенность "сухопутных" местообитаний — резкие перепады увлажненности и обеспеченности теплом. В таких условиях особое значение приобретают буферные и регуляторные механизмы, обеспечивающие гомеостаз системы (Шмальгаузен, 1968; Гильманов, 1978; Добровольский, Никитин, 1986; и др.).

В деле регулирования жизни биогеоценоза (БГЦ), обеспечения его функционирования в эволюционно сложившемся режиме роль почвы особенно велика, поскольку она относится к природным компонентам с отчетливо выраженными буферными свойствами, что, в частности, выражается в отставании сезонных и суточных изменений гидротермических показателей почв от аналогичных изменений атмосферы. Можно выделить несколько форм проявления буферной функции почв.

Отметим в первую очередь способность почв нивелировать резкие колебания входных потоков вещества и энергии, что весьма существенно, поскольку состав, структура и функционирование биогеоценозов сохраняются при условии, если варьирование этих потоков не выходит за определенные пределы, называемые пределами толерантности. Примером такого нивелирования может служить сглаживание почвой больших перепадов влажности и температуры в наземном ярусе БГЦ. Так, благодаря способности почвы впитывать и аккумулировать атмосферную влагу, с одной стороны, предотвращается застаивание воды на ее поверхности во время снеготаяния и ливней, а с другой — ослабляется чрезмерная сухость приземных слоев воздуха во время засух. Если указанная способность выражена слабо, биоценозы испытывают большие затруднения в своем существовании и в экстремальных условиях могут редуцироваться до весьма ограниченного числа видов. Показательны в данном отношении слабоводопроницаемые глинистые такыры пустынь, где в период снеготаяния и дождей скапливается вода прямо на поверхности, а в засушливое время полностью отсутствует доступная для растений влага. Такие крайние состояния такыров позволяют выживать на них в основном микроорганизмам и водорослям. Другое дело песчаные массивы, сложенные закрепленными песками. Многие из них благодаря аккумуляции влаги оказываются средой, пригодной для выживания значительного числа видов организмов, в том числе кустарников и деревьев.

Существенной стороной рассматриваемой функции является также защита почвой биогеоценозов от механического разрушения под действием различных факторов: воды, ветра, силы тяжести, что достигается за счет таких свойств почвы, как способность противостоять водной эрозии, удерживать растения в вертикальном положении, противодействовать распылению мелкозема и др. Данные свойства, как правило, хорошо выраженные у целинных разностей, часто ухудшаются в результате обработки земель. В то же время комплекс

разносторонних мелиоративных мероприятий может не только сохранить эти свойства, но и улучшить их, особенно в случае малопродуктивных почв.

Проявлением буферной функции почв оказывается и восстановление нарушенных фитоценозов за счет запаса почвенных семян и формирующего влияния сложившейся структуры почвенного покрова, которая помогает воссоздать первоначальную неоднородность биоценозов (Карпачевский, 1981; Добровольский, Никитин, 1986; и др.).

Санитарная функция почвы

Под данной функцией мы понимаем способность почвообразовательных процессов перерабатывать ежегодно попадающие в почву и на ее поверхность отходы жизнедеятельности организмов, растительный опад, посмертные останки животных, а также те антропогенные загрязнения, которые частично или полностью обезвреживаются почвой.

В проявлении санитарной функции можно выделить три основных аспекта. Первый связан в основном с деструкцией поступающих на поверхность почвы органических остатков. Если бы образующийся из года в год растительный опад только накапливался и не подвергался минерализации, то поверхность Земли оказалась бы забитой за короткое время отходами жизнедеятельности организмов и жизнь на планете в конце концов стала бы невозможной. Это не произошло еще до сих пор потому, что почвенные организмы (преимущественно микроскопические) подвергают разрушению и минерализации поступающие в почву и на ее поверхность органические остатки и тем самым не только переводят в доступную для усвоения форму содержащиеся в опаде вещество и энергию, но и предохраняют ландшафты от самозагрязнения, отравления и в конечном счете гибели.

Длительное время считали, что деструкция органических остатков осуществляется только микробами. В дальнейшем была установлена важная роль в данном процессе почвенных беспозвоночных. Эти животные не только участвуют в разложении опада на поверхности почвы, но и вовлекают органические остатки в саму почву, увеличивая тем самым возможности их активного изменения. При отсутствии почвенных животных происходит ускоренное накопление на поверхности почвы мертвого опада, создаются анаэробные условия. Так, отмечено, что накопление мощных слоев торфообразных отложений связано в значительной мере с малочисленностью животных — сапрофагов (Гиляров, 1968). При освоении земель в этом случае, по мнению М.С. Гилярова, может оказаться целесообразной интродукция почвенных животных — сапрофагов, которые ускоряют освобождение поверхности почвы от слаборазложившегося растительного опада.

Беспозвоночные активно участвуют в деструкции самых различных органических остатков. Весьма значительна роль насекомых в разложении опада в лесах. В тропиках термиты перерабатывают всю отмирающую древесину, навозники поедают экскременты, общее

Таблица 37

Самоочищение почв от Bact. coli commune, Bact aërogenes, количество клеток на 1 г почвы (Мишустин, Перцовская, 1954)

Время с начала опыта, дни	Чистые культуры		Смешанные культуры	
	Bact. coli commune	Bact. aërogenes	Bact. coli commune	Bact aërogenes
0	9 000 000	13 000 000	1 300 000	80 000
4	2 500 000	8 000 000	170 000	1 300 000
11	800 000	2 500 000	17 000	1 300 000
25	600 000	2 500 000	50 000	900 000
39	600 000	2 500 000	50 000	900 000
43	350 000	1 300 000	5 000	600 000
57	50 000	900 000	5 000	350 000
78	35 000	17 000	1 300	350 000
92	26 000	25 000	1 500	13 000
106	600	25 000	500	8 000
120	500	17 000	520	5 000
134	130	11 000	80	800
148	20	2 500	20	500
162	13	800	11	350
176	5	130	6	170
197	0	50	0	50
218	0	50	0	80
248		0	0	0

количество которых достигает 1/4 растительной массы, потребляемой скотом. За свою жизнь мелкие животные поедают количество пищи, в десятки раз превышающее их вес, осуществляя очистку почвы. Еще Линней подсчитал, что в тропиках потомство трех мух съедает труп лошади быстрее, чем лев.

Там, где санитарная функция беспозвоночных (особенно почвенных) ослаблена, в экосистеме быстро происходят различные неблагоприятные изменения. Так, в Австралии некоторые пастбища страдали из-за того, что на поверхности почвы стал скапливаться не разложившийся из-за недостатка навозников помет скота. Завоз навозников быстро привел к разложению скоплений навоза и значительному повышению урожайности пастбищ.

Приведенные примеры показывают, что в освобождении почв от органических остатков важная роль принадлежит не только микроорганизмам, но и беспозвоночным животным, обитающим в почве или тесно с ней связанным. В данном случае мы имеем дело со сложным комплексом, осуществляющим очистку почв, в котором важны как микробы, так и животные. Причем ускорение разложения опада почвенными животными достигается двояким путем — за счет непосредственного и косвенного их действия. Существенно то, что второй путь связан с активизацией деструктивной деятельности микроорганизмов за счет определенных видов деятельности беспоз-

воночных. Так, переработанные животными растительные остатки благодаря измельчению и увеличению их поверхности становятся более доступными бактериям. Поверхность хвоинки, попавшая в подстилку, в результате измельчения орибатидами увеличивается в 10 тыс. раз. Кроме того, почвенные животные, в частности дождевые черви, способствуют размножению многих почвенных микроорганизмов. Например, численность микробов в экскрементах дождевых червей бывает в 3—13 раз выше, чем в окружающей почве (Гиляров, 1968).

Тесная взаимосвязь почвенных микроорганизмов и беспозвоночных доказана экспериментально. Так, в опытах по исключению деятельности беспозвоночных разложение дубового опада под влиянием только одних микроорганизмов стало проходить в 2—5 раз медленнее, чем при совместной деятельности почвенных животных и микроорганизмов. Даже исключение деятельности только крупных беспозвоночных (в основном дождевых червей) в несколько раз снижает скорость разложения опада. По данным Л.О. Карпачевского и Т.С. Перель, в смешанном лесу разложение листьев дуба при отсутствии в почве червей идет в 2 раза медленнее, липы — в 3 раза, а березы — 1,5 раза (Карпачевский, 1981).

Другой важный аспект санитарной функции почвы связан с ее антисептическими свойствами, лимитирующими развитие в ней болезнетворных микробов (табл. 37). Подробный обзор материалов по данной проблеме содержится в монографиях Е.Н. Мишустина, М.И. Перцовской, В.Ф. Горбова (1979) и других исследователей, анализ которых был осуществлен ранее (Добровольский, Никитин, 1986).

Трансформация почвой вещества и энергии в биогеоценозах

Проявление данной функции предполагает работу почвы как сложноорганизованной системы, способной изменять и трансформировать различные типы природных соединений — косных, биокосных и органогенных. При реализации данной функции прежде всего происходит преобразование почвообразовательным процессом исходного вещества материнских пород и продуктов, поступающих с пылью, атмосферными осадками, поверхностными и грунтовыми водами, растительными остатками. В результате этого преобразования субстрат почвы приобретает благоприятные свойства для поселяющихся на ней биоценозов. Так, в горизонтах, ответственных за обеспечение растений элементами питания, наблюдается не только накопление в растворимой и обменной форме многих соединений, но и определенное изменение соотношения между рядом элементов по сравнению с тем, которое имелось в исходной породе.

В связи с этим почвы по сравнению с горными породами содержат обычно больше углерода, азота, фосфора, калия и других элементов, из которых строятся ткани живых организмов. Это оказывается возможным благодаря огромной геохимической работе почв и живого вещества по трансформации материнских пород и органогенных остатков, возникающих в ходе жизнедеятельности организмов. Важный результат данной трансформации — освобожде-

ние в ходе разложения органических остатков, энергии, аккумулированной при фотосинтезе. Причем существенно то, что энергия высвобождается не только в тепловой, но и химической форме, что, по мнению А.И. Перельмана (1977), имеет не меньшее значение, чем образование органических соединений.

Во многом благодаря постоянному преобразованию косного вещества почвы живут как неравновесные, весьма динамичные системы, богатые свободной энергией (Перельман, 1977).

Углубленное изучение трансформационной функции почв в плане всестороннего выяснения ее значения для жизни биогеоценозов — задача, не решенная сколько-нибудь полно. Разработка данного вопроса во многом зависит от теоретического обобщения традиционных материалов, полученных при исследовании различных типов почв, и реализации новых подходов, апробированных в смежных с почвоведением науках. Так, представляется весьма продуктивным рассмотрение почвы как биологического реактора, в котором процессы трансформации вещества многократно усиливаются благодаря наличию разнообразных биологически активных соединений, обилию активных поверхностей и перемешиванию материала. Перспективным оказывается также использование теоретических и методических положений учения А.М. Уголева о естественных технологиях биологических систем.

* * *

В заключение рассмотрения функций почв в экосистемах отметим, что наиболее интегральной функцией является почвенное плодородие, которое определяется взаимодействием всех свойств почвы и охарактеризованных выше функций. Долгое время почвенное плодородие трактовалось упрощенно и связывалось с ограниченным числом почвенных свойств, в основном химических и в меньшей мере агрофизических. Накопленный в современной литературе материал свидетельствует о том, что правильно понять законы почвенного плодородия и разработать действенные рекомендации по его эффективному использованию и сохранению можно лишь на основе целостного функционально-динамического подхода (Никитин, 1980а, 1982б; Добровольский, Никитин, 1986).

Глава седьмая

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ДИНАМИКА ПОЧВ И ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЧВЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

В современном почвоведении проблема закономерностей функционирования почвенных систем приобрела особую остроту в связи с установлением многообразия и исключительной важности экологических функций почв. Ведь от того, насколько полно выявлены и разработаны функциональные закономерности, будет во многом зависеть конкретность теоретических обобщений и практических следствий учения о функциях почв.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВ

Термин "функционирование" широко используется в природоведческой литературе, однако его содержание до сих пор не определено достаточно полно и однозначно. Поэтому, прежде чем перейти к существу проблемы, кратко определим содержание исходных понятий. Под закономерностью понимается наличие определенного типа отношений (детерминированно-стохастического характера) между взаимосвязанными компонентами (параметрами), когда изменение одного компонента приводит к изменению другого, проявляющегося, как правило, в виде тенденции, выраженной с различной степенью отчетливости. Более жестко выраженные взаимозависимости охватываются понятием "закон". Под функционированием какой-либо природной, в том числе почвенной, системы понимается реализация данной системой взаимодействий с другими системами (а также внутренних взаимодействий собственных компонентов), обеспечивающих существование, развитие этой системы и ее адаптацию к окружающей среде.

Изложенная трактовка понятия "функционирование" оказывается широкой, охватывающей практически все формы проявления "жизни" почв, определяющей как их изменение, так и сохранение.

В дальнейшем изложении мы остановимся лишь на некоторых общих функциональных закономерностях, имеющих наиболее важное значение для разработки проблемы экологических функций почвы.

Среди наиболее существенных особенностей функционирования открытых динамических систем, к которым относится почва, оказывается наличие организованных и стабилизированных в определенных границах потоков вещества и энергии, а также информации и взаимодействий в целом. Эти потоки испытывают периодические смещения от некоторых крайних значений в связи с действием различных факторов, нарушающих сбалансированность процессов функционирования системы. Однако функциональные нарушения в достаточно устойчивых системах компенсируются в той или иной степени про-

цессами возобновления. В связи с этим изучение закономерностей нарушения — возобновления почвенных систем и их функций оказывается одной из центральных проблем познания законов функционирования почв в целом.

Анализ материалов и исследований, проведенных в данной области, позволяет сформулировать несколько обобщений, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемым вопросам.

Более развитые, сложноорганизованные почвы, как правило, в меньшей мере изменяют характер своего функционирования при возмущающем (нарушающем) действии факторов среды, но при возникновении нарушений процессы возобновления в них идут медленнее и менее полно.

Из числа конкретных примеров, подтверждающих данную закономерность, можно, в частности, отметить большую буферность, устойчивость суглинистых плакорных почв по сравнению с песчаными во многих природных зонах. Так, если рассматривать сезонную динамику водно-теплового и пищевого режимов, то в суглинистых, как правило, более сложноорганизованных прифилях она обычно имеет более выравненный тип изменчивости. Функциональные показатели песчаных плакорных почв, напротив, подвержены заметно большим перепадам в своем количественном выражении. Так, летом они сильнее иссушаются, а в холодное время года раньше промерзают; в них в гораздо большей мере (особенно в условиях гумидного климата) проявляется дефицит элементов питания.

Указанные существенные функциональные различия определяют зачастую и значительные экологические особенности отмеченных почв как сред обитания. Так, нестабильность большинства жизненно важных для растений показателей у песчаных почв умеренного пояса приводит к тому, что из древесных пород на них выживает в основном наименее требовательная к условиям среды сосна обыкновенная. На суглинистых почвах с более выравненными параметрами функционирования поселяются более требовательные виды, в том числе покрытосемянные, наиболее продвинутые в эволюционном отношении.

Большая стабильность почв на суглинках проявляет себя положительно и при вовлечении их в обработку. Они обычно в меньшей мере подвержены ветровой эрозии. Благодаря более высокому их плодородию в первое время растения в меньшей мере испытывают отрицательное влияние перерывов во внесении удобрений и действии веществ, загрязняющих почву, — радионуклидов и др. (Тихомиров, 1980; и др.).

В то же время в случае возникновения серьезных структурно-функциональных нарушений более сложноорганизованные почвы восстанавливаются медленнее до своих нормальных показателей. Это связано прежде всего с тем, что горизонтообразующие процессы, формирующие и поддерживающие профиль более сложных форм, оказываются многочисленнее и, как правило, с более длительными характерными временами — сроками, в течение которых реализуются или восстанавливаются те или иные признаки почвы. Так, ряд авторов, анализируя эволюцию зональных лесных почв, формирующихся на су-

глинистых и песчаных алюмосиликатных породах, приходят к выводу, что первые значительно позже достигают зрелого для себя состояния (Роде, 1974; Дюшофур, 1970). Например, по данным Дюшофура, формирование зрелой бурой лесной лессивированной почвы (ее свойств и функций) протекает в 2—3 раза дольше, чем полноразвитого бореального подзола.

Факты различной длительности процессов формирования — восстановления почв разной степени сложности должны непременно учитываться в практике, в частности при планировании мероприятий по охране земель. Так, отсутствие своевременной теории способствовало чрезмерной распашке высокоплодородных, как правило, сложноорганизованных почв без должного соблюдения противоэрозионных мероприятий, в результате чего многим из них (почвам прерий, черноземам, буроземам и др.) был нанесен тяжелый урон (Ковда, 1983; и др.).

Значительное снижение производящей способности почв с высоким естественным плодородием в результате нерационального использования усугубляется трудностью восстановления их биологической продуктивности до исходного уровня. Это обусловлено двумя основными причинами: 1) длительностью процесса создания полного естественного плодородия данных почв (гумусовый профиль целинного типичного чернозема формировался в течение тысячелетий); 2) сложностью восстановления исходных биоценозов, без которых, как правило, возобновление полного естественного плодородия зональных высокобонитетных почв (лесостепных, степных и др.) — дорогостоящая, трудноосуществимая задача. Последнее требует некоторого пояснения.

Почвенный профиль до сих пор многими рассматривается в основном с узких позиций — чисто генетических или сугубо практических: в первом случае он воспринимается как итог почвообразовательного процесса за определенный отрезок времени, во втором — как объект сельскохозяйственного труда. При таких односторонних взглядах упускается из виду еще один весьма существенный аспект: почвенный профиль — результат адаптации почвы к определенному типу функционирования экосистемы, составной частью которой он является (Никитин, 1977; Головенко, 1981; и др). Поэтому восстановление в той или иной мере нарушенной почвы предполагает прежде всего воспроизведение характерного для данных природных условий биоценоза. Биоценоз же в случае его разрушения, как правило, тем сложнее и труднее воспроизводить, чем плодороднее и развитее почва, на которой он сформировался. Практических следствий из сказанного несколько. Отметим некоторые из них. Для высокоплодородных и генетически зрелых и сложных почвенных профилей особенно неблагоприятно их сплошное нерациональное освоение. В этой связи наряду со строгим соблюдением культуры земледелия исключительное значение имеет сохранение представительных по площади и частоте встречаемости целинных участков, которые могут служить объектами сравнительных исследований, моделями высокого плодородия и естественным фондом для восстановления на деградированных территориях исходных биоценозов и, следовательно, почв.

Отмеченные положения важны не только потому, что сложноор-

ганизованные, эволюционно продвинутые почвы медленнее восстанавливают свои структурно-функциональные показатели в случае нарушения, но и в связи с тем, что данное восстановление в них идет, как правило, менее полно. Оснований для такого вывода несколько.

Прежде всего, опираясь на положения системного подхода, можно констатировать, что на почву как на биокосную открытую динамическую систему распространяются многие общие закономерности, характерные для собственно биологических объектов — живых организмов и их сообществ, хотя аналогии между почвой и организмом будут заведомо неполными и афористичными. Тем не менее есть основания полагать, что и в мире почв многие закономерности восстановления нарушенных функциональных систем, установленные на живых объектах, повторяются в общих своих чертах. Так, будет подтверждаться сформулированное положение о том, что процессы регенерации идут тем труднее, чем более сложно устроен организм. И наоборот, у низших животных организмов эти процессы проявляются значительно полнее. И.И. Шмальгаузен (1926) прямо указывал, что "высокая регенерационная способность обычно связана с низкой организацией" (1926. С. 65). Хорошей иллюстрацией могут служить почвообитающие беспозвоночные. Например, у кольчатых червей незначительная часть тела, иногда даже один сегмент, может воспроизводить целый организм червя, состоящий из 100—150 сегментов.

Рассматриваемая общая закономерность может быть прослежена и на собственно почвенных материалах, полученных, в частности, при изучении эволюции и восстановления генетических профилей уже рассмотренных ранее суглинистых и песчаных почв. Так, у более просто организованных песчаных почв зрелый профиль формируется не только за более короткий отрезок времени, но, как правило, и полнее воспроизводит наиболее характерные для себя черты, причем пространственно-площадной диапазон этого воспроизведения оказывается зачастую весьма широким. На последнее обстоятельство указывал еще Г.Н. Высоцкий (см. Добровольский и др., 1981).

Отмеченный Г.Н. Высоцким "космополитизм" генетических профилей, формирующихся на переотложенных песчаных наносах, как раз и оказывается одним из проявлений полноты воспроизведения типических черт песчаных почв в широком диапазоне климатических условий. Суглинистые почвы, отличающиеся большей рефлекторностью — способностью полнее отражать в своих свойствах специфическое сочетание факторов среды (Таргульян, Соколов, 1976), естественно, в своем развитии будут в большей степени подвержены явлениям дивергенции.

Данная особенность суглинистых почв в полной мере проявляется при антропогенном почвообразовании и восстановлении нарушенных земель. Например, восстановить с достаточной полнотой деградированный зональный профиль дерново-подзолистой суглинистой почвы или чернозема типичного до исходного их естественного состояния во многих случаях практически нереально. И причины здесь не только в большей длительности горизонтообразующих процесов в данных почвах, но и в сложности воспроизведения тех сложных биоценозов с многочисленными трофическими связями, под которыми

формировались данные почвы, а также с обилием малоустойчивых и трудновоспроизводимых реликтовых компонентов в них. Ведь в связи с высокой рефлекторностью указанных почв в сформированных в них признаках и свойствах отражены не только ныне действующие факторы среды (их еще можно воспроизвести), но и то специфическое сочетание факторов, которое в данный момент стало уже неповторимой историей.

Нет нужды далее доказывать тезис об уменьшении полноты восстановления нарушенных природных систем, в том числе и почв, по мере усложнения их организации. Остановимся на практических следствиях, вытекающих из сформулированного обобщения. Главный вывод, который напрашивается в связи с рассмотренным вопросом, — это недопустимость дальнейшего бесхозяйственного обращения с земельными ресурсами мира, особенно с высокоплодородными почвами, и необходимость скорейшего ремонта многих из них. Чем больше будет затягиваться введение высокой культуры землепользования в качестве обязательной, тем значительнее окажутся потери почвенного плодородия, тем дороже обойдутся мероприятия по его восстановлению.

Не случайно особую заботу и тревогу у почвоведов вызывают наиболее плодородные почвы — черноземы. Для СССР, где сосредоточены основные их площади, черноземная проблема особенно актуальна. Как справедливо подчеркивает В.А. Ковда, "черноземы — национальное богатство страны" (1983. С. 3). "В настоящее время на черноземах Европейской и Азиатской части страны получают около 70—80% всей продовольственной продукции, прежде всего зерновых. С полным основанием можно сказать, что продовольственное благополучие страны во многом определяется продуктивностью черноземов" (Там же).

В то же время исторически сложилось так, что долгое время черноземы использовались без применения минеральных и органических удобрений. Уже в дореволюционный период они были значительно истощены, о чем говорил еще В.В. Докучаев. Хотя в последние десятилетия в лесостепных и степных областях все больше используется удобрений и увеличивается число хозяйств с высокой культурой земледелия, исторически накопившаяся "усталость" чернозема заставляет безотлагательно решать вопрос восстановления его былого плодородия. Промедления в практической организации данной проблемы приведут к еще большему усилению негативных изменений в производительной способности "царя почв". Механизм этого процесса связан с переходом функциональных нарушений почвы в ее структурную (общую) деградацию.

В пахотных черноземах, используемых без соблюдения требований передовой агротехники, данный процесс обусловлен прежде всего исчерпанием наиболее ценных активных форм гумуса. В результате вначале падает урожайность на фоне еще достаточно высокого общего содержания гумуса (в основном его стабильных форм), а затем начинается минерализация устойчивого органического вещества черноземов, приводящая к сильному ухудшению не только их биохимических, но и агрофизических показателей. В.А. Ковда отмечает,

что "в пахотном горизонте вследствие распада органических остатков и гумуса вплоть до полной их минерализации разрушается структура почвы, уменьшается ее водопроницаемость и влагоемкость" (1983. С. 5).

Расплата за функционально-структурную деградацию земель очень велика, и она тем больше, чем плодороднее и генетически более зрелыми оказались нарушенные почвы, поскольку их восстановление идет с меньшей полнотой и охватывает большие промежутки времени.

Наблюдается способность к восстановлению частично разрушенных почвенных компонентов по типу матричной достройки.

В ряде работ была показана возможность матричной достройки частично разрушенных гумусовых коагуляций и матричного синтеза глинистых минералов (Фокин, 1975; Гаджиев, 1982; Дергачева, 1987, и др.). Эти работы, а также ряд положений системного подхода позволили сделать следующее обобщение (Никитин, 1984): почвы, а также большинство целостных функционирующих природных систем и их отдельные блоки и компоненты при разрушающем действии среды *обладают в той или иной степени выраженной способностью к самовосстановлению* путем матричного подновления разрушенных структур.

В развитых почвах эта способность к самовосстановлению выражена достаточно сильно и обусловлена прежде всего многокомпонентностью почвенного вещества, приводящей к тому, что практически в любом типе почв оказывается в наличии исходный материал не для одного, а для нескольких наборов генетических горизонтов, что, несомненно, облегчает процесс подновления, а также наследования реликтовых образований. Так, практически в любой развитой почве содержатся все фракции органического вещества, благодаря чему возможны формирование и возобновление нескольких типов гумуса в одной и той же зоне в зависимости от конкретной внутрипочвенной обстановки.

При увеличении размеров почвенных систем скорость процессов обмена и преобразования вещества, энергии и информации в них уменьшается, но возрастает автономность от окружающей среды.

Данная закономерность не подвергалась детальному анализу в почвенной литературе, что во многом связано со слабой разработанностью вопроса о пространственных границах элементарной объемной единицы почвы — почвенного индивидума, или педона. В то же время в других естественных науках процессы обмена вещества и энергии в природных системах в зависимости от физических размерностей изучены достаточно полно.

Многочисленные исследования в данном направлении проведены биологами; они обобщены в монографии К. Шмидта-Ниельсена "Размеры животных: почему они так важны?" В ней на многочисленном материале достоверно показано отчетливое снижение интенсивности метаболизма пойкилотермных животных организмов по мере увеличения их размерности. Автор отмечает, что «если строить график зависимости метаболизма птиц и млекопитающих от их массы, то точки ло-

жатся на прямую линию, известную под названием "кривой от мыши до слона"» (1987. С.65).

Снижение интенсивности, скорости обменных процессов при увеличении размеров системы установлено также для географических и геологических объектов. Так, если время полного возобновления запасов воды в реках и озерах составляет около 3 лет, то для Мирового океана оно достигает 3000 лет (Львович, 1974).

Еще более медленно реализуются процессы преобразования и обмена вещества в геологических системах глобального масштаба. Выделяемый В.Е. Хаиным "тектонический круговорот" (геосинклиналь — платформа — геосинклиналь) осуществляется в течение многих миллионов лет.

В процессах почвообразования указанная закономерность действует достаточно отчетливо. Однако трудность ее выявления состоит прежде всего в слабой пространственной обособленности друг от друга многих почвенных систем, что затрудняет их объемное индивидуальное изучение. Ориентировочные сопоставления возможны пока что на основе выбора условных единиц измерения объема и массы почвы и ее компонентов. При этом правомочны несколько подходов.

Так, можно сравнивать метаболизм[1] и круговорот элементов в различных почвах в зависимости от показателей их размерности, опираясь на учет насыщенности единицы объема или веса (1 $м^3$, 1 г и т.д.) собственно почвенным веществом, исключив из расчетов субстрат, унаследованный генетическим профилем от материнской породы. Наглядно, например, сравнивать время обновления запасов органического вещества в гумусовом профиле почв. Оно оказывается более быстрым у почв с меньшим содержанием органического вещества, т.е. с меньшим суммарным весом (размером) собственно почвенных компонентов.

Отчетливая зависимость обменных процессов в почве от качества содержащихся в ней продуктов почвообразования и выветривания прослеживается при сравнении содержания доступной растениям (активной) влаги в профилях различного механического состава. По мере утяжеления механического состава и, следовательно, увеличения удельного содержания почвенно-гипергенного вещества количество активной влаги снижается, что затрудняет ее поступление в корневые системы и при определенных условиях замедляет водообмен в системе почва — растения (Самойлова, 1983). Так, установлено, что при насыщении мелкозема до ППВ при объемной массе 1,2 $г/см^3$ запасы доступной влаги в черноземе супесчаном вдвое больше, чем в черноземе глинистом.

При утяжелении механического состава отмечается также замедленный обмен между ниже- и вышележащими горизонтами и между почвой и подпочвой при поступлении соединений с осадками, растительным опадом и удобрениями. Данное явление было экспериментально исследовано в ряде работ. В опытах В.В. Сысуева (1986), изу-

[1] Данный термин употребляется не только применительно к живым организмам, но и к геосистемам (Сочава, 1978) и другим природным объектам

чавшего сорбцию и скорость передвижения в почвах элементов, поступавших с растворами удобрений, было установлено, что дерново-подзолистая почва на тяжелых покровных суглинках поглотила в процессе опыта около 92% поступившего калия и аммония и 98% фосфатов. В дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, в которой коэффициент фильтрации почти в 10 раз выше, поглощение элементов было существенно ниже — 58—60%, зато значительно возрастали интенсивность их миграции и вынос за пределы профиля.

Рассматриваемую закономерность можно также выявить, если сравнивать почвы разной степени зрелости в рядах эволюции, охарактеризованных в ряде работ (Зонн, 1954, 1983; Дюшофур, 1970; и др.). При возрастании концентрации педогенного вещества и общей мощности почвенного профиля (увеличении общего суммарного размера почвы) обнаруживается снижение обмена почвы водными растворами с подстилающими ее горизонтами и прилегающими почвогрунтами, а также замедление обновления накопленного в ней вещества, энергии, информации.

Одновременно почвенные системы по мере роста их размерных показателей характеризуются большей автономностью во взаимосвязях с окружающей средой, что выражается как в краткосрочной их динамике, так и долговременной эволюции. Например, почвы тяжелого механического состава, а также имеющие более мощный слой активного почвообразования, как правило, отличаются более замедленным изменением своих режимных показателей при сезонных колебаниях биоклиматических условий. В них, в частности, более выравненный поток элементов питания и влаги. Признаки повышенной автономности (буферности) обнаруживают и в сезонной динамике температур. Так, более тяжелые почвы умеренного пояса весной позже прогреваются, а в холодное время года позже промерзают, чем легкие (Димо, 1972).

Большее постоянство свойств у рассматриваемых почв в ряде случаев прослеживается и в историческом аспекте. Исследования по голоценовой эволюции почв свидетельствуют, что наименьшее эволюционное преобразование зачастую испытывали профили именно с повышенной концентрацией в единице объема почвенно-гипергенного вещества. Так, показано, что в южной части таежно-лесной зоны Западной Сибири темноцветные гумусовые горизонты ранне- и среднеголоценового возраста в незаболоченных почвах лучше всего сохранились в глинистых и тяжелосуглинистых профилях, в суглинистых они также часто встречаются, но, как правило, в худшем состоянии (Добровольский и др., 1981; и др.).

Методическое и практическое значение положения о связи определенных свойств почвенных систем с показателями их размерности многопланово. Так, в свете сказанного должны быть уточнены или пересмотрены традиционные оценки плодородия почв, вовлекаемых в сельскохозяйственный процесс, а также вопросы их рационального использования и охраны. В частности, далеко не всегда учитывается то, что почвы с более мощным профилем и высоким содержанием продуктов почвообразования (например, черноземы, особен-

но тяжелого механического состава) обладают повышенной способностью к связыванию поступающих в них соединений. Последствия этого могут иметь и негативный характер в виде нарастающего химического загрязнения почв при поливах сточными водами и внесении агрохимикатов.

Охарактеризованная закономерность позволяет глубже понять и отрицательные последствия такого нежелательного явления в освоенных почвах, как их уплотнение при обработке сельскохозяйственными орудиями. Становится ясным, что значительное уплотнение почв пагубно не только снижением их способности к поглощению осадков, ухудшением в них условий аэрации и проникновения корней в глубину, но и проявлением тех не во всем благоприятных для жизнедеятельности организмов эффектов, которые возникают при сильной концентрации педогенного вещества в единице объема, происходящей при уплотнении.

Особенно неблагоприятно сказывается уплотнение мелкозема в почвах тяжелого механического состава, в которых, как было показано выше, повышенное содержание высокодисперсного вещества уменьшает доступность растениям влаги и элементов питания. Так, в опытах по изменению доступности влаги при нарастании уплотненности мелкозема, проводившихся на черноземах (Самойлова, 1983; и др.), было установлено, что при увеличении объемного веса до 1,6 г/см^3 в глинистом черноземе активная влага практически отсутствует. В тяжело- и среднесуглинистом черноземе аналогичное явление происходило при объемном весе 1,8 г/см^3. В супесчаном же черноземе даже при объемном весе 2 г/см^3 сохранялись запасы доступной влаги.

Многократный оборот одних и тех же элементов — способ экономичного функционирования почв и экосистем. На важность круговых процессов в экономике природы уже давно обращали внимание многие ученые. В.Р. Вильямс (1919) подчеркивал, что обеспечить существование жизни за счет ограниченного запаса доступных элементов можно лишь одним способом — заставить вращаться их по кругу.

Более поздние исследования свидетельствуют об исключительной роли в реализации процессов возобновления в природе принципа многократного оборота одного и того же запаса элементов, содержащихся в системе (Ковда, 1973, 1975; Добровольский, Никитин, 1986; и др.).

Особенно следует отметить развитое В.В. Пономаревой (1964) положение о повышенном значении органогенных почвенных горизонтов в автономном функционировании экосистем. Она, в частности, подчеркивает возможность длительного существования еловых биоценозов в основном за счет их взаимодействия с почвенной подстилкой и подподстилочной прослойкой, где располагается основная масса корней. Понятно, что длительное поддерживание жизни леса в этом случае оказывается возможным при непременном условии повторного вовлечения в биотический круговорот элементов, которые уже прошли через него, затем оказались законсервированными в растительных остатках, после чего вновь благодаря деструкции опада

вовлеклись в очередной цикл круговорота. Но это лишь один из путей многократного участия одних и тех же элементов в поддержании жизни в биоценозах.

Другой не менее важный механизм осуществления того же самого принципа — это задержание экосистемой, и прежде всего почвой, сиюминутных продуктов метаболизма и их утилизации на месте. В естественных условиях в зрелых экосистемах данный процесс осуществляется эффективно благодаря видовому разнообразию "организмов-перехватчиков", адаптационной подогнанности почв к специфике экосистемы и др.

При вовлечении почв в сельскохозяйственный процесс зачастую перестает "работать" не только принцип многократного оборота одних и тех же элементов, но, что особенно недопустимо, не реализуется должным образом полное однократное усвоение доступных соединений, в первую очередь внесенных с удобрениями. В результате в освоенных почвах теряется значительная или бóльшая часть поступающих с агрохимикатами элементов, а естественные механизмы экономного использования пищевых ресурсов почвы в существенной мере блокируются. Печальными следствиями данного явления оказываются: ослабление основной функции почвы — ее естественного плодородия, загрязнение окружающей среды вымываемыми из почвы агрохимикатами, непроизводительная трата людских сил и природных ресурсов при получении сырья для удобрений.

Указанные негативные последствия наглядно проявляются при применении азотных удобрений (Башкин, 1986). В регионах интенсивного земледелия в агробиогеоценозах аккумулируется лишь около половины поступающего с удобрениями азота, причем 40—50% этого азота в дальнейшем может попадать в грунтовые воды и загрязнять их. Кроме того, подсчитано, что при внесении низких доз азотных удобрений, как правило, стимулируется естественная (симбиотическая и несимбиотическая) азотфиксация. При высоких же дозах удобрений картина изменяется. В почве происходит аккумуляция доступного азота как за счет удобрений, так и за счет почвенного фонда вследствие усиления азотминерализующих процессов, что приводит к существенному ингибированию азотфиксации.

Причины снижения эффективности внесения высоких доз удобрений неоднозначны. Требуется специальное рассмотрение каждой конкретной ситуации. Но можно назвать факторы, которые наиболее часто определяют рассматриваемое явление. Среди них следует отметить отсутствие строго ритмичного соответствия между фазами повышенного потребления элементов питания растениями и внесением земледельцем удобрений в почву, которое обычно или запаздывает, или оказывается преждевременным. Сюда же относится и часто встречающийся неточный расчет времени использования химических средств защиты растений, что приводит к заметному увеличению пестицидного давления (до 30—40%) по сравнению с идеальным вариантом, при котором пестициды вносятся на основе достоверного прогноза численности вредных насекомых.

Весьма распространенным оказывается также стремление решить

проблему достижения максимальной биологической продуктивности полей в основном за счет усиления функции почв как источника элементов питания, главным образом путем внесения высоких доз агрохимикатов без должной заботы о поддержании в оптимальном режиме других биологических функций обрабатываемых почв. Нередко встречающееся "засыпание" территории агрохимикатами происходит из-за недостаточности эколого-экономического контроля за их использованием, т.е. без учета в полной мере потерь от неэффективного применения удобрений и пестицидов и ущерба, наносимого при этом окружающей среде и здоровью людей. Особый вред в таких случаях наносит несогласованность в действиях различных организаций.

Охарактеризованные закономерности происходящих в почвенном профиле процессов возобновления и нарушения различного типа далеко не исчерпывают данный класс явлений. Но они наглядно показывают важность анализа с позиций системного подхода общих особенностей функционирования почвы как динамической природной системы. Результаты такого анализа имеют не только сугубо теоретическое значение. Они позволяют гораздо полнее и объективнее разобраться в причинах и факторах разбалансировки нормального функционирования реальных почв в случае их нерационального использования и антропогенной деградации, определить наиболее действенные пути регулирования экологических функций почв и их сохранения.

ПРОБЛЕМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ПОЧВ

Проблемы динамики почв, во многом определяющие разработку вопросов функционирования почвенных систем, имеют важное теоретическое и прикладное значение.

В трудах основоположников генетического почвоведения и их учеников эти проблемы занимали достойное место. Достаточно вспомнить, что в первом учебнике по почвоведению Н.М. Сибирцева была отдельная глава о динамических явлениях почвообразования. В учебнике по почвоведению С.А. Захарова имелся специальный раздел, посвященный жизни почв. В дальнейшем отдельные динамические аспекты науки о почве получили убедительное развитие в трудах Б.Б. Полынова, В.А. Ковды, В.Р. Волобуева, А.А. Роде, В.В. Пономаревой, М.А. Глазовской, С.В. Зонна, Н.И. Базилевич, Г. Иени, Ф. Дюшофура, Ф.Р. Зайдельмана, Л.О. Карпачевского, А.Н. Геннадиева и др. Однако начиная с определенного периода стало намечаться ослабление фундаментальной разработки рассматриваемых проблем, происходящее на фоне продолжающегося накопления новых фактов и наблюдений в данной области. Одним из следствий этого оказалось то, что в современном почвоведении фактически нет специального теоретического обобщения по динамике почв в целом. В то же время неоднократно отмечалась (Ковда, 1981б; Розанов, 1983; и др.) актуальность работ в данном направлении, в том числе их интеграция с исследованиями функционирования различных почв (Никитин, 1984, 1985).

Кратко рассмотрим причины недостаточной разработанности проблемы и основное содержание исходных понятий.

Вопрос о причинах, как всегда, непрост. Их несколько. К числу наиболее заметных следует отнести сохранявшееся длительное время чрезмерно утилитарное, одностороннее понимание почвы. Следствием этого явилось обеднение многих программ исследовния почв и их изменений, упрощение анализа взаимосвязей почв и факторов среды, явное занижение значимости почвы в развитии и функционировании связанных с ней природных объектов. И хотя работ, в названии которых использовался термин "динамика", оказалось достаточно много, в большей их части рассматривались лишь сезонные изменения тех или иных параметров почв, в основном некоторых химических показателей, и водно-тепловой режим. С таким явным заужением понятия динамики почв трудно согласиться. Некоторые почвоведы, правда, пытались вкладывать в него более широкий смысл (Чертов, 1981), но делалось это редко и робко. В "Толковом словаре по почвоведению" (М., 1975) мы не находим определения интересующего нас термина.

Слабая разработанность одного из фундаментальных понятий почвоведения, несомненно, оказалась известным тормозом в теоретической разработке рассматриваемой проблемы. В связи с этим возникает необходимость внести определенные уточнения в данный вопрос.

Известно, что термин "динамика" при широком его использовании имеет несколько основных значений: а) отдел механики, изучающий движение тел в зависимости от действующих на них сил; б) изменения, движения, действия; в) ход развития какого-нибудь явления. Приведенная смысловая нагрузка свидетельствует, что в почвоведении нет каких-либо этимологических оснований сужать понятие динамики в применении его к миру почв. Представляется, что в почвоведении понятие динамики почв также может иметь три главных смысловых нагрузки: 1) особое научное направление (почвенная динамика) или разделы почвоведения, изучающие закономерности и законы динамики почв; 2) изменение почв и их отдельных компонентов и параметров; 3) ход развития почвенных систем различных классов (генетических профилей и их составляющих, элементарных почвенных ареалов и т.д.).

Поясним содержание второго и третьего значений понятия динамики почв. Когда говорят об изменении почв вообще, то под этим понимают, как правило, разнообразные трансформации и изменения почвенно-генетических профилей, компонентов, признаков, их режимов, элементарных процессов во времени и пространстве. При трактовке изменения почв как формы проявления их динамики следует четко оговорить границы временно́го интервала. Полагаем, что в данном случае допустимо тождество с аналогичными понятиями физической географии, где, например, под динамикой геосистем В.Б. Сочавой (1978) и другими географами понимается изменение геосистем под действием внутренних и внешних факторов в пределах одного этапа эволюции.

Вопрос о соотношении второго (изменение) и третьего (ход развития) значений понятия динамики почв должен, по-видимому, решаться на основе использования категорий "целое" и "часть". В этом случае ход развития какой-либо почвенной системы трактуется как один из видов ее изменений в целом, куда будут, разумеется, входить и изменения, не приводящие к заметному развитию почв (например, колебание их отдельных параметров в течение суток).

При разработке базового понятийного аппарата почвенной динамики необходимо также определить уровни пространственной и временно́й изменчивости почв, типы их хода развития и соотношение последнего с эволюцией почвенно-генетических профилей, причины изменения почв и др.

В числе основных уровней пространственной (Розанов, 1975; и др.) изменчивости почв выделяются глобальный, зонально-региональный, ландшафтно-биогеоценотический, профильно-генетический, горизонтный, агрегатный, атомарно-молекулярный уровни; временно́й ряд включает тысячелетний, вековой, многолетний (десятилетний), годичный, сезонный, суточный уровни (табл. 38).

Всесторонние исследования пространственно-временно́й изменчивости почв на каждом из уровней — важное условие получения объективной информации о динамике почв, позволяющей разрабатывать фундаментальные проблемы почвоведения и успешно решать стоящие перед ним прикладные задачи. Однако мы вынуждены констатировать явную неравномерность данных исследований. Так, достаточно полно изучена лишь пространственная зонально-региональная и профильно-генетическая изменчивость почв. Особенно слабо изучена временна́я изменчивость почв и их функций. Одна из главных причин этого — укоренившиеся представления о замедленном изменении почвенно-генетических профилей и длительное господство односторонних трактовок механизма их формирования. В то же время исследования последних лет свидетельствуют о повышенном динамизме, сложности и противоречивости процессов почвообразования.

Следует отметить, что в существенном уточнении нуждаются широко распространенные суждения о медленном многовековом и тысячелетнем формировании зональных почвенных профилей. Полученные факты о скорости проявления лессиважа, оглеения, гумусообразования и ряда других составляющих почвообразовательного процесса (Гагарина, Цыпленков, 1974; Карпачевский, 1981; Добровольский и др., 1981; Федоров и др., 1981; Геннадиев, 1985; и др.) свидетельствуют о том, что на рыхлых почвообразующих породах лесной зоны за несколько десятилетий — столетие могут формироваться и восстанавливаться многие почвы, обладающие большей частью генетических горизонтов. Так, Н.А. Качинским в опыте с перемещением генетических горизонтов в естественных подзолистых почвах было показано значительное обеднение рядом элементов мелкозема, помещенного в горизонт A_2, за срок около 10 лет. В опытах с насыпными почвами, заложенными В.Р. Вильямсом, за несколько десятилетий проявились отчетливые эффекты зонального почвообразования. Например, за 30 лет сформировался гумусовый горизонт,

Таблица 38

Уровни, типы изменений почв и их причины

Уровни пространственной изменчивости почв	Уровни временной изменчивости	Типы хода развития почв	Характер причин изменения и развития почв
Глобальный. Зонально-региональный. Ландшафтно-биогеоценотический. Профильно-генетический. Горизонтный. Агрегатный. Атомарно-молекулярный	Тысячелетний. Вековой. Многолетний. Годичный Сезонный. Суточный	Унаследованный. Неунаследованный Прогрессивный. Регрессивный Сбалансированный Ускоренный. Замедленный	Стадийные и ритмические изменения природы. Катастрофические изменения природы. Средоулучшающая деятельность человека. Средоразрушающая деятельность человека. Автопедогенез (саморазвитие почв)

который по мощности, количеству и качеству органического вещества был близок к гумусовому горизонту естественных дерново-подзолистых почв соседних территорий (Кауричев и др., 1974; и др.).

Во многом аналогичная картина возможна и при формировании почв на рыхлых субстратах в условиях семиаридного и аридного климата. В этом плане интересны наблюдения за почвообразовательным процессом в солончаковых солонцах при искусственном нарушении их профиля (Большаков, 1975, см.: Никитин, 1982б). В течение 35 лет на площадках с удаленным надсолонцовым и солонцовым горизонтами произошло рассоление всей зоны аэрации и образование светло-каштановых почв. На площадках с насыпным гумусовым горизонтом (вместо удаленных) произошло осолонцевание почв с развитием комплекса, состоящего из сильносолонцеватых почв и солонцов.

Факты быстрого образования всех или большей части генетических горизонтов при почвообразовании на дисперсных субстратах несомненно важны и нуждаются в объяснении. При трактовке данного интересного явления, по-видимому, особое значение приобретают исследования, в которых устанавливаются родство и связи почв и кор выветривания, обращается внимание на проникновение почвообразовательного процесса на большую глубину (Глинка, 1927; Высоцкий, 1934; Глазовская, 1972; Таргульян и др., 1974; и др.) Идеи глубокопрофильного почвоведения говорят о том, что быстрое образование полноценного почвенного профиля на рыхлых отложениях есть вполне закономерное явление, обусловленное тем, что почва в данном случае "растет" не на голом месте, а развивается, точнее, достраивается на материале, уже прошедшем через почвообразовательный процесс или испытавшем его значительное организующее воздействие.

Отмечая благоприятные предпосылки для быстрого проявления почвообразовательного процесса на рыхлом субстрате, следует подчеркнуть, что эта быстрота относится в основном к образованию отдельных компонентов зонального профиля — формированию гумусовых аккумуляций, обособлению зоны элювиирования и иллювиирования и др., но не к развитию зрелых почвенных горизонтов, которое может затягиваться на несколько тысячелетий и более.

Таким образом, налицо очевидное противоречие между активным и быстрым проявлением почвообразования на дисперсных породах, приводящим к ускоренному формированию отдельных компонентов профиля, и довольно медленной эволюцией многих полноразвитых генетических типов с достаточно полной реализацией почвообразовательного процесса и экологических функций почв. Противоречие это, однако, в значительной мере видимое и заключается прежде всего в гетерохронности различных горизонтообразующих явлений. Так, такие процессы, как гумусообразование, лессиваж, оглеение, относятся к числу тех, результаты которых фиксируются в профиле за короткие сроки, измеряемые годами и десятилетиями. Ряд же других процессов, например подзолообразование, являются значительно более трудноосуществимыми, с более длительными сроками морфогенетической реализации или большими характерными временами, по терминологии В.О. Таргульяна, И.А. Соколова (1976).

Очень часто полагают, что морфология почвенного профиля является воплощением только устойчивой, консервативной составляющей почвы (почва-память), а ее динамическая компонента (почва-момент) практически целиком приходится на водно-воздушный и температурный режимы. С таким разделением по фазам почвы-памяти и почвы-момента трудно согласиться, так как обе они, на наш взгляд, динамичны и подвижны непрерывно, хотя первая действительно хранит в себе эволюционную информацию в наиболее полной форме. Фактов подвижности, сезонной и годичной изменчивости морфологических признаков и элементов почвы накопилось немало. Так, было рассмотрено значительное годичное изменение мощности осветленной оглеенной зоны слабоподзолистых глееватых почв средней тайги Западной Сибири в связи с колебаниями их увлажненности (Никитин, 1979, 1985). Достаточно обширный материал накоплен также по сезонной и годичной динамике агрегатного и микроагрегатного состава гумидных и семиаридных почв, изменчивости и колебаниям архитектуры почвенного профиля в связи с явлениями мерзлотной деформации и педотурбации при периодическом увлажнении и высыхании мелкозема (Кремер, 1969; Федорова, 1970; Макеев, 1980; и др.).

Следует, однако, подчеркнуть, что изменчивость ряда морфологических признаков обычно сочетается с устойчивостью общего типа строения почвенных профилей и сохранностью в них генетических горизонтов в течение длительного времени.

Кроме повышенного динамизма многих составляющих почвообразовательного процесса, не менее важной особенностью является его сильно выраженная противоречивость. Существенный аспект противоречивости уже отмечался — это наличие в почвенном профиле не

только легкоизменчивых компонентов, но и образований с ясно выраженной консервативностью, что дало основание В.О. Таргульяну и И.А. Соколову (1976) рассматривать почву как двуединое тело, состоящее из почвы-памяти и почвы-момента. Другое важное проявление противоречивости почвообразования состоит в том, что оно осуществляется преимущественно в результате действия противоположно направленных элементарных процессов (Глазовская, 1972).

Одним из конкретных следствий указанной противоречивости почвообразования является то, что одна и та же почва оказывается удобным субстратом для одновременного нахождения видов, предъявляющих разные функциональные требования к среде обитания. Например, в поверхностном слое структурных отдельностей ряда горизонтов условия благоприятные для аэробных форм, а внутри отдельностей — для анаэробных (Гиляров, 1968; Звягинцев, 1987).

Главное значение диагностики и определения типа хода развития (процесса развития) почв заключается в открывающейся при этом возможности прогноза их изменения на ближнюю и дальнюю перспективу, что особенно важно для решения проблем рационального использования и охраны земельных ресурсов. Однако работы в этой важной области пока еще не приобрели должного размаха и носят в основном постановочный характер.

Так, в почвоведении ограниченно используется понятие хода развития как одной из главных форм проявления динамики. Чаще (Григорьев, 1966; Орлов, 1975; и др.), но также ограниченно данное понятие употребляется в физической географии. В связи с этим необходимо специально определить его смысловое содержание. Под ходом развития почв, а также других природных объектов понимается такая их динамика на данном этапе эволюции, которая приводит к накоплению необратимых количественных изменений, обусловливающих со временем приобретение данными объектами новых качественных показателей, знаменующих собой переход системы на новый этап развития. Иначе, ход развития — это эволюционное (в широком понимании) движение объекта в рамках одного этапа эволюции от его начала до перехода в новое качественное состояние.

Какое же научное значение понятия хода развития? Прежде всего, оно позволяет дополнить новым содержанием многие эволюционные учения, которые весьма часто заканчивают исторический анализ развития своего объекта исследования на этапе достижения им сегодняшнего состояния. При динамическом анализе обязательно исследование в полном объеме как изменений, происходящих с данным объектом в настоящее время, так и прогноз тенденций дальнейшего развития его функций и свойств. Благодаря этому в значительной мере ликвидируется разрыв между историко-генетическим и функционально-динамическим подходами и открываются дополнительные возможности для синтеза научной информации об объектах исследования.

О научной и практической значимости изучения современного хода развития почв убедительно свидетельствуют, в частности, исследования динамики ландшафтов и почвенного покрова лесо-болот-

ной зоны Западной Сибири (Орлов, 1975; Добровольский и др., 1981; Караваева, 1973, 1982; Никитин и др., 1988; и др.).

К числу основных задач динамических исследований в почвоведении, несомненно, относится выявление закономерностей динамики почв. Анализ имеющихся материалов и разработок позволяет сформулировать ряд обобщений качественного порядка, являющихся необходимым этапом в решении рассматриваемой проблемы.

Наличие нескольких уровней и многообразие типов и причин динамики почв. Данное положение имеет важное значение для устранения односторонних представлений о характере и факторах изменения почв и их компонентов. Оно ориентирует исследователя на изучение изменчивости почв на всех уровнях их организации. Можно привести немало примеров, когда исследования почв на уровнях, которые были ранее малодоступны для изучения, давали исключительно ценную, а в ряде случаев принципиально новую информацию о развитии и функционировании почвенных систем и способствовали заметному прогрессу почвоведения в целом. Так было, когда стали широко внедряться методы изучения почв на атомарном, минералогическом, микро- и мезоморфологическом уровнях и на уровне структур почвенного покрова.

В настоящее время благодаря все большей реализации исследований почв на молекулярном уровне появились предпосылки для широкого использования методов физической химии, в частности химической термодинамики, позволяющей учитывать конкретные химические соединения почв и их количества. Данное обстоятельство, а также открывающиеся новые перспективы изучения почвенного покрова дистанционными методами позволяют решать кардинальные задачи функционально-динамического почвоведения. В частности, как справедливо отмечает Д.С. Орлов (1986), расширяются возможности изучения почв в естественном состоянии, без нарушения их природного сложения и функционирования.

Положение о многообразии типов и причин изменения почв (табл. 39) служит прежде всего существенным ориентиром в раскрытии многих важных аспектов почвенной динамики. Однако до сих пор отдельные исследования по данному вопросу не систематизированы сколько-нибудь полно. Так, проблема причин изменения и развития почв напрямую связана с учением о факторах почвообразования, которое сегодня не детализировано еще должным образом. В то же время многочисленные данные свидетельствуют, что докучаевские, справедливые в своей основе представления об основных почвообразователях должны быть не только развиты, но и существенно дополнены обязательным включением в общий перечень почвообразователей и факторов менее универсальных. Учет разнообразия факторов, несомненно, помогает значительно полнее видеть реальные пути изменения почв и их экологических функций и своевременно корректировать научные и практические мероприятия.

В последние годы все ощутимее становится необходимость в полной мере принимать во внимание негативные изменения многих почв в результате антропогенного загрязнения. Вклад загрязнения в общую

Таблица 39

Факторы формирования и динамики почв

Природные факторы		Антропогенные факторы	
универсальные	региональные и местные	средоулучшающие, средосохраняющие	средоразрушающие
Климат. Материнские породы (состав и сложение) Рельеф. Живые организмы. Аэральное поступление твердых, газообразных и растворимых в атмосферных водах веществ. Естественная денудация	Грунтовые воды. Криогенез. Вулканизм. Неотектоника. Поступление вещества при делювиальных, пролювиальных, селевых сносах. Наследование реликтового почвенного профиля и коры выветривания	Экологически обоснованные мелиорации. Рациональное землеустройство. Севообороты. Почвозащитное земледелие и соблюдение требований рациональной агротехники. Мероприятия по особой охране природы и почв	Побочные следствия некоторых мелиораций. Антропогенная эрозия. Загрязнение и деградация почв при нерациональном внесении агрохимикатов. Воздушное загрязнение почв. Деградация почв при прямом хозяйственно-бытовом воздействии (выпас, рекреационная нагрузка, свалки, строительство и т.п.). Разрушение почв при проведении военных действий, учений и испытаний

деградацию окружающей среды сильно возрос. Если в начале века в результате действия данного фактора погибло около 20% растений и животных от общей суммы потерь вследствие антропогенного пресса, то в 1980 г. этот показатель составил 52% (Коробков, 1986). В будущем ожидается дальнейшее возрастание негативного влияния загрязнения.

Особую тревогу вызывает то обстоятельство, что сильная деградация почв может происходить в результате опосредованного действия (через воздушную среду) газо-пылевого промышленного загрязнения, выпадения кислотных дождей и т.п. Степень изменения почв при этом оказывается весьма значительной. Например, в результате выбросов предприятий черной и цветной металлургии в почвах прилегающих территории уменьшается численность практических всех эколого-трофических групп микроорганизмов и значительно изменяется соотношение между ними, а вследствие этого происходит нарушение функциональной связи в экосистеме, снижение биологической активности почв. В связи с этим очевидна несомненная актуальность проблемы деградационной динамики почв, своевременная разработка которой позволяет успешно решить многие задачи сохранения почв, в том числе правильного выбора и защиты от воздушного загрязнения особо охраняемых участков, которые должны входить в Красную книгу природы.

Различие типов и темпов хода развития почв в пределах природной зоны, района, ландшафта. Данное положение есть следствие такой характерной особенности почвообразования, как его гетерогенность и гетерохронность, приводящей к тому, что в подавляющем большинстве случаев имеет место несовпадение в той или иной степени почв, даже наиболее близких по конкретным морфологическим признакам, свойствам, режимам и времени их реального изменения. Еще до сравнительно недавних пор это положение фактически не работало ни в научном, ни в практическом плане, что наиболее отчетливо отразилось в представлениях о едином зональном генетическом типе почв и связанных с этими представлениями рекомендациях по сельскохозяйственному использованию земель в различных частях природной зоны. Хотя в принципе концепция единого зонального типа почв и пересмотрена, но в полной мере научные и практические следствия этого пересмотра реализованы еще далеко не полностью. В то же время появляется все больше данных, свидетельствующих о действительной неоднородности того, что представлялось еще вчера качественно неразличимым.

Так, многие исследователи доказали, что считавшийся ранее зонально единым тип подзолистых почв состоит из ряда хотя и родственных, но самостоятельных генетических типов, существенно различающихся по консервативным и особенно динамическим и функционально-экологическим показателям (Таргульян, 1971; Глазовская, 1972; Караваева, 1973; Добровольский и др., 1981; Никитин, 1985; и др.). Становится также все более очевидным разнообразие путей эволюции и хода развития почв как в пределах одной природной зоны, так и в пределах одного и того же ландшафта. Например, А.Н. Геннадиевым (1985) показано существенное различие в развитии почв, формирующихся на различных элементах микрорельефа. Так, почвы микроповышений (светло-каштановые) и микропонижений (лугово-каштановые) значительно различаются по интенсивности и времени реализации частных почвообразовательных макропроцессов: гумификации, осолонцевания, суспензионного переноса и др.

Динамическое разнообразие почв и почвенного покрова заставляет уделять данному обстоятельству все большее внимание при сельскохозяйственном использовании земель. А.М. Рябчиков и К.Г. Тарасов (1986) отмечают недостаточность господствующего в мировом сельском хозяйстве зонального подхода, учитывающего специфику лишь основных типов почв. Авторы ратуют за ландшафтный метод.

Дальнейшее углубление динамического подхода в сельском хозяйстве приводит, кроме того, к необходимости основательного учета и внутриландшафтной пространственно-временно́й изменчивости экологических функций почв, оказывающей существенное влияние на урожайность. Об этом, в частности, свидетельствует монографическое исследование Д.В. Федоровского "Микрораспределение питательных веществ в почвах" (М., 1979), в котором показано сильное влияние гетерогенности почвенной среды небольших участков на корневое питание растений.

Увеличение изменчивости и обновляемости почв (и почвенных компонентов) при приближении к зонам их непосредственного взаимодействия. Эта закономерность проявляется на нескольких уровнях. Так, отмечается повышенная изменчивость почв и почвенного покрова на стыке различных природных зон и ландшафтов (Григорьев, 1966; Никитин, 1985). В пределах почвенных профилей усиление трансформационных и обменных процессов обычно обнаруживается на стыке различных генетических горизонтов и при переходе от нижних слоев к верхним, выходящим на непосредственный контакт с факторами среды. На мезо- и микроморфологических уровнях действие рассматриваемой закономерности выражается в большей насыщенности изменениями пограничных микрозон, внешних участков педов и межтрещинной массы, в лучшей сохранности реликтовых компонентов во внутрипедных, менее активных участках (Таргульян и др. 1974; Ромашкевич, Герасимова, 1982; Шоба, 1988; и др.).

Практическое и методическое значение данной закономерности очевидно. В частности, она свидетельствует о важности всестороннего исследования пограничных участков различных рангов: зональных, региональных, ландшафтных, профильно-генетических, горизонтных и др. Именно углубленное изучение контактных зон взаимодействия лес—болото помогло открыть неизвестные ранее процессы развития и динамики крупнейшего болотного района мира — Западно-Сибирской равнины (Орлов, 1975; Караваева, 1973, 1982; Добровольский и др., 1981; Корсунов, Ведрова, 1982; Гаджиев, 1982; Нечаева, 1986; и др.). Так, обнаружение частой смены темпов заболачивания и широкое распространение разболачивающихся участков в суходольно-болотных местоположениях западносибирской тайги позволили сформулировать гипотезу возвратно-поступательного механизма заболачивания этого региона (Никитин, 1985).

Согласно этой концепции, на фоне общего нарастания болотообразовательных процессов в лесной зоне Западной Сибири в течение голоцена имели и имеют место на обширных территориях явления противоположного характера, выражающиеся в ослаблении болотообразования, его периодических перерывах или прямой деградации болот на отдельных участках. Данный вывод заставляет по-новому подходить к оценке динамики экосистем и экологических функций почв западносибирской тайги при их хозяйственном освоении, что весьма актуально, поскольку население в этом регионе в будущем значительно увеличится.

Понимание повышенной значимости зон непосредственного контакта взаимодействующих объектов заставляет также пересмотреть и дополнить традиционные методы исследования почвенно-генетических профилей и способы отбора образцов для аналитических определений. В свете сказанного становится ясна необходимость более полного полевого и лабораторно-экспериментального изучения переходных зон между различными горизонтами почв, что особенно важно для прогноза направления их текущего развития (Никитин, 1985).

Увеличение амплитуды и стохастичности изменения параметров при переходе от более консервативных компонентов почв к более

мобильным. У почв, как и у многих других систем, размах изменчивости мобильных параметров оказывается обычно существенно бóльшим, чем диапазон колебаний консервативных составляющих за один и тот же отрезок времени. Так, гидротермический режим, сезонная и годичная динамика подвижных соединений, как правило, значительно более изменчивы, чем суммарный вещественный состав почвенно-генетического профиля и его горизонтная дифференциация. Это обстоятельство не получило пока полного понимания при общей оценке современной жизни основных генетических типов почв и тенденций их развития. В результате о направлении текущего почвообразовательного процесса часто судят по консервативным показателям. Так, во многих работах делается вывод о современном течении подзолообразовательного процесса в пахотных почвах лесной зоны только на том основании, что в них присутствуют остатки горизонта A_2, который, по данным химических анализов, обеднен многими компонентами. В то же время можно привести немало случаев, когда такой вывод неправомочен. Примером могут служить исследования по дерново-подзолистым почвам, подвергающимся интенсивному окультуриванию, тенденция развития и экологическое состояние которых уже изменились и они перестали быть подзолистыми по почвемоменту.

В связи со сказанным о повышенной изменчивости мобильных почвенных компонентов не допустима чрезмерная генерализация сведений по сильноизменчивым составляющим почвы, которая не позволяет построить корректную динамическую модель функционирующей почвы, носящей часто вероятностный характер. Типичным примером может служить интерпретация водного режима почв по усредненным данным многолетних наблюдений. Несомненно, обобщенные гидроизоплеты необходимы, так как позволяют, в частности, вычленить наиболее характерные черты водного режима различных генетических типов, но они должны обязательно сочетаться с дифференцированной по годам, сезонам, месяцам оценкой водного режима конкретных почв на основе полного учета межгодичной и внутригодичной изменчивости их водообеспеченности. Эта изменчивость очень значительна и не позволяет согласиться с имеющимся в ряде случаев однозначным делением почв на избыточно, нормально и недостаточно увлажненные. На наш взгляд, в решении данного сложного вопроса нужно использовать иной подход. при котором одна и та же почва может рассматриваться в разных гидротермических категориях в зависимости от конкретной межгодичной и сезонной динамики климата.

К сожалению, во многих работах по общей мелиоративной оценке земель, например, нечерноземная зона относится к избыточно влажной. Однако такое заключение является заведомым огрублением реальной действительности, так как оно имеет определенный смысл лишь при сравнении нечерноземной зоны с аридными регионами. При непосредственном же освоении почв нечерноземной зоны совершенно необходим конкретный подход, в полной мере учитывающий пространственно-временну́ю динамику гидротермического и пищевого режимов почв и изменчивость их экологических функций. Важность такого

учета диктуется не только тем, что в засушливые периоды подавляющая часть почв Нечерноземья из избыточно влажных переходит в категорию не обеспеченных водой, но и тем, что и в нормальные по увлажнению годы многие земли данного региона достаточно продолжительное время не содержат оптимальных запасов влаги. Это прежде всего почвы, развитые на однородных песках и щебнистых породах, многие разности, формирующиеся в условиях пересеченного рельефа и в восточных менее увлажненных районах равнинной части СССР (Ногина, Тюлин, 1974; и др.).

Значительная изменчивость мобильных составляющих почв может быть обусловлена не только повышенным динамизмом макроклиматических условий, но и достаточно быстрым изменением многих факторов почвообразования, слабо учитываемых в почвоведении. Так, редко принимается в расчет преобразующее влияние неотектоники. В то же время появляется все больше данных, свидетельствующих о постоянной подвижности земной коры (Ушаков, Ясаманов, 1984; Белоусов, 1986; и др.), заставляющей рассматривать неотектонические явления как существенный фактор почвообразования, действующий на обширных пространствах.

Говоря о повышенном динамизме мобильных параметров почв и их экологического состояния в связи с быстрой изменчивостью многих компонентов среды, следует особо подчеркнуть резко возросшее влияние на почвенный покров Земли хозяйственной деятельности человека.

Относительное отставание ясно выраженных структурных изменений почв от функциональных. Действие данной закономерности определяется тем, что многочисленные компоненты почвы изменяются за существенно разные промежутки времени, испытывая существенно разную динамику и трансформации. Быстрые изменения водного режима, количества водорастворимых соединений, в том числе биологически активных, а также величины pH, Eh и содержания обменных ионов могут приводить к тому, что на фоне практически неизменной, визуально определяемой структурной организации почвенно-генетический профиль будет обладать качественно иными функционально-экологическими показателями, что немедленно скажется на продукционном процессе и функционировании почвы в целом.

Учет данной закономерности позволяет своевременно понять многие на первый взгляд неясные вопросы, касающиеся явлений взаимодействия почв и биоценозов, в том числе культурных. Так, почвоутомление, малая в ряде случаев эффективность минеральных удобрений связаны нередко именно с негативными функциональными изменениями почв, в частности нарушением оптимального течения биохимических процессов (ослабление утилизации продуктов метаболизма и мобилизации элементов питания из почвенного пищевого депо и др.).

Аналогичность типов текущего хода развития и общей эволюции почв. Сущность данного принципа заключается в сходстве механизмов и путей суммарного развития (общей эволюции) почв с механизмами и путями направленного их изменения в рамках од-

ного этапа эволюции — хода развития (динамики) почв. Это положение свидетельствует об исключительной важности специального всестороннего выявления всего разнообразия эволюции и динамики почв, а также действенной диагностики текущего изменения современных почвенно-генетических профилей и их экологических функций.

В заключение еще раз подчеркнем *тесную взаимосвязь вопросов динамики и функционирования почв.* Особенно следует обратить внимание на то, что изучение пространственной динамики почв позволяет параллельно вскрывать их функциональное разнообразие, а изучение временной динамики почвенных систем является основой объективного познания изменчивости экологических функций почв и их функционирования в целом во времени. Необходимо, однако, отметить, существенную разорванность исследования динамики и функционирования почв. Одной из главных причин данной разорванности оказывается слабая разработанность исходных понятий и обобщений по динамике почв, некоторые аспекты которой были рассмотрены в настоящем разделе.

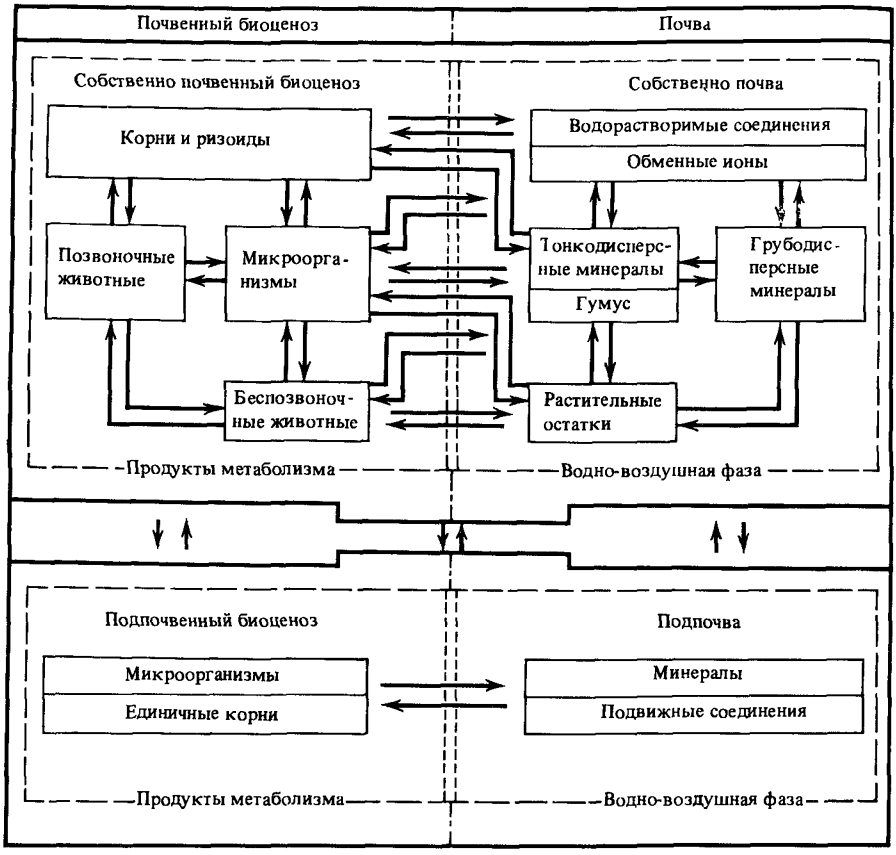
ВЗАИМОСВЯЗЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Во многих научных исследованиях и прикладных рекомендациях по хозяйственному использованию земель наиболее часто предается забвению положению о системности, взаимообусловленности свойств и функций почвы и перестройке в той или иной мере ее функционального ансамбля в случае изменения какого-либо одного блока. Причины такого забвения заключаются прежде всего в том, что не учитывается определенная скоординированность структурно-функциональной организации как компонентов собственно почвенного профиля, так и взаимодействующего с ним биоценоза почвы. Эта скоординированность была отражена, в частности, в концепции *педосистемы* (*биопедоценоза*) (Никитин, 1977, 1979, 1980), а также понятии агропедоценоза, введенного В.Д. Мухой (1979). В связи с важностью данной концепции для более полного понимания проблемы взаимосвязи и изменчивости экологических функций почв рассмотрим основное ее содержание.

Педосистема в нашей трактовке представляет собой динамическое единство почвы и населяющих ее живых организмов и корней. В определенном смысле она близка к почве в понимании почвоведов, выделяющих в ней живую фазу как составную часть. Приведем сокращенное описание схематической модели педосистемы.

В педосистеме выделяются следующие основные блоки: собственно почва и подпочва, в совокупности образующие почву; собственно почвенный и подпочвенный биоценоз, вместе составляющие биоценоз почвы (схема 2). Собственно почва представляет собой почву в классическом докучаевском понимании. Ее нижняя граница определяется нижней границей активного проявления почвообразовательного процесса, или "деятельным слоем почвообразования", по терминологии И.П. Герасимова. Собственно почвенный биоценоз — это сово-

Структурная модель педосистемы (биопедоценоза)



купность корней, ризоидов и всех живых организмов, обитающих в деятельном слое почвы. Подпочва — прилегающие к собственно почвенному профилю горизонты с ослабленными, но еще заметными признаками почвообразовательного процесса. Биоценоз подпочвы составляют обитающие в ней живые организмы и единичные корни.

Целесообразность и правомочность включения в педосистему не только собственно почвы и ее биоценоза, но и подпочвы с поселяющимися в ней живыми организмами диктуются рядом научных наблюдений и фактов. К ним в первую очередь относятся данные о проявлении признаков почвообразования на большой глубине и проникновении многих живых организмов, связанных с почвой, на глубину, значительно превышающую мощность деятельного слоя почвообразования, ограниченного 1—1,5 м. Например, ряд основных признаков почвообразовательного процесса прослеживается до глубины более 4 м, а корни травянистых растений могут проникать до 5—10 м.

Совместное рассмотрение и изучение собственно почвы и подпоч-

вы, а также сообщества населяющих их организмов — давно назревшая задача, попытки решения которой предпринимались неоднократно. Так, Г.Н. Высоцкий (1934) выдвинул идею о глубокопрофильном (полнопрофильном) почвоведении, и обосновал необходимость детального изучения всей толщи, охваченной почвообразовательным процессом. М.А. Глазовская и С.В. Зонн показали, что почвообразование часто распространяется на значительно бо́льшую глубину, чем это принято считать, в связи с чем полный почвенный профиль, по их мнению, должен включать совокупность всех горизонтов, в которых отмечается развитие корней.

Важность полнопрофильных исследований доказывается не только общими соображениями, но и конкретными наблюдениями почвоведов. Однако широкого размаха они до сих пор не получили, что в значительной мере объясняется отсутствием достаточного теоретического обоснования необходимости их проведения. Концепция педосистемы в определенной мере устраняет данный пробел. Она, кроме того, позволяет достаточно корректно решить дискуссионный вопрос о расширении объема сложившегося понятия "почва" и выделении четвертой, "живой" фазы почвы.

Разработанная в рамках указанной концепции модель педосистемы (см. схему 2) свидетельствует о большой сложности и насыщенности специфическими связями как собственно почвенной, так и биоценотической ее составляющей. В рассматриваемой схеме в качестве основных структурно-функциональных почвенных компонентов выделяются: 1) водорастворимые соединения и обменные ионы, 2) тонкодисперсные минералы и гумус, 3) растительные остатки, 4) грубодисперсные минералы, 5) водно-воздушная фаза. Основными составляющими биоценоза почв служат: 1) корни растений и ризоиды, 2) микроорганизмы, 3) беспозвоночные животные, 4) позвоночные животные, 5) продукты метаболизма растительных и животных организмов.

Даже простой перечень и элементарная группировка основных звеньев почвенного и биоценотического блока педосистемы свидетельствуют о том, что они характеризуются как тесным взаимодействием и взаимообусловленностью, так и наличием отчетливой специфичности, заставляющей постоянно учитывать не только их единство, но и качественное своеобразие. Именно это обстоятельство сильно затрудняет решение поднятого в литературе вопроса о расширении объема понятия "почва" простым выделением в ее составе еще одного компонента — "фазы живых организмов". Этот компонент оказывается слишком гетерогенным, насыщенным связями и взаимодействиями разных порядков. По уровню специфичности и сложности как почвенный биоценоз, так и почва вполне могут рассматриваться как особые системы, входящие в состав природного образования более высокой организации — педосистемы. Сама педосистема, разумеется, не может трактоваться как автономная, а должна рассматриваться в составе другой, еще более сложной системы — биоогеоценоза (экосистемы).

Такое вычленение сразу нескольких иерархических систем не противоречит принципам системного подхода. Оно позволяет одно-

временно фиксировать как качественное своеобразие объектов, так и возникновение более сложной системной организации, несводимой к простой сумме взаимодействующих структурных образований. Таким образом, введение понятия "педосистема" позволяет, с одной стороны, сохранить докучаевское понимание почвы, а с другой — признать необходимость постоянного и всестороннего учета взаимосвязей почвенного тела с населяющими его живыми организмами.

Развитие концепции педосистемы в определенной мере облегчает также решение вопросов, связанных с методическими разработками и постановкой новых исследовательских задач.

Сохранение за почвой, понимаемой по-докучаевски, и сообществом обитающих в ней организмов ранга особых природных систем свидетельствует о целесообразности дальнейшего углубленного развития тех подходов, которые уже сложились в генетическом почвоведении. В то же время в связи с признанием правомочности выделения более сложного образования — педосистемы — становится очевидной необходимость принципиального усиления почвенной экологии, задача которой — раскрытие в полном объеме сущности и многообразия взаимодействий почвы с различными природными компонентами, в первую очередь с живыми организмами и их метаболитами.

Введение понятия и разработка модели педосистемы особенно существенны в плане углубленного исследования почвенных биогеоценотических функций, поскольку становится более очевидной исключительная важность взаимодействий почвы и организмов, связанных с ней. Именно эти взаимодействия, определяющие многие главные функциональные особенности педосистемы, должны оказаться в центре внимания при изучении экологической роли почв.

Концепция педосистемы помогает полнее и глубже вскрыть формы и причины тесной взаимосвязи экологических функций почв и высокую динамичность многих из них.

Прежде всего становится более понятной неизбежность глубоких изменений в мире почвообитающих живых организмов в случае трансформации отдельных свойств почв, поскольку они вместе с ней составляют единое образование — педосистему, или биопедоценоз. Это достаточно очевидное с рассматриваемых позиций положение до сих пор еще не получило должного признания, особенно среди практических работников, что мешает своевременному предупреждению нежелательных явлений при хозяйственном использовании земель.

В качестве негативных примеров можно указать случаи обеднения состава биоценоза почвы и выпадения из нее ценных видов при применении высоких доз минеральных удобрений. Причины данного нежелательного явления объясняются существенным антропогенным изменением многих свойств почвы как среды обитания: частым сдвигом от оптимальных значений pH, ОВП, концентрации и соотношения элементов питания в почвенном растворе и поглощающем комплексе, попаданием с рядом агрохимикатов тяжелых металлов и др. (Авдонин, 1982; и др.).

Другим фактором негативных химических изменений почв, при-

водящих к деградации их биоценоза, оказывается техногенное воздушное загрязнение земель, масштабы и сила воздействия которого весьма внушительны. Размах данного явления вызывает серьезную тревогу. Так, в 80-е годы нашего столетия антропогенное выделение серы в атмосферу превысило 110 млн т, к 2000-му году оно может утроиться (Израэль и др., 1983). Если в доиндустриальную эпоху pH дождевых вод составлял примерно 5,6, то сейчас во многих регионах нередко опускается ниже 4,5. В результате происходит значительное подкисление многих почв и, следовательно, деградация их биоценозов. Ученые ФРГ подсчитали, что нейтрализация ежегодно выпадающих по стране с осадками кислот требует в среднем до 7 ц/га извести. Ухудшение свойств почв под влиянием кислотных дождей происходит и на территории СССР.

Приведенные примеры показывают, насколько важно учитывать все экологические последствия воздействия на химизм почвы различных агентов. Они также подтверждают положение о недопустимости одностороннего усиления одной какой-либо почвенной функции, например источника элементов питания, без учета всех изменений, в том числе негативных, происходящих в биопедоценозе и экосистеме в целом. В силу взаимозависимости свойств и экологических функций почвы любое однобокое, слабо контролируемое антропогенное воздействие на биопедоценоз вызывает в нем сложную перестройку и изменения, среди которых, как правило, весомое место занимают негативные последствия односторонних трансформаций земель при их нерациональном использовании. Причем в комплексе деградационных изменений обычным оказывается ухудшение по тем или иным показателям работающего на почвенное плодородие сообщества почвообитающих организмов, которое происходит не только при сдвиге химических процессов в почве, но и при заметном изменении ее физического состояния.

Специальные исследования вскрыли, в частности, неоднозначность изменений почвенной биоты при осуществлении мелиоративных мероприятий. Так, установлено, что при осушении и глубоком рыхлении гидроморфных почв Нечерноземья наряду с благоприятными изменениями в почвенной биоте происходит и сокращение численности ряда ценных видов организмов (Эколого-гидрологические основы..., 1986). Например, после осушения и распашки дерново-подзолистых глееватых почв на тяжелых отложениях общее количество дождевых червей в них сократилось на 30—50%, а зоомасса снизилась с 5,5—9,5 до 3,5—4,0 ц/га. Глубокое рыхление (до 80 см) привело в первые годы к дальнейшему резкому сокращению люмбрицид. Их общая численность в рыхленой почве оказалась в 7—8 раз ниже по сравнению с осушенной нерыхленой и в 11 раз ниже по сравнению с залежью. В дальнейшем при уплотнении рыхленой толщи численность люмбрицид возрастала, но и спустя 4 года в рыхленой толще она все еще была в 3—7 раз ниже, чем в осушенной нерыхленой почве и на залежи.

Основная причина рассмотренных негативных изменений в биоценозе почвы, произошедших при глубоком мелиоративном рыхлении,

понятна: мероприятия, направленные на оптимизацию только одной группы почвенных функций (в данном случае гидрологических), привели к побочному следствию — ослаблению других, не менее важных функций, и в первую очередь функции жилища и среды обитания почвенных беспозвоночных. В результате рыхления почвенной толщи на глубину до 80 см люмбрициды стали обитать в новых экологических условиях, при которых оказались сильно затрудненными их вертикальные передвижения, а естественная порозность почвы и ходы животных были нарушены: "Норники из глубины почвы не могут подняться на поверхность за пищей, среднеярусные черви лишены возможности мигрировать в глубь почвы при возникновении неблагоприятных условий. И в том и другом случае вероятна гибель люмбрицид" (Эколого-гидрологические основы..., 1986. С. 63).

Рассмотренные деградационные изменения в почвенном биоценозе, происходящие при односторонних аграрных воздействиях на почву с целью усиления отдельных ее свойств и функций, объясняют, почему такие воздействия часто не дают ожидаемого эффекта и нередко оказываются экологически и экономически невыгодными. В связи с этим особенно остро встает вопрос о предотвращении нежелательных антропогенных изменений почвы и педосистемы в целом. В частности, необходима разработка специальных мероприятий по сохранению в почве ценных видов беспозвоночных организмов, в первую очередь люмбрицид, особое значение которых в эффективном поддержании почвенного плодородия получает убедительное подтверждение в специальных экспериментах.

О.П. Атлавините с соавт. (1981) в биометрах на почвах показано исключительное положительное влияние дождевых червей на почвенную микрофлору: отмечено увеличение численности амонифицирующих бактерий в среднем на 72%, бактерий, усваивающих минеральный азот, — на 37 и олигонитрофильных бактерий — на 21%. Дождевые черви способствовали также значительному увеличению в почве содержания обменных Са и К, гумуса, оказали стимулирующее воздействие на активность протеазы и др. В результате под влиянием дождевых червей урожай озимой ржи увеличился на 15%, ячменя — на 25, клевера красного — на 47%.

Приведенные примеры взаимосвязи экологических функций подзолистых почв, обнаруживаемой особенно отчетливо при антропогенном их нарушении, можно значительно расширить.

Особый теоретический и практический интерес представляет проблема изменения экологических функций почв во времени и пространстве. При определении путей решения данной проблемы важно опираться и на рассмотренные положения о взаимосвязи почвенных функций, поскольку функциональная перестройка и трансформация почв, вызванные каким-либо фактором, будут протекать по вполне конкретным законам, среди которых существенное значение имеет принцип целостности и соподчиненности экологических функций почвы. Другим важным принципом изменения почвенных функций оказывается их различная устойчивость, что наиболее отчетливо проявляется при воздействии факторов деградации и ослабления функцио-

нирования почв. По-видимому, для почв в целом справедливо правило, сформулированное для биологических систем: более устойчивы эволюционно более зрелые функции.

В этой связи становятся понятными причины "утомления" многих старопахотных почв и сильного снижения их урожайности при достаточном количестве в них элементов питания. В этих случаях, по-видимому, имеет место значительная деградация более молодых экологических функций почвы (функции стимулятора и ингибитора биохимических процессов, жилища для почвообитающих животных и др.), происходящая на фоне сохранения, а то и усиления более зрелых функций (источник элементов питания, механической опоры).

Вследствие монофункционального подхода к почве в земледелии, как правило, основное внимание уделяется функции источника элементов питания и зачастую предаются забвению другие важные экологические функции, многие из которых, будучи менее зрелыми и устойчивыми, особенно легко подвержены деградации. Все это делает проблему динамики и устойчивости функций почв особенно актуальной, нуждающейся в глубоком всестороннем анализе и разработке. В ходе решения данной проблемы приобретают более глубокое содержание многие традиционные узловые вопросы почвоведения. Так, по-новому должно пониматься почвенное плодородие.

Проблема почвенного плодородия — одна из наиболее давних. В разное время она решалась по-разному. Постепенно оформились два основных подхода к пониманию плодородия почв. Согласно одному, плодородие оценивалось как способность почв производить урожай благодаря наличию определенных (немногочисленных) свойств, оказывающих решающее воздействие на формирование урожая. Согласно другому, почвенное плодородие трактовалось как явление относительное, обусловленное многими факторами.

Примером первого подхода к определению почвенного плодородия может служить теория В.Р. Вильяса, который видел сущность плодородия почвы в обеспечении ею растений пищей и водой. Роль же других факторов сводилась им главным образом к косвенному влиянию по созданию благоприятных условий для проявления основных факторов. Разделив все факторы жизни растений на космические (свет, тепло) и земные (вода, элементы пищи), он писал: "Способность почвы в той или иной степени удовлетворять растения в этой потребности их в земных факторах жизни носит название плодородия почвы и представляет ее качественное отличие как природного тела от бесплодного камня и других природных тел, не способных обеспечить жизненную потребность растений в одновременном и совместном наличии двух факторов их существования — воды и пищи" (1939. С. 31).

Примером второго подхода, который можно назвать многофакторным, могут служить высказывания С.М. Богданова, который считал, что плодородие земли есть совокупность всех тех условий жизни растений, которые обеспечивает почва (см. Никитин, 1981). К условиям почвенного плодородия, кроме химических свойств почв, он относил также физические свойства, живые организмы, обитающие

в почве, и др. "И каждое из перечисленных условий жизни растений им равно необходимо. Отсутствие хотя бы одного из них, так же как и прочих условий, не заключающихся в почве, делает нормальное развитие и даже само существование растений невозможным" (Там же. С. 5).

В дальнейшем многофакторное понимание почвенного плодородия в той или иной мере реализуют в своих трудах многие исследователи: Э.Д. Рассел (1955), Н.С. Авдонин (1982), Дж. Кук (1970), Б.А. Никитин (1981, 1986), Л.М. Томпсон, Ф.Р. Троу (1982), Ф.И. Левин (1983), А.П. Щербаков, И.Д. Рудай (1983), А.Н. Каштанов (Научные основы..., 1988) и др. При этом наметились новые аспекты в понимании почвенного плодородия. Во-первых, стала конкретизироваться идея В.И. Вернадского о плодородии как планетном явлении, что выразилось в представлениях Б.А. Никитина о том, что "плодородие почвы является лишь частью плодородия биосферы" (1981. С. 21). И далее: "Когда говорят о плодородии почв, то имеют в виду плодородие биогеоценоза в целом по отношению к какому-либо виду растения или группе их. Под плодородием понимается такое состояние среды в биогеоценозе, при котором происходит развитие растений. Разумеется, плодородие биогеоценоза проявляется в отношении всех живых организмов, населяющих его, а не только растений" (Там же. С. 45).

Одновременно усиливается акцент на относительности почвенного плодородия. «Все почвы, каковы бы ни были их свойства, обладают естественным плодородием, но не плодородием вообще, а относительным — по отношению к определенным видам растений и растительным ассоциациям. Кислые малогумусные подзолистые почвы высокоплодородны по отношению к лесной растительности, которая, однако, без особой мелиорации не произрастает даже на богатых гумусом черноземах. Болотные почвы в свою очередь высокоплодородны по отношению к болотным растениям, продуктивность которых часто выше, чем лугово-степных на черноземах, но на болотных почвах не могут расти степные или другие виды растений. Там, где свойства почвы и биологические свойства растительного покрова наиболее соответствуют друг другу, наблюдается и наиболее высокая продуктивность растений и наиболее высокое плодородие почвы в отношении "своей" растительности» (Левин, 1983. С. 7).

В некоторых работах стала отмечаться тесная зависимость плодородия не только от статичных параметров почв, но и от их режимных показателей, что со всей очевидностью указывает на относительность почвенного плодородия не только в пространстве, но и во времени, А.П. Щербаков и И.Д. Рудай, в частности, подчеркивают, что "плодородие почвы — это ее способность обеспечивать растения питательными веществами, создавать для них определенный водный, воздушный и тепловой режимы и тем самым формировать урожай" (1983. С. 5).

В свете разрабатываемых представлений об экологической полифункциональности почвы ее плодородие можно определить как интегральную почвенную экологическую функцию, обеспечивающую

Таблица 40

Влияние на урожайность уничтожения паразитов (Кук, 1970)

Доза азота, кг/га	Урожай зерна, ц/га	
	без обработки	при обработке формалином
75	14,6	37,5
225	29,3	44,9

формирование биомассы растений, имеющую относительный характер, отличающуюся сильной пространственно-временной изменчивостью и обусловленную взаимодействием различных свойств и функций почвы. Кроме того, по-видимому, целесообразно пользоваться двумя родственными понятиями: биологической продуктивности почв — способностью обеспечивать рост, развитие и формирование биомассы различных организмов, связанных с почвой, и понятием плодородия почв, под которым подразумевается более конкретная функция — способность почвы обеспечивать создание биомассы высших растений.

Таблица 41

Причины почвоутомления и способы их устранения (Аллелопатическое почвоутомление, 1979)

Причины почвоутомления	Науки, занимающиеся почвоутомлением	Применяемые мероприятия
Вынос питательных веществ, недостаток микроэлементов, нарушение солевого состава почв	Агрохимия, физиология растений	Различные виды и формы удобрений
Нарушение структуры и физико-химических свойств почв	Почвоведение	Агротехника, органические удобрения, известкование, гипсование и др.
Развитие фитопатогенной микрофлоры	Фитопатология	Протравливание семян, обработка больных растений, карантин
Одностороннее развитие некоторых групп почвенной микрофлоры в ущерб другим группам	Почвенная микробиология	Бактериальные удобрения, нитрагин, азотобактерин, фосфоробактерин и др.
Размножение вредителей	Энтомология	Химические и биологические меры по защите растений
Размножение злостных сорняков	Ботаника, общее земледелие	Агротехнические мероприятия, гербицидин
Сдвиг pH	Почвоведение	Известкование, применение физиологически кислых или щелочных удобрений

Вышеприведенное определение почвенного плодородия акцентирует прежде всего внимание на его многопричинной обусловленности, относительности и динамичности. Оно опирается на факты тесной зависимости способности почвы производить урожай от многочисленных ее свойств и рассмотренных ранее экологических функций. Так, показательны примеры низких урожаев на удобренных почвах, зараженных паразитами растений, и резкого увеличения урожайности полей в случае их уничтожения (табл. 40).

Ряд исследований свидетельствует о том, что плодородие почвы существенно зависит не просто от наличия тех или иных факторов урожайности, но и от их структуры и динамики. Например, важно не просто снабдить почву необходимым запасом азота, но и обеспечить качественность и сбалансированность азотного питания. Так, в опытах показана отчетливая зависимость фотосинтеза от условий азотного питания. В частности, избыточные дозы нитратного азота ослабляли в условиях опыта фотосинтез, амонийный азот оказывал положительное влияние (Фотосинтез..., 1988).

Наглядным доказательством многофакторной обусловленности почвенного плодородия может служить обилие причин почвоутомления (табл. 41).

Глава восьмая

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ОХРАНА РЕСУРСОВ БИОСФЕРЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Можно утверждать без каких-либо специальных оговорок, что проблема рационального использования и охраны природных ресурсов наряду с предотвращением ядерной катастрофы является кардинальной задачей современного человечества. Такое утверждение предполагает ясность самой постановки этой проблемы и определение основных путей ее решения. Однако, к сожалению, приходится констатировать, что данной ясности нет. Содержание проблемы рационального природопользования, ее объем и исходные посылки и концепции не определены достаточно однозначно. Потому в море литературы, затрагивающей интересующие нас вопросы, зачастую уживаются различные подходы, нередко диаметрально противоположные.

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И СИСТЕМ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Наряду с многочисленными призывами сохранить оставшуюся часть естественной природы периодически публикуются предложения по дальнейшему широкомасштабному освоению природных ресурсов с целью решения наиболее острых социальных нужд. Рассмотрение таких публикаций показывает, что они основаны в первую очередь на по-

пытках одностороннего прагматического решения задач освоения богатств природы во имя удовлетворения сегодняшних нужд человечества или интересов отдельных государств без тщательного анализа экологических последствий очередных преобразований природы. Особенно показательны в этом отношении предложения решить проблему голода за счет резкого расширения посевных площадей и распашки новых, еще не освоенных почв. Некоторые авторы полагают, что пашня может занять более 50% суши Земли. В более осторожных прогнозах называется существенно меньшая цифра — порядка 20% и менее (Розов, Строганова, 1979; Никитин, Орлов, 1986; и др.).

Такой резкий перепад в оценках допустимого освоения земельного фонда планеты свидетельствует об отсутствии достаточно ясных исходных посылок общего решения проблемы рационального природопользования. Это и понятно, так как до сих пор продолжают скрытое, а то и откровенное противоборство два различных подхода к стратегии взаимодействия человека и природы.

Один подход, зародившийся во времена сплошного покорения природы, может быть условно назван расширяющимся природопользованием. В настоящее время он претерпел значительную трансформацию, поскольку получил ряд серьезных ограничений, прежде всего в связи с химическим, радиоактивным загрязнением среды, эрозией почв и др. Поэтому сторонники современного расширяющегося природопользования признают необходимость соблюдения своевременных природоохранных мероприятий. Но, несмотря на это признание, главная суть данного подхода остается прежней и сводится к тому, что человек и дальше может все более широко осваивать природные ресурсы, особенно если при этом будут соблюдаться природоохранные мероприятия в районах освоения.

Казалось бы, при такой формулировке концепция расширяющегося природопользования может быть принята еще на долгие годы. Однако реальное положение с уже достигнутой освоенностью природных ресурсов таково, что дальнейшее преобразование природы как экологически оправданный путь взаимодействия общества и биосферы не получает необходимого научного обоснования. Основных причин этому две. Первая: человек за период бездумного покорения природы до такой степени нарушил экологическое благополучие биосферы, что дальнейшее ее широкомасштабное освоение даже при условии соблюдения природоохранных мероприятий усилит деградацию биосферы, поскольку данные мероприятия в современных их формах, как правило, не обеспечивают необходимой экологической защиты окружающей среды (Олдак, 1983; Никитин, 1985; и др.). Вторая причина: невозможность на современном уровне эколого-географического прогноза предсказать региональные и глобальные последствия крупных преобразований природы и воздействий на нее. Опыт показывает, что, как правило, данные последствия в значительной или определяющей мере оказываются негативными для природы. Ярким примером может служить массовый забор воды из рек для полива орошаемых территорий в Средней Азии, приведший к резкому сокра-

щению речного стока в Аральское море и поставивший его перед угрозой полного усыхания.

В связи с этим, несмотря на то что прагматическая концепция расширяющегося природопользования продолжает выдавать свою продукцию в виде проектов переброски речного стока, предложений по дальнейшей широкомасштабной распашке земель и др., все большее признание получает другой альтернативный подход, известный под различными названиями. В отечественной литературе он убедительно изложен П.Г. Олдаком в его книге "Равновесное природопользование. Взгляд экономиста". Автор анализирует два принципа природопользования: экстенсивное (или расширяющееся) и равновесное. Их суть в следующем: "1) экстенсивное природопользование — когда рост производства и поселений осуществляется за счет возрастающей нагрузки на природные комплексы, причем эта нагрузка растет быстрее, чем увеличивается масштаб производства; 2) равновесное природопользование — когда общество контролирует все стороны своего развития, добиваясь того, чтобы совокупная антропогенная нагрузка на среду не превышала самовосстановительного потенциала природных систем" (1983. С. 3).

Несмотря на очевидную экологическую убедительность концепции равновесного природопользования, у нее немало оппонентов, в основном среди практических работников и отдельных ведомственных организаций, нередко заинтересованных в силу ряда причин в реализации противоположного подхода. При этом в реальной действительности протесты против требований равновесного природопользования опираются на примеры неполной освоенности ряда регионов, что позволяет на первый взгляд разрабатывать их ресурсы без строгого соблюдения дорогостоящих природоохранных и природовосстановительных работ. Наиболее же типичные противоположные доводы в защиту природы, например, такие, как: на земле все меньше остается видов животных и растений, экосистем и почв, и поэтому все оставшееся нужно сохранять, — действуют слабо. Действительно, хотя постоянно исчезают те или иные виды животных, но их все же остается еще много. Так что в случае экологической необразованности формулировка "на наш век хватит" может иметь формальную зацепку.

Такие и им подобные упрощенные оправдания возможности дальнейшего экстенсивного освоения ресурсов во многом срабатывают потому, что концепция равновесного природопользования не только весьма трудно осуществима в современных условиях, но она еще недостаточно аргументирована с точки зрения необходимости ее скорейшего принятия на вооружение при определении хозяйственной и экономической политики большинства государств и всего мирового сообщества. Недостаточные убедительность и полнота аргументов, как нам представляется, вызваны прежде всего тем, что они носят в основном количественный характер, т.е. обращают внимание главным образом на то, что меньше становится видов живых организмов, целинных почв, минеральных ресурсов и больше различных загрязнителей. Эти доводы, конечно, весьма серьезны, они вызывают

естественную тревогу, беспокойство, стимулируют важные шаги по сохранению оставшейся природы и уменьшению скорости ее деградации. Однако общий научный и практический резонанс количественных доводов не приводит к принципиальному пересмотру реального природопользования, который, кроме того, исключительно сильно тормозится различными социально-экономическими причинами. В то же время имеющийся в настоящее время материал природоведческих исследований позволяет выдвинуть ряд качественных аргументов в пользу необходимости скорейшего практического осуществления требований охарактеризованного равновесного природопользования.

К числу таких аргументов следует прежде всего отнести следующее положение: *современная биосфера Земли не только испытывает деградацию отдельных компонентов, но и приходит в состояние разбалансировки исторически сложившихся круговоротов и общего качественного перерождения, все последствия которого трудно предсказать.*

Рассмотрим основные доказательства справедливости данной мысли, которую, используя образное выражение, можно кратко выразить так: природа находится в настоящее время в "предынфарктном" состоянии.

С наступлением техногенного этапа в развитии общества изменения биосферы по ряду показателей приняли характер, во многом противоположный ее естественному ходу развития. Так, если для естественной эволюции биосферы характерно поступательное расширение области жизни в геологических масштабах времени (Вернадский, 1987), то современные ее антропогенно обусловленные трансформации приводят к исключению из активного функционирования огромных по суммарной площади биосферных компонентов.

Другой пример связан с изменениями, противоположными естественным, запасов живого вещества на суше и в океане. Известно, что в результате эволюции биосферы континенты стали выполнять роль планетарного накопителя биомассы, которой здесь оказалось в сотни раз больше, чем в океане. Антропогенные воздействия на суше привели к уменьшению банка живого вещества, а в гидросфере — к его увеличению вследствие эвтрофирования водоемов (произошло упрощение структуры сообществ и массовое развитие в них водорослей). "Биомасса суши сократилась, а биомасса океана увеличилась примерно на одну треть своих современных значений" (Горшков, 1987б).

Особую тревогу вызывает перерождение живого вещества планеты, почв и ландшафтов в целом. Процесс антропогенного снижения видового разнообразия, уже приведший к исчезновению сотен видов, продолжается. "Не менее 25—30 тыс. видов высших растений, т.е. около 8—10% общего числа описанных видов сосудистых растений на планете, находятся под угрозой уничтожения или могут в ближайшее время оказаться в критическом состоянии" (Яблоков, Остроумов, 1985. С. 77). Под угрозой исчезновения находятся тысячи видов животных, и, что особенно нежелательно, скорость исчезновения видов живых

организмов в настоящее время возрастает. По данным Международного союза охраны природы, ежегодно исчезает один вид или подвид животных, ежедневно погибает один вид растений. В 90-х годах настоящего столетия реально исчезновение одного вида растений ежечасно. Одновременно появляются новые, нежелательные формы организмов в результате их приспособления к новым антропогенным факторам. "Драматизм подобных процессов, — отмечает эколог Хуберт Вайнцирль, — заключается в том, что мы, очевидно, утратили представление о времени. Я опасаюсь, что наш мозг слишком мал, наши мысли чересчур мимолетны, чтобы осознать это потрясающее состязание со смертью. В ФРГ к 2000 г. исчезнет половина всех животных и одна треть всех растений, которыми мы могли любоваться еще летом прошлого года" (цит. по: Олдак, 1983. С. 12). Высказывание весьма тревожное, но, к сожалению, основанное на реальных фактах деградации природы, что заставляет срочно искать выход из создавшегося опасного экологического положения на Земле. Не все ученые и общественные деятели видят решение глобально-региональных экологических проблем, и некоторые из них предрекают скорый трагический финиш земной цивилизации.

В действительности же объективный анализ реальных возможностей преодоления современной экологической драмы показывает, что такие возможности существуют и их нужно незамедлительно использовать в полном объеме. Если это удастся использовать в глобальном масштабе, то будущее человечества приобретет явно оптимистическую окраску. Оптимистический прогноз доминирует в работах отечественных ученых. "Человек приобщает к прогрессу биосферу, превращая ее в ноосферу. При этом вся тонкость и мудрость этого процесса заключаются в том, что человек не просто использует природу ради собственного прогресса, социального, научно-технического и иного, а развивает и обогащает ее по законам прогресса, побуждая действовать те механизмы самой природы, которые умножают ее разнообразие и жизнестойкость, предотвращают деградацию, измельчание и умирание. Конечно, мы в этих рассуждениях основательно идеализируем реальную практику человека, но мы делаем это намеренно, стараясь показать главным образом, на что человек способен в принципе и в идеале и что он реализует все-таки через экокризисы и экокатастрофы" (Школенко, 1988. С. 106).

Соглашаясь в целом с жизнеутверждающим тоном данного высказывания, нельзя не обратить внимание на его определенную противоречивость, заключающуюся прежде всего в утверждении автора о необходимости приобщения биосферы к прогрессу. Этот тезис, нередко звучащий и в высказываниях других ученых, нуждается в специальном рассмотрении, поскольку он во многом определяет стратегию природопользования.

Призывы придать биосфере прогрессивное развитие, особенно часто содержащиеся в популярной социологической литературе, опираются на ряд соображений естествоиспытателей. В последние годы данные призывы особенно часто стали подкрепляться ссылками на высказывания В.И. Вернадского о переходе биосферы в ноосферу.

Поскольку это один из наибоее высококатегорированных аргументов, необходимо по этому поводу отметить следующее.

В.И. Вернадский стал разрабатывать понятие ноосферы в самом конце своей жизни, так и не успев дать ему однозначного определения и развернутой трактовки. Действительно, в некоторых случаях им употреблялось словосочетание "переход биосферы в ноосферу". Но значительно чаще, а самое главное, гораздо более аргументированно им развивается тезис не о переходе биосферы в ноосферу, а о том, что ноосфера есть современное состояние биосферы, причем пока еще слабо изученное и недостаточно осмысленное. "Ноосфера — последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории — состояние наших дней. Ход этого процесса только начинает нам выясняться из изучения ее геологического прошлого в некоторых своих аспектах" (Вернадский, 1987. С. 304). "Мы живем в исключительное время в истории нашей биосферы, в психозойскую эру, когда создается новое ее состояние — ноосфера и когда геологическая роль человека начинает господствовать в биосфере и открываются широкие горизонты его будущего развития" (Там же. С. 250). Таким образом, ноосфера, по В.И. Вернадскому, — это биосфера, измененная разумной деятельностью людей.

В.И. Вернадский с оптимизмом смотрел на будущее ноосферной стадии развития биосферы. Но при этом он строго оговаривал условия позитивных изменений биосферы человеком, связанных с устранением войн и бездумным уничтожением дикой природы. "В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление" (Там же. С. 302).

Таким образом, каких-либо научно обоснованных теорий целесообразности и возможности замены биосфры на другую природную среду нет. Напротив, в подавляющем большинстве публикаций ученых природоведов доказывается, что *сохранение исторически сложившихся круговоротов вещества и энергии в биосфере, сохранение ее эволюционно возникшей качественной определенности и специфичности являются условиями благополучного развития цивилизации в будущем.*

Поэтому не случайно все основательнее разрабатываются концепции равноправного существования природы и общества, что находит свое отражение в обосновании таких понятийных конструкций, как система общество—природа (Гирусов, 1976), биосфера—ноосфера (Лукашев, 1987) и др.

Появились не только качественные, но и количественные доказательства жизненной необходимости сохранения естественной среды обитания и соблюдения границ устойчивости биосферы, которые человечество рискует перейти в случае продолжения природоразрушающих действий. Так, В.Г. Горшков выделяет три области биосферы в ее взаимодействии с человеком: I) стационарная биосфера, II) разрушающаяся биосфера (экологически запрещенная), III) климатически запрещенная. Им показано, что осуществляемое до сих пор сжигание иско-

паемого топлива, затрачиваемое на преодоление сопротивления биосферы и на повышение доли биосферной продукции, потребляемой растущим населением Земли, приходится на область II — экологически запрещенного взаимодействия человека и природы. "Биосфера в этой области разрушается, теряет способность поддерживать замкнутость круговоротов, что приводит к изменению состояния окружающей среды. При длительном пребывании в области II человечеству придется взять на себя функцию по сохранению замкнутости круговоротов вещества и предотвращению ухудшения состояния окружающей среды. Это может быть сделано только путем значительных энергетических и трудовых затрат на основе централизованного управления всеми процессами синтеза и разложения органической и индустриальной продукции (1987а. С. 299).

При этом сама возможность осуществления обществом функции по сохранению замкнутости круговоротов вещества в биосфере остается проблематичной. Но если даже такая возможность и окажется достижимой, то ее реализация будет исключительно дорогостоящей, так как "99% общего энергопотребления и всех трудовых затрат должно расходоваться на поддержание замкнутости биогеохимических круговоротов" (Там же. С. 289). В биосфере же стабилизация окружающей среды осуществляется автоматически и бесплатно. Так что сохранение биосферы, созданной в результате эволюции планеты в течение долгих миллионов лет, является основной задачей современного рационального природопользования. Ее успешное решение зависит от весьма многих условий и предпосылок, среди которых важное место занимает всесторонний учет функций почв в биосфере и экосистемах.

Рассмотрим основные положения рационального природопользования, учитывающего главные разработки *экологического почвоведения,* прежде всего принцип многообразия экологических функций почв.

Данные положения нами сгруппированы в четыре категорий (табл. 42). В первую выделены основные стратегические установки рационального природопользования. Они должны прежде всего опираться на признание естественного почвенного покрова в качестве незаменимого полифункционального динамичного компонента биосферы со своими законами функционирования и развития. До сих пор такое признание не реализовано и к почве продолжают относиться в основном как к объекту сельскохозяйственного труда, якобы имеющему одну существенную функцию — источника элементов питания.

Материалы предыдущих глав показали многообразие экологических функций почв и важность их различных проявлений на глобальном, региональном и биогеоценотическом уровнях. В этой связи становится особенно понятной необходимость сохранения почв планеты, особенно целинных и слабо измененных человеком, с целью поддержания исторически сложившихся круговоротов вещества и энергии в биосфере, где почвенный покров оказывается обязательной составной частью, связующей в единое целое все биосферные компоненты Земли.

Таблица 42

Основы рационального природопользования с учетом экологической полифункциональности почв

Основные стратегические установки	Охрана почв при использовании		Почвенно-экологические принципы земледелия
	гидросферы и литосферы	живого вещества	
Естественный почвенный покров — незаменимый полифункциональный динамичный компонент биосферы со своими законами функционирования и развития. Ограничение различных потерь почв и лимитированная их распашка Эффективное использование освоенных почв. Соблюдение экологических природо- и почвоохранных требований при проведении землеустройства, мелиораций и использования почв и других природных ресурсов	Ограничение и исключение потерь почв при освоении водных ресурсов. Ограничение и исключение потерь загрязнения почв отходами от переработки полезных ископаемых. Ограничение добычи полезных ископаемых открытым способом. Обязательное проведение рекультивационных работ при добыче полезных ископаемых, различном строительстве	Сведение к минимуму загрязнения почв и потерь почвенного плодородия при сельскохозяйственном использовании земель. Недопущение деградации и загрязнения почв при проведении лесохозяйственных работ. Более полное использование биоресурсных функций почв в системе общество—природа	Сохранение и восстановление плодородия почв. Максимально полное и рациональное использование каждого освоенного участка при условии обеспечения экологически сбалансированных комплексных функционально-динамических систем земледелия. Экономичное получение высококачественной и достаточной продукции земледелия, ее сохранение

Особую актуальность в совершенствовании природопользования приобретает разработка таких его научных основ, которые опирались бы на знание закономерностей функционирования и пространственно-временно́й динамики компонентов биосферы, прежде всего почвенного покрова. Рассмотрение в предыдущих главах некоторых из этих закономерностей применительно к почвам показывает особую эффективность полнокомплексного функционально-динамического подхода в решении вопросов рационального использования и охраны земельных и других ресурсов (Никитин, Орлов, 1986). Особенно важным при данном подходе оказывается ориентирование землепользования на повышенную изменчивость почв во времени и пространстве и в связи с этим разработку более дифференцированных систем сельского хозяйства и других отраслей, осваивающих почвенные ресурсы.

Функционально-динамическое восприятие почв становится все более широким и заставляет заметно пересмотреть традиционные концепции использования и охраны почвенных и других природных ресурсов. Так, ряд исследователей выступают с предложением углубить

существующие зональные системы землепользования в сторону их большей конкретизации и привязки к местным условиям. Например, А.М. Рябчиков и К.Г. Тарасов отмечают, что в сельском хозяйстве мира "преобладает зональный подход с учетом основных типов почв, что, как показывает практика, недостаточно" (1986. С. 8). Авторы ратуют за ландшафтный метод, поскольку "каждый ландшафт определенной местности вследствие присущего ему варианта биогеохимического круговорота вещества и энергии требует индивидуальной технологии его преобразования и использования (в сельском хозяйстве или иной отрасли, включая зоны отдыха)" (Там же. С. 8).

Соглашаясь с необходимостью более дифференцированного использования почвенных ресурсов с учетом местных условий, следует отметить, что противопоставление зонального и ландшафтного подходов в природопользовании вряд ли оправданно. Нам представляется более перспективным многоуровневый подход — зонально-регионально-ландшафтный, при котором одновременно учитываются разнопорядковые особенности земельных ресурсов. Это целесообразно по нескольким причинам, в частности, потому, что в настоящее время все острее ощущается необходимость считаться не только с индивидуальной спецификой почв, но и принимать во внимание региональные и зональные последствия их освоения, которые не должны приводить к таким негативным явлениям, как переосвоенность ресурсов природных зон и отдельных регионов.

Модельные расчеты показывают, что полная освоенность территории приводит к минимуму полезной продукции, составляющей в этом случае 25% от возможного максимума (Реймере, Штильмарк, 1978). Максимум достигается примерно при 40% освоенности и сохранении 60% площадей естественных экосистем (для места составления расчетной модели). Сокращение полезной продукции в случае предельного освоения территории во многом связано с нарушением оптимального функционирования природных комплексов районов освоения и отчетливым проявлением различных негативных следствий повышенной антропогенной нагрузки на ландшафт (схема 3). В связи с этим в число стратегических принципов рационального природопользования следует отнести и установку на лимитированную распашку почвенного покрова Земли, и соблюдение всех природно-почвоохранных требований при осуществлении землеустройства, мелиораций и других мероприятий (схема 4).

Расчеты возможностей широкомасштабного освоения почвенного покрова планеты под пашню показали, что они существенно меньше, чем предполагали некоторые природоведы и экономисты. По данным Н.Н. Розова и М.Н. Строгановой (1979), максимальная, экологически допустимая общая площадь пашни на земном шаре не должна превышать 25%. Нам представляется, что и эта величина предельная, находящаяся на грани экологического риска, если учесть все новые факты негативных последствий ведения современного сельского хозяйства для природных комплексов.

В связи с остротой проблемы антропогенных нагрузок на почвенный покров возникает также необходимость сформулировать прин-

Схема 3

Геоэкологические проблемы регионов с широкомасштабным освоением ресурсов



Схема 4

Пути решения геоэкологических проблем



ципы охраны почв при использовании гидросферы и литосферы континентов. В число этих принципов целесообразно включить: а) действенное ограничение с перспективой на исключение значительных потерь почв при освоении водных ресурсов; б) недопустимость использования и защиты водных ресурсов от загрязнения в ущерб почвенному покрову; в) обязательность рекультивационных работ при добыче полезных ископаемых; г) ограничение добычи полезных ископа-

емых открытым способом; д) исключение потерь и загрязнения почв отходами от переработки полезных ископаемых.

Каждое из сформулированных положений основано на многочисленных фактах разрушения, загрязнения и потерь почвенного покрова при эксплуатации ресурсов гидросферы и литосферы. К числу таких фактов следует прежде всего отнести потери огромных массивов плодороднейших пойменных почв и заливных лугов при строительстве мощных гидротехнических сооружений в равнинных условиях. Сюда же относится и продолжающееся загрязнение почвенного покрова сточными водами, которому на практике в значительной мере способствовали ошибочные представления о безграничной способности почв к самоочищению. Причем в некоторых работах звучат явно, мягко говоря, ошибочные выводы о возможности орошать почвы водами, содержащими радиоактивные элементы. Например, делаются попытки дать такие рекомендации для почв Узбекистана, хотя при этом Э.А. Касимов, изучавший данный вопрос, экспериментально показали накопление радионуклидов в той или иной степени в разных почвах. Причем на луговых и болотно-луговых почвах пояса типичных сероземов и пояса светлых сероземов возможна высокая фиксация радионуклидов. Весьма значительную фиксацию радионуклидов, по мнению автора, можно ожидать также на сильнозагипсованных почвах.

Все большую остроту приобретают вопросы сохранения и восстановления (рекультивации) почвенного покрова, нарушаемого при добыче полезных ископаемых и строительстве хозяйственных, жилых и других объектов. Ежегодно в мире дополнительно используются на несельскохозяйственные нужды миллионы гектаров земель. Однако восстановление разрушенных при этом почв явно недостаточно и не отвечает задачам сегодняшнего дня.

Весьма существенным оказывается определение основных положений охраны почв при использовании живого вещества естественных и антропогенно измененных биоресурсов. В число этих положений входят: а) сведение к минимуму потерь, а также загрязнения почв от животноводства; б) предотвращение снижения почвенного плодородия и загрязнения почв от растениеводства; в) блокировка деградации и загрязнения почв от проведения лесохозяйственных мероприятий; г) более полное использование всех биоресурсных функций почв в системе взаимодействия общество—природа.

Если первые из трех указанных положений достаточно очевидны и не раз обсуждались в литературе, то последнее требует пояснения. Данная формулировка (пункт "г") ориентирует не только на учет многообразных функций почв в функционировании естественных природных комплексов, но и на анализ роли почв в природно-антропогенных системах, поскольку пересмотр значимости почвы в природных процессах и установление ее экологической полифункциональности привели одновременно и к переоценке ее места во взаимодействии общества и природы. В данной системе взаимодействий почва выполняет многочисленные узловые функции, которые в случае оптимизации взаимосвязей природы и общества выступают в качестве ноосферных функций почвы, объединяемых в несколько категорий.

К первой категории относятся функции почв по обеспечению воспроизводства биоресурсов, регулярно используемых человеком, — воспроизводство сельскохозяйственного сырья, древесного сырья, пищевого естественного природного сырья, лекарственных растений.

Несмотря на то что участие почвы в воспроизводстве всех видов указанного сырья, несомненно, важно и должно учитываться и поддерживаться на нужном уровне, до сих пор в поле зрения в основном находится лишь почвенная функция воспроизводства сельскохозяйственного сырья. Другие почвенные функции биоресурсного воспроизводства, как правило, недоучитываются или даже забываются. Так, можно привести многочисленные примеры низкой эффективности почвенной функции воспроизводства древесного сырья из-за недостаточной культуры лесоводства и слабого учета пространственно-временно́й динамики лесных почв и их изменчивости при антропогенном воздействии. Необходимо также указать на снижение сборов естественного природного пищевого сырья (грибов, ягод, орехов и др.) из-за несоблюдения правил охраны природы, антропогенного загрязнения и нарушения почвенного покрова. Вызывает тревогу сокращение ареалов и вымирание ряда видов лекарственных растений из-за деградации их местообитаний в связи с нерациональной деятельностью человека.

Следовательно, не все почвенные функции биоресурсного воспроизводства находятся в оптимальном режиме. Для того чтобы данные функции в полной мере работали по ноосферному типу, особое значение приобретает не только их регулирование, но и поддержание сбалансированности биоресурсных функций почв. К сожалению, практическое осуществление данной задачи сталкивается с очень многими, зачастую труднопреодолимыми преградами. Озабоченность вызывает стремление гипертрофировать фукнции воспроизводства сельскохозяйственного сырья в ущерб другим биоресурсным функциям почв, особенно в ущерб воспроизводству лесных ресурсов, что связано в первую очередь с продолжающимся сокращением лесов на планете и замещением их прежде всего сельскохозяйственными угодьями. Так, с начала XX в. площадь лесов на Африканском континенте сократилась вдвое; в Юго-Восточной Азии уничтожен естественный растительный покров на территории более 100 млн га, причем более 30 млн га тропического леса ликвидировано подсечно-огневой системой (Разумихин, 1987).

Положение усугубляется не только тем, что сельскохозяйственная трансформация почв охватывает новые площади, но и тем, что в ходе данной трансформации из-за несоблюдения правил рационального землепользования появляется много бросовых земель, вследствие чего почвы на этих территориях на долгое время практически перестают выполнять не только сельскохозяйственные, но и вообще всякие биоресурсные функции. Кроме того, серьезнейшим побочным уроном от сельского хозяйства оказывается ослабление биоресурсных функций почв окружающих территорий в связи с негативным воздействием на них агрохимикатного загрязнения среды, активно распространяющегося воздушным путем и через поверхностные, а также грунтовые воды.

В настоящее время агрохимикатный пресс на природу весьма силен. Так, если в 1970 г. в мире было получено около 500 тыс. т активного вещества пестицидов, то в настоящее время данные цифры возросли в несколько раз. Следует постоянно учитывать, что ряд пестицидов (ДДТ, элдрин, хлородан и др.) может длительное время сохраняться в земле. Многие живые организмы, связанные с почвой, чувствительны к пестицидам. Так, дождевые черви накапливают их в большом количестве. Пестицидное загрязнение почв ощутимо ослабляет их естественные биоресурсные функции. Поэтому, например, не случайно, что при откорме крупного рогатого скота на пастбищах, подверженных загрязнению, удои молока снижаются на 10—15%, а прирост веса у животных уменьшается на 20—40% (Разумихин, 1987).

Наличие многих отрицательных последствий для биосферы от современного ведения сельского хозяйства делает крайне необходимым *установление почвенно-экологических принципов земледения.* Среди таких принципов прежде всего выделяются: а) сохранение и восстановление плодородия почв, б) максимально полное использование каждого освоенного участка с обеспечением экологического благополучия территории, в) разработка и реализация сбалансированных полнокомплексных динамических систем земледелия, г) экономичное получение высококачественной и достаточной продукции земледелия, ее сохранение и рациональное распределение (см. табл. 42).

Необходимость сохранения и восстановления плодородия почв, используемых в современном земледелии, — одна из наиболее острых проблем, которая пока что далека от своего удовлетворительного решения. Широко распространено уничтожение почвы в результате эрозии и дефляции, являющихся наиболее часто встречающимся видом негативных последствий воздействия человека на почву. До 90% всех ежегодных потерь продуктивных почв на Земле (а их теряется около 6 млн га в год) вызвано эрозионно-дефляционными процессами; более 50% всей мировой пашни поражено эрозией либо дефляцией в той или иной степени (Ковда, 1985б, Добровольский и др., 1985; и др.).

Борьба с эрозией все еще развернута недостаточно эффективно. Одна из причин этого — недооценка значимости почв в жизни биосферы и общества. Поэтому все настойчивее бьют тревогу ученые и общественные деятели, все большую злободневность приобретают призывы понять подлинное значение почвы. Целесообразно в этой связи привести следующее высказывание Ж. Дорста (1968): "Почва — наш самый драгоценный капитал, жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов естественных и искусственных зависит в конечном итоге от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли" (1968. С. 129).

С большим трудом и не повсеместно реализуется другой почвенно-экологический принцип земледелия — максимально полное использование каждого освоенного участка с обеспечением экологического баланса территории. Пока человечество было в основном устремлено на максимальное получение урожая за наиболее короткий срок без необходимых затрат на сохранение благоприятного состояния природ-

ной среды районов освоения. В настоящее время приходится расплачиваться за бездумное, беззаботное или научно не обоснованное отношение к почвенным ресурсам, которые нередко деградировали даже там, где их освоение проводилось под эгидой увеличения почвенного плодородия. Так, многие почвы сильно пострадали в районах коренных мелиораций, включающих ирригацию и дренаж. И хотя в мире известны многочисленные примеры успешной мелиорации почв, минимум две трети всех "мелиорированных" пахотных земель мира подвержены негативным изменениям (заболачивание, вторичное засоление, осолонцевание, дегумификация, обесструктуривание, декальцирование — при оросительных мелиорациях; переосушка, дегумификация, деферритизация, декальцирование — при осушительных мелиорациях).

Теоретической основой мелиораций должно служить положение о сохранении и усилении благоприятных для потенциального плодородия природных почвенных процессов и ослаблении неблагоприятных процессов путем регулирования тех или иных режимов почвообразования. "Помощь" природе дает положительные эффекты, "борьба" с ней ведет *к экологически кризисным ситуациям. Мелиораторы не должны забывать* все возможные последствия этих двух подходов в мелиорации (Добровольский и др., 1985). Необходимо, кроме того, всесторонне использовать весь арсенал мелиоративных мероприятий, помня, что всего существует около 40 видов мелиораций. Однако подавляющая часть средств выделяется пока на орошение и осушение (Аганбегян и др., 1986).

В то же время в случае рационального землепользования на богаре (черноземах и др.) урожай часто выше, чем при орошении, которое не только дорого стоит, но и во многих случаях ухудшает свойства почв (Ковда, 1983). Не случайно поэтому ведущие специалисты призывают к резкому увеличению затрат на "сухие" мелиорации и усилению рационального экономного использования воды в земледелии.

При решении вопросов максимальной урожайности с обрабатываемых участков необходимо также учитывать сложность распространения какой-либо многообещающей технологии на огромные территории без должной ее конкретизации и сопровождения почво- и природоохранными мероприятиями. Это относится и к интенсивной технологии. А.М. Рябчиков, К.Г. Тарасов отмечают: "В нашей стране имеются хозяйства, где урожайность пшеницы при интенсивной технологии достигает 60 ц/га. При распространении этой технологии на весь административный район урожай снижается до 40 ц/га, а на всю область — до 20 ц/га, т.е. до уровня средней общесоюзной" (1986. С. 8).

Авторы связывают снижение эффективности интенсивной технологии при ее пространственном расширении с недостаточной ее приспособленностью к местным условиям, что действительно имеет место. Но дело не только в этом. Данная технология предполагает сильное возрастание нагрузки на почвы и ландшафт, поскольку при этом увеличивается обработка почв, возрастает применение удобрений и пестицидов, сильно загрязняющих природную среду. Поэтому чрезмерно широкое применение интенсивной технологии в ее недостаточно экологически обоснованных формах может не только не дать выигрыш в

урожайности, но и привести к дальнейшему разрушению и загрязнению ландшафтов.

В.Г.Минеев, рассматривая проблему агрохимикатного загрязнения биосферы, отмечает, что западногерманский ученый Кнанер полагает, что "с точки зрения экологии следует прекратить дальнейшее разрушение элементов ландшафта, сократить применение гербицидов и инсектицидов в результате последовательного применения методов интегрированной защиты растений, вводить виды культурных растений, поставляющих энергию, применять такую технику производства, которая позволила бы использовать аграрно-экономическую систему без ущерба для экологии, так как введение современных машин и орудий ведет не только к успеху в производстве продукции, но и несет в себе значительный экологический риск" (1984. С. 228). Подобный взгляд находит поддержку и у отечественных ученых.

Все большую остроту приобретает разработка эффективных и всесторонне научно обоснованных систем земледелия. Мы полагаем, что данные системы должны носить характер экологически сбалансированных полнокомплексных функционально-динамических систем, опирающихся на знание экологических функций почв и других компонентов биосферы и их пространственно-временно́й изменчивости. К сожалению, преобладающие в настоящее время системы, как правило, не отвечают этим требованиям. Главный их недостаток в том, что они замкнуты почти целиком на специальных задачах сельского хозяйства и мало уделяют внимания нейтрализации негативных последствий для биосферы от агротехногенной деградации природных комплексов. Лишь в последние годы появились разработки, в которых природоохранный аспект выделяется в качестве обязательного самостоятельного пункта. Так, в коллективной монографии "Научные основы современных систем земледелия" (1988) в число основных звеньев данных систем включены: 1) организация земельной территории хозяйства и севооборотов, 2) система обработки почв, 3) мелиоративные мероприятия, 4) комплекс мероприятий по защите почв от водной и ветровой эрозии, 5) система мероприятий по борьбе с вредителями, болезнями и сорняками, 6) семеноводство возделываемых культур, 7) технология возделываемых культур, 8) система машин, 9) мероприятия по охране внешней среды от загрязнения, а полезной флоры и фауны — от уничтожения.

Охарактеризованная система относится к числу комплексных и стремится учесть все основные составляющие технологии формирования урожая, в чем ее очевидная заслуга. В то же время в указанной монографии, как и в подавляющем большинстве земледельческих трудов, отмечается, что системы земледелия должны строиться на зональной основе, что, как было отмечено выше, имеет определенные основания, но недостаточно, поскольку при сугубо зональном подходе не полностью учитываются реальное разнообразие почвенного покрова и закономерности его пространственной изменчивости, которые оказались значительно сложнее, чем считалось ранее. Для более объективной привязки к специфике местных условий и учета их пространственной неоднородности системы земледелия должны быть как ми-

нимум трехуровневыми — зонально-регионально-ландшафтными (биогеоценотическими).

Такой многоступенчатый подход необходимо в полной мере реализовать при разработке новых систем земледелия, направленных на предотвращение эрозии почв и более полное использование их плодородия. Важность привязки земледелия к местным условиям особо подчеркивал Дж. Кук: "Земледельцы, применяющие для какой-то территории новые методы, должны всегда быть осторожными: системы, которые хорошо оправдывают себя при одном климате, могут быть абсолютно непригодными для предупреждения эрозии почвы при другом климате" (1970. С. 16).

Вопрос о приуроченности земледелия к специфике местных условий необходимо решать не только в пространственном, но и временно́м срезе, поскольку заметно или существенно различаются между собой не только земли, находящиеся друг от друга на том или ином расстоянии. Ведь одна и та же земля, взятая в разные годы, будет разной по ряду сельскохозяйственных показателей. Однако этот важнейший аспект до сих пор весьма слабо разработан.

В то же время имеются отдельные публикации (Кальянов, 1976; Никитин, Орлов, 1986; и др.), свидетельствующие о несомненной теоретической и практической значимости проблемы динамики земледелия. Так, К.С. Кальянов, анализируя дискуссию о преимуществах травопольной или пропашной систем земледелия, обратил внимание на то, что травополье более высоко оценивали в более засушливые годы, когда особенно заметно сказывался его влагосберегающий эффект. Популярность пропашной системы, напротив, возрастала в годы повышенной увлажненности. Так что неоднозначность различных лет по условиям ведения хозяйства, связанная с циклами солнечной активности, антропогенными изменениями природной среды и другими факторами, должна своевременно учитываться в виде соответствующих поправок к обработке почв, применению удобрений и в других звеньях системы земледелия, рекомендованной для той или иной территории.

Для успешного ведения земледелия на почвенно-экологических принципах особое значение имеют экономичное получение высококачественной и достаточной продукции земледелия, ее сохранение и рациональное распределение. Напряженная экологическая обстановка на планете, которая сложилась в настоящее время, во многом связана с особенностями сельскохозяйственного процесса, реализуемого в настоящее время на Земле. Он продолжает оставаться в основном громоздким, экологически ущербным и дорогостоящим. Причем это сочетается с совершенно недопустимыми огромными потерями уже выращенного урожая по причине его недостаточно высокого качества и плохого хранения. Убыль в массе зерновых продуктов при хранении по разным причинам достигает 10—15%, причем в большинстве стран, где особенно остро стоит продовольственная проблема, эти потери достигают 30% и более.

Среди многочисленных конкретных причин недостаточно высокого качества значительной части урожая видное место занимает нерациональное использование почв в земледелии. Наибольший урон ка-

честву урожая наносит потеря почвенного плодородия и нерегламентированное внесение минеральных удобрений. В частности, установлено резкое сокращение длительности хранения ряда овощей, получавших на полях несбалансированную азотную подкормку.

В заключение данного раздела кратко рассмотрим генеральное направление поддержания *устойчивости биосферы через оптимизацию использования и охрану почв и почвенного покрова* Земли, которое было охарактеризовано ранее (Добровольский и др., 1985).

Обеспокоенность международных организаций по охране и рациональному использованию природных ресурсов нашла свое отражение в специальных документах, таких, как декларация "О земельных ресурсах мира, их использовании и охране" (ЮНЕП, 1976)", "Всемирная хартия почв" (ФАО, 1982) и др.

Важнейшим базисом разработки генерального направления поддержания устойчивости биосферы служит реалистическая количественная оценка всех экологических глобальных, региональных и локальных последствий воздействия человека на почву и через почвенный компонент на биосферу в целом.

Одним из необходимых условий достоверного прогнозирования изменений в почвенном покрове Земли служит хорошо организованный почвенный мониторинг на глобальном, региональном и локальном уровнях (Розанов, 1983; Добровольский, Гришина, 1985; Добровольский, 1986; и др.). Вторым условием служит реалистическая основа оценки материальных, энергетических и социальных возможностей оптимизации воздействий человека на почву в соответствии с реальностями текущей эпохи и прогнозируемым будущим развитием. В любом случае те или иные воздействия на почву, а через нее на биосферу неизбежны. Отсюда самая главная задача — это экологическая оптимизация антропогенных воздействий с учетом всех аспектов развития человечества сейчас и на перспективу.

Г.В. Добровольским с соавт. (1985) показано, что современная почвенная оболочка Земли в ее природном состоянии — продукт длительной, сложной и неоднозначной в разных регионах эволюции биосферы и всех вообще поверхностно-планетарных геосистем. Соответственно в природных процессах современная почва в большинстве случаев является достаточно устойчивым структурно-функциональным компонентом биосферы, находящимся в состоянии гомеостаза или равновесия со средой либо медленной, гармоничной эволюции вслед за природной эволюцией среды. Однако такая устойчивость существенно нарушается антропогенными воздействиями. Большое значение имеет оценка устойчивости почв разных экосистем и регионов по отношению к ранжированному спектру возможных антропогенных воздействий или оценки "риска". Такую матрицу "риска", состоящую из ранжированных рядов природной устойчивости почв и рядов возможных антропогенных воздействий, еще предстоит построить для локальных, региональных и глобальных уровней. Однако уже сейчас можно говорить о некоторых закономерностях: природная устойчивость почв увеличивается от экстремальных экосистем (холодных, аридных, горных с маломощным чехлом мелкозема, островных и т.д.) к экосистемам цент-

ров природных зон с благоприятным для биологической продуктивности соотношением тепла, воды и запаса доступных элементов минерального питания, с мощными высокоорганизованными почвами на хорошо дренированных равнинах континентов.

Следовательно, можно наметить пути ранжирования природной устойчивости биосферы. Можно наметить и парное ранжирование антропогенных воздействий (положительных и негативных) на почву: поддержание бездефицитного баланса гумуса — дегумификация; поддержание карбонатно-кальциевого равновесия — декальцирование; рассоление — засоление; нейтрализация — подкисление, подщелачивание; истощение — пополнение запаса доступных биофильных элементов; обесструктуривание, слитизация — оструктуривание; полная эрозия или дефляция — рекультивация и т.п.

Наложение ранжированных рядов антропогенного воздействия на ранжированные ряды природной устойчивости почв и типологический и географический анализ полученных сочетаний дают основу для прогноза и анализа альтернатив оптимизации антропогенного воздействия с учетом экологического риска, а следовательно, и реальную основу для выбора экологически обоснованного землепользования. Будучи скорректированной социально-экономическими аспектами природопользования (цели, возможности), такая экологическая оптимизация должна быть положена в основу генеральной установки рационального использования почвы, направленного на поддержание устойчивости биосферы. Важнейшую роль при этом должны играть альтернативные пути оптимизации текущего использования биосферного потенциала почвы и максимального его сохранения. Вопросы почвенного потенциала биосферы приобрели настолько важное стратегическое значение, что это побуждает к специальному рассмотрению проблемы особой охраны почв.

ОХРАНЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ БИОСФЕРЫ И КРАСНАЯ КНИГА ОСОБО ЦЕННЫХ ПОЧВ[1]

Пути решения задачи сохранения природы Земли многоплановы, и среди них важное место занимает особая охрана (в заповедниках, заказниках, национальных парках) различных объектов биосферы. До недавнего времени к таким объектам относили в основном редкие и исчезающие виды растений и животных, а также некоторые геологические образования. Однако в последнее время все большее число ученых полагают, что особой охране должны подлежать и многие почвы. Это выдвинуло в число неотложных природоохранных задач разработку Красной книги почв, нуждающихся в особом режиме охраны и использования. С чем связана актуальность данной проблемы, какова ее сущность и каковы конкретные пути решения?

Известно, что Красная книга — это документ особой важности, в который включаются объекты, подлежащие особой охране в связи с реально существующей угрозой их исчезновения или сильной деграда-

[1] Основные положения данного раздела были опубликованы в журнале "Почвоведение" 1989 N 2.

ции. Сама идея Красной книги предполагает включение в нее самых различных исчезающих природных образований, представляющих научную, народнохозяйственную или историческую ценность.

Однако, несмотря на комплексный подход к охране природы, пока что создана только Красная книга растений и животных. Нужны ли другие типы Красных книг, или можно ограничиться лишь той, *которая имеется, а по отношению к небиологическим телам допустимы* менее строгие (следовательно, менее действенные) формы охраны? Нам представляется, что в число особо охраняемых должны включаться и определенные почвенные разности, что, естественно, предполагает разработку специальной Красной книги почв.

Почему необходима Красная книга почв, в чем можно видеть главное обоснование целесообразности ее создания? Остановимся на этом вопросе специально, потому что необходимость разработки данного документа не является для всех очевидной.

Все доказательства можно объединить в две основные группы. Первая группа доводов опирается на тот неопровержимый тезис, что почва для большинства наземных организмов — важнейший фактор жизни. Они используют ее или как одну из сред обитания, или как экологическую нишу, где проходит полный цикл их индивидуального развития. Следствием признания данного положения оказывается вывод о целесообразности одновременной охраны редких и исчезающих видов организмов и почв, определяющих их существование. Сопряженность охраны видов организмов и почв, с которыми они связаны в своей жизнедеятельности, наиболее наглядно прослеживается на примере почвообитающих животных. Внимание к этим организмам с точки зрения сохранения их генофонда долгое время было недостаточным. Однако в последние годы положение изменилось, и ряд беспозвоночных почвы, в частности дождевые черви, был внесен во второе издание Красной книги.

Вторая группа доказательств необходимости создания Красной книги почв и неотложности решения данной задачи опирается на положение о несомненной научной и практической ценности каждой естественной почвенной разности. По-видимому, о видах почв должна быть такая же бережная забота, как и о видах живых организмов, в отношении которых полагают, что любой вид — это "уникальное чудо, подобное произведениям искусства, которые мы с благоговением храним в музеях" (Биология охраны природы, 1983). Надо отдать должное: стремление сохранить почвы в последнее время становится все более настойчивым. Но оно, как правило, связывается в основном с защитой почв от эрозии и загрязнения. Наложение же дополнительных ограничений на хозяйственное использование тех или иных земель в виде режима заказников или заповедников зачастую воспринимается как излишнее. Вокруг этого вопроса нередко разгораются острые дискуссии. Сторонники свободного землепользования в качестве одного из веских доводов приводят факты восстановления нарушенных земель, из которых на первый взгляд следует, что почва — это полностью возобновимый ресурс. В действительности же восстановление почв оказывается далеко не полным, поскольку разрушение, пусть даже временное, приводит к необра-

тимой потере части информации, накопленной в почве в ходе ее естественного развития.

Ценна или эта информация? Может быть, главное, чтобы почва была обеспечена элементами питания и систематически давала урожай? Действительно, получение высоких гарантированных урожаев — одна из самых актуальных проблем человечества, а роль почвы в обеспечении *всевозрастающего населения планеты сельскохозяйственной продукцией* бесспорно решающая. Но сложность заключается в том, что генетический почвенный профиль независимо от того, обитает в нем редкий вид организма, или нет, достоин бережного отношения и заботы с тем, чтобы представители всех почвенных разностей были сохранены в том виде, в котором они развиваются в самой природе, и чтобы им была предоставлена возможность естественной эволюции. Для чего это нужно? Прежде всего для углубленного изучения и понимания механизмов функционирования и развития почвы как "особого естественноисторического тела" в понимании В.В. Докучаева. Без этого почвоведение будет лишено своего главного базового объекта — развивающихся целинных почв во всем их разнообразии, содержащих наиболее полную информацию о самом почвообразовательном процессе и эволюции природной среды. Почвы, освоенные человеком, несмотря на всю их важность и первейшую жизненную необходимость, — это уже другие, существенно измененные "почвенные тела". Поэтому не случайно, что все большее число исследователей относят их к особым генетическим типам.

Как это ни странно на первый взгляд, но сохранение естественных почвенных разностей нужно прежде всего практике. Объясняется это рядом причин. Прежде всего — потребностью в эталонных почвах для проведения сравнительного анализа процессов, происходящих в целинных и освоенных землях, так как и после окультуривания *почва продолжает оставаться под воздействием естественных факторов* почвообразования. Знать, какие изменения в пахотных землях вызываются человеком, а какие природой, необходимо для выработки оптимальных систем земледелия и максимального использования не только плодородия, созданного трудом людей, но и постоянно возобновляемого естественным почвообразовательным процессом.

Естественное же плодородие почвы при правильном обращении с ней может сохраняться на достаточно высоком уровне в течение очень длительного времени. Это было доказано упомянутыми выше всемирно известными опытами на Ротамстедской станции, где и без внесения удобрений собирался достаточно значительный урожай на почвах, для которых лишь соблюдалась правильная обработка.

Однако изначальное плодородие почв во многих случаях эксплуатируется неэффективно, а нередко почти полностью блокируется. Примером может служить внесение избыточных доз извести, полностью нейтрализующих почвенную кислотность, что резко снижает поступление элементов питания из минералов почвы.

Недооценка возможностей естественного почвенного плодородия во многом объясняется малочисленностью соответствующих исследований, которые в освоенных районах трудно проводить из-за ограниченности эталонных целинных почв. Особенно большие сложности с вы-

бором эталонов сравнения возникают в европейских степных районах. Почвенный покров многих из них практически полностью изменен — распахан, застроен поселками и городами, занят под промышленные объекты и дороги.

Несомненная практическая польза от заповедных почв видна и с другой стороны. Все громче раздаются голоса агрономов о необходимости оптимального чередования обрабатываемых земель с целинными и залежными с тем, чтобы последние выполняли роль поставщиков полезных микроорганизмов и беспозвоночных животных, которые постоянно гибнут на полях вследствие повышенной антропогенной нагрузки на них. А сохранение не только отдельных видов, но и целых сообществ почвообитающих организмов с целью всестороннего исследования особенностей их функционирования — разве это не самостоятельная важная задача?

Для каждой почвенной разности жизнь ее биоценоза своеобразна. Изучение этого своеобразия дает, в частности, ключ к пониманию того, почему в природных экосистемах практически не наблюдается почвоутомление, столь широко распространенное на полях, где мир населящих почву организмов нарушается и упрощается.

Имеются и другие убедительные аргументы в пользу создания Красной книги особо ценных почв. Однако все они могут встретить возражение, смысл которого сводится к тому, что в существующей сети особо охраняемых территорий заповедный режим распространяется и на почвы, а целинные земли имеются и в европейских степях. Конечно, и в освоенных районах не все естественные разности почв утрачены. Но дело в том, что до сих пор заповедники создавались под непочвенной эгидой. В подавляющем большинстве они возникали с целью сохранения редких и исчезающих видов растений и животных, почва же попадала в них случайно, и не все почвы, которые необходимо сохранить, оказались под защитой заповедного режима.

Сейчас, когда дополнительное расширение особо охраняемых территорий не только обсуждается, но и реализуется на практике, весьма злободневным оказалось отношение к этому почвоведов и всех, кто связан с использованием и изучением земельных ресурсов. Ведь от того, как будет сохраняться почва, во многом зависит успешное решение всей природоохранной проблемы. Поэтому весьма актуально своевременное включение всесторонней программы охраны почв в общую систему долгосрочных мероприятий по развитию сети особо охраняемых территорий. Данная сеть характеризуется отчетливой тенденцией к расширению. По некоторым экспертным оценкам (Реймерс, Штильмарк, 1978), общая площадь заповедников, заказников, национальных парков, памятников природы в нашей стране должна удвоиться. Нет необходимости специально доказывать, насколько важны работы почвоведов по организации особо охраняемых природных территорий с учетом задач охраны почв.

Несомненно, что одним из условий научно обоснованного сбережения почвенных разностей является разработка Красной книги почв. К сожалению, данная задача была поставлена лишь недавно. В отечественной почвоведческой литературе идея необходимости со-

Таблица 43

Виды почвенных объектов первоочередной особой охраны

Вид объекта	Возможные основные формы охраны
Целинные эталонные почвы	Комплексные и почвенные заповедники и заказники
Редкие целинные и освоенные почвы	Почвенные заповедники, заказники и памятники природы
Почвы мемориального значения	Памятники истории, почвенные заказники
Почвы опорных пунктов исследовательских учреждений	Почвенные заказники
Почвы ключевых учебных полигонов	То же
Сильноокультуренные почвы — модели высокого плодородия	Агропочвенные заказники, опытные станции, ГСУ
Почвы — среды обитания растений и животных, включенных в Красную книгу редких и находящихся под угрозой исчезновения видов	Комплексные заповедники и заказники

здания Красной книги почв высказывалась нами начиная с 1979 г. (Никитин, 1979, 1982а; Добровольский и др., 1984; и др.). Ряд важных аспектов проблемы в последние годы рассмотрен И.А. Крупениковым; за создание Красной книги почв высказался также в 1983 г. академик М.С. Гиляров (см. Крупеников, 1985), а в дальнейшем и ряд других ученых.

При разработке Красной книги почв в качестве одного из исходных положений, по-видимому, должно быть использование опыта создания уже реализованной Красной книги растений и животных. Известно, что данный документ распространяется на редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. Есть основания считать, что и Красная книга почв также должна преследовать подобную цель применительно к почвенным телам. Однако полная аналогия в данном случае невозможна, что связано прежде всего со спецификой почвенных образований, особенностью воздействия на них человека, достигнутым уровнем знаний о реальном разнообразии почв и др.

В связи с этим возникает необходимость в специальном определении почвенных объектов, подлежащих высшим формам охраны. При этом необходимо учитывать, что имеются три основные категории почвенных образований: целинные (естественные), освоенные человеком и окультуренные, т.е. приобретшие существенно более высокий уровень плодородия благодаря рациональному землепользованию. В Красную книгу почв правомочно включение представителей любой названной категории (табл. 43), но цели и формы охраны могут заметно различаться.

Из категории целинных земель в Красную книгу почв целесообразно прежде всего включение эталонных представителей тех почвен-

ных разностей, для которых существует угроза значительного изменения, деградации или исчезновения под влиянием в первую очередь антропогенных факторов. Основная задача особой охраны почв данной категории — это сохранение наибольшего разнообразия естественных почвенных разностей и их биоценозов. Поэтому, кроме редких и исчезающих целинных почв, режим высших форм охраны должен быть наложен и на наиболее представительные эталоны широко распространенных естественных разностей с целью устранения опасности их бесконтрольного освоения и организации своевременного всестороннего изучения. Определенные географические разновидности этих эталонов также подлежат особой охране.

Главными формами охраны целинных почв, включаемых в Красную книгу, следует считать режим заповедников, а также почвенных заказников специального режима. На территории заповедников исключается всякая хозяйственная деятельность. На территории почвенных заказников специального режима разрешаются только те виды деятельности, которые не связаны со сколько-нибудь заметным воздействием на почву, т.е. охота, умеренный сбор ягод и грибов, заготовка кормов и лекарственных растений.

При решении вопроса о включении в Красную книгу тех почв, которые подвергались освоению, необходимо прежде всего выявить наименее измененные разности, близкие целинным почвам, нуждающимся в охране.

В связи с высоким уровнем антропогенного изменения среды многие почвенные разности фактически остались без целинных эталонов. Особенно в трудном положении оказались черноземы. Так, почвенный покров многих лесостепных и степных европейских районов оказался освоенным выше нормы оптимального освоения.

Ясно, что переведение части освоенных земель на режим особой охраны — задача исключительной практической и научной значимости, требующая безотлагательного решения. Ведь освоенные земли с каждым годом все сильнее видоизменяются, особенно под влиянием эрозии и техногенного загрязнения.

Какие же формы охраны наиболее целесообразны в отношении освоенных почв, подлежащих включению в Красную книгу? На наш взгляд, наиболее широко распространенной формой охраны на первом этапе реализации почвозащитных мер должна стать организация почвенных заказников общего режима. На территории таких заказников исключается широкомасштабное строительство промышленных, бытовых и жилищных объектов, мероприятия по защите среды от загрязнения проводятся в полном объеме. Обработка земель и возделывание сельскохозяйственных культур допускаются только при условии действительного соблюдения всех мероприятий, предотвращающих эрозию и деградацию почв.

На отдельных участках наименее измененных освоенных почв целесообразна организация заказников специального режима и заповедников с целью обеспечения необходимой представительности надежно сохраняемых эталонных и редких почв. Для облегчения практического решения вопросов особой охраны почв на первых порах можно в основ-

ном опираться на организацию небольших по площади почвенных микрозаказников и микрозаповедников. За широкую организацию небольших, но достаточно широко распространенных резерваторов сейчас ратуют многие ученые и специалисты. Это, по-видимому, наиболее легко осуществимая форма сохранения природы, способствующая одновременно широкомасштабному облагораживанию окружающей среды.

Кратко остановимся на тех конкретных первоочередных задачах, которые предстоит решить на первом этапе разработки Красной книги почв. Прежде всего необходимо точно установить, какие почвы к настоящему времени оказались включенными в уже существующую в стране систему заповедников и заказников. К сожалению, приходится констатировать, что на сегодняшний день мы не знаем полностью, какие же почвы находятся у нас под надежной защитой режима особо охраняемых территорий. Пока нет ни одной полной сводки по данному вопросу, что во многом связано с тем, что далеко не все почвы заповедников и заказников изучены с необходимой полнотой, далеко не всем из них дана надежная диагностика и классификационное определение.

Так, анализ материалов, изложенных в последнем издании монографии "Заповедники СССР" (М., 1983), показал, что сведения о почвах имеются примерно лишь для 25% заповедников. Для остальных заповедников такие сведения просто отсутствуют. Следовательно, первейшая необходимость — создание общей сводки и списка уже заповеданных почв. Необходимо прежде всего знать, какими особо охраняемыми почвами мы уже располагаем. Для этого, конечно, потребуются дополнительные исследования. Необходимо срочное проведение этой работы. Без этого невозможно дальнейшее продвижение вперед в разработке Красной книги почв.

Другая задача первостепенной важности связана с выявлением естественных почвенных разностей, редких и исчезающих в силу различных причин: эрозии, застройки промышленными и городскими объектами, загрязнения, глубокого преобразования техническими мероприятиями и др. Одновременно необходима работа по выявлению эталонных почвенных профилей, наиболее полно характеризующих различные систематические категории почв (виды, роды, подтипы и др.).

Решение этих и взаимосвязанных с ними задач позволит наметить общие контуры почвенных объектов, которые необходимо включить в Красную книгу почв.

Успешная разработка Красной книги почв, конечно, прямо зависит от всесторонней разработки общей теории охраны и рационального использования почв, поиска объективных общепринятых исходных положений и понятий, определяющих данную проблему и пути ее решения. В данной области, несмотря на значительные достижения последних лет, остается еще много неясного и слабо разработанного, не позволяющего в полной мере оценить разностороннюю пользу от практической значимости Красной книги почв. Есть основания утверждать, что для подлинного понимания значения сбережения и особой охраны

мира почв особенно важно учение о незаменимости почвенного покрова в биосфере и экологической полифункциональности почвы. В свете данного учения вопросы создания Красной книги почв и всесторонней их охраны и рационального использования выходят за рамки просто почвозащитных вопросов. Они поднимаются до уровня проблемы сохранения благополучия биосферы и планеты в целом, поскольку биогеоценотические и глобальные функции почв (прежде всего естественных) являются обязательным условием реализации и сохранения исторически сложившихся круговоротов вещества и энергии на Земле, без чего жизнь на ней оказывается невозможной.

Относительно исходных понятий особой охраны почв необходимо отметить, что они разработаны пока недостаточно, а публикации, специально посвященные этому вопросу, немногочисленны. Так, кроме авторов настоящей работы, данные понятия использует И.А. Крупеников (1985). Им рассматривается содержание понятий почвенных заповедников трех видов: раритетных, агрономических и моделей высокого плодородия, которые предлагается организовать в Молдавии. По И.А. Крупеникову, почвы-раритеты, занимая небольшую площадь, представляют большую научную ценность. Агрономические заповедники — это главные в хозяйственном отношении эталонные заповедники, которые в Молдавии должны охватить самые распространенные на полях и в садах подтипы черноземов. Заповедники моделей высокого плодородия предполагают особую охрану почв, доведенных до высокого уровня плодородия.

Подобное ранжирование почвенных заповедников во многом привлекательно стремлением дифференцировать объекты охраны, однако сами определения указанных видов заповедников, судя по всему, носят предварительный характер, который во многом отражает специфику землепользования в Молдавии. И.А. Крупеников использует также понятие "почвенный заказник", которое употреблялось нами. В целом можно согласиться с трактовкой данного понятия И.А. Крупениковым, отметив, что оно коррелирует с понятием почвенного заказника общего режима, рассмотренного выше. Ясно, что столь важный вопрос, как определение исходных понятий и положений особой охраны почв, не может быть решен декларативно отдельными специалистами. Здесь важна всесторонняя коллективная его разработка.

К числу первоочередных относится также вопрос о предварительном определении конкретных почв, на которые должен распространяться в первую очередь режим заповедников и заказников. Его, по-видимому, необходимо решать уже сейчас, еще до того, как будут реализованы рассмотренные выше задачи.

Первый опыт решения данного вопроса уже имеется. И.А. Крупениковым (1985) в общем виде намечены почвы, подлежащие особой охране на территории Молдавии. К редким почвам (почвам-раритетам), подлежащим заповеданию, он относит ксерофитно-лесные черноземы в гырнецовых дубравах, открытые только в Молдавской ССР, уникальные бурые лесные почвы под буком и дубом в Высоких Кодрах, слитые черноземы, лесолуговые почвы в поймах. По мнению И.А. Крупеникова, раритетные заповедники организовать нетрудно, поскольку все

указанные почвы можно найти в лесу, где они не испытали заметного антропогенного воздействия. Следовательно, необходимо выделить подходящие участки и перевести их на заповедный режим.

Значительно сложнее обстоит дело с организацией эталонных заповедников широко распространенных почв, ценных в агрономическом отношении. В районах интенсивного хозяйственного освоения они почти сплошь распаханы. Поэтому под такие заповедники, которые, по мнению И.А. Крупеникова, в Молдавской ССР должны охватить все основные подтипы черноземов —типичные, выщелоченные, обыкновенные, карбонатные, предлагается изъять небольшие площадки из сельскохозяйственного использования с целью возрождения черноземов. Это позволит проводить сопоставление используемых разностей с целинным стандартом, прогнозировать позитивные и негативные изменения в плодородии и различных экологических функциях почв.

В заповедники моделей высокого плодородия И.А. Крупеников предлагает включить те черноземы, а также обрабатываемые лесные и пойменные почвы, у которых плодородие доведено до высокого уровня.

При реализации заповедания почв в регионах страны необходимо исходить как из общих задач особой охраны почв, так и специфики почвенного покрова конкретной территории с учетом хода ее естественного развития и характера хозяйственного использования.

В районах интенсивной освоенности территории, прежде всего субтропических степных и лесостепных, конкретные проблемы заповедания почв будут во многом перекликаться с только что рассмотренными для Молдавской республики.

Районы, испытывающие меньшую антропогенную нагрузку, находятся в более благоприятных условиях. Поэтому может показаться поначалу, что реализация для них программы особой охраны почв значительно менее актуальна и может быть безболезненно отодвинута на более поздние сроки. Однако в действительности такой взгляд будет неверным. Так, если взять лесную зону, Крайний Север и ряд пустынных территорий, то для них задачи выявления почв, подлежащих включению в сеть заповедников и заказников, стоят не менее остро, чем для густонаселенных районов. Причин здесь несколько. Во-первых, во многих случаях освоенность данных территорий оказывается очень высокой (юг лесной зоны, промышленные центры на Севере, оазисы в пустынях). Во-вторых, многие малонаселенные районы в ближайшие годы будут вовлечены в широкомасштабное освоение. В-третьих, природа и почвенный покров этих территорий часто оказываются исключительно ранимыми и к воздействию человека, особенно в районах активного действия ветровой эрозии, вторичного засоления, вечной мерзлоты и др. Следовательно, программа реализации особой охраны почв должна иметь общесоюзный характер и охватывать все природные зоны.

В плане реализации данной программы было выдвинуто предложение о разработке Красной книги эталонных и редких почв лесной зоны (Никитин, 1985; и др.). Объектами особой охраны здесь должны стать прежде всего те почвенные разности, которые являются наибо-

Таблица 44

Почвы лесной зоны ЕТС и Западной Сибири первоочередной особой охраны*

Широко распространенные почвы, нуждающиеся в эталонных особо охраняемых участках		Редкие почвы и почвы ограниченного распространения, нуждающиеся в особо охраняемых территориях	
Почвы	Районы распространения	Почвы	Районы распространения
Глеево-подзолистые	Северная тайга ЕТС	Дерновые шунгитовые	Тайга Карелии
Собственно подзолистые	Средняя тайга ЕТС	Подбуры	Северная, средняя тайга ЕТС
Дерново-подзолистые	Южная тайга ЕТС	Дерново-карбонатные	Лесная зона ЕТС
Дерново-палево-подзолистые	Хвойно-широколиственные леса	Группа бурых лесных почв:	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТС:
Слабоподзолистые глееватые	Северная и средняя тайга Западной Сибири	буроземы	западные районы
		поддубицы	западные районы
Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом и дерново-глеевые	Южная тайга Западной Сибири	коричнево-бурые	Приуралье
		Почвы ополий	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТС
Подзолы песчаные	Лесная зона ЕТС и Западной Сибири	Подзолистые со вторым гумусовым горизонтом	Средняя тайга Западной Сибири и отчасти ЕТС
Почвы с двумя элювиальными горизонтами на двучленных породах	Лесная зона ЕТС и Западной Сибири	Подзолистые и дерново-подзолистые на ленточных глинах	Лесная зона Приуралья
		Карликовые подзолы	Кольская и карельская тайга
		Подзолы с мощным ортзандовым горизонтом	Тайга Западной Сибири и ЕТС
		Темноцветные почвы западин	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТС

*Список предварительный, неполный; ряд названий почв — рабочий.

лее характерными для типов, подтипов, родов (а в перспективе и видов) почв, достаточно широко распространенных на территории лесной зоны, а также почвы, встречающиеся локально (табл. 44).

К числу почв, подлежащих первоочередному заповеданию, следует, по-видимому, отнести почвенные профили, формирующиеся на редких для зоны почвообразующих породах и в необычных экологических условиях: почвы на шунгитовых сланцах, карбонатных и других породах (дерновые шунгитовые, дерновые карбонатные, бурые лесные, почвы ополий Русской равнины и др.). Данные почвы часто отличаются высоким плодородием и поэтому подвергнуты широкому, а в некоторых райо-

нах сплошному освоению. Понятно, как важно сохранить уцелевшие целинные или слабоизмененные участки этих почв.

К группе почв первоочередной особой охраны относятся также эталонные профили, всестороннее изучение которых явилось базой для разработки теоретических и прикладных вопросов учения о генезисе, географии и экологии характерных почв лесной зоны. Это прежде всего наиболее типичные глеево-подзолистые, собственно подзолистые и дерново-подзолистые на однородных покровных суглинках. Эти почвы встречаются значительно реже, чем это принято считать. Во-первых, действительная однородность рыхлых почвообразующих пород наблюдается не так часто; во-вторых, покровные отложения во многих районах имеют подчиненное значение. Например, собственно подзолистые почвы на покровных отложениях в типичных районах средней тайги Коми АССР занимают всего около 16% площади (Забоева, 1975).

По-видимому, все участки, на которых были проведены фундаментальные исследования свойств и режимов почв, должны быть рассмотрены как возможный объект для организации почвенных заказников, прежде всего специального режима, а также почвенных заповедников.

Важным объектом особой охраны оказываются почвы с ярко выраженным полигенетическим профилем, в котором "записаны" различные этапы его эволюции и отчетливо проявляется функция памяти биогеоценоза. В лесной зоне равнинных районов к таким почвам нередко относятся подзолистые и дерново-подзолистые со вторыми темноцветными гумусовыми горизонтами; почвы, имеющие карбонатные конкреции; автоморфные песчаные подзолы с мощными ортзандовыми горизонтами и др.

Существует также самостоятельная группа вопросов, связанная с координацией работ по созданию Красной книги почв, в том числе Красной книги почв мира, и работ по особой охране различных других объектов. Здесь отчетливо выделяются несколько аспектов. Так, давно назревшей задачей является организация комплексной (полнокомплексной) Красной книги природы, которая включала бы в себя не только биологические, но и почвенные, геологические, географические, палеонтологические, палеогеографические и другие объекты, представляющие особую ценность, что позволило бы более эффективно и экономично осуществлять их выявление и надежную защиту.

Кроме того, со всей остротой стоит проблема разработки единой охранной книги био- и ноосферы, которая, как представляется, должна состоять из нескольких основных частей. В первой части должны содержаться главные положения комплексной Красной книги природы, предписывающие особую охрану тех природных объектов, которые должны быть практически исключены из хозяйственной деятельности. Во второй части должен быть сконцентрирован свод документов и обязательных правил, определяющих и гарантирующих рациональное использование и защиту от разрушения и деградации используемых человеком природных ресурсов. В отношении почв здесь должны быть прежде всего узаконены в качестве обязательных в региональном и глобальном масштабе нормы почвозащитного, рационального землепользова-

ния, особенно применительно к наиболее плодородным пахотным землям: черноземам, серым лесным, дерновым и др.

Следует также отметить, что все очевиднее становится необходимость проявлять настоящую заботу о сохранении той природной среды (в том числе и почвенной), в которой находятся памятники истории и культуры. Об этом, в частности, убедительно говорится в статье Д. Лихачева и В. Янина "Русский Север как памятник отечественной и мировой культуры" (Коммунист, 1986. N 1). Воплощение этой благородной цели потребует разработки охранной книги био- и ноосферы и выделения в ней особого раздела, предусматривающего надежную защиту как памятников истории, культуры и ценных археологических объектов, так и окружающей их природной среды.

Заканчивая, хотелось бы еще раз подчеркнуть, что решение проблемы создания Красной книги почв и связанных с ней вопросов является неотложной многоплановой задачей, требующей настойчивых усилий не только почвоведов, но и всех, кому дорога природа Земли, поскольку без полноценного почвенного покрова невозможно настоящее благополучие планеты и успешное функционирование ее биосферы. Следует также специально отметить, что создание Красной книги почв имеет не только почвоохранное значение. Осуществление данной работы, несомненно, будет стимулировать развитие многих разделов почвоведения и смежных наук: углубление систематики и диагностики почв, дальнейшее расширение исследований экологических функций почв, усиление интеграции наук в связи с реализацией более широкого подхода к охране природы в целом и др.

ЛИТЕРАТУРА

Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища мира. М.: Мысль, 1987. 320 с.

Авдонин Н.С. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, 1982. 343 с.

Аганбегян А., Голицин Г., Тихонов В. и др. Земля — главное богатство // Правда. 1986. N 43. 12 февр.

Адаптация почвенных животных к условиям среды. М.: Наука, 1977. 191 с.

Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан: фронты, дисперсии, жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 192 с.

Акраходжаев А.М. О происхождении нефтяных и газовых месторождений. М.: Знание, 1985. 47 с.

Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 443 с.

Алекин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 343 с.

Алехин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М.: Наука, 1964. 144 с.

Алиев С.А. Азотфиксация и физиологическая активность органического вещества почв. Новосибирск: Наука, 1988. 144 с.

Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наук. думка, 1979. 246 с.

Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразование. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 322 с.

Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 185 с.

Аристовская Т.В. Эволюция микробоценозов и ее влияние на почвообразовательный процесс // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1984. N 3. С. 325—336.

Атлавините О.П., Станиславичюте И.С., Шюляускене Н.И. Влияние дождевых червей на агрохимические свойства, микрофлору и ферментативную активность дерново-подзолистой почвы / Тр. АН ЛитССР. 1981. N 3/75. С. 75—82.

Афанасьев Я.Н. Классификационная проблема в почвоведении // Успехи почвоведения. 1927. С. 49—109.

Бабич Б.И., Григорьев Е.Г. Охрана и рациональное использование водных ресурсов. М.: Знание, 1987. 46 с.

Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 248 с.

Базилевич Н.И. Геохимическая работа живого вещества Земли и почвообразование // Тр. X междунар. конгр. почвоведов. М.: Наука, 1974. Т. 6. Комис. 5, ч. 1. С. 17—27.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н. Сколько весит живое вещество планеты // Природа. 1971. N 1. С. 46—53.

Башкин В.Н. Эколого-агрохимические проблемы применения азотных удобрений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. 1986. 40 с.

Белов Н.В., Лебедев В.И. Источники энергии геохимических процессов // Природа. 1957. N 5. С. 11—12.

Белоусов В.В. Структурная геология. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.

Берман Д.И., Трофимов С.С. К определению понятий о почве и ее плодородии // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 65—80.

Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. 368 с.

Биология охраны природы. М.: Мир, 1983. 430 с.

Блэк К.А. Растение и почва. М.: Колос, 1973. 503 с.

Богоров В.Г. Жизнь океана. М.: Знание. 1969. 62 с.

Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 327 с.

Будыко М.И. Эволюция биосферы. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 488 с.

Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 208 с.

Бютнер Э.К. Планетарный газообмен. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 238 с.

Вальков В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 1986. 208 с.

Вайчис М.В. Генезис и свойства лесных почв Южной Прибалтики. Вильнюс: Минтис, 1975. 411 с.

Величко Е.Б., Шумаков Б.Б. Агромелиоративные основы возделывания риса. Краснодар: Кн. изд-во, 1987. 191 с.

Вернадский В.И. Страницы из истории почвоведения (памяти В.В. Докучаева). М., 1904, 16 с.

Вернадский В.И. Биосфера. Л.: Хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.

Вернадский В.И. Очерки геохимии. М., Л.: Науч.-техн. изд-во, 1934. 167 с.

Вернадский В.И. О значении почвенной атмосферы и ее биогенной структуры // Почвоведение. 1944. N 4. С. 137—143.

Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: АН СССР, 1960. Т. 4. 651 с.

Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1979. 357 с.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 339 с.

Вильямс В.Р. Общее земледелие. М.: Новая деревня, 1919. 468 с.

Вильямс В.Р. Почвоведение. М.: Сельхозгиз, 1939. 447 с.

Витязев В.Г., Никитин Е.Д. Характеристика удельной поверхности некоторых почв южной тайги Русской равнины в генетическом аспекте // Изв. ТСХА. 1978. N 6. С. 110—116.

Волобуев В.Р. Экология почв (очерки). Баку: Изд-во АН АзССР, 1963. 260 с.

Высоцкий Г.Н. О глубокопочвенном (полнопочвенном) почвоведении // Почвоведение. 1934. N 6. С. 834—842.

Гаджиев И.М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. 277 с.

Гагарина Э.И., Цыпленков В.П. Использование микроморфологического метода исследования при моделировании современного почвообразовательного процесса // Почвоведение. 1974. N 4. С. 20—27.

Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А. Почвообитающие раковинные корненожки (Protozoa, Testacida) и их индикационное значение // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. М.: Наука, 1976. С. 116—141.

Геннадиев А.Г. Пространственно-временные модели развития почв и региональные проблемы почвообразования: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1985. 48 с.

Герасимов И.П. Государственная почвенная карта СССР // Почвоведение. 1947. N 1. С. 7—15.

Герасимов И.П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. М.: Наука, 1985. 247 с.

Герасимова М.И. География почв СССР. М.: Высш. школа, 1987. 223 с.

Гильманов Т.Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. М.: Изд-во МГУ, 1978. 166 с.

Гиляров М.С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 280 с.

Гиляров М.С. Почвенный ярус биоценозов суши // Успехи соврем. биологии. 1968. Т. 66, вып. 1. С. 121—136.

Гиренок Ф.И. Экология, цивилизация, ноосфера. М.: Наука, 1987. 180 с.

Гирусов Э.В. Система "общество—природа". М.: Изд-во МГУ, 1976. 165 с.

Глазовская М.А. Почвы мира. М.: Изд-во МГУ, 1972. 231 с.

Глазовская М.А., Добровольская Н.Г. Геохимические функции микроорганизмов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 153 с.

Глинка К.Д. Почвоведение. М., Л.: Сельхозгиз, 1927. 580 с.

Голдовский А.М. Анабиоз и его практическое значение. Л.: Наука, 1986. 168 с.

Головенко С.В. О предмете, методе и руководящей идее экологического почвоведения (ЭП) // Тез. докл. 6-го делегат съезда Всесоюз.о-ва почвоведов. Тбилиси, 1981. Кн. 4.

Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 247 с.

Горшков В.Г. Границы устойчивости биосферы // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1987а. Т. 119, вып. 4. С. 289—300.

Горшков В.Г. Антропогенные возмущения глобального круговорота углерода // Там же. 1987б. Т. 119, вып. 2. С. 106—118.

Градусов Б.П. Смешанослойные минералы и генезис почв подзолистого ти-

па // Биол. науки. 1970. N 3. С. 114—120.

Грегори Ф. Микробиология атмосферы. М.: Мир, 1964. 371 с.

Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. М.: Наука, 1966. 382 с.

Гришина Л.А. Трансформация органического вещества и гумусное состояние почв: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 1982. 50 с.

Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев.: Наук. думка, 1965. 198 с.

Губкин И.М. Учение о нефти. М., Л.: Науч.-техн. нефтяное изд-во, 1932. 443 с.

Давиташвили Л.Ш. Эволюция условий накопления горных ископаемых. М.: Наука, 1971. 295 с.

Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв.: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1987. 33 с.

Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979. 252 с.

Димо В.М. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 359 с.

Дмитриев Е.А. Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 1983. 51 с.

Добровольский В.В. География и палеогеография коры выветривания СССР. М.: Мысль, 1969. 277 с.

Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 269 с.

Добровольский В.В. Проблемы геохимии в физической географии. М.: Просвещение, 1984. 144 с.

Добровольский Г.В. Алексей Николаевич Сабанин. М.: Изд-во МГУ, 1959. 59 с.

Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1968. 296 с.

Добровольский Г.В. О некоторых проблемах генетического почвоведения // Почвоведение. 1979. N 7. С. 103—111.

Добровольский Г.В. Бесценный дар природы // Природа. 1986а. N 9. С. 88—99.

Добровольский Г.В. Мониторинг и охрана почв // Почвоведение. 1986б. N 12. С. 14—18.

Добровольский Г.В. Выступление на годичном Общем собрании Академии наук СССР // Вестн. АН СССР. 1988. N 7. С. 101—102.

Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 223 с.

Добровольский Г.В., Гришина Л.А., Розанов Б.Г., Таргульян В.О. Влияние человека на почву как компонент биосферы // Почвоведение. 1985. N 12. С. 55—65.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 137 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., Афанасьева Т.В. Таежное почвообразование в континентальных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1981. 216 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., Орлов В.И. Нужна Красная книга почв // Химия и жизнь. 1984. N 5. С. 56—57.

Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во МГУ, 1984. 415 с.

Добродеев О.П., Суетова И.А. Живое вещество Земли // Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 26—58.

Докучаев В.В. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1949. Т. 2. 426 с.

Дорст Ж. До того как умрет природа. М.: Прогресс, 1968. 415 с.

Дривер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. 440 с.

Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования). М.: Прогресс, 1970. 590 с.

Евдокимова Т.И., Быстрицкая Т.Л., Васильевская В.Д. и др. Биогеохимические циклы элементов в природных зонах Европейской части СССР // Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 154—183.

Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 343 с.

Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. 192 с.

Заварзин Г.А., Звягинцев Д.Г., Карпачевский Л.О., Розанов Б.Г. Взаимодействие почвы с атмосферой // Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха. М.:Изд-во МГУ, 1985. С. 35—47.

Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974. 207 с.

Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 1987. 304 с.

Заславский М.Н. Эрозиоведение. М.: Высш. школа, 1987. 375 с.

Зборищук Н.Г. Состав и свойства почвенного воздуха // Взаимодействие

почвенного и атмосферного воздуха. М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 20—35.

Звягинцев Д.Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. М.: Изд-во МГУ, 1974. 176 с.

Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.

Зенкевич Л.А. Избранные труды. М.: Наука, 1977. Т. 2. 241 с.

Зонн С.В. Влияние леса на почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 160 с.

Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.

Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почвы. М.: Наука, 1983. 168 с.

Иванов В.П. Растительные выделения и их значение в жизни фитоценозов. М.: Наука, 1973. 295 с.

Иванов И.В. Влияние некоторых свойств почв и ландшафтов на распространение углеводородоокисляющих бактерий // Почвоведение. 1968. N 7. С. 165—167.

Иванов И.В. Изменение природных условий степной зоны в голоцене // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. N 2. С. 26—41.

Иванов И.В. Природная эволюция почв степной зоны в голоцене: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1988. 53 с.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 206 с.

Иенни Г. Факторы почвообразования. М.: Изд-во иностр. лит., 1948. 348 с.

Ильичев Б.А., Таргульян В.О. Эоловый привнос пыли в лесной зоне Русской равнины в голоцене // Процессы почвообразования и эволюция почв. М.: Наука, 1985. С. 202—219.

Калесник С.В. Общие географические закономерности Земли. М.: Мысль, 1970. 283 с.

Кальянов К.С. Динамика процессов ветровой эрозии почв. М.: Наука, 1976. 155 с.

Кан С.И. Океан и атмосфера. М.: Наука, 1982. 144 с.

Караваева Н.А. Почвы тайги Западной Сибири. М.: Наука, 1973. 167 с.

Караваева Н.А. Заболачивание и эволюция почв. М.: Наука, 1982. 295 с.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 261 с.

Карпачевский Л.О. Новые подходы к оценке роли почвы в биосфере. Рец. на кн.: Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. Экологические функции почвы // Почвоведение. 1987. N 1. С. 135—137.

Касимов Н.С. Палеогеохимия ландшафтов степей и пустынь: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1983. 55 с.

Кауричев И.С., Ганжара Г.Ф., Комарцева Л.Г. Роль водорастворимых органических веществ в формировании гумусового горизонта дерново-подзолистых почв // Современные почвенные процессы. М.: Наука, 1974. С. 74—85.

Качинский Н.А. Корневая система растений в почвах подзолистого типа. М.: Моск. обл. с.-х. опытн. станция, 1925. 89 с.

Каштанов А.Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. М.: Россельхозиздат, 1974. 207 с.

Кейдал Р. Твердые частицы в атмосфере и в космосе. М.: Мир, 1969. 284 с.

Кеннетт Дж.П. Морская геология. М.: Мир, 1987. Т. 1. 396 с.

Киссин И.Г. Вода под землей. М.: Наука, 1976. 222 с.

Клиге Р.К. Изменения глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 248 с.

Ковда В.А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 447 с.

Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. М.: Наука, 1975. 73 с.

Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшенне, использование и охрана. М.: Наука, 1981а. 182 с.

Ковда В.А. Советское почвоведение на службе сельского хозяйства. Тбилиси, 1981б. 107 с.

Ковда В.А. Сохранить и рационально использовать черноземы СССР. Пущино, 1983. 27 с.

Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. М.: Колос, 1984. 303 с.

Ковда В.А. Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли: Докл. на VII Делегатском съезде Всесоюз. о-ва почвоведов (9—13 сент. 1985 г., Ташкент). Пущино, 1985а. 10 с.

Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985б. 263 с.

Ковда В.А. Почвенный покров, охрана окружающей среды и земледелия. Пущино, 1987. 32 с.

Ковда В.А. Мелиорация и природа. Орошать или улучшать? // Человек и природа. 1988. N 5. С. 3—22.

Козловский Ф.И. Современные естественные процессы эволюции почв: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1987. 40 с.

Колесниченко М.В. Биохимические взаимовлияния древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 184 с.

Кондратьев К.Я. Глобальный климат. М.: ВИНИТИ, 1987. 311 с.

Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л.: Наука, 1985. 181 с.

Коробков В.А. Преобразование энергии океана. Л.: Судостроение, 1986. 279 с.

Коронкевич Н.И. Преобразование водного баланса в СССР. М.: Знание, 1972. 47 с.

Корсунов В.М., Ведрова Э.Ф. Диагностика почвообразования в зональных лесных почвах. Новосибирск: Наука, 1982. 160 с.

Красильников Н.В. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 463 с.

Кремер А.М. Микростроение сильноподзолистой почвы и передвижение глинистых суспензий // Почвоведение. 1969. N 6. С. 28—36.

Криволуцкий А.Е. Голубая планета. М.: Мысль, 1985. 335 с.

Криволуцкий Д.А. Животный мир почвы. М.: Знание, 1969. 48 с.

Криволуцкий Д.А. Пути приспособительной эволюции панцирных клещей в почве // Адаптация почвенных животных к условиям среды. М.: Наука, 1977. С. 102—129.

Криволуцкий Д.А., Покаржевский А.Д., Сизов М.Г. Почвенная фауна в кадастре животного мира. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1985. 96 с.

Круговорот вещества в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. М.: Изд-во МГУ, 1980. 272 с.

Крупеников И.А. История почвоведения. М.: Наука, 1981. 328 с.

Крупеников И.А. Сохраним и приумножим. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1985. 136 с.

Кулаковская Т.Н. Химизация земледеления и расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1987. N 1. С. 5—15.

Кук Дж.У. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос. 1970. 520 с.

Лапо А.В. Следы былых биосфер. М.: Знание, 1987. 205 с.

Лебедев В.И. Почвенные и грунтовые воды. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 315 с.

Лебедева Л.А. Минеральные удобрения на дерново-подзолистых почвах. М.: Изд-во МГУ, 1984. 100 с.

Левин Ф.И. Вопросы окультуривания, деградации и повышения плодородия пахотных почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 93 с.

Леонтьев О.К. Физическая география Мирового океана. М.: Изд-во МГУ, 1982. 198 с.

Ливеровский Ю.А. Почвы СССР. М.: Изд-во МГУ, 1974. 461 с.

Лисицин А.П. Проблемы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.

Лукашев К.И. Тревоги и надежды: изменяющаяся биосфера. Минск: Наука и техника, 1987. 107 с.

Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 254 с.

Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. М.: Агропромиздат, 1988. 104 с.

Макеев О.В. Глобальная экология почвенного холода и тепла. Пущино, 1980. 36 с.

Миланова Е.В., Рябчиков А.М. Использование природных ресурсов и охрана природы. М.: Высш. шк., 1986. 278 с.

Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 263 с.

Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера. М.: Колос, 1984. 246 с.

Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 107 с.

Мишустин Е.Н., Перцовская М.И., Горбов В.А. Санитарная микробиология почв. М.: Изд-во МГУ, 1979. 304 с.

Могилевский Г.А., Богданов В.М., Кичатова С.Н. и др. Бактериальный фильтр в зоне нефтяных и газовых месторождений, его особенности и методы изучения // Геохимические методы поисков нефти и газа и вопросы ядерной геологии. М.: Недра, 1970. С. 211—266.

Морозов Г.Ф. Избранные труды. М.: Лесн. пром-сть, 1970. Т. 1. 560 с.

Мочалов И.И. Владимир Иванович Вернадский. М.: Наука, 1982. 488 с.

Муха В.Д. Общие закономерности и зональные особенности изменения почв главных генетических типов под воздействием сельскохозяйственной культуры: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Харьков, 1979. 38 с.

Назаров Г.В. Гидрологическая роль почвы. Л.: Наука, 1981. 215 с.

Назаренко И.И. Окультуривание под-

золистых оглеенных почв. М.: Наука, 1981. 182 с.

Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва—растение. М.: Колос, 1980. 365 с.

Наумов Е.М., Градусов Б.П. Особенности почвообразования на крайнем Северо-Востоке Евразии. М.: Колос, 1974. 145 с.

Научные основы современных систем земледелия. М.: Агропромиздат, 1988. 254 с.

Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. Иркутск, 1986. 209 с.

Никитин Б.А. Плодородие почвы, его виды и методы оценки. Горький: ГСХИ, 1981. 84 с.

Никитин Б.А. Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия. Л.: Агропромиздат, 1986. 277 с.

Никитин Е.Д. О биогеоценотических функциях почв // Вестн. МГУ. Сер. почвоведение. 1977. N 1. С. 13—19.

Никитин Е.Д. Жизнь и будущее почв. М.: Знание, 1979. 48 с.

Никитин Е.Д. О понятии "педосистема" // Вестн. МГУ. Сер. почвоведение. 1980а. N 4. С. 3—8.

Никитин Е.Д. Миграция железа в почвах таежно-лесных ландшафтов // Почвоведение. 1980б. N 9. С. 13—22.

Никитин Е.Д. Роль почв в жизни природы. М.: Знание, 1982а. 47 с.

Никитин Е.Д. О динамизме и противоречивости почвообразования // Жизнь земли. 1982б. N 17. С. 152—154.

Никитин Е.Д. Новый этап в изучении эволюции и генезиса почв тайги Западной Сибири // Почвоведение. 1983. N 10. С. 157—159.

Никитин Е.Д. О методическом и практическом значении достижений в изучении общих закономерностей почвообразования // Жизнь Земли. Глобальная тектоника и динамика природных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 79—84.

Никитин Е.Д. Закономерности таежно-лесного почвообразования: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 1985. 40 с.

Никитин Е.Д. О создании Красной книги почв // Почвоведение. 1989. N 2. С. 113—121.

Никитин Е.Д., Орлов В.И. О динамике почв и рациональном использовании земельных ресурсов // Жизнь Земли. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 46—52.

Никитин Е.Д., Орлов В.И., Афанасьева Т.В. Динамика развития почвенного покрова таежной зоны // Прогноз изменений природных условий Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 20— 36.

Никитин Е.Д., Федоров К.Н. Состав и генезис ортзандов почв таежной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 1977. N 7. С. 13—22.

Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М.: Наука, 1984. 213 с.

Ногина Н.А., Тюлин В.В. Режим влажности дерново-подзолистых почв восточных районов Русской равнины. // Почвоведение. 1974. N 4. С. 20—44.

Обухова В.А., Федоров К.Н. Микроморфология гидроморфных почв дельты Иравади // Вестн. МГУ. Сер. биол. и почвоведение. 1974. N 2. С. 85—91.

Олдак П.Г. Равновесное природопользование. Взгляд экономиста. Новосибирск: Наука, 1983. 128 с.

Оленин А.С., Марков В.Д. Клад Солнца. М.: Мысль, 1983. 110 с.

Оппоков Е.В. Вопрос об обмелении рек в его современном и прошлом состоянии // Сельск. хоз-во и лесоводство. СПб., 1900. N 6. С. 633—707.

Орлов В.И. Анализ динамики природных условий и ресурсов. М.: Наука, 1975. 275 с.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974, 332 с.

Орлов Д.С. Физическая химия и проблемы почвоведения // Почвоведение. 1986. N 11. С. 6—14.

Орлова М.А. Роль эолового фактора в солевом режиме территорий. Алма-Ата: Наука, 1983. 230 с.

Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1983. 230 с.

Основы геологии горючих ископаемых. М.: Недра, 1987. 420 с.

Остроумов С.А. Введение в биохимическую экологию. М.: Изд-во МГУ, 1986. 175 с.

Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.

Пармузин Ю.П. Тайга СССР. М.: Мысль, 1985. 303 с.

Первова Н.Е., Розанов Б.Г. Глобальные аспекты газообмена // Взаимодей-

ствие почвенного и атмосферного воздуха. М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 6—19.

Перельман А.И. Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977. 158 с.

Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 150 с.

Переуплотнение пахотных почв. М.: Наука, 1987. 215 с.

Петров В.В. Жизнь леса и человек. М.: Наука, 1985. 128 с.

Петров В.П. Основы учения о древних корах выветривания. М.: Наука, 1967. 343 с.

Пиннекер Е.В. Охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1979. 69 с.

Плодородие почв и пути его повышения / Под ред. Н.П. Панова. М.: Колос, 1983. 183 с.

Полынов Б.Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 748 с.

Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1964. 377 с.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 24 с.

Посохов Е.В. Ионный состав природных вод: Генезис и эволюция. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 256 с.

Почвоведение / Под. ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1975. 496 с.

Прасолов Л.И. Генезис, география и картография почв. М.: Наука, 1978. 263 с.

Разумихин Н.В. Природные ресурсы и их охрана. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 266 с.

Рассел Э.Д. Почвенные условия и рост растений. М.: Изд-во иностр. лит., 1955. 624 с.

Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особоохраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.

Рейнтам Л.Ю. Автоморфное почвообразование на моренных и двучленных породах Эстонии: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1973. 54 с.

Риньких Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1972. 355 с.

Риньких Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1977. 170 с.

Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: Географгиз, 1947. 141 с.

Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. Т. 1 662 с.

Роде А.А. Вопросы водного режима почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 208 с.

Роговская Н.В. Карта естественной защищенности подземных вод от загрязнения // Природа. 1976. N 3. С. 57—61.

Родченко О.П., Маричева Э.А., Акимова Г.П. Адаптация растущих клеток корня к пониженным температурам. Новосибирск: Наука, 1988. 146 с.

Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. 293 с.

Розанов Б.Г. XII международный конгресс почвоведов // Почвоведение. 1982. N 7. С. 146—151.

Розанов Б.Г. Системы методов контроля состояния почвенного покрова // Современные методы исследования почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 6—7.

Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1984. 372 с.

Розанов Б.Г. Геомембрана: мембранная функция почвы в планетарной геосферной системе Земли // Почвоведение. 1988. N 7. С. 54—59.

Розов Н.Н., Строганова М.Н. Почвенный покров мира. М.: Изд-во МГУ, 1979. 287 с.

Ромашкевич А.И., Герасимова М.И. Микроморфология и диагностика почвообразования. М.: Наука, 1982. 127 с.

Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. М.: Наука, 1980. 79 с.

Рыжова И.М. Азот в системе почва—атмосфера // Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха. М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 91—99.

Рябчиков А.М., Тарасов К.Г. Географический подход к оценке влияния сельского хозяйства на окружающую среду // Вестн. МГУ. Сер. 5, география. 1986. N 5. С. 8—15.

Самойлова Е.М. Почвообразующие породы. М.: Изд-во МГУ, 1983. 172 с.

Сидоренко Г.И., Можаев Е.А. Санитарное состояние окружающей среды и здоровье населения. М.: Медицина, 1987. 124 с.

Смит У.Х. Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985. 429 с.

Снытко В.А., Семенов Ю.М. Структура почвенного покрова как показатель движения веществ в геосистемах // Структура почвенного покрова и использование почвенных ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 26—30.

Соколов И.А. О геохимии почвенного внутригоризонтного выветри-

вания // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 236—244.

Соколов И.А. Экология почв как раздел докучаевского генетического почвоведения // Почвоведение. 1985. N 10. С. 5—13.

Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 1980. 47 с.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

Степанов И.Н. Формы в мире почв. М.: Наука, 1986. 190 с.

Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. 212 с.; Т.2. 575 с.

Судницин И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во МГУ, 1979. 254 с.

Сушкина Н.Н., Цюрупа И.Г. Микрофлора и первичное почвообразование. М.: Изд-во МГУ, 1973. 158 с.

Сысуев В.В. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах. М.: Наука, 1986. 300 с.

Тамбиев А.Х. Реакционная способность экзометаболитов растений. М.: Изд-во МГУ, 1984. 72 с.

Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 266 с .

Таргульян В.О., Бирина А.Г., Куликов А.В. и др. Организация, состав и генезис дерново-палево-подзолистой почвы на покровных суглинках. М., 1974. 55 с.

Таргульян В.О., Соколов И.А. Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1976. С. 17—34.

Тихомиров Ф.А. Теоретические и прикладные вопросы охраны почвенно-растительного покрова от радиоактивного загрязнения // Биол. науки. 1980. N 4. С. 18—28.

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. М.: Колос, 1971. 455 с.

Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие. М.: Колос, 1982. 461 с.

Тонконогов В.Д. О природе палевого и белесого элювиальных горизонтов дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1980. N 8. С. 18—30.

Травлеев А.П. Взаимодействие растительности с почвами в лесных биоценозах настоящей степи Украины и Молдавии: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Днепропетровск, 1972. 49 с.

Турсина Т.В. Роль микроморфологии для диагностики антропогенного воздействия на почву // Тез. докл. VIII Всесоюз. съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. Кн.4. С. 310.

Тюрюканов А.Н. Биосфера и человечество. М.: Знание, 1973. 63 с.

Умаров М.М. Ассоциативная азотофиксация. М.: Изд-во МГУ, 1986. 131 с.

Ушаков С.А., Ясаманов Н.А. Дрейф материков и климат Земли. М.: Мысль, 1984. 206 с.

Федоров К.Н., Андреева Н.П., Николаева С.А. Сезонная динамика микроморфологии засоленных целинных земель нижней дельты Кубани // Проблемы диагностики и мелиорации солонцов. Новочеркасск, 1981. С. 138—143.

Федорова Н.М. Температурный режим суглинистых почвогрунтов водоразделов Сосьвинского Приобья Западной Сибири и некоторые аспекты современного почвообразования // Почвоведение. 1970. N 3. С. 74—91.

Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983. 277 с.

Физическая география Мирового океана. Л.: Наука, 1980. 362 с.

Фокин А.Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1975. 28 с.

Фотосинтез и продукционный процесс. М., 1988.

Фридланд В.М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков. М.: Наука, 1964. 312 с.

Хайниш Э., Паукке Х., Нагель Г.-Д., Ханзен Д. Агрохимикаты в окружающей среде. М.: Колос, 1979. 356 с.

Чертов О.Г. Экология лесных земель. Л.: Наука, 1981. 192 с.

Чижиков П.Н. О понятии "почвообразующая порода" и "подпочва" // Почвоведение. 1968. N 3. С. 120—124.

Школенко Ю.А. Эта хрупкая планета. М.: Мысль, 1988. 140 с.

Шмальгаузен И.И. Проблема смерти и бессмертия. М., Л.: Госиздат, 1926. 92 с.

Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. М.: Наука, 1968. 451 с.

Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных: почему они так важны? М.: Мир, 1987. 259 с.

Шоба С.А. Морфогенез почв лесной

зоны: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 1988. 45 с.

Щербаков А.П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М.: Колос, 1983. 188 с.

Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 196 с.

Экологические проблемы применения удобрений. М.: Наука, 1984. 213 с.

Яблоков А.В., Остроумов С.А. Уровни охраны живой природы. М.: Наука, 1985. 175 с.

Ярилов А.А. Педология. Юрьев: типогр. Маттисона, 1905. Ч. 2. 244 с.

Ясаманов Н.А. Современная геология. М.: Недра, 1987. 190 с.

Belgrand E. La Seine. P., 1869.

Benninger L.K., Lewis D.M., Turekian K.K. The use of natural Pb-210 as a heavy metal tracer in the river — estuarine system // Marine chemistry and coastal environment. Amer. Chem. Soc. Symp. Ser. N 18. Wash. (D.C.): Amer. Chem. Soc., 1975. P. 201—210.

Bohn H.L. Soil absorption of air pollutants // J. Environ. Qual. 1972. N 1. P. 372—377.

Bremner J.M., Steele C.G. Role of microorganisms sulfur cycle // Adv. Microbiol. and Ecol. 1978. N 2. P. 155—201.

Broadbent F. Methodology for nitrogen transformation and balance in soil // Plant and Soil. 1981. Vol. 58, N 1. P. 383—399.

Copone D., Teylor B. N_2-fixation in the rhizosphere of Thalassis testudinum // Canad. J. Microbiol. 1980. Vol. 26, N 8. P. 998—1005.

Fathi M. Bindung von Queckssilber, Cadmium und Blei in pflanzlichen und tierichen Geweben in Hinblik auf die menschliche Ernährung // J. Anal. Chem. 1983. Vol. 316. P. 589—593.

Gonfiantini R., Gallo G., Payne B.R. et al. Environmental isotopes and hydrochemistry in groundwater hydrology. Vienna: IAEA, 1976. 170 p.

Handa B.K. Environmental pollution: occurence of high nitrate ion concentrations in groundwaters from some parts of India // Congr. Montpellier Mem. I Comm. P., 1974. P. 80—85.

Ingersoll R.B., Inman R.E., Fisher W.R. Soils potential as a sink for atmospheric carbon monoxide // Tellus. 1974. N 26. P. 151—158.

Inman R.E., Ingersoll R.B. Uptake of carbon monoxide by soil fungi // J. Air Pollut. Control Assoc. 1971. N 21. P. 646—657.

Kecney D.R. The nitrogen cycle in sediment-water systems // J. Environ. Qual. 1973. Vol. 2, N 1. P. 15—28.

Low H.A., Webley D.M. A study of soil bacteria dissolving certain mineral phosphate fertilizers and related compounds // J. Appl. Bacteriol. 1959. Vol. 22, N 2.

Schindler D.W. Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implication for lake management // Science. 1974. Vol. 184. N 4139. P. 897—899.

Seiler W. The cycle of atmospheric CO_2 // Tellus. 1974. N 26. P. 116—135.

Silverman M.P. Mechanism of bacterial pyrite oxidation // J. Bacteriol. 1967. Vol. 94, N 4. P. 1046—1051.

Smith W.H. Lead contamination of the roadside ecosystem // J. Air Pollut. Control. Assoc. 1976. N 26. P. 753—766.

Smith K.A., Bremner J.M., Tabatabai M.A. Sorption of gaseous atmospheric pollutants by soils // Soil Sci. 1973. N 116. P. 313—319.

Smith W.H., Dochinger L.S. Air pollution and metropolitan woody vegetation: US D.A. Forest Service. PIEFR—PA—1. Northeastern For. Exp. Sta. Upper Darby (Pen), 1975. 74 p.

Swaminathan M.S. Global aspects of food production // World climate Conf. Geneva, 1979.

Tyler G. Leaching rates of heavy metal ions in forest soil // Water, Air, Soil Pollut. 1978. N 9. P. 137—148.

Van Hook R.I., Shults W.D. Effects of trace contaminants from coal combustion. Wash. (D.C.), 1977. 79 p.

Wagner E., Schwartz W. Geomikrobiologische Untersuchungen. IV. Über die mikrobielle Verwitterung von Kalkstein im Karst // Ztschr. allg. Mikrobiol. 1965. Bd. 5, N 1. P. 52—76.

Walker J.C.G. Evolution of the atmosphere. N.Y.: McMillan, 1977.

Walker J.C.G. Atmospheric constraints on the evolution of metabolism // Orig. Life. 1980. Vol. 10. P. 93—104.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение ... 3

Глава первая. Функции почв в биосфере и экосистемах — фундаментальная проблема экологического почвоведения ... 5

Глава вторая. Влияние почвы на гидросферу ... 18
Особенности гидросферы и общее гидрологическое значение почвы ... 18
Участие почвы в формировании речного стока и водного баланса ... 26
Трансформация атмосферных осадков в почвенно-грунтовые и грунтовые воды ... 32
Почва как фактор биопродуктивности водоемов ... 37
Почвенный защитный барьер акваторий ... 40
Использование гидросферы и гидрологических функций почв ... 43

Глава третья. Влияние почвы на атмосферу ... 57
Почва как фактор формирования и эволюции газового состава атмосферы ... 61
Почва — регулятор газового состава современной атмосферы ... 70
Почва — источник и приемник твердого вещества и микроорганизмов атмосферы ... 81
Влияние почвы на энергетический режим и влагооборот атмосферы ... 85
Антропогенные изменения атмосферных функций почв ... 87

Глава четвертая. Влияние почвы на литосферу ... 101
Почва — защитный слой и фактор развития литосферы ... 102
Биохимическое преобразование приповерхностной части литосферы ... 105
Почва — источник вещества для формирования пород и полезных ископаемых ... 113
Передача аккумулированной солнечной энергии и вещества атмосферы в недра Земли ... 126
Антропогенные нарушения литосферных функций почвы ... 128

Глава пятая. Общебиосферные функции почвы ... 132
Почва как среда обитания для организмов суши ... 132
Роль почвенного покрова в дифференциации географической оболочки и биосферы ... 140
Почва — связующее звено биологического и геологического круговоротов ... 144
Почва как фактор биологической эволюции ... 146
Антропогенные изменения общебиосферных функций почвенной оболочки ... 153

Глава шестая. Функции почвы в наземных экосистемах ... 155
Функции почвы, обусловленные ее физическими свойствами ... 156
Функции почвы, обусловленные ее физико-химическими и химическими свойствами ... 160
Информационные функции почвы ... 178
Целостные функции почвы ... 185

Глава седьмая. Закономерности функционирования, динамика почв и взаимосвязь почвенных экологических функций 191
Некоторые общие закономерности функционирования почв 191
Проблемы и закономерности динамики почв 201
Взаимосвязь и изменчивость экологических функций почв 213

Глава восьмая. Рациональное использование, охрана ресурсов биосферы и экологическое почвоведение 222
Разработка принципов и систем рационального природопользования с учетом экологических функций почв 222
Охраняемые объекты биосферы и Красная книга особо ценных почв 239

Литература 251