Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК



Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин

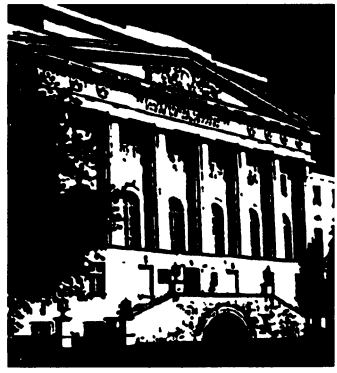
ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Серия

КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

основана в 2002 году по инициативе ректора
МГУ им. М.В. Ломоносова
академика РАН В.А. Садовничего
и посвящена

250-летию Московского университета



КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

Редакционный совет серии

Председатель совета
ректор Московского университета
В.А. Садовничий

Члены совета:

Виханский О.С., Голиченков А.К., Гусев М.В.,
Добреньков В.И., Донцов А.И.,
Засурский Я.Н., Зинченко Ю.П. (ответственный секретарь),
Камзолов А.И. (ответственный секретарь),
Карпов С.П., Касимов Н.С., Колесов В.П.,
Лободанов А.П., Лунин В.В., Лупанов О.Б., Мейер М.С.,
Миронов В.В. (заместитель председателя),
Михалев А.В., Моисеев Е.И., Пушаровский Д.Ю.,
Раевская О.В., Ремнева М.Л., Розов Н.Х.,
Салецкий А.М. (заместитель председателя),
Сурин А.В., Тер-Минасова С.Г.,
Ткачук В.А., Третьяков Ю.Д., Трухин В.И.,
Трофимов В.Т. (заместитель председателя),
Шоба С.А.



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Г.В. Добровольский
Е.Д. Никитин

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Учение об экологических функциях почв

2-е издание, уточненное и дополненное

Рекомендовано УМО по классическому университетскому образованию в качестве учебника по дисциплинам специализаций для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности и направлению подготовки высшего профессионального образования 013000 (020701) и 510700 (020700) «Почвоведение»



Издательство
Московского университета
2012

УДК 504.3.06
ББК 40.3
Д56

Печатается по решению Ученого совета Московского университета

Рецензенты.
кафедра почвоведения и агрохимии Воронежского государственного университета (зав кафедрой профессор *Д И. Щеглов*),
доктор биологических наук, профессор *Л О Карпачевский*

Д56 **Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.**
Экология почв. Учение об экологических функциях почв: Учебник / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. — 2-е изд., уточн. и доп. — М.: Издательство Московского университета, 2012. — 412 с. (Классический университетский учебник).
ISBN 978-5-211—06211-5

В учебнике (1-е издание вышло в 2006 г.) излагаются основы экологии почв — интегральной междисциплинарной науки, объединяющей учения о факторах почвообразования и экологических функциях почв, а также рациональном использовании и охране почвенного покрова как незаменимого компонента планеты Всесторонне характеризуются биогеоценотические и глобальные почвенные экофункции — гидросферные, атмосферные, литосферные, общебиосферные, этносферные, рассматриваются природные и антропогенные факторы образования и динамики почв, освещается состояние почвенных ресурсов и принципы сберегающего их использования с учетом сохранения биологического и почвенного разнообразия Обсуждаются правовые аспекты охраны почв и биосферы как условия дальнейшего развития земной цивилизации, характеризуется междисциплинарное значение экологии почв.

Для почвоведов, экологов, географов, геологов — студентов, аспирантов, преподавателей вузов, а также работников сельского, лесного хозяйства и др

Ключевые слова экология почв, экологические функции почв, биогеоценотические и глобальные функции почв, охрана почв, почвоведение, Красная книга почв, рациональное использование почвенных ресурсов

Dobrovolsky G.V., Nikitin E.D.
Ecology of soils. The doctrine about ecological functions of soils: the textbook / G.V. Dobrovolsky, E.D. Nikitin. — 2nd ed. — M.: Moscow University Press, 2012. — 412 p. (Classical University Textbook)

In the textbook (the 1st edition published in 2006) the basics of ecology of soils are given — the integral interdisciplinary science uniting the doctrines about both factors of pedogenesis and ecological functions of soils, and rational usage and protection of a soil cover as an indispensable component of the planet Biogeocenotic and global soil ecofunctions — atmospheric, lithospheric, generalbiospheric, ethnospheric are comprehensively characterized in this textbook. Natural and anthropogenic factors of formation and dynamics of soils are considered, the condition of soil resources and the principles of their saving usage considering the preservation of biological and soil variety are also covered Legal aspecs of soils and biosphere protectionare discussed as factors og the further development of the Earth civilization, the interdisciplinary value of ecology of soils is characterized

For pedologists, ecologists, geographers, geologists — students, post-graduate students, teachers of high schools, agricultural and forestry workers, etc

Key words· ecology of soils, ecological functions of soils, biogeocenotic and global functions of soils, protection of soils, pedogenesis, the Red book of soils, rational usage of soil resources

УДК 504.3.06
ББК 40.3

© Добровольский Г.В., Никитин Е.Д , 2012
© Издательство Московского университета, 2012
© МГУ имени М.В Ломоносова, художественное оформление, 2006

ISBN 978-5-211—06211-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемый читатель!

Вы открыли одну из замечательных книг, изданных в серии «Классический университетский учебник», посвященной 250-летию Московского университета. Серия включает свыше 150 учебников и учебных пособий, рекомендованных к изданию Учеными советами факультетов, редакционным советом серии и издаваемых к юбилею по решению Ученого совета МГУ.

Московский университет всегда славился своими профессорами и преподавателями, воспитавшими не одно поколение студентов, впоследствии внесших заметный вклад в развитие нашей страны, составивших гордость отечественной и мировой науки, культуры и образования.

Высокий уровень образования, которое дает Московский университет, в первую очередь обеспечивается высоким уровнем написанных выдающимися учеными и педагогами учебников и учебных пособий, в которых сочетаются как глубина, так и доступность излагаемого материала. В этих книгах аккумулируется бесценный опыт методики и методологии преподавания, который становится достоянием не только Московского университета, но и других университетов России и всего мира.

Издание серии «Классический университетский учебник» наглядно демонстрирует тот вклад, который вносит Московский университет в классическое университетское образование в нашей стране и, несомненно, служит его развитию.

Решение этой благородной задачи было бы невозможным без активной помощи со стороны издательств, принявших участие в издании книг серии «Классический университетский учебник». Мы расцениваем это как поддержку ими позиции, которую занимает Московский университет в вопросах науки и образования. Это служит также свидетельством того, что 250-летний юбилей Московского университета — выдающееся событие в жизни всей нашей страны, мирового образовательного сообщества.

Ректор Московского университета
академик РАН, профессор В. Садовничий

В.А. Садовничий

Предисловие авторов

Понятие «экология почв» давно используется почвоведами и другими специалистами. Долгое время оно ассоциировалось с учением о факторах почвообразования и освещалось в изданиях по географии почв и общему почвоведению, что нашло отражение в специальных публикациях (Волобуев, 1963; Соколов, 1986; Почвоведение, 1988; и др.). Однако в последние десятилетия в связи с разработкой нового междисциплинарного направления — учения о почвенных экологических функциях, активно изменяющих сами почвообразующие факторы, — появилась необходимость в расширении понятия экологии почв и объединении под его эгидой обоих названий. Эта задача решена в двух взаимосвязанных учебниках: в «Географии почв» Г.В. Добровольского и И.С. Урусевской (изд. 2-е, 2004; изд. 3-е, 2006) и в настоящем издании.

В данном учебнике авторы объединили, дополнив новыми положениями, материалы, изложенные ими ранее в трех книгах: «Экологические функции почвы» (1986), «Функции почв в биосфере и экосистемах» (1990) и «Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы» (2000).

Факторы почвообразования рассмотрены в первом издании «Географии почв» (1984) и охарактеризованы во втором (2004) и третьем (2006). В «Экологии почв» впервые в учебной литературе систематически изложены основы учения об экологических функциях почв и их сохранении. Это дает возможность использовать его не только ученым и практикам, но и студентам и аспирантам почвенно-экологических, географических и других специальностей. Учебник позволит в дальнейшем развивать также экологическое почвоведение и разрабатывать актуальные проблемы, которыми авторы целенаправленно занимаются более 25 лет

Во втором издании «Экологии почв» внесены уточнения и дополнения в первые четыре части учебника, а также подготовлена новая, пятая часть, в которой охарактеризовано междисциплинарное значение учения об экологических функциях и экологии почв в целом.

Часть I

СТРУКТУРА ЭКОЛОГИИ ПОЧВ

Для лучшего понимания места учения о почвенных экофункциях в экологии почв и почвоведении в целом целесообразно кратко рассмотреть структуру экологии почв и основные задачи ее развития, а также осветить становление учения об экологических функциях почв в историческом ключе. Данным вопросам посвящены первые две главы.

Глава 1

СООТНОШЕНИЕ ЭКОЛОГИИ ПОЧВ И УЧЕНИЯ О ПОЧВЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ И ИХ СОХРАНЕНИИ

Экологизация современного знания и науки ощутимо затронула и почвоведение, одним из ярких свидетельств чего является учение об экологических функциях почв. Однако, несмотря на экологический бум в естествознании, а также в гуманитарных и технических науках, до сих пор сохраняется неопределенность в использовании исходных базовых понятий, связанных с термином "экология" (Гирусов, 2000; Кобыленский, 2003; Дергачева, 2011; и др.). Это в полной мере касается и почвоведения.

До сих пор не существовало сколько-нибудь ясной определенности в трактовке понятия "экология почв", которое долгое время отождествлялось с учением о факторах почвообразования (Волобуев, 1963; Соколов, 1985; и др.), являясь фактически его аналогом. Такой подход оправдал себя, поскольку позволил более углубленно исследовать влияние различных почвообразователей на формирование почвенных тел и их пространственно-временну́ю динамику. На наш взгляд, в настоящее время этого недостаточно. Причина заключается прежде всего в возникающей понятийной разорванности учения о факторах почвообразования и экологических функциях почв. В то же время данные учения тесным образом сопряжены друг с другом, поскольку совместно отражают

прямую и обратную связь (рис. 1) в системе взаимодействия почвы с различными почвообразователями и компонентами биосферы и социосферы. Поэтому объем понятия "экология почв" должен быть существенно расширен, что вполне согласуется с эволюцией смыслового содержания термина "экология", введенного в научную терминологию в 60-е гг. XIX в. немецким биологом Эрнстом Геккелем, у которого он сначала имел зоологическую окраску. «Под экологией мы подразумеваем науку об экономии, домашнем быте животных организмов. Она исследует общие отношения животных как к их неорганической, так и к их органической среде, их дружественные и враждебные отношения к другим животным и растениям, с которыми они вступают в прямые или непрямые контакты, или, одним словом, все те запутанные взаимоотношения, которые Дарвин условно обозначил как борьбу за существование». В дальнейшем объектом экологических исследований стали все живые организмы, а также внутриорганизменные и надорганизменные биологические структуры.

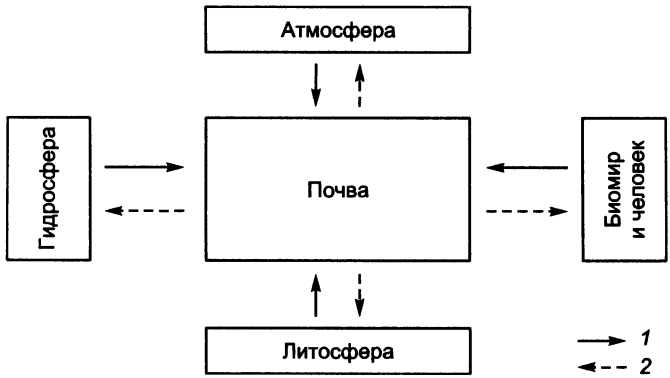


Рис. 1. **Прямые и обратные связи почв с геосферами Земли: 1 — прямые связи; 2 — обратные связи**

Если внимательно посмотреть на первоначальное определение экологии Геккеля, то станет ясно, что целевой установкой данной науки сразу же стало изучение отношений (взаимодействий) организма и среды. Объективное изучение любого взаимодействия всегда предполагает исследование как прямой, так и обратной связи в системе объект—окружающая среда и ее компоненты. Поэтому в целом экологию почв (другими словами — интегральную экологию почв) в общем виде можно определить как междисциплинарную науку, изучающую весь спектр участия различных факторов почвообразования в формировании, динамике и эволюции

почв и всю совокупность почвенных экофункций с ответным воздействием на почвообразователи и поддержанием их функционирования и развития. Кроме того, следует принять во внимание, что в настоящее время термин экология почти всегда сопрягается с проблемами охраны окружающей среды как сложной планетарной системы. Поэтому есть все основания в экологию почв включить и учение о сохранении почв как незаменимого компонента биосферы. Таким образом, суммарно экология почв (интегральная экология почв) оказывается состоящей из трех взаимосвязанных блоков — учения о факторах почвообразования (факторная экология или собственно экология почв) и учений о почвенных экофункциях и сохранении почв и почвенного покрова как незаменимого компонента биосферы и планеты.

В табл. 1 рассмотрены основные направления и задачи развития экологии почв и учения о почвенных экофункциях.

Таблица 1

Актуальные проблемы развития интегральной экологии почв

Основные направления и задачи развития экологии почв		
Факторная экология	Учение об экофункциях почв	Сохранение почв биосферы
Равноправное изучение естественных и антропогенных факторов почвообразования	Общая интенсификация исслед ования почвенных экологических функций различных категорий и видов	Философско-методологическое обоснование новой парадигмы охраны почв, биосферы и планеты
Углубление исследований недостаточно изученных естественных факторов	Усиление междисциплинарных контактов при изучении экологических функций почв	Научное обоснование полнокомплексной системы сохранения почв
Фундаментализация исследований антропогенных средоразрушающих факторов	Систематизированное исследование отдельных экологических функций почв и экофункций почвенных разностей	Развитие особой охраны почв как нового почво- и природоохранного направления
Обобщение работ по антропогенному почвоулучшающему и средосохраняющему воздействию на почвы	Выявление и изучение зонально-региональной дифференциации экологических функций почвенного покрова	Создание и усиление правовой базы сохранения почв как незаменимого компонента биосферы и планеты
Детализация и совершенствование классификации факторов и их качественно-количественной оценки	Всестороннее изучение этносферных и социосферных функций почв	Разработка Красных книг почв и Комплексной красной книги природы и ноосферы

Традиционное направление — это учение о факторах почвообразования, или факторная экология (собственно экология почв), где осталось много нерешенных или недостаточно разработанных вопросов. Так, в ретроспективном срезе просматривается явная несбалансированность изучения естественных и антропогенных факторов почвообразования.

Если обратиться к обобщающим работам по почвоведению, то во многих случаях видна чрезмерная генерализация представлений о ведущих почвообразователях. Например, в учебниках по общему почвоведению и географии почв обычно характеризуются "классические" универсальные факторы: климат, почвообразующие породы, живые организмы, рельеф, время. В то же время ясно, что антропогенное воздействие на почвы давно стало в той или иной форме всеобщим и должно постоянно рассматриваться и основательно анализироваться в сводном сочетании факторов почвообразования.

Поэтому не случайно вся совокупность почвообразователей подразделяется нами на две равноправные категории: естественные и антропогенные факторы (табл. 2).

Таблица 2

Факторы почвообразования и динамики почв

Природные факторы		Антропогенные факторы	
универсальные	**региональные и местные**	**средоулучшающие и средосохраняющие**	**средоразрушающие**
Климат	Грунтовые воды	Рациональное землеустройство	Негативные следствия ряда мелиораций
Материнские породы	Неотектоника и вулканизм	Экологически обоснованные мелиорации	Антропогенная эрозия и уплотнение почв
Живые организмы	Криогенез	Севообороты	Воздушное загрязнение почв
Рельеф и денудация	Делювиальное и другие поступления вещества	Рациональная агротехника	Строительство, свалки, рекреации
Аэральное поступление вещества	Наследование реликтового профиля	Особая охрана природы и почв	Военные действия и учения

Слишком долгая зацикленность факторной экологии почв на изучении естественных почвообразователей обусловила не только

однобокость реальной картины формирования и пространственно-временной динамики почв, но и односторонность парадигмальных установок в исследовании реальных почвенных профилей и конструировании программ их изучения. Эти программы нередко игнорируют реальную судьбу почв, обязательно сопряженную с деятельностью человека, который как фактор почвообразования весьма разнообразен и разнопланов (см. табл. 2).

Отсутствие должного внимания к педоантропогенезу приводит к неэффективности многих почвенно-экологических исследований. Особенно это касается почв и экосистем заповедных территорий. Часто происходит автономное изучение свойств и динамики ненарушенных почв особо охраняемых территорий без сопоставления их с почвами прилегающих освоенных и измененных человеком пространств. В результате утрачивается важнейшая информация, необходимая для уяснения реальной картины антропогенного воздействия на почвенный покров и биосферу.

Важной задачей факторной экологии оказывается углубленное изучение недостаточно исследованных факторов почвообразования, географии и механизмов их трансформации почвенными системами. В этом отношении показателен климат, являющийся всего лишь одной из характеристик атмосферы, воздействие которой на почвы разнообразно и многоаспектно (табл. 3). Поэтому при перечне универсальных факторов вместо климата правильнее употреблять понятие "атмосферные факторы" почвообразования и изучать в полном объеме взаимодействие атмосферы и почв. Подобный пересмотр должен коснуться представлений и о других привычных для человека почвообразователях.

Таблица 3

Основные атмосферные факторы почвообразования

Типы и виды факторов		
радиационные и тепловые	**атмогидрологические**	**антропогенные**
Суммарная солнечная радиация	Годовая сумма осадков и их испарение	Антропогенное изменение естественных климатических условий
Тепловой баланс и его динамика по сезонам	Распределение осадков по сезонам года	Запыление атмосферы
Число солнечных дней	Характер выпадающих осадков	Кислотные дожди
Суточный перепад температур	Химический состав осадков	Радиоактивное и химическое загрязнение

Понятие "почвообразующие породы" как всеобщий фактор почвообразования также не охватывает все основные аспекты воздействия геологических процессов на формирование почвенных систем, ибо это понятие статично и не предполагает, например, обязательного учета неотектоники, в той или иной степени широко влияющей на формирование почв. Во многих случаях именно неотектонические процессы определяют современную динамику почвенных тел. С этим обстоятельством пришлось столкнуться при изучении таежных почв Западной Сибири (Никитин, 1985). Нами наблюдалось, как новейшие движения земной коры в Кеть-Тымском Приобье обусловливают яркие изменения болотных и других гидроморфных почв в сторону их разболачивания или дальнейшей интенсификации гидроморфизма. Это позволило использовать почвы пограничных суходольно-болотных местообитаний в качестве диагностических информативных реперов, дающих возможность выявить тенденции дальнейшего развития почвенных профилей. Ранее другими авторами также отмечалось отчетливое воздействие неотектоники на почвообразование в различных природных зонах (Панадиади, 1974; Орлов, 1975, 2006; и др.).

Вышесказанное свидетельствует о необходимости детализации естественных факторов почвообразования и их углубленных исследований с последующими специальными монографическими обобщениями, дающими новые прорывы в почвоведении. Достаточно напомнить известный труд И.А. Соколова «Вулканизм и почвообразование» (1973), открывший целый мир вулканогенных почв.

Необходимость всесторонних исследований воздействий факторов почвообразования во многом диктуется учением о почвенных экологических функциях, теснейшим образом связанным с факторной экологией почв. Кратко рассмотрим некоторые задачи этого учения на современном этапе его развития.

Прежде всего следует обратить внимание на необходимость общей интенсификации исследований почвенных экофункций различных категорий и видов, о чем неоднократно писали. Здесь есть подвижки, но их необходимо активизировать. В качестве примера можно отметить исследование В.Г. Минеева «Агрохимия и экологические функции калия» (1999). В аналогичном ключе сделан ряд разделов коллективных монографий «Структурно-функциональная роль почв в биосфере» (1999) и «Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере» (2003). На повестке дня стоят и ждут решения такие злободневные задачи, как системати-

зированное исследование отдельных естественных экологических функций почв и экофункций почвенных разностей, выявление и изучение зонально-региональной дифференциации экологических функций почвенного покрова, всестороннее изучение этносферных и социосферных функций почв и др. (см. табл. 1).

Коснемся вопроса о необходимости усиления междисциплинарных контактов при изучении экологических функций почв, от успешной разработки которого во многом зависит повышение статуса почвоведения как фундаментальной науки.

Находясь в центре соприкосновения и взаимодействия всех приповерхностных геосфер Земли, почва оказалась планетарным узлом экологических связей с многочисленными глобальными функциями, деградация которых чревата для цивилизации самыми тяжелыми последствиями. В последние десятилетия это все более осмысливается нашими коллегами по естествознанию — геологами, географами, биологами. Поэтому учение о почвенных экофункциях, возникшее в почвоведении, существенно повлияло на оформление и развитие исследований по экологическим функциям других геосфер. Наиболее ярким примером такого влияния оказалось появление фундаментальной коллективной монографии «Экологические функции литосферы» (Трофимов, Зиллинг, Барабошкина и др., 2000).

Вместе с тем выяснилось, что подход, примененный почвоведами при выявлении и изучении экофункций почв и педосферы, не может быть механически использован для функционального описания других геосфер специалистами из смежных с почвоведением наук. Необходимо тесное творческое взаимодействие базовых наук о Земле с разработкой единой программы изучения экофункций различных геосфер Земли с предварительной выработкой общих понятий, в том числе философско-методологического характера. Только тогда появится необходимое взаимопонимание и единый научный язык. Но важнейшим условием здесь оказывается реальное получение почвоведением статуса фундаментальной науки с признанием его таковым всем научным сообществом, а не только почвоведами. Поясним тезис о необходимости усиления фундаментальности почвоведения более подробно.

Как известно, положение о том, что почвоведение относится к числу фундаментальных естественных наук о Земле наряду с геологией, биологией, географией и другими мало кем оспаривается. Но удельный вес фундаментальных почвенных исследований, обеспеченность почвоведения базовыми научными, производствен-

ными, учебными учреждениями и кадрами и возможностями публикаций капитальных изданий были и остаются недостаточными.

Во многом это связано с продолжающимся недопониманием значимости почвоведения в общей системе землеведения и изучения Земли и ее ресурсов как единого целого с равноправным исследованием всех компонентов.

Не отрицая значимости почвы как основного средства сельскохозяйственного производства и необходимости дальнейшего развития агропочвенных работ, мы в то же время подчеркиваем, что экологическое значение почвы выходит далеко за сельскохозяйственные рамки. В связи с этим требуется серьезное переосмысление роли почвоведения, что является одним из важных условий его фундаментализации. Прежде всего необходимо уяснить, что без приобретения почвоведением равноправного наряду с другими науками о Земле реального статуса фундаментальной науки и развития его в соответствующем направлении интегральная природоведческая наука будет страдать неполнотой знания и неспособностью корректно решать проблемы рационального использования и охраны ресурсов нашей планеты. Примером неполноты суммарного природоведческого знания могут служить работы по общему землеведению. В них используется геосферный подход, при котором обстоятельно рассматривается строение и функционирование различных оболочек планеты с последующим освещением проблем их рационального использования и охраны (Мильков, 1990). В этом ключе обстоятельно в специальных главах характеризуются гидросфера, атмосфера, литосфера и биосфера. Почвенная же оболочка (педосфера) и ее экофункции, как правило, не рассматриваются. Имеются лишь отдельные сведения о почвах в разделах, посвященных биосфере. И это несмотря на то, что в почвоведении разработано целое учение об экологических глобальных и биогеоценотических функциях почв.

"Недоукомплектованность" землеведения разделами об экологических функциях почв и их значении в сохранении благополучия планеты ощутимо снижает его возможности быть научной базой рационального природопользования и облегчает свободное обращение с почвенными ресурсами.

Таким образом, односторонняя оценка экологической роли почвы и общенаучного значения почвоведения приводит к пагубным последствиям в использовании почвы нашей планеты, которая в результате ежегодно теряет миллионы гектаров природных земель. Экономя на развитии почвоведения как фундаментальной многоплановой науки и пренебрегая реальной охраной и восста-

новлением почв, государства и человечество в целом рискуют остаться без почвы под ногами, что будет означать неуклонное угасание сложноорганизованной жизни на Земле.

Научные основы сохранения почв возникли как продолжение учения о почвенных экофункциях, но имеют существенное отличие от охраны почв в традиционном ее понимании. Это отличие заключается в более широком функционально-экологическом подходе к проблеме сбережения почв и почвенного покрова. Если раньше охрана почв сводилась в основном к защите их от факторов разрушения (эрозии, дефляции, химического загрязнения и др.), то теперь она рассматривается лишь как важнейшая часть полнокомплексной системы сбережения почв в полном объеме (Никитин, 1990; Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

В данной системе выделяются самостоятельные равноправные блоки. Прежде всего это защита почв от прямого уничтожения и полной гибели, что предполагает ограничение отведения новых земель для строительства различных объектов, а также разрушающих военных испытаний и свалок, ограничение и запрещение открытых разработок полезных ископаемых, максимальное использование для промышленных и других объектов ранее выведенных из биосферы территорий и их участков. Другие блоки почвосохранения включают в себя защиту освоенных почв от качественной деградации, предотвращение негативных структурно-функциональных изменений освоенных почв, восстановление деградированных освоенных почв, сохранение и восстановление естественных почв как компонента биосферы. Особый интерес вызывает последний блок, который был рассмотрен Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным в монографии «Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход» (2000).

Указанный почвоохранный функционально-экологический биосферный подход, вытекающий из учения о почвенных экофункциях, знаменует собой важный прорыв в интеграции не только концептуального, но и прикладного знания и заставляет по-новому оценить всю природоохранную проблематику, поскольку в ней в связи с реализацией данного подхода появилась в качестве важнейшей составляющей особая охрана и Красная книга почв.

К этому событию был долгий путь, хотя, как отмечает Р. Гроув (2003), природоохранному движению на Западе не менее 200 лет. Это движение носило преимущественно ботанико-зоологический характер и распространялось главным образом на исчезающие виды животных и растений, которые заносились в создаваемые

Красные книги. Почвы, к сожалению, в эти книги не попадали, даже если их естественные разновидности, например черноземы, практически полностью исчезали с лица Земли. Такова сила господствующей природоохранной парадигмы, не включившей в себя своевременно особую охрану почв как равноправную составляющую.

Отставание развития особой охраны почв обусловлено рядом причин и прежде всего преобладанием утилитарной трактовки почвы в основном как объекта сельскохозяйственного процесса, главное назначение которого — получение урожая за счет обеспечения растений почвенными питательными веществами. Но начиная с 70-х годов такое понимание почвы не могло считаться удовлетворительным в связи с выходом публикаций по биогеоценотическим и биосферным функциям почв (Никитин, 1977, 1980; Добровольский, Никитин, 1986, 2000, 2006; и др.).

Также стало ясно, что и учение о факторах почвообразования и учение об экологических функциях почв и их сохранении как незаменимого компонента биосферы нуждаются в интеграции, поскольку они тесно взаимосвязаны. Теперь понятно, что терминологически такую интеграцию рациональнее и корректнее всего реализовать, как отмечалось выше, через использование термина "экология почв". Он краток и ясен, что облегчает междисциплинарные контакты и взаимосвязи наук о почве. Это очень важно, поскольку экология почв и ее центральное ядро — учение о почвенных экофункциях и их сохранении — весьма востребованы на современном этапе развития естествознания.

Доказательством справедливости такого вывода является широкое применение использованного почвоведами функционально-экологического подхода другими естествоиспытателями — геологами, физгеографами, гидрологами и др. (Трофимов и др., 1997, 2000; Залогин, 1997, 2001; Ясаманов, 2001, 2003; и др.). Пионерные работы по выявлению и классификации экологических функций не только почвы, но и гидросферы, литосферы, атмосферы, реализованные в качестве взаимодействия почвоведения с родственными науками (Никитин, 1990, 1997), не остались незамеченными, а получили поддержку и успешное развитие в специальных публикациях: «Теория и методология экологической геологии» (1997) и «Экологические функции литосферы» (2000).

Междисциплинарный союз почвоведов-экологов с собратьями по общему делу сохранения природы выражается и в их совместной работе по подготовке Комплексной Красной книги природы и ее важнейшей составной части — Красной книги почв (Красная книга почв России..., 2009 и др.). С уверенностью можно сказать,

что дальнейшее развитие учения о почвенных экофункциях и экологии почв в целом является одним из стратегических направлений развития всего почвоведения как фундаментальной науки о Земле, в значительной мере определяющей интеграционные процессы в современном естествознании.

Глава 2

СТАНОВЛЕНИЕ И СУЩНОСТЬ УЧЕНИЯ ОБ ЭКОФУНКЦИЯХ ПОЧВ

Изучение функций почв в биогеоценозах (наземных экосистемах) и геосферах, или экологических функций почв, может рассматриваться как фундаментальная проблема почвоведения. Ее зарождение и развитие лучше всего прослеживаются при знакомстве с историей почвоведения во 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 материалов по истории развития знаний о почве (Ярилов, 1905; Вернадский, 1904; Ковда, 1973; Добровольский, 1959; Крупеников, 1981; Добровольский, Никитин, 2000, 2006; Зонн, 2001; Никитин, 2001; Иванов, 2003; и др.) позволяет обобщить 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 интегрального почвоведения (Никитин, 2005, 2010).

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 су-

ществовало 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 почетное место в идеологии и художественном творчестве древних. Не случайно в религии египтян была богиня плодородия — Исида, у вавилонян — богиня любви и плодородия Инанна, у древних греков — богиня Деметра, олицетворявшая 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 прежде всего обращалось 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-временная 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 представления о почве не претерпели существенных изменений. В Западной Европе после длительного забвения в XIII в. была обобщена 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. Одна из характерных его особенностей — дальнейшее изучение отдельных свойств почвы и постоянное расширение ее экспериментальных 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 (агрономическая 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, как правило, также 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 крайние суждения при решении конкретных узловых вопросов почвоведения. Поэтому, например, агрономическая химия, по утверждению И.А. Крупеникова, не вывела понятия "почвы" за пределы пахотного слоя, который казался единственно важным, так как именно он обрабатывался и удобрялся (1981). Это неизбежно порождало одностороннюю трактовку роли почвы в жизни природы и общества, которая все чаще воспринималась лишь как сельскохозяйственный объект.

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 самостоятельной отрасли естествознания связано с именами великого русского естествоиспытателя Василия Васильевича Докучаева и его последователей как в России, так и за рубежом. Докучаеву прежде всего удалось разрешить возникшие к XIX в. глубокие противоречия в изучении почвы. Сущность этих противоречий заключалась в первую очередь в стремлении объяснить сложность почвообразовательного процесса и совокупность свойств и признаков 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. 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, естественно-исторического тела со своими законами развития и изменения, что предполагало необходимость новой самостоятельной науки со своими методами исследований, а также организационную структуру, предусматривающую подготовку специальных кадров, наличие 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: создано первое обобщающее теоретическое учение о почве как особом естественно-историческом теле природы, развернулись планомерное широкомасштабное изучение почвенного покрова

и экспериментальные исследования почв, стали читаться специальные курсы почвоведения, создана национальная почвенная школа (Добровольский, 2010).

Рассмотрим взаимодействие почвоведения с другими дисциплинами после приобретения им статуса самостоятельной науки, относящейся к числу фундаментальных наук о Земле. Правильное понимание этого вопроса позволяет увидеть в современном почвоведении и связанных с ним разделах естествознания еще не решенные проблемы, и прежде всего проблему почвенных экологических функций — ядра экологии почв.

Первое положение, которое можно сформулировать при рассмотрении поставленного вопроса, заключается в констатации того, что молодое генетическое почвоведение в процессе роста постепенно аккумулировало не только знания о почве, накопленные в смежных науках, но и стремилось включить в свою структуру определенные их разделы, ориентируясь на их 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» и «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 минералогия, физика, биология, география почв и прикладные направления почвоведения. Внутренняя дифференциация почвоведения происходила неравномерно и в различных странах имела свою специфику. Она продолжается и до сих пор. Несмотря на сложность данного про-

цесса, можно отметить следующую характерную особенность: пограничные разделы между почвоведением и другими естественными науками после включения их в сферу почвоведения увеличивали вклад в объективное познание почвы особенно на первых порах. Данное обстоятельство имело 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 основополагающими 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 — основоположник нового научного направления — геохимии ландшафта, которое в дальнейшем развивали его последователи: А.И. Перельман, В.А. Ковда, М.А. Глазовская, Н.С. Касимов и другие исследователи.

Особо следует сказать о влиянии на естествознание целостного динамического подхода, развитого В.И. Вернадским. Этот подход прежде всего сложился под влиянием В.В. Докучаева и его учения о природном комплексе и почве как особом естественно-историческом, постоянно развивающемся теле — зеркале природы. В научной биографии И.И. Мочалова (1982) «Владимир Иванович Вернадский» показано, что великий естествоиспытатель начинал научную деятельность как почвовед — был учеником В.В. Докучаева, неоднократно участвовал в почвенных экспедициях своего учителя, писал отчеты, почвенные очерки и статьи. В.И. Вернадский воспринял научную методологию своего учителя и творчески ею пользовался на протяжении всей 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... целостный подход к исследуемым объектам становится доминирующим в творческом методе Вернадского (1982). 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 стимулирующее воздействие на родственные почвоведению разделы естествознания.

Однако 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 продолжают сохранять свою злободневность до настоящего времени. Это относится прежде всего к проблеме изучения функций почв в биогеоценозах и геосферах, 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 некоторые черты, затрудняющие 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.

Одно из узловых понятий 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). 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, 3) роль, значение чего-нибудь. Применительно к почвам в настоящем учебнике употребляются второе и третье значения термина "функция". Используется также родственное понятие "функционирование", общий смысл которого — действовать, быть в действии. Таким образом, когда рассматриваются функции почв в экосистемах и геосферах (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) биогеоценозов и геосфер 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 давно существует самостоятельное учение о факторах, их взаимодействие (взаимовлияние) долгие годы специально не исследовалось. Взаимодействие, предполагающее обязательное наличие прямой и обратной связи, изучалось лишь с одной 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. Исследуя общую экологическую роль почв и различные виды их влияния на атмосферные, гидрологические, биотические и другие компоненты экосистем биосферы, мы тем самым изучаем ответное воздействие самой почвы на факторы почвообразования. Однако проблема экологических функций почв шире и глубже 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 книге «Основы учения о почвах» (1973). В ней имеется раздел «Роль почвенного покрова в жизни Земли», где выделяются небольшие подразделы, компактно характеризующие влияние почвенного покрова на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу в целом. Хотя термин "функция" в этих подразделах не употребляется, в них, по существу, отчетливо обозначена важнейшая составная часть рассматриваемой проблемы — общие представления о роли почвенного покрова в биосфере. Эти представления развиваются в других публикациях В.А. Ковды (1975, 1981) и суммированы им в работе «Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли» (1985).

Роль почвенного покрова в биосфере разрабатывается также Г.В. Добровольским, что находит отражение в читаемых им в МГУ лекциях по данному вопросу и публикациях (Добровольский, 1979, 1986; Добровольский, Урусевская, 1984; Добровольский и др., 1985; Добровольский, Никитин, 1986, 1996, 2000, 2006; и др.).

В эти же годы разрабатывается другая неотъемлемая составная часть учения об экологических функциях почв — проблема функций почв в наземных экосистемах (биогеоценозах). В первой публикации по данному вопросу (Никитин, 1977) приводится классификация биогеоценотических функций почв, которая в дальнейшем развивается 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 работе «Роль почв в жизни природы» (Никитин, 1982). Данный синтез на уровне более глубокой проработки проблемы осуществлен Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным в книгах «Экологические функции почвы» (1986), «Функции почв в биосфере и экосистемах» (1990), «Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы» (2000), коллек-

тивных монографиях «Структурно-функциональная роль почв в биосфере» (1999) и «Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере» (2003) и др.

Несмотря на то что проблема функций почв в экосистемах и биосфере приобрела статус фундаментальной, ее разработка, оцененная С.В. Зонном, Л.О. Карпачевским и другими как создание учения об экологических функциях почв, не может считаться исчерпывающей. Причин для такого вывода несколько. Во-первых, исследователи, занимающиеся данной проблемой, 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 назвать ослабление взаимосвязей почвоведения со многими родственными науками, что было показано в предыдущих разделах. 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 экологических (Никитин, 2005, 2009).

Сложность успешной разработки проблемы экологических функций почв также обусловлена 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, 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», которая

обострила интерес к экологическим проблемам в почвоведении, однако долгое время они не получали специального развития. Одна из причин этого заключается 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 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". Термин "экология почв" все чаще стал признаваться вполне допустимым; 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, 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. 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 сельско- 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 значилось среди естественных дисциплин и входило в сельскохозяйственные науки. Это закрепляло упрощенное понимание общего значения почвы, которая долгое время воспринималась в основном как объект сельского хозяйства. При анализе же конкретного участия почвы в форми-

ровании урожая учитывалась главным образом ее функция как источника элементов питания.

Однако работы по экологическим функциям почв, проведенные в последние годы, заставляют принципиально изменить оценку их значения в жизни экосистем и геосфер. 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 невозможно возникновение и существование современной биосферы. Как подчеркивал 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 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, следует 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.

Жизнь атмосферы существенно зависит от взаимодействия с почвенным покровом, 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 геосфер и экосистем делает необходимым дальнейшую углубленную разработку проблемы экологических функций почвы и создание необходимых для этого предпосылок. К числу важнейших факторов решения данной проблемы следует прежде всего отнести общее усиление развития почвоведения как фундаментальной науки и активизацию ее взаимосвязей с другими науками. Это зависит от многих причин, в том числе от организационного статуса почвоведения в Академии наук и подготовки специалистов высшей квалификации.

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 обычно возникают 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 обусловлено несколькими причинами: 1) 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; 2) в почвоведении нередко возникают подходы, понятия и методы, заимствование которых родственными разделами естествознания может оказывать стимулирующее влияние на их развитие; 3) 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, но и для всесторонней разработки учения о взаимосвязи и динамике приповерхностных геосфер, 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 геосферах и экосистемах. Для данной цели проблема экологических функций почв может выступать как руководящая идея последующих конкретных исследований. В связи с этим приведем слова Ю. Либиха (1865): «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».

Разработка проблемы экологических функций почв заставляет по-новому переосмыслить учение о факторах почвообразования и наполнить принципиально новым содержанием понятие "экология почв" (Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000, 2006).

Часть II

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Во второй части учебника дается целостная характеристика различных биогеоценотических (БГЦ) функций почвы, которые в обобщенном виде были рассмотрены в специальных публикациях (Никитин, 1977, 1982, 1990, 2010; Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000, 2005; и др.). Все БГЦ функции условно объединены в несколько групп по основным контролирующим их свойствам почв: физические, химические и биохимические, физико-химические, информационные, целостные (рис. 2).

Глава 3

ФИЗИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Жизненное пространство

Одна из главных причин, ограничивающих распространение большей части видов живых организмов, — отсутствие свободной и пригодной для расселения материальной среды, где они могли бы беспрепятственно размножаться и развиваться. Поэтому на Земле в каждый момент времени существует лишь незначительная часть особей большинства видов по сравнению с потенциальным их количеством, которое могло бы появиться в случае снятия лимитирующих факторов. В.И. Вернадским показано, что если была бы предоставлена возможность для выживания и свободного расселения всех появляющихся особей, то бактерии, эти быстро развивающиеся организмы, покрыли бы сплошь всю планету в течение полутора суток, а такие медленно размножающиеся животные, как слоны, — за несколько столетий.

В действительности этого не происходит в силу острейшей конкуренции между различными видами и отсутствия необходимых условий на значительных пространствах Земли. Тем не менее живые организмы постоянно стремятся освоить все новые и новые места обитания. По мнению В.И. Вернадского (1926), область



Рис. 2. **Биогеоценотические функции почвы**

жизни расширяется в геологическом времени и несомненно, что она всегда охватывает или стремится охватить до конца все доступное ей пространство на протяжении всей геологической истории. Поэтому неслучайно в процессе эволюции живые организмы постепенно освоили почти всю поверхностную оболочку Земли. В ходе этого освоения возникла почвенная сфера Земли, где обитает огромное количество видов, представляющих различные систематические группы организмов.

С почвой тесно связана подавляющая часть *растений*, где проходит ранний цикл их развития, а во взрослом состоянии с почвой непосредственно взаимодействуют их подземные органы (рис. 3). Органическое вещество корней колеблется от 20—30 до 90% по отношению к общей фитомассе (табл. 4). В различных природных зонах абсолютное и относительное содержание корней существенно различно. Наиболее значительны запасы корней во влажных тропических лесах, где их содержится более 1000 ц/га. В хвойных и лиственных лесах корни достигают 800—950 ц/га, в степях — 250, арктических тундрах — 80, пустынях — 30 ц/га. Однако отношение корней к фитомассе растений по зонам изменяется по-иному. Больше всего корневых систем находится в почвах тундровой и степной зон, где на их долю приходится 70—90% фитомассы. Важную роль в размещении растительных организмов почвенная ниша играет в пампах, саваннах и пустынях, где корни составляют 30—85% фитомассы.

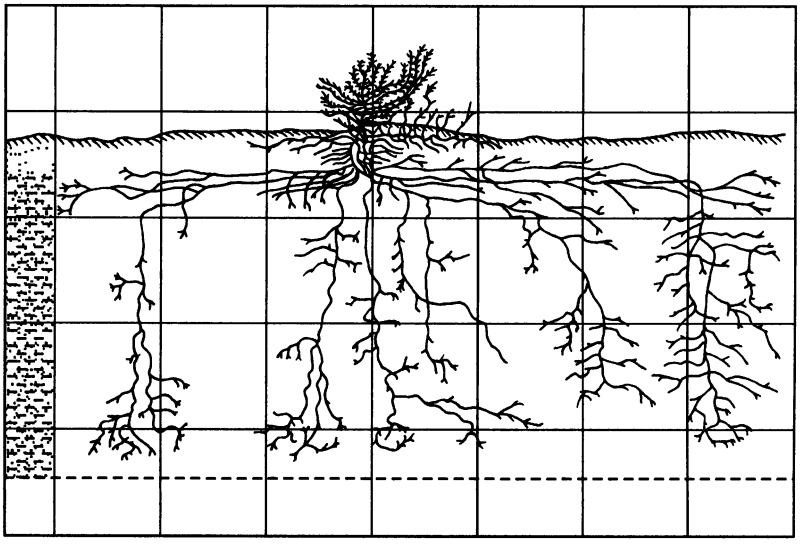


Рис. 3. **Корневая система *Ephedra alata*. Сторона квадрата 1 м; пунктирная линия — грунтовая вода (по данным *М.П. Петрова*)**

Таблица 4

Запасы корней в почвах природных зон (*Базилевич, Родин*, 1968)

Природная зона	Масса корней, ц/га	% от фитомассы
Арктические тундры	6—80	70
Кустарниковые тундры	200—300	80—85
Леса хвойные	300—800	21—25
Леса лиственные	250—950	15—33
Степи, прерии, луга	100—200	80—90
Пустыни	250	40—85
Пампы и саванны	3—30	30—60
Влажные тропические леса	200—400 1000	20

Наблюдаются разная концентрация корней по профилю почвы и изменение глубины проникновения корневых систем с севера на юг. В почвах тундровой зоны основная часть корней обычно сосредоточена в горизонте подстилки. В подзолистых почвах она

также прижата к поверхностным горизонтам. В верхнем 30—50-сантиметровом слое почвы обычно сосредоточено 60—70% корней (Ковда, 1973). Однако по мере движения с севера на юг отмечается изменение профильного распределения корней, и происходит увеличение глубины их проникновения в почвенно-грунтовую толщу. В засушливых районах корни отдельных растений в поисках влаги могут проникать до глубины более 10 м (люцерна, верблюжья колючка).

Говоря о глубине проникновения корневых систем в почву (табл. 5), следует отметить, что она в значительной степени зависит от ее сложения, плотности, объемного веса и других показателей почвы как сложноорганизованной системы (рис. 4). Например, корни не могут прорастать сквозь слои почвы, которые чрезмерно уплотнены, они часто вынуждены расти горизонтально вдоль них. Корни растений могут прорастать через жесткую структуру почвы, если там поры не меньше размеров корневых чехликов. В пластичной почве корни продвигаются и за счет ее раздвигания. Уплотненные слои в почве могут возникать из-за разных причин — сплывания при увлажнении, вмывания тонкодисперсного материала сверху с закупоркой пор, сквозь которые могли бы проникнуть корни.

Таблица 5

Глубина проникновения корней культурных растений (*Модестов*, 1970)

Культура	Максимальная глубина, м
Фасоль, гречиха, просо, конопля	0,9—1,1
Горох, картофель	1,6
Пшеница, рожь, овес, ячмень, кукуруза	2,0—2,2
Вика яровая	2,4
Подсолнечник, свекла	2,7—2,8
Клевер	3,0
Люцерна	5—20

Отмечено отчетливое снижение проникающей способности корней при увеличении объемного веса почв. Критический объемный вес, при котором прекращается рост корней, зависит от содержания воды в почве — сравнительно небольшая потеря воды может привести к замедлению развития корней в уплотненном слое.

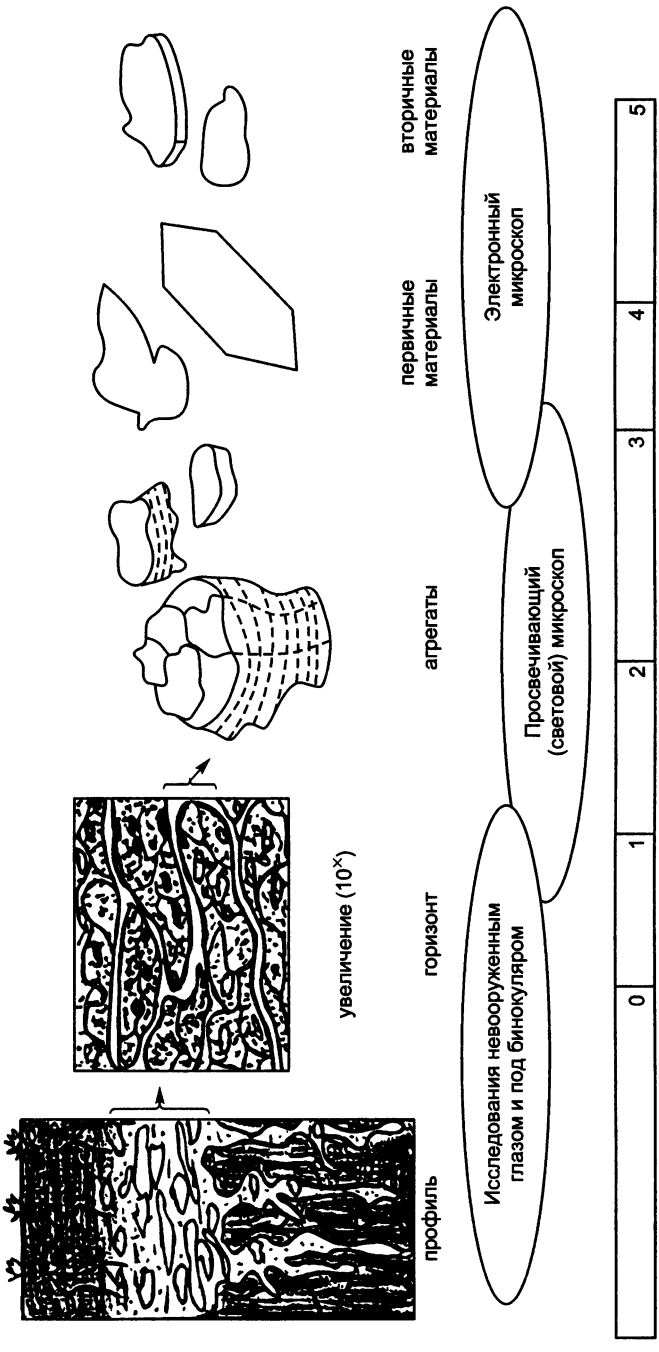


Рис. 4. **Системная структурно-иерархическая организация почвенной массы (*Шоба*, 2003)**

Тейлором (1968) показано, что в одной из исследованных почв 80% стержневых корней проникало сквозь слой с объемным весом 1,65 при 8%-й влажности мелкозема, но только 20% корней проникало через тот же слой при 5,5%-й влажности. В почве же с объемным весом 1,75 аналогичное изменение влажности снижало количество проникающих корней с 60% до нуля.

Сказанное свидетельствует о важности предупреждения образования уплотненных слоев с большим объемным весом в пахотных землях. Чтобы предотвратить уплотнение почвы, необходимо прекращение проездов техники по полю после сильных дождей, ежегодное изменение глубины обработки почвы, использование почвоуглубителей, внесение удобрений, посев злаковых, орошение и др. (Кук, 1970; Бондарев, 1985, 1993, 2000 и др.).

Почву как среду обитания активно используют различные *микроорганизмы*: бактерии, актиномицеты, грибы, в меньшей мере — водоросли. Именно эти микроорганизмы (табл. 6) составляют преобладающую часть почвенной биоты — совокупности всех организмов, обитающих в почве (кроме корней). В состав почвенных микроорганизмов входят также неклеточные формы (бактериофаги, вирусы) и некоторые микроскопические животные.

Наиболее многочисленной и разнообразной группой являются бактерии. К концу XX в. было описано около 50 родов и 250 видов почвенных бактерий. Особое значение для почвообразования имеют истинные бактерии, актиномицеты и миксобактерии. Численность и биомасса основных микроорганизмов очень изменчива (см. табл. 6). Кроме того, отмечается большая пестрота данных по количественному учету микробов в зависимости от применяемой методики.

Хотя микроорганизмы по сравнению с высшими растениями являются космополитами (Красильников, 1958), все же отмечается отчетливая зависимость структуры микробиоценозов от почвенных и других условий (Мишустин, 1975; Мирчинк, 1976). Так, по данным Е.Н. Мишустина (1975), с севера на юг не только возрастает численность микробного населения, но и резко увеличивается содержание бацилл и актиномицетов (табл. 7). В том же направлении усиливается биохимическая активность одних и тех же микроорганизмов и интенсивнее протекают мобилизационные процессы. Отмечается образование экологических рас у одного и того же вида. Это проявляется, в частности, в наличии у *Bac. mycoides* разного температурного оптимума для разных зон. Например, у культур *Bac. mycoides*, выделенных из окрестностей Архангельска, температурный оптимум около 26—28°, а у культур того же микроба из

почв Средней Азии — около 38°. Различные расы рассматриваемого микроорганизма отличаются не только температурой развития, но и другими свойствами, прежде всего величиной клеточного осмотического давления, которое выше у южных культур.

Таблица 6

Численность и биомасса микроорганизмов в почве (*Кононова* и др., 1972, с изменениями)

Систематическая группа	Численность в 1 г почвы	Биомасса, кг/га	Источник
Грибы	10^3—10^6	1000—1500	Пошон, Баржак, 1960
Дрожжи	10—10^3	2	Бабьева, Решетова, 1972
Водоросли	10^3—$4 \cdot 10^7$	20—1500	Сводные данные
Актиномицеты	$10^5 \cdot 10^7$	700	Пошон, Баржак, 1960
Бактерии	$10^6 \cdot 10^{10}$	2500	Dommergus, Mangenot, 1970
Микроорганизмы как сборная группа	$5 \cdot 10^8$—$25 \cdot 10^9$	—	Мишустин, 1972
Простейшие	10^3—10^6	—	Криволуцкий, 1969

Образование экологических рас имеет свои исключения. Некоторые бактерии, такие, как *Bac. megaterium, Bac. mesentericus, Azotobacter*, не проявляют адаптационной реакции к температурным условиям. В целом, однако, можно сказать, что каждому почвенному типу свойствен свой характерный микробный пейзаж (Мишустин, 1975).

Существенная особенность микробного населения почв — его отчетливая внутрипрофильная дифференциация. Наибольшее количество микроорганизмов приурочено, как правило, к верхним гумусированным и хорошо прогреваемым горизонтам. Причем эти горизонты оказываются также гетерогенными по своим микробиологическим показателям. Например, при благоприятных условиях увлажнения пахотный слой 0—5 см может содержать в два раза больше микробов, чем слой 20—30 см. Особенно резко изменяется с глубиной содержание водорослей, жизнедеятельность которых зависит от освещенности почв. Так, в 1 г пахотных почв насчитывается до 250 тыс. клеток в слое 0—10 см и до 35 млн клеток в слое 0—1 см (Штина, Голлербах, 1976).

Таблица 7

Численность микроорганизмов в горизонте А почв природных зон (*Мишустин*, 1975)

Зона	Почва	Общее число микроорганизмов, тыс./1 г	% от общего числа				Энергия нитрификации
			неспорообразующие бактерии	бациллы	актиномицеты	грибы	
Тундра и северная тайга	тундрово-глеевая и глеево-подзолистая	2140	94,9	0,7	1,5	2,9	+–
Средняя и южная тайга	подзол и дерново-подзолистая	1080	77,2	12,0	8,1	2,7	+–
Степь	чернозем	3630	42,4	21,4	35,4	0,8	++
Сухая степь	каштановая	3482	45,4	19,4	34,6	0,6	++
Пустыни	бурая и серозем	4490	45,7	17,7	36,1	0,5	+++

Хотя с глубиной происходит резкое уменьшение общей численности микроорганизмов, в некоторых микрозонах почвы, приуроченных главным образом к ходам корней, содержание микроорганизмов может быть высоким и в нижних горизонтах. Так, в одном из опытов в выщелоченном черноземе на глубине 2,5 м было обнаружено в среднем 34 тыс. микробов, а по ходу корней деревьев на той же глубине насчитывалось более 2 млн микроорганизмов на 1 г почвы.

Внутрипрофильная неоднородность в распределении почвенных микроорганизмов свидетельствует о том, что как среда обитания почва сильно дифференцирована по всем направлениям. Отражением этой дифференциации по вертикали явилась концепция о почвенных горизонтах как особых экологических нишах и возможности микробиологической, а также протозоологической индикации различных генетических горизонтов (Звягинцев, 1973, 1987, 2003; Гельцер, 1976; Добровольский, Никитин, 2006; и др.).

Изучение микрофлоры западносибирских дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом (Добровольский, Ни-

китин, Мазуренко, 1971) показало, что разные горизонты отличаются как по количеству, так и соотношению основных групп микроорганизмов (табл. 8). Это позволило выявить группы микробов, которые могут рассматриваться как индикаторные по отношению к комплексу условий отдельных горизонтов изученных почв. К их числу относятся кокковые формы бактерий, преобладающие в нижних горизонтах; бактерии, образующие спирали из цепочек клеток в горизонте А—В; грибы, приуроченные к верхним горизонтам. Актиномицеты оказались доминантной группой реликтового гумусового горизонта A_h (см. табл. 8).

Таблица 8

Группы микроорганизмов дерново-подзолистой почвы со вторым гумусовым горизонтом (*Добровольский, Никитин, Мазуренко*, 1971)

Горизонт	Глубина образца, см	Содержание, % от общего числа микроорганизмов			Количество, % от общего числа бактерий	
		грибы	актиномицеты	бактерии	палочки	кокки
Среда Эшби						
A_1	6—12	16,6	16,6	66,8	65,0	35,0
A_2	12—28	20,0	15,0	65,0	66,6	33,4
A_h	28—52	15,0	30,0	55,0	55,0	45,0
A_2B	51—61	5,0	10,0	75,0	66,6	33,4
B_1	61—100	3,0	8,0	89,0	52,0	48,0
Фульватная среда Аристовской						
A_1	6—12	20,0	40,0	40,0	95,0	5,0
A_2	12—28	22,0	26,0	52,0	88,0	12,0
A_h	28—52	12,0	43,0	45,0	90,0	10,0
A_2B	51—61	23,0	15,0	62,0	89,0	11,0
B_1	61—100	25,0	10,0	65,0	55,0	45,0
Агаризованная почва						
A_1	6—12	63,0	—	37,0	80,0	20,0
A_2	12—28	40,0	—	60,0	72,0	28,0
A_h	28—52	35,0	—	65,0	87,0	13,0
A_2B	51—61	42,0	—	58,0	85,0	15,0
B_1	61—100	25,0	—	75,0	60,0	40,0

Существенной особенностью микрофлоры почв является ее сильная изменчивость не только в пространстве, но и во времени, что обусловлено отчетливой временной динамикой почвенно-климатических условий. Особенно велики сезонные колебания активно-

сти микроорганизмов. Например, в умеренном поясе наблюдаются метаморфозы от почти полного покоя многих микроорганизмов до бурной их жизнедеятельности в погожие весенние дни, когда верхний слой почвы уже хорошо прогрет солнечными лучами, но еще не утратил влаги, накопившейся за осень и зиму. В летнее время микроорганизмы функционируют не постоянно. В периоды иссушения почвы их активность сильно понижена. В дождливые же дни они могут развивать бурную деятельность.

Осенью во многих почвах средней полосы отмечается усиление активности микроорганизмов (Аристовская, 1965, 1980). Это объясняется тем, что в осеннее время почвы обогащаются свежим растительным опадом, влагой обильных дождей и еще сохраняют тепло, накопленное за лето. Однако данное явление не универсально. В тяжелых глинистых лесных землях, развитых на слабодренированных участках, осенние дожди могут вызвать снижение численности микроорганизмов в связи с переувлажнением.

Сильная сезонная изменчивость почвенной микрофлоры свидетельствует о том, что почва как среда обитания отличается значительной лабильностью и гетерогенностью во времени, обусловливающей большие перепады в активности населяющих ее организмов. Следует, однако, отметить, что появляется все больше данных, свидетельствующих о наличии у многих почвенных микроорганизмов специальных адаптаций, позволяющих поддерживать интенсивность энергетических процессов на достаточно высоком уровне при неблагоприятных температурных условиях. Важное проявление таких адаптаций — широкое развитие в холодных почвах психрофилов — организмов, приспособившихся к активной жизнедеятельности в условиях низких температур (Скворцова, Бабьева, Звягинцев, 1971; Лях, 1976; и др.). Так, в составе бактериальной микрофлоры почв умеренных широт насчитывают от 0,5 до 86% психрофилов (Stokes, Redmond, 1966). Характерной чертой почвенной микрофлоры также является ускоренная обновляемость ее биомассы. За год бактерии могут дать около 30—40 генераций и более (Кожевин, 1973). Почва служит жизненосным пространством и для многих *животных*. Почти половина всех типов животных, насчитываемых зоологами, имеют своих представителей, обитающих в почве. Из беспозвоночных здесь живут простейшие, плоские и круглые, а также кольчатые черви, немертины, моллюски, тихоходки, первичнотрахейные, членистоногие. Позвоночные почвенные животные представле-

ны амфибиями, рептилиями, млекопитающими (Криволуцкий, 1969, 1998).

Распространенность различных почвообитающих животных неодинакова. Например, среди немертин и полихет почвенные формы встречаются только в тропиках, причем они представлены малочисленными редкими видами с ограниченными ареалами, редки и протрахеаты и тихоходки. Слабо используют почву для постоянного обитания моллюски. Плоские черви (планарии) в почвах также малочисленны. Однако такие беспозвоночные, как простейшие, круглые черви, кольчецы, членистоногие, являются многочисленными обитателями почвы.

Среди круглых червей большое значение имеют нематоды. Из кольчатых широко распространены дождевые черви и энхитреиды, из членистоногих — многоножки разных отрядов. Среди паукообразных в почвах многочисленны клещи, из ракообразных — мокрицы. В тот или иной период жизни в почве обитает подавляющая часть (более 95%) насекомых (Яхонтов, 1975). Это самая представительная группа, на долю которой приходится более половины всех видов животных Земли — свыше 1 млн. При этом особое значение имеют коллемболы, а также личинки жуков и двукрылых.

В количественном отношении распространенные группы почвообитающих животных весьма изменчивы (табл. 9, 10; рис. 5, 6). Так, численность дождевых червей, энхитреид, клещей и других беспозвоночных в различных почвах может изменяться в сотни—тысячи раз. Большим колебаниям подвержена также биомасса почвенных животных, которая, например для дождевых червей, может колебаться от 50 до 4000 кг/га (Тышлер, 1971). Между численностью и биомассой беспозвоночных животных почвы нередко наблюдаются обратно пропорциональные отношения. Число особей дождевых червей, дающих основной вклад в зоомассу почвы, значительно уступает более многочисленным мелким животным — энхитреидам, клещам, ногохвосткам, нематодам и др. Наиболее обильны в почвах одноклеточные животные — простейшие, количество которых может достигать 10 млрд особей на 1 м^2. Эти животные отличаются и быстрым обновлением. Популяция простейших в почве обновляется за один—три дня, а в год, по данным для Западной Европы, бывает 50—300 генераций. У дождевых червей обновление значительно более медленное. В природных условиях они, по-видимому, живут около двух лет, становясь половозрелыми к одному году. В лабораторных условиях некоторые экземпляры доживали до 8—10 лет.

Таблица 9

Уровни численности разных размерных групп многоклеточных почвенных беспозвоночных, экз./м² (*Стриганова*, 2003)

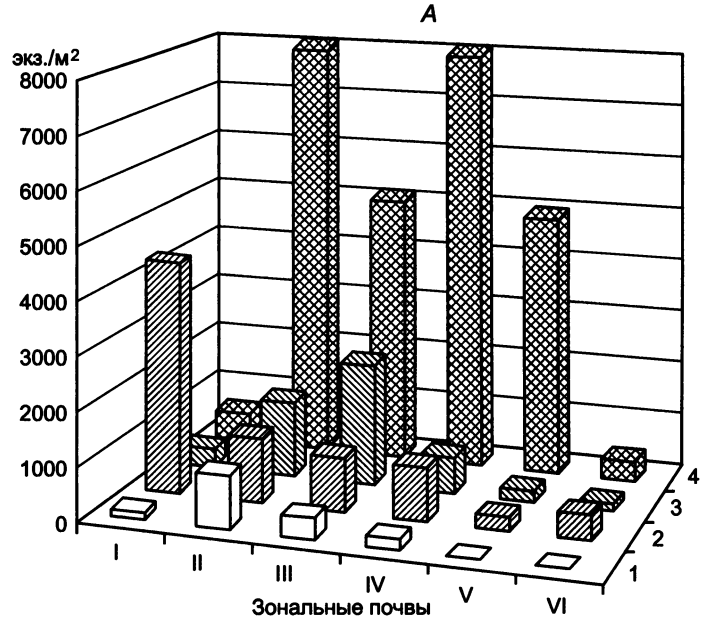
Группа животных	Размерная группировка, мм	Уровни обилия
Protozoa	нанофауна (0,005—0,1)	$(1—2) \cdot 10^8 ... 5 \cdot 10^7$
Nematoda		$(250—15\,000) \cdot 10^3$
Rotatoria		$(1—100) \cdot 10^3$
Acari	микрофауна (0,1—2,0)	3000—50 000
Collembola		2000—15 000
Enchytraeidae		200—10 000
Aranea	мезофауна (3,0—30,0)	10—80
Isopoda		10—100
Myriapoda		1—200
Coleoptera (личинки)		5—200
Diptera (личинки)		10—400

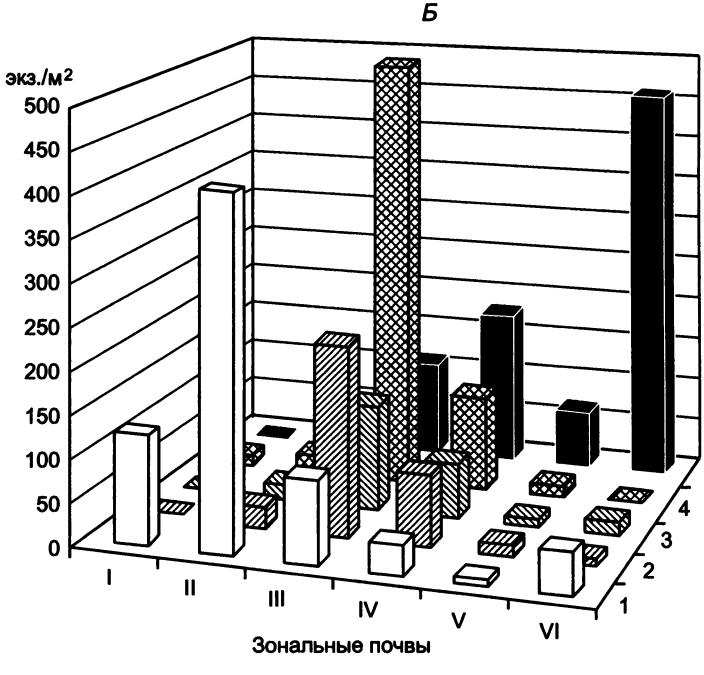
Таблица 10

Видовое богатство основных групп почвообитающих беспозвоночных мировой фауны (*Стриганова*, 2003)

Таксономическая группа	Число видов	Таксономическая группа	Число видов
Protista	500	Isopoda (наземные мокрицы)	1000
Nematoda	11 000	Onychophora	70
Rotatoria	2000	Myriapoda	15 000
Enchytraeidae	400	Protura	200
Lumbricomorpha	200	Diplura	200
Acari	17 000	Collembola	3500
Arachnoidea (кроме Acari)	54 250	Insecta	180 000
Tardigrada	300	Mollusca (наземные легочные)	30 000

Рис. 5. **Зональные изменения обилия основных групп почвенной фауны (*Стригангова*, 2003). А — микрофауна: 1 — энхетреиды, 2 —коллемболы, 3 — хищные клещи, 4 — панцирные клещи; Б — мезофауна: 1 — личинки двукрылых, 2 — мокрицы, 3 — многоножки, 4 — дождевые черви, 5 — жесткокрылые. Зональные ландшафты: I — тундра, II — тайга, III — широколиственные леса, IV — луговые степи, V — сухие степи, VI — полупустыни**


А
экз./м2
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
I
II
III
IV
V
VI
Зональные почвы
1
2
3
4


Б
экз./м2
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
I
II
III
IV
V
VI
Зональные почвы
1
2
3
4

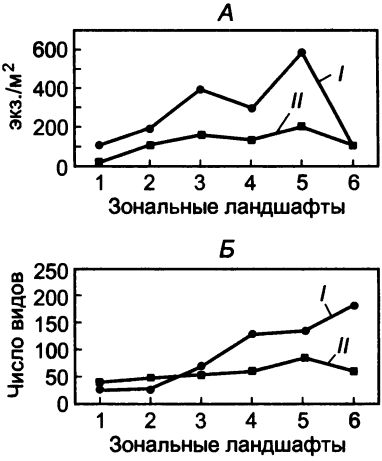


Рис. 6. **Зонально-региональные различия обилия и таксономического богатства почвенной мезофауны. А — показатели максимального обилия; Б — видовое богатство мезофауны. Зональные ландшафты: 1 — южная тундра, 2 — лесотундра, 3 — северная тайга, 4 — средняя тайга, 5 — южная тайга, 6 — лесостепь. I — Европейский Российский трансект, II — Западно-Сибирский трансект (*Стриганова*, 2003)**

Характеризуя особенности почвенного животного населения, необходимо обратить внимание на то, что благодаря своему сложному строению почва выступает как разного типа среда для организмов различных размеров (Гиляров, 1965, 1968). Самые мелкие, микроскопические животные почвы — коловратки и другие, живя в почве, по существу остаются в основном обитателями водной среды. При значительной увлажненности почвы они плавают в гравитационной воде как в небольших водоемах. В засушливые же периоды эти организмы оказываются адгезированными на поверхности твердых частиц, где они обычно не прекращают активной жизни, питаясь микроорганизмами, прикрепленными пленками воды к почвенному мелкозему. Физиологически наиболее мелкие животные почвы остаются водными организмами. Для них наибольшее значение имеют динамика водного, температурного и солевого режима почв и отчасти размеры полостей в различных горизонтах.

Для более крупных немикроскопических, но все еще мелких организмов почва как среда представлена совокупностью ходов и полостей, передвижение по которым аналогично передвижению по поверхности твердого субстрата. Для этих животных, объединяемых в группу *Microarthropoda*, мелких клещей, ногохвосток, мелких жуков и их личинок и других обитание в почве сходно с обитанием в насыщенных влагой пещерах. Для данной категории обитателей почвы наибольшее значение имеет характер порозности среды, ее водный и температурный режим, распределение остатков организмов и гумуса.

Для более крупных животных (дождевых червей, личинок ряда жуков, многоножек и др.) средой обитания является почва в целом, выступающая как рыхлый или плотный субстрат. В случае

плотной среды возникает необходимость в специальных морфологических приспособлениях для рытья и прокладывания ходов. Следует также отметить, что более крупные животные в целом в большей степени зависят от совокупности свойств почвы, чем обитатели микроскопических почвенных резервуаров (простейшие, коловратки и др.) или обитатели ходов и полостей (клещи, ногохвостки и др.).

То что для разных размерных групп животных почва выступает как разная среда обитания, имеет важное значение для понимания специфики почвы как особого природного образования. Данная гетерогенность почвы свидетельствует о том, что в ней в ограниченном объеме тесно соприкасаются практически все основные типы экологических ниш.

Разнообразие почвенной среды обитания — фактор, способствующий проявлению такой общей закономерности, как смена ярусов: многие поверхностно живущие животные переходят к жизни в почве при снижении увлажненности ландшафтов. Так, в черноземах в массе появляются почвообитающие личинки чернотелок (*Tenebrionidae*) и пыльцеедов (*Alleculidae*), тогда как в условиях лиственных лесов другие виды этих семейств развиваются в гнилой древесине. Появляются также почвенные личинки усачей (*Dorcadion*), листогрызов (*Eumalpmae*) и многие другие формы, относящиеся к систематическим группам, представители которых не обитают в почвах лесных биогеоценозов (Гиляров, 1965). Кроме того, муравьи, живущие в таежной зоне в более сухих местах (на кочках и др.), в степи строят глубокие подземные гнезда.

Для многих почвообитающих животных характерна смена горизонтов их активности в течение года. Так, в черноземах весной почвенное население деятельно у самой поверхности, где осуществляется вовлечение в почву растительного опада. С наступлением засушливого периода беспозвоночные животные перемещаются все глубже. Причем сапрофаги уходят на большую глубину, фитофаги же остаются у поверхности благодаря тому, что восстанавливают запас влаги за счет сочных корней. На фоне постепенного ухода беспозвоночных вглубь отмечаются периодические возвраты животных к поверхности, обусловленные как суточными колебаниями температуры и влажности воздуха, так и погодными условиями (подъемы животных после дождей) (Гиляров, 1965; Атлавините, 1973; Криволуцкий, 1994; и др.).

Следует также отметить существенные различия в реакции различных групп почвообитающих животных на изменения, происходящие в почвах под действием естественных и антропогенных факторов (табл. 11, 12).

Таблица 11

Видовой состав и численность простейших в горизонте B_{1g} (15—80 см) дерново-подзолистых суглинистых глееватых нерыхленых и рыхленых почв (в 1 г абсолютно сухой почвы)

Вид простейших	Дренаж без рыхления	Дренаж с рыхлением
Жгутиконосцы		
Oicomonas sp	0	193
Bodo edax	57	0
Bodo uncinatus	0	193
Инфузории		
Colpoda inflata	57	58
Число клеток	114	444

Таблица 12

Динамика численности люмбрицид (экз/м²) в дерново-подзолистых глееватых нерыхленых и рыхленых почвах (*Гельцер*, 1983)

Структура сообщества	1979 г.		1980 г.		1981 г.	
	IX	V	VI	VII	IX	V
Залежь						
Половозрелые	не опр	52	30	50	144	80
Неполовозрелые	—	213	180	126	240	320
Общее количество	—	265	210	176	354	400
Дренаж без рыхления						
Половозрелые	54	66	64	58	не опр.	30
Неполовозрелые	114	138	70	100	—	156
Общее количество	168	204	134	158	—	186
Дренаж с глубоким рыхлением						
Половозрелые	5	10	16	22	40	20
Неполовозрелые	19	16	10	72	72	40
Общее количество	24	26	26	94	112	60

Жилище и убежище

Сущность этой функции заключается в том, что почва предохраняет многие живые организмы от переохлаждения и перегрева, защищает от хищников, обитающих на поверхности земли. То что почва может выполнять функцию жилища, связано прежде всего с тем, что температура и влажность воздуха в ней подвержены значительно менее резким колебаниям, чем на поверхности земли. Особенно полезной эта особенность почвы оказывается в экстремальных условиях — в тундре, пустыне, а также в других ландшафтах, в периоды резких изменений погоды.

Особенно наглядно функция жилища и убежища проявляется по отношению к животным, использующим несколько сред, одна из которых почва (рис. 7) (обыкновенная полевка, желтый и малый суслик, хомяк, сурок, бурундук и др.). Характерной особенностью этих животных является то, что основную пищу они добывают, как правило, на поверхности земли. В почве же они укрываются от хищников и непогоды, создают пищевые запасы. Многие впадают в спячку в неблагоприятное время года.

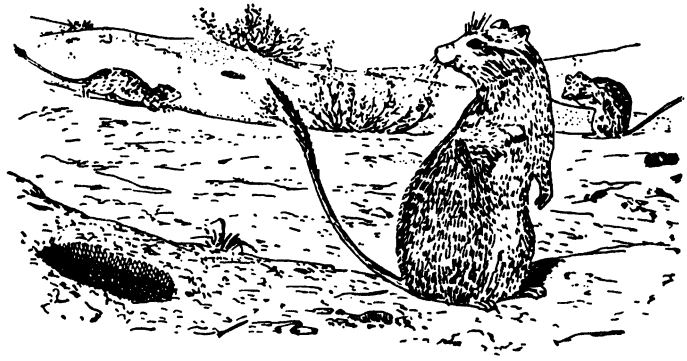


Рис. 7. **Большая песчанка у входа в нору (*Кашкаров*, 1944)**

Подземные жилища грызунов могут иметь сложное устройство. Так, в норе бурундука имеются камера для гнезда, одна или две большие кладовые для запасов и один-два "тупичка-уборные". Жилая "комнатка" выстилается листьями и сухой травой. В ней хозяева укрываются на ночь и впадают в зимнюю спячку. Здесь же родится и растет потомство. Размеры нор разных грызунов могут сильно различаться. У желтого суслика основной ход норы достигает 9 м, причем от нее еще отходят многочисленные ответвления.

У серого сурка норы могут достигать поразительных размеров — длиной до 15—20 м, иногда уходя вниз на глубину 8 м.

Пространство, занимаемое подземными сооружениями животных, может быть значительным (Криволуцкий, 1969, 1987; и др.). Так, в лесах при высокой численности кротов, проводящих почти всю свою жизнь в почве, площадь их ходки достигает до $^1/_3$ всей площади леса, а объем — до 15% 10-сантиметрового слоя почвы.

Используя почву как жилище и убежище, многие животные предъявляют к ней и ландшафту в целом определенные требования, знание которых помогает составить правильное представление об экологии многих сельскохозяйственных вредителей. Так, необходимыми предпосылками благополучного существования сусликов являются открытое пространство вблизи нор, невысокий травяной покров с повышенным содержанием поздно засыхающих растений, преимущественно плотная, но не сильно задернованная почва, обеспечивающая постройку нор.

Хозяйственная деятельность человека в одних случаях ведет к созданию неблагоприятных для сусликов условий (крупноконтурная распашка, искусственное орошение и облесение, плановый умеренный выпас и т.п.). Увеличению численности сусликов способствуют усиленный выпас, искусственные пожары, мелкоконтурная распашка, создающая открытое пространство для обзора местности и в то же время сохраняющая значительную часть удобных для обитания участков в прилегающей к пашне полосе.

В связи с расширением хозяйственного воздействия на природу антропогенный фактор оказывает все большее влияние на экологию многих грызунов. Например, в силу возросшего освоения и аридизации суши из-за сведения лесов и осушения болот во многих районах отмечено проникновение на север ряда обитающих в южных ландшафтах грызунов, насекомых и др. О возможностях такого процесса известно уже давно (Добровольский, Никитин, 1986, 2000).

Интересна история появления и распространения сусликов в некоторых районах Белоруссии. Еще в дореволюционное время сусликов завез сюда издалека польский магнат Радзивилл. Животные легко прижились и быстро размножились, а в годы Первой мировой войны из-за сокращения посевных площадей и неправильного их использования они захватили громадные массивы, превратившись в серьезных вредителей сельского хозяйства. В этот же период было отмечено широкое распространение сусликов в Центрально-Черноземной области, где они раньше встречались лишь на небольших участках. Потребовались дорогостоящие ме-

роприятия по истреблению этих животных, но главный удар был нанесен восстановлением хозяйства, громадными распашками, повышением общей культуры земледелия.

Хозяйственная деятельность человека сильно влияет и на распространение другого злостного сельскохозяйственного вредителя — хомяка. Хомяк не сторонится человека, охотнее всего он селится на полях. С расширением площади полей увеличивается область обитания этого грызуна и вред, приносимый им. Хомяк не только поедает культурные растения, но и делает огромные запасы продуктов в своих подземных кладовых. В его норах можно найти до 16 кг продуктов. Причем в продовольственных складах обыкновенно хранится только чистое зерно и лишь изредка встречаются целые колосья или головки клевера.

Таким образом, знание экологии грызунов, использующих почву как жилище, оказывается важным условием своевременного предотвращения вреда, который они могут нанести сельскохозяйственным растениям. Кроме того, эти знания важны потому, что некоторые обитатели почвы оказываются носителями возбудителей опасных инфекционных заболеваний. Например, малый суслик является носителем и распространителем такой страшной болезни, как чума. Поэтому важно предвидеть, какое влияние на обитателей подземного царства окажут крупные хозяйственные мероприятия, масштаб которых приобретает глобальный характер.

Известны, например, значительные миграции грызунов при сильном обводнении местности. Так, в Приморском крае в долине р. Имана, где обитало много бурундуков, наблюдалось массовое переселение этих животных незадолго до наводнения. Аналогичные явления могут происходить и в других районах в связи с сильным изменением гидрологической обстановки в результате пуска крупных оросительных каналов, постройки водохранилищ и гидростанций. В связи с этим особое значение приобретает своевременный учет перекочевок сельскохозяйственных вредителей и носителей опасных инфекционных заболеваний.

Необходимо также учитывать, что кроме широко распространенных грызунов подземные квартиры используют многие другие позвоночные животные. Так, бобры — обитатели тихих и неглубоких речек, озер и болот — предпочитают для жилья рыть норы, если берега достаточно высоки и грунт прочен. Выдра устраивает в почве постоянную нору, в которой она отдыхает и воспитывает потомство. Не могут обычно обойтись без подземного жилья лиса и песец. Некоторые позвоночные активно используют норы, вырытые завсегдатаями подземных лабиринтов. Так, жилище сусликов

используют ящерицы (круглоголовка и такырная), змеи (щитомордник и стрела-змея), птицы (каменка и пеганка).

Как жилище почву активно используют и многие беспозвоночные животные. Для таких обитателей, как дождевые черви, эта функция особенно наглядно проявляется при их анабиозе в засушливый и зимний периоды. В это время черви, свернувшись в клубок, находятся в состоянии диапаузы в расширениях своих ходов, которые обычно находятся на глубине 20—50 см, а у крупных видов могут располагаться на большей глубине (Тишлер, 1971).

Активно используют почву в качестве жилища многие насекомые. Так, роющие осы Средней Азии устраивают гнезда в земле и заготавливают в них для своих личинок корм — парализованных и убитых насекомых или пауков (Казенас, 1978). Они могут строить как простые одноячеистые гнезда, представляющие неглубокие (до 10 см) ходы, так и разветвленные подземные сооружения из многих ячеек.

В сухих районах сложные постройки в почве делают термиты. Так, закаспийский термит сооружает гнезда, уходящие в легких почвогрунтах на глубину до 12 м. Глубина, на которую опускается гнездо термитов, определяется уровнем залегания слоев с конденсирующейся или грунтовой водой. Близость влаги необходима для поддержания определенной влажности в гнезде. В непосредственный же контакт с водой эти насекомые с проницаемыми покровами не вступают.

Многие беспозвоночные довольно широко используют в качестве жилища норы некоторых грызунов. Так, в норах сусликов кроме хозяев обитают пауки, мокрицы, мухи, жуки. В холодное время года здесь находится их зимнее убежище, а в летнее время — место спасения от зноя. Блохи, мухи и некоторые жуки там и размножаются, откладывая яйца в помет сусликов.

Многие насекомые проходят в почве лишь определенную фазу развития. Так, цикады откладывают яйца под кору тонких веток или черешки листьев. Личинки же их после выхода из яиц падают на землю и зарываются в почву нередко до глубины 1 м, где и идет их дальнейшее развитие (Жизнь животных, 1969).

Рассмотренные случаи использования почвы как "жилого помещения" свидетельствуют о том, что четвертое (по В.В. Докучаеву) царство природы может быть вполне сравнимо с густонаселенным подземным городом, где проживают и постоянные его обитатели, и те, кто трудится в загородной зоне (добывает пищу на поверхности земли), и те, кто находится в почве лишь ограниченный срок, являясь, по существу, ее гостем.

Опорная функция

Благодаря этой функции растения могут сохранять вертикальное положение, быть устойчивыми к ветровалам и противодействовать силе тяжести. Главный способ пространственной фиксации растений — закрепление их в почве с помощью корней, которые образуют многочисленные разветвления. Глубина проникновения корней во многих сообществах, как правило, меньше высоты стебля. Боковые же корни часто длиннее боковых ветвей, а суммарная поверхность корневой системы обычно превышает общую поверхность стеблевых органов (Вилли, Детье, 1975).

Изменения опорной функции почв могут вызывать определенные изменения в морфологии и вертикальной ориентации растений, а в ряде случаев влиять на структуру фитоценоза. Так, в районах распространения вечной мерзлоты на почвах, отличающихся слабой связностью, часто растет "пьяный лес", в котором многие деревья имеют наклонную ориентировку или повалены из-за тиксотропности и текучести грунта. В таких условиях особенно неблагоприятными оказываются нерациональные антропогенные воздействия на ландшафт, вызывающие существенные изменения многих параметров почв, в том числе их механических свойств. Например, пожары в лиственничных редколесьях лесотундры часто губительны для дальнейшего произрастания лесов. Они наиболее опасны, когда возникают на участках, сложенных суглинками с большим количеством подземных жильных льдов. В этом случае после пожара происходит интенсивное таяние льдов, сопровождающееся оседанием и провалами поверхности. В результате экосистема разрушается (Крючков, 1976, 1980, 1995).

Влияние опорной функции на рост и расселение растений отчетливо сказывается в горных районах. Здесь, особенно в местах выхода скальных пород, а также на участках интенсивного осыпания грунта развитие растительности часто лимитируется неблагоприятными механическими свойствами почвы, которая нередко оказывается не в состоянии служить надежной опорой для многих видов.

Опорная функция почв проявляется и по отношению к животным, обитающим в ней и живущим на поверхности.

Во многих случаях расселение почвенных обитателей по конкретным участкам ландшафта связано прежде всего с механическими особенностями грунта. Так, одно из условий постройки нор сусликами — наличие достаточно плотных, не осыпающихся при рытье почв, обеспечивающих хорошую сохранность ходов и гнез-

довых камер грызунов. Поэтому в аридных районах суслики предпочитают устраивать свои жилища на солонцеватых или солонцовых землях.

Существенным, но слабоизученным проявлением опорной функции почвы оказывается влияние ее механических свойств на жизнедеятельность многих животных, передвигающихся по поверхности. Очевидно, что особенности поведения наземных животных определяются не только биоценотическими взаимодействиями, динамикой кормовых ресурсов и погоды, но и в значительной мере зависят от условий их передвижений, теснейшим образом связанных с "дорожными" свойствами почвенной поверхности. Эти свойства влияют на выбор конкретных путей миграции многих животных, а также определяют адаптивные изменения органов движения и способов перемещения.

В этом отношении примером могут служить некоторые особенности поведения лося (Шнитников, 1957; Баскин, 1977, 1985). Этот огромный зверь при необходимости может ходить по болотам с необыкновенной легкостью, в чем ему помогают длинные ноги, а также раздвигающиеся, соединенные перепонкой большие копыта. Это дает ему возможность бороться со злейшим врагом — лосиным оводом, который забирается лосю в носовую полость и откладывает там личинки, вызывающие воспаление слизистой оболочки. Пребывание лося в болотистых низинах уменьшает численность опасного паразита. Это объясняется тем, что личинки после определенного периода развития покидают дыхательные пути, падая на сырую землю или в болотную воду, где погибают. Отмечено, что особенно многочисленны оводы бывают после предшествовавшего сухого лета, когда пересыхают болота и лось не в состоянии принять профилактических мер. Поэтому осушение болот может оказаться для него гибельным.

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 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 в течение определенного времени сохраняются цисты, споры многих организмов и яйца беспозвоночных. Дождевые черви откладывают яйца в кокон, образуемый из слизистых выделений кожных желез. У некоторых видов червь ежегодно откладывает 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). 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. П.Н. Каптерев, наблюдавший "оживление" водорослей, микробов из проб вечной мерзлоты в некоторых районах Сибири в 1936—1938 гг., подошел к новому явлению природы — сохранению жизненности организмов (многоклеточных) в вечной мерзлоте. По его мнению, речь идет о возможности сохранения жизни в состоянии анабиоза и оживления организмов через сотни лет, а может быть, и больше. Такое явление имеет огромное научное и прикладное значение, учесть все последствия которого мы сейчас не можем. Поэтому необходимо продолжить и развить такую работу в условиях вечной мерзлоты, поставив научно точную новую проверку (Вернадский, 1987).

Способность организмов и их зачатков сохраняться в недеятельном, но жизнеспособном состоянии в течение долгого времени биологами рассматривается как один из двух основных типов адаптации к окружающей среде. Адаптации первого типа (пассивные) 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 (1986), исторически в биологии основное вни-

мание 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 биологического. Например, продолжительность жизненного цикла микроорганизмов, если ее принять равной промежутку между делениями клеток, у бактерий составит 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, по всей вероятности, имеет 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).

Наличие предпосылок для сохранения в почве зачатков организмов приводит к их накоплению, в результате чего почва начинает выполнять функцию депо семян и других зачатков. Некоторые исследования позволяют 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 в отсутствие 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. В результате этой многообразной деятельности в лесные почвы заносятся семена 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 (1985) дано в главе «Банк семян в лесной почве». В заключение изложения вопроса автор делает обоснованный вывод, что 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. 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 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, 2003).

Частичное сохранение физиологической активности организмов микробного пула позволяет им при благоприятных условиях, например при поступлении свежего органического вещества, быстро включаться в процессы жизнедеятельности и осуществлять

свои почвенно-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 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 (Звягинцев, 1987; Добровольская и др., 2003; и др.).

Глава 4

ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

К данной группе относятся следующие функции: почва как источник питательных элементов и соединений, депо влаги, элементов питания и энергии, стимулятор и ингибитор ряда биохимических процессов.

Почвенный источник питательных элементов и соединений

Это одна из наиболее важных функций, для изучения которой проводились многочисленные работы в основном при агрохимических исследованиях.

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 на стерильных культурах и наблюдалось усвоение азота аспарагина, некоторых аминокислот, а также поступление через корни антибиотиков.

Подавляющая часть растений одновременно обитает в двух средах: в почве и нижнем слое атмосферы. В связи с этим для них характерны два типа питания — почвенный и воздушный. Для растения главным поставщиком углерода и кислорода является атмосфера. 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, сера, железо, марганец, медь, молибден, бор, цинк и др.

Для понимания сущности процесса почвенного питания растений необходимо прежде всего учитывать, что подавляющая часть растительных организмов предъявляет определенные требования к доступным для них 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 большой доли биомассы, а также возделывание многих растений на почве, где они изначально не произрастали, ведет 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 исследования Д.Н. Прянишникова, А.В. Соколова, А. В. Петербургского, Н.С. Авдонина, Я.Ф.Пейве, Э. Рассела, В.Г. Минеева и других 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 специфическим требованием к почвенно-климатическим факторам, выращиваются на землях, которые по водному и пищевому режиму 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. 13, 14) можно наглядно убедиться в отсутствии химической "гармонии" между почвами и полевыми культурами (Ринькис, 1972). Так, в почвах концентрация азота (растворимых, а не валовых количеств) почти в 500 раз ниже, 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 железа — выше в 6 раз. Неравнозначно соотношение и микроэлементов. Концентрация молибдена и бора в почвах в среднем ниже, чем в растениях, марганца же и кобальта выше.

Таблица 13

Среднее содержание элементов в почвах и растениях, мг на 1 кг сухой массы (*Ринькис*, 1972)

Элементы	Валовое содержание в почвах	Содержание в почвах, растворимых в 1 н. HCl (1:10)	Содержание в растениях полевой культуры
Макроэлементы			
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
Микроэлементы			
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

Таблица 14

Пределы колебания содержания элементов в образцах почв России (*Ринькис*, 1972)

Показатель	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Co	Mo
	г/кг			мг/кг				
Валовое содержание	0,1—131,2	0,5—30	1,4—37,5	1,9—120	16—111	100—2200	0,9—37,5	0,3—4,5
Растворимое в 1 н. HCl (1 10)	0,10—86	0,12—12,5	0,06—8,0	1,0—59,1	1,6—31,8	24—840	0,04—8,2	0—0,72

Явное несоответствие в содержании многих биофильных элементов в почвах и полевых культурах особенно наглядно обнаруживается при сравнении пределов колебания элементов в почвах и полевых растениях. Данные табл. 13 свидетельствуют о большой пестроте содержания элементов в почве. Например, как по валовым, так и по растворимым количествам кальция, магния, железа, меди, марганца одни почвы могут быть богаче других в сотни и тысячи раз. Пределы же колебаний в содержании кальция, магния, железа, меди и марганца в культурных растениях значительно меньше, чем в почве, и изменяются лишь в 10—30 раз. Это свидетельствует о том, что почвы как источник элементов питания оказываются неравнозначными. В связи с этим возникает необходимость оптитимизации 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 и ряда микроэлементов. В то же время возникает необходимость в снижении содержания подвижных форм тех элементов, которые обладают отрицательным действием в случае высокой концентрации (H, Cl, некоторые микроэлементы).

При современном уровне развития производства минерального 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 необходимых питательных веществ и ликвидацией токсических концентраций некоторых элементов.

Не менее важным оказывается создание *благоприятных условий поступления* необходимых элементов в органы растения. Установлено, что наиболее легкое и полное усвоение растениями элементов питания происходит, когда их поглощение корнями идет непосредственно из свободных водных растворов, в которых они находятся в растворенном подвижном состоянии (табл. 15). 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 (табл. 15) показано, что при выращивании на песчаном субстрате поступление элементов в растение снижается в несколько раз по сравнению с поглощением из чистых водных растворов.

Таблица 15

Усвоение огурцами питательных элементов в песчаных и водных культурах при близких концентрациях (*Журбицкий*, 1968)

Культура	Концентрация питательного раствора, ммоль/л	Поглощено растением, мг		
		N	P_2O_5	K_2O
Песчаная	3,0	6,9	1,7	4,1
Водная	3,4	84,0	25,1	61,2
Песчаная	7,7	22,4	5,4	12,6
Водная	6,9	114,2	31,0	115,1
Песчаная	15,3	59,7	15,5	43,5
Водная	14,9	117,1	31,6	126,3

Осложняется и поступление в растения ряда элементов в случае значительных изменений pH почвы. Так, по данным Г.Я. Риньскиса (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 увеличением 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 данные о связывании ряда элементов питания органическим веществом, которое может снижать их поступление в расте-

ния. В опытах отмечено заметное уменьшение поглощения растениями фосфора, кальция, магния, меди, цинка, марганца, кобальта, молибдена, бора в случае увеличения содержания гидроокисей 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).

Оценивая 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 почв и растения могут реагировать неодинаково. Так, еще Д.А. Сабинин (1923) 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 (Gammon, Fiskel, Mourkindes, 1955).

Таблица 16

Взаимодействие макро- и микроэлементов (*Риникс*, 1972)

Растение	Элементы и характер их взаимодействия	
	антагонизм	синергизм
Кукуруза, фасоль, бобы, горох	—	K⇆N
Морковь	Cu→N	Cu→N
— " —	K→P	B→N

Окончание табл. 16

Растение	Элементы и характер их взаимодействия	
	антагонизм	синергизм
Морковь	—	Mo→N
— " —	—	Mo→P
Пшеница	Zn→P	—
— " —	—	Cu→K
Ячмень	Ca→P	Ca→P
— " —	Cu→P	—
— " —	Cu→K	—
— " —	—	Ca→Cu
— " —	Ca→Zn	—
— " —	—	Cu→Fe
— " —	Cu→Zn	—
Горох	—	Zn→P
— " —	—	P→Mo
— " —	P→B	—
— " —	Cu→Fe	—
— " —	Mo→Fe	Mo→Fe
Томаты	—	Zn→P
— " —	Ca→K	—
— " —	Mg→K	—
— " —	—	Mo→K
— " —	Mn→Fe	—
— " —	Mo⇆Fe	—
— " —	Mo⇆Mn	—
Яблоня	—	Zn→Ca
— " —	Ca→Mn	—
— " —	—	Zn→Mg
— " —	—	Zn→Fe

Взаимодействие элементов в процессе минерального питания, обусловленное 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 в растении — такое явление называется синергизмом. В табл. 16 даны примеры антагонизма и синергизма между различными парами элементов. Стрелка между взаимодействующими элементами указывает направление действия. Например, А→Б при антагонизме означает, что увеличение содержания первого элемента в среде снижает концентрацию второго в растениях.

Между парами элементов в случае как антагонизма, так и синергизма могут существовать не только односторонние, но и двусторонние влияния. Поэтому можно предполагать, что они возникают практически между любой парой элементов и определяются в основном их концентрацией.

При претворении в жизнь программы оптимизации почвенного питания растений большое значение имеет решение многих практических вопросов, связанных как со стратегией развития сельского хозяйства, так и с соблюдением многих конкретных агротехнических рекомендаций. Нередко возникают дискуссии о целесообразности дальнейшего увеличения производства агрохимикатов с целью увеличения урожайности культур и борьбы с вредителями. При этом справедливо указывается на сложное действие соединений, вносимых человеком на поля (рис. 8, 9), многие из которых дают не только положительный, но и отрицательный эффект.



Рис. 8. **Общая зависимость между отдельными питательными веществами, или факторами, и интенсивностью роста растений (*Рассел*, 1955)**

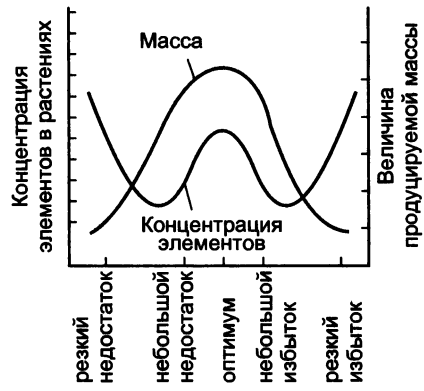


Рис. 9. **Изменение продуцируемой массы в зависимости от концентрации элементов в растениях (*Риникис*, 1972)**

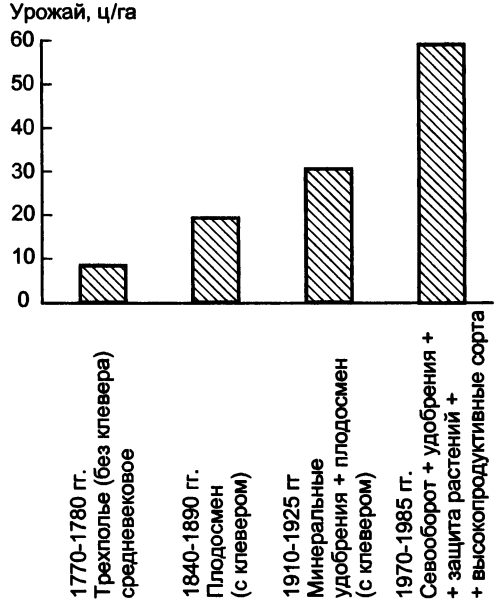


Рис. 10. **Динамика роста урожаев пшеницы в Западной Европе за 200 лет (*Минеев*, 2003)**

Несмотря на сложности, возникающие при использовании агрохимикатов, они еще на долгие годы остаются решающим фактором повышения биологической продуктивности угодий в большинстве стран (рис. 10). Это, в частности, показано в монографии «Агрохимикаты в окружающей среде» (Хайниш, Паукке, Нагель, Ханзен, 1979), где отмечается, что 50—60% сельскохозяйственной продукции в развитых странах получают в результате применения минеральных удобрений. Прибавки урожая от химической защиты растений составляют 20—60% при затратах, равных 1—5% общих издержек производства.

В настоящее время увеличение и совершенствование применения удобрений — один из решающих факторов усиления функции почвенного питания растений и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. При этом необходимо разрабатывать мероприятия, устраняющие или снижающие до допустимых пределов побочные нежелательные эффекты, возникающие при использовании некоторых агрохимикатов (Авдонин, 1969, 1979; Кук, 1970; Лебедева, 1976, 1984; Хайниш и др., 1979; Минеев, 1984, 2003; и др.). В связи с усиливающейся химизацией сельского хозяйства это становится серьезной проблемой, от успешного решения которой зависит не только дальнейшее повышение урожая, но и улучшение его качества. Подсчитано, что повышение содержания белков пшеницы только на 1% на полях стран СНГ позволит обеспечить белковой пищей 16 млн человек в течение года.

Проблема усиления полноценного почвенного питания растений с помощью удобрений связана с оптимизацией форм удобрений, способов и сроков их внесения.

Преимущества тех или иных видов удобрений до сих пор дискуссионны. Так, долгое время спорили, какие удобрения лучше — органические или минеральные. Несмотря на возрастающее производство промышленных агрохимикатов, значение органических удобрений, и прежде всего навоза, в настоящее время не снижается. Д.Н. Прянишников (1965) считал, что с ростом производства и применения минеральных удобрений роль навоза как одного из главных удобрений ни в коей мере не снижается. Особая роль навоза в общей системе удобрений состоит в том, что его применение составляет главное средство обратного вовлечения в круговорот тех питательных веществ, которые были взяты растением из почвы и вносились раньше в почву с удобрениями.

Полагают, что из всего количества веществ, выносимых с урожаем, в навоз может переходить (через корма и подстилку) до 50% азота, 60% оксида калия и 40% оксида фосфора. Кроме того, навоз

содержит и различные микроэлементы. В результате из всех органических удобрений навоз оказывается наиболее полноценным их видом.

А.В. Петербургский приводит данные (табл. 17), свидетельствующие о близком эффекте навоза и минеральных удобрений. Небольшое преимущество минеральных удобрений, наблюдавшееся в поставленных опытах, не снижает ценность навоза, поскольку он представляет собой бесплатный отход, накапливающийся в каждом хозяйстве.

Таблица 17

Действие навоза и минеральных удобрений при выравненных дозах питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O) (*Петербургский*, 1979)

Почва	Культура	Опытная станция	Область	Длительность опыта, год
Серозем	хлопчатник (при орошении)	Ак-Кавакская	Ташкентская	30
Выщелоченный чернозем	сахарная свекла	Мироновская	Киевская	34
Оподзоленный суглинок	то же	Долгопрудная	Московская	12
Оподзоленная супесь	картофель	Институт картофельного хозяйства	Московская	18
Мощный чернозем	то же	Кузнецкая	Пензенская	8
Выщелоченный чернозем	озимая пшеница	Мироновская	Киевская	35
Слабовыщелоченный чернозем	то же	Сумская	Сумская	10
Оподзоленный суглинок	озимая рожь	Долгопрудная	Московская	25
Окультуренная суглинистая почва	озимая пшеница	Ротамстедская (Англия)	—	75

Гармоничное сочетание минеральных и органических удобрений определяется не только целесообразностью использования всех удобных способов устранения дефицита элементов питания

растений, но и необходимостью поддерживать на нужном уровне окультуренность почв, которая существенно повышается при систематическом применении органических удобрений. Особенно важно это для почв с низким естественным плодородием, по отношению к которым применение всего комплекса рациональной системы удобрений является обязательным условием их эффективного использования.

Исследованиями Н.С. Авдонина (1969, 1979), Л.А. Лебедевой (1984, 1995) и других показано, что широкому применению минеральных удобрений на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах должно предшествовать устранение их неблагоприятных свойств. Одностороннее же длительное применение минеральных удобрений на слабоокультуренных кислых дерново-подзолистых почвах может не дать нужного эффекта, а привести к частичному ухудшению их структуры. Эти удобрения — мощный фактор повышения урожайности, но для их эффективного систематического использования необходимо окультуривать дерново-подзолистые почвы, применяя для этой цели комплекс мероприятий — опережающее известкование, широкое использование различных органических удобрений, посев сидератов и т.д.

Существенным моментом в эффективном усилении почвенной функции источника элементов питания оказывается соблюдение *оптимальных сроков и способов внесения удобрений и их дозировка* с учетом изменчивости почв в пространстве и времени.

Эти факторы заметно влияют на общие результаты в получении урожая и на действенность системы агротехнических мероприятий в целом (табл. 18, 19). Так, многое зависит от способов приготовления удобрений. Показано, что прибавка урожая на дерново-подзолистых почвах от гранулированного суперфосфата может быть в два раза выше, чем от порошковидного (Авдонин, 1969), а эффективность навоза на соломенной резке оказывается на 20—30% выше навоза, приготовленного на соломенной подстилке.

Большое влияние на урожай оказывает и способ внесения удобрений. Н.С. Авдонин, проводивший опыты в лесной зоне с внесением суперфосфата под озимые и яровые в рядки и вразброс, показал бóльшую эффективность рядкового приема. При внесении в рядки удобрения располагаются локально, поэтому благодаря меньшему контакту с почвой фосфор поглощается ею слабее и, следовательно, полнее используется растениями. Кроме того, удобрения находятся в непосредственной близости от растений, что облегчает их использование в ранний период роста при небольшой корневой системе, которая не позволяет еще извлекать элементы

питания из большого объема почвы. Использование фосфора при внесении суперфосфата в рядки в три раза выше, чем при внесении его вразброс.

Таблица 18

Распределение питательных веществ в почве в момент полного капиллярного насыщения, мг/100 г абсолютно сухой почвы (по данным *А.С. Коржуева, А.Б. Пановой*)

Действующее вещество удобрения	Местонахождение удобрений от поверхности, см						
	13—12	12—10	10—8	8—6	6—4	4—2	2—0
NO_3	3,0	20,8	141,2	458,3	882,7	1278,8	1769,9
NH_4	17,6	18,8	22,4	26,9	344,1	354,8	366,8
K_2O	70,0	70,0	110,0	160,0	260,0	330,0	260,0
P_2O_5	36,4	52,7	84,5	57,3	0,55	0,16	0,12

Таблица 19

Использование питательных веществ минеральных удобрений (*Авдонин*, 1982)

Культуры	Коэффициент использования удобрений, %		
	N	P_2O_5	K_2O
Озимая пшеница	43	14	33
Яровая пшеница	39	8	28
Озимая рожь	35	13	41
Ячмень	44	13	35
Овес	46	17	67
Картофель	41	13	48
Сахарная свекла	48	14	71
Кукуруза	27	15	48

Однако вопрос о способах внесения различных удобрений не решается однозначно, так как имеется немало фактов повреждений — "ожогов" растений определенным видом удобрений, вызванных их высокой концентрацией, очень близким размещением к семенам или молодым растениям (Кук, 1970). В опытах Уоррена

и Джонстона (1961) поверхностное внесение больших доз хлористого калия (375 кг/га) подавляло развитие, в то время как глубокая заделка в почву была безопасной для данной культуры. Наиболее негативное действие удобрений может быть в условиях сухого климата, когда изначальное содержание солей в почве значительно.

В системе рациональной оптимизации почвенного питания растений необходим постоянный учет неоднородности свойств почв и погодных условий во времени и пространстве. Эта неоднородность заставляет конкретизировать систему удобрений не только для различных районов, но и для разных полей одного хозяйства с учетом их истории, вносить коррективы на сезонную и межгодичную изменчивость климата, учитывать изменчивость биологических, физических и других свойств одной и той же почвы в процессе ее эксплуатации, менять сроки, дозы и способы внесения удобрения в зависимости от условий года и неоднородности почвенного покрова, своевременно устранять причины, препятствующие полноценному использованию питательных веществ (уничтожение сорняков и вредителей, регуляция водного режима и физического состояния). При этом важными оказываются практически все виды мероприятий, создающих благоприятные условия для усвоения питательных веществ и образования высококачественного урожая.

Дж. Кук, например, подчеркивает, что если своевременно не устранены болезни растений, то отзывчивость их на удобрения сильно снижается. Так, в опытах с пшеницей, пораженной грибковым заболеванием и нематодами, было показано, что в случае уничтожения паразитов высокие урожаи достигаются при значительно меньших дозах удобрений. Он также обращает внимание на то, что при решении вопросов оптимизации минерального питания растений улучшению физических свойств почв должно уделяться не меньше внимания, чем контролированию химических параметров обрабатываемых земель.

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 комплексного 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 коагулированных 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 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 достаточно высокие урожаи, не внося полные дозы удобрений. Так, в Англии на почвах Ротамстедской опытной станции культивировалась пшеница, под которую в течение 100 лет не вносились ни органические, ни минеральные удобрения. Урожай составил примерно 25% от урожаев развитых европейских стран (Кук, 1970). Относительный урожай корнеплодов в аналогичных опытах был значительно ниже и достигал всего 10% нормального урожая.

Приведенный пример показывает, что, несмотря на значительные возможности функции депо, получение высоких урожаев только за счет почвенных пищевых резервов невозможно.

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. 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, почвы России и сопредельных стран по валовому содержанию азота различаются в 12 раз, калия — в 11, фосфора — в 176, каль-

ция — в 1310 раз (по Ринькису, 1972; см. табл. 14). Значительны различия почв по запасам гумуса, которые могут изменяться в десятки раз (Дмитриев, 1983, 2000).

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 отмечает, 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 (1978, 1983, 1995), такой перевод не обязательно идет более успешно в почвах с высоким валовым содержанием азота. Им отмечена тенденция увеличения (в пределе Центра европейской части России) подвижности азотного фона в направлении от степных черноземов к серым лесным почвам.

Функция стимулятора и ингибитора биохимических и других процессов

Данная функция почвы обусловлена тем, что в нее поступают разнообразные продукты метаболизма растений, микробов, животных (аминокислоты, белки, витамины, спирты и др.), которые могут стимулировать или угнетать жизнедеятельность живых организмов (Троицкий, 1960; Пейве, 1961; Орлов, 1974, 1990; и др.).

К настоящему времени накоплен значительный материал по взаимному влиянию живых организмов посредством поступающих в почвенную и воздушную часть биогеоценоза метаболитов (рис. 11, табл. 20—22). По отношению к растениям и микроорганизмам эти данные обобщены в монографиях Н.А. Красникова "Микроорганизмы почвы и высшие растения", В.П. Иванова "Растительные выделения и их значение в жизни фитоценоза", М.В. Колесниченко "Биохимические взаимовлияния древесных растений" и др. Имеются обобщающие работы и по взаимовлиянию животных посредством физиологически активных веществ, выделяемых во внешнюю среду, например Я.Д. Киршенблата "Телергоны — химические средства взаимодействия животных".

Рассматриваемая проблема по отношению к почвенной экологии имеет несколько аспектов, среди которых к важнейшим 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 рассматриваемой функцией почв.

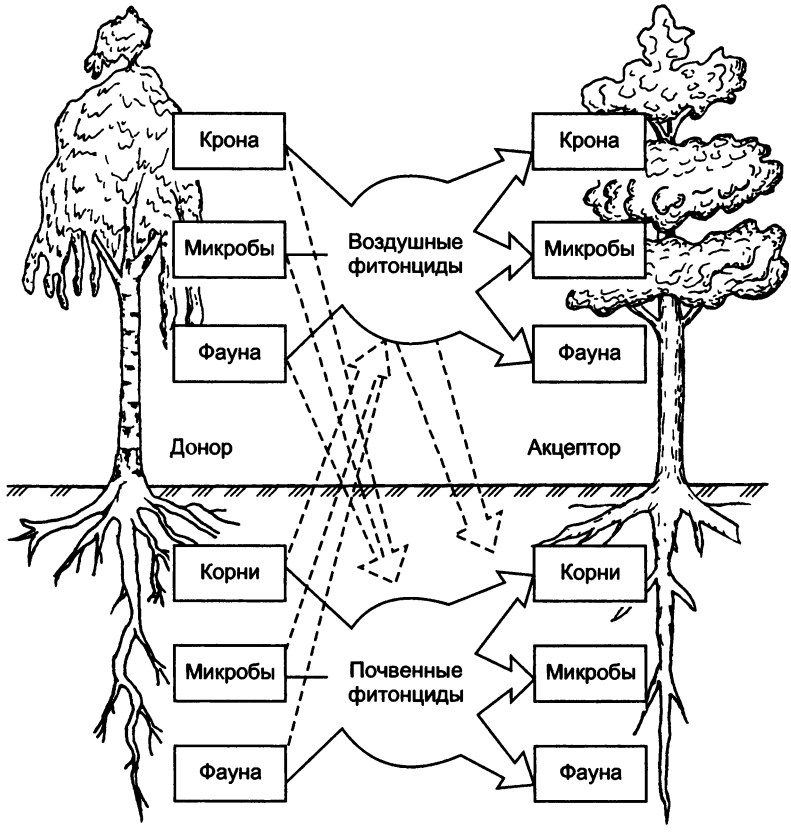


Рис. 11. **Схема влияния фитонцидов одного растения на другое (*Колесниченко*, 1976)**

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 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 (костер безостый, гваюла и др.). Угнетение одного вида другим неоднократно наблюдалось у лесных насаждений. В табл. 20 показано отрицательное химическое влияние на дуб ясеня, вяза, осины, сосны (Колесниченко, 1976).

Таблица 20

Биохимические влияния древесных пород (*Колесниченко*, 1976)

Главная порода (акцептор)	Доноры фитонцидов	
	активаторы	ингибиторы
Дуб обыкновенный	гледичия обыкновенная жимолость татарская, клены остролистный, полевой, татарский, лещина обыкновенная, липа мелколистная, орех грецкий, свидина кроваво-красная	акация белая, береза бородавчатая, вязы обыкновенный и мелколистный, клен ясенелистный, осина, сосна обыкновенная, скумпия, тополь канадский, ясень обыкновенный и пушистый
Сосна обыкновенная	лиственница сибирская, скумпия	акация желтая, береза бородавчатая, дуб обыкновенный, жимолость татарская
Лиственница сибирская	вяз обыкновенный, дуб летний, клен остролистный, липа мелколистная, сосна обыкновенная, ясень обыкновенный, акация	береза бородавчатая
Береза бородавчатая	клен остролистный, липа мелколистная, вяз обыкновенный, лиственница сибирская, ясень зеленый	вяз обыкновенный
Вяз мелколистный (перистоветвистый)	ирга круглолистная, клен татарский, ясень пушистый, скумпия	бузина красная, лох узколистный, смородина золотистая, тополь канадский
Тополь канадский (дельтовидный)	акация белая и желтая, жимолость татарская, клен татарский, ольха черная, скумпия, ясень пушистый	береза бородавчатая, вяз мелколистный, бузина красная
Орех грецкий	—	дуб обыкновенный

Таблица 21

Отклонение скорости накопления P^{32} в стволиках, % от нормы (*Колесниченко*, 1976)

Растение-донор и его возраст	Растение-активатор	Действие фитонцидов		
		воздушных	почвенных	воздушных и почвенных
4 года				
Ясень обыкновенный	дуб	не опр	–29	не пор
Дуб черешчатый	ясень	0	+17	+10
Липа мелколистная	дуб	+17	+45	+52

Окончание табл. 21

Растение-донор и его возраст	Растение-активатор	Действие фитонцидов		
		воздушных	почвенных	воздушных и почвенных
40 лет				
Липа мелколистная	дуб	+29	+122	+102
Вяз обыкновенный	дуб	–80	–113	+109
Клен остролистный	дуб	+20	+40	+65

Таблица 22

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

Таблица 23

Отклонение интенсивности фотосинтеза при биохимическом взаимодействии дуба и других древесных пород, % от нормы (*Колесниченко*, 1976)

Воздействующая древесная порода	Влияние на дуб фитонцидов		Влияние фитонцидов (воздушных и почвенных) дуба
	воздушных	воздушных и почвенных	
Дуб летний	0	0	0
Ясень обыкновенный	–11	–19	–4
Вяз обыкновенный	0	–13	0
Липа мелколистная	–6	+12	0
Клены:			
остролистный	+11	+7	–1
полевой	—	–3	0
татарский	+7	+8	0
Жимолость татарская	—	+12	—

Выделения определенных растений могут влиять на развитие других растительных организмов не только отрицательно, но и положительно. 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 (табл. 24).

Таблица 24

Отклонение интенсивности фотосинтеза при биохимическом влиянии сосны и других древесных растений, % от нормы (*Колесниченко*, 1976)

Древесная порода	Влияние на сосну фитонцидов		Влияние фитонцидов сосны (воздушных и почвенных)
	воздушных	воздушных и почвенных	
Береза бородавчатая	–13	–8	+3
Лиственница сибирская	+12	+16	+5
Дуб летний	не опр	–5	–12
Вяз обыкновенный	— " —	–7	не опр.
Жимолость татарская	–25	–35	— " —
Акация желтая	–7	0	— " —

Часто наблюдается и безразличное отношение растений как к собственным, так и к 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.

Говоря о конкретных проявлениях почвенной функции стимулятора 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 (см. табл. 23). Другой важный факт, 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 у сосны и березы.

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 (Галстян, 1978, 1987, 2000).

Трудности диагностики активаторно-ингибиторных особенностей почв по отношению к тому или иному виду растений обусловлены также эффектами взаимодействия и изменчивости других биогеоценотических функций почвы. Так, лучший рост сосны с небольшой примесью березы, наблюдавшийся в опытах (Кабашникова, 1971), 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, 1960). 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 и ингибирование жизнедеятельности растений) будет зависеть не только от особенностей фитоценоза, но и от видового состава микробиоценоза.

Необходимо отметить, что состав и активность микроорганизмов ризосферы одного растения может изменяться при действии на них корневых выделений другого растения при совместном произрастании.

Говоря о механизмах биохимического взаимовлияния живых организмов 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 органические кислоты (яблочную, щавелевую, янтарную и др.), с помощью которых происходит растворение и усвоение ряда ми-

неральных соединений из почвы (Колесниченко, 1976; Остроумов, 1986; Добровольский, Никитин, 2006; и др.).

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 на 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 узком диапазоне pH (табл. 25). Так, М.В. Марков на основании обобщения имеющихся материалов приводит следующую шкалу кислотности почвы, показывающую пределы pH, обеспечивающие наилучшие условия для роста и развития культурных растений: люпин хорошо растет при pH 4—5; картофель — 5; овес, лен, рожь — 5—6; клевер, горох, пшеница — 6—7; свекла — около 7; люцерна — 7—8; хлопчатник — 7,5—8,5. При pH 4 развитие всех культурных растений подавляется высокой кислотностью, а при pH 8,5 — высокой щелочностью (Иванов, 1973).

Таблица 25

Требования различных растений к реакции среды (*Авдонин*, 1982)

Растение	Оптимальный интервал pH	Растение	Оптимальный интервал pH
Рожь	5,5—7,5	Клевер	6,0—7,0
Овес	5,0—7,7	Люпин	4,5—6,0
Пшеница яровая	6,0—7,5	Тимофеевка	5,0—6,5
Пшеница озимая	6,3—7,6	Костер	7,0—7,5
Ячмень	6,8—7,5	Капуста	6,7—7,4
Кукуруза	6,0—7,0	Помидоры	6,3—6,7
Горох	6,0—7,0	Морковь	5,5—7,0
Фасоль	6,4—7,1	Огурец	6,4—7,0
Соя	6,5—7,1	Рис	4,0—6,0
Просо	5,5—7,5	Чечевица	5,5—7,2
Гречиха	4,7—7,5	Вишня	5,7—6,5

Окончание табл. 25

Растение	Оптимальный интервал pH	Растение	Оптимальный интервал pH
Свекла кормовая	6,2—7,5	Брюква	4,8—5,5
Картофель	5,0—5,5	Сераделла	5,4—6,5
Турнепс	6,0—6,5	Лисохвост	5,3—6,0
Свекла сахарная	7,0—7,5	Райграс	6,8—7,5
Конопля	7,1—7,4	Редис	5,5—7,3
Лен	5,9—6,5	Салат	6,0—6,5
Подсолнечник	6,0—6,8	Лук	6,4—7,9
Люцерна	7,0—8,00	Хлопчатник	5,5—7,3
Чайный куст	4,5—6,0		

Активаторно-ингибиторная функция 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 влияющая 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. Надо обратить внимание на перспективность специальных смешанных посевов и посадок с повышенным коэффициентом использования почвенного плодородия благодаря подбору видов с положительным взаимовлиянием и учету изменчивости сезонных 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 служат дополнительным источником элементов питания и выполняют роль активатора биохимических процессов в почве.

М.В. Колесниченко (1976) приводит факты снижения продуктивности чистых культур ели и сосны в Европе при выращивании двух-трех поколений в течение 200—300 лет. В лесах Российского Севера за два-три поколения 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 посредством поступающих в почву продуктов метаболизма. Эти взаимовлияния касаются не только растений и микроорганизмов, о чем говорилось выше, но и почвообитающих животных.

Выделяемые в среду, в том числе и в почву, продукты внешней секреции обладают различным действием. Так, у многих видов насекомых половозрелые самки выделяют специфические пахучие вещества (одмихнионы), привлекающие самцов, которые могут воспринимать их на большом расстоянии, даже через толстый слой почвы. Пахучие вещества наносятся животными на почву и служат им в качестве ориентиров при добывании пищи, а также могут выполнять роль меток территории. Особое значение эти вещества имеют у "общественных" насекомых, которые оставляют пахучие следы от гнезда к источникам пищи. Большинство муравьев оставляют пахучие следы вдоль своих дорог, нанося специфические вещества на поверхность почвы, периодически прикасаясь к ней брюшком или кончиком жала.

Свойства среды, в том числе и почвы, могут заметно влиять на способы выделения пахучих веществ и их количество. Своеобразно, например, выделение одмихнионов у муравьев, живущих в пустынях и полупустынях. В связи с тем, что почва и песок в местах их обитания сильно нагреваются солнцем, что мешает прикосновению брюшка к поверхности, эти муравьи выделяют одмихнионы в окружающий воздух, быстро перебегая на длинных ногах по горячему песку, приподняв брюшко кверху (Киршенблат, 1974).

Многие животные могут выделять вещества, вызывающие у особей того же вида реакции тревоги, бегства, активной обороны. Вырабатываются и вещества (аминоны), выполняющие роль химических средств защиты от врагов благодаря отталкивающему запаху, раздражающим и ядовитым свойствам.

Перечисленные действия выделений животных организмов во внешнюю среду существенно расширяют конкретные проявления характеризуемой почвенной функции активатора и ингибитора биохимических и некоторых других процессов, происходящих в почве или на ее поверхности.

Глава 5

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Сорбция тонкодисперсного вещества, поступающего из атмосферы, с боковым и грунтовым водным потоком и растительным опадом

Основной механизм данной функции почв — адсорбция коллоидами почвы газов, жидкостей, особенно воды, молекул и ионов веществ, поступающих в почву различными путями. Имеет место также механическое задержание в порах части суспензий и эмульсий и химическое поглощение их почвой при образовании нерастворимых соединений. Выделяют кроме того 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 почвы. Она существенно зависит и от вещественного 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, играет значительную роль в жизни почв и биогеоценозов. Среди положительных эффектов сорбци-

онной 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 будет крайне затруднено, если питательные соединения немедленно удалятся из почвы выпадающими осадками.

Благодаря сорбционной функции возможна жизнь не только на богатых, но и на бедных по составу почвах. Так, сосновые леса, произрастающие на кварцевых песках ($SiO_2 > 90\%$), обеспечиваются большим количеством соединений, поступающих с атмосферными осадками и пылью, которые удерживаются почвенно-растительным покровом (табл. 26). Во многом благодаря сорбционной функции оказывается возможным почти круговой характер естественных биохимических циклов элементов в экосистемах Земли. По данным В.А. Ковды (1975, 1985), повторяющееся воспроизводство ненарушенных циклов в природе достигает, по-видимому, 95—98%.

Таблица 26

Содержание питательных веществ в годовых осадках (*Кук*, 1975)

Вещество	Саксмандхем (в среднем за 1966—1970 гг.)	Швеция	Норвегия	Западная Австралия
		пределы колебаний, кг/га		
Аммонийный азот	9 7	0,7—4,0 0,15—0,8	0,8—6,0 —	0,7 0,5—0,8
Нитратный азот	0,2	—	3,0—19,0	—
Фосфор	18	—	0,8—8,0	<1
Сера	3,0	1,1—3,5	3,0—14,0	0,3
Калий	4,0	—	0—148,0	0,2
Магний	13,0	6,0—19,0	0,4—17,0	—
Кальций	27,0	4,0—30,0	1,0—257,0	—
Натрий	50,0	2,5—40,0	—	1,1
Хлор	—	—	—	1,6—1,8

Сорбционная функция оказывает существенное влияние на снабжение растений элементами питания в культурных агроцено-

зах. Это влияние двойственное и характеризуется как положительными, так и негативными эффектами. К первым относится прежде всего удержание почвой элементов питания от быстрого вымывания атмосферными осадками. Дж. Кук (1970) считает, 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 при определенных условиях может раствориться и стать доступной растениям.

Положительным проявлением сорбционной функции почв является также удержание элементов питания, вмытых в нижние горизонты. Ветселер (1962), 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 глубоко проникающими корнями (африканское просо и др.).

Сорбционная функция почв может давать и отрицательные эффекты (Добровольский, Никитин, 1990, 2006; Кудеярова, 1988 и др.). 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 удобрений. 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, 1990, 2001; и др.).

В связи с большим значением поглотительной способности почвы в ее функционировании как компонента биогеоценозов важной задачей оказывается выявление оптимального состава почвенного поглощающего комплекса и его регулирование. Полагают, что для большинства растений, возделываемых в России, физиологически оптимальное соотношение поглощенных катионов выглядит так: количество обменного кальция 60—70% от емкости поглощения, обменного магния — 10—15%, калия — 3—5%. Желательно также содержание небольшого количества обменного водорода и других элементов (Ковда, 1973, 1985).

Указанное соотношение поглощенных катионов свидетельствует об исключительной физиологической роли кальция в жизни

растений. Недостаток доступных для растений соединений кальция обычно приводит к их ненормальному развитию или гибели. Увеличение содержания 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 натрия.

Среди конкретных способов оптимизации почвенного поглощающего комплекса следует назвать известкование кислых почв, содержащих повышенное количество обменного водорода и алюминия, гипсование солонцовых почв. Благоприятно 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 с содержанием обменного кальция до 70—80%.

При рассмотрении поглотительной способности почв следует обратить особое внимание на то, что проявление сорбционной функции вызывает 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 часто удерживаются 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 почвы 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 препаратов соли меди, часто применяемых как фунгициды, употреблением в качестве удобрений городских отбросов или осадка сточных вод, содержащих тяжелые металлы, в частности цинк.

Опытами установлено, что 1 кг сухого вещества лука-порея, удобряемого осадком сточных вод (Кук, 1970), содержал гораздо больше цинка и других металлов.

Таблица 27

Содержание микроэлементов в луке-порее

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

Городские отбросы и сточные воды, применяемые для удобрения, оказывают неблагоприятное влияние на качество урожая и затрудняют их использование в сельском хозяйстве, несмотря на богатство элементами питания. Необходима разработка специальной технологии по предварительной обработке таких 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 удобрений. Работы в данном плане показывают сложность использования сточных вод в земледелии (Гродецкий и др., 1979; Минеев, 1984, 2003; и др.). Применение бытовых сточных вод при определенных условиях возможно. Использование же промышленных и смешанных сточных жидкостей проблематично и требует конкретного подхода и тщательного выявления допустимых концентраций ингредиентов. Многие виды промышленных сточных вод непригодны для полива.

Следует отметить возросшее значение соединений, попадающих в почву из атмосферы. По данным В.А. Ковды (1979), в атмосферу Земли выбрасывается ежегодно (5—10) • 10^8 т кислот, которые выпадают с дождями, а из-за их задержки в почве происходят изменения: выщелачивается Ca, Mg, K, увеличивается общая кислотность, мобилизуются Al, Fe, Mn, связывается P, повышается токсичность Hg, Pb и Cu.

В результате усиления ветровой эрозии и промышленных загрязнений атмосферы аэрозолями в почву попадает большое количество пыли, которая может оседать непосредственно 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 на 75 га, может задержать 68 т пыли (Иванов, 1978).

При рассмотрении возможных отрицательных последствий от поглощения почвой попадающих в нее загрязнений следует обра-

тить внимание на проблему радиоактивного загрязнения окружающей среды и почвенного покрова (табл. 28, 29). Ф.А. Тихомировым (1979), А.И. Щегловым (1998, 2000) и другими отмечается, что актуальность этой проблемы обусловлена прежде всего развитием атомной промышленности и радиоактивным загрязнением среды.

Таблица 28

Сорбция радиоизотопов из водного раствора (pH 6) различными почвами, % от содержания в исходном растворе (*Куликов, Молчанова*, 1975)

Изотоп	Почва					
	дерново-луговая	черно-земы	красно-земы	Дерново-подзолистая, горизонты		
				A_1	A_2	B_1
Железо-59	40±15	29±7	29±10	23±5	35±8	22±5
Кобальт-60	93±5	98±2	88±5	—	92±3	—
Стронций-90	98±2	97±1	98±3	98±2	—	—
Иттрий-91	93±4	95±3	91±2	90±4	89±6	97±2
Цезий-137	98±1	98±3	96±2	98±1	—	—
Церий-144	94±3	83±10	92±4	90±5	92±5	90±4

Наиболее важный источник радиоактивного загрязнения почв естественных и антропогенных ландшафтов — газы и выпадающие из атмосферы аэрозоли, а также радионуклиды, попадающие в почву с поливными водами и минеральными удобрениями и активно сорбируемые ею (табл. 29).

Таблица 29

Накопление радиостронция из почвы в урожае сельскохозяйственных культур, отн. ед. (*Тихомиров*, 1979)

Зона	Преобладающий тип почвы	Зерно	Силосные	Картофель
Среднетаежная	подзолистая	10,0	64,0	3,0
Южнотаежная	дерново-подзолистая	1,0	8,0	1,0
Лесостепная	серая лесная, выщелоченный чернозем	0,6	4,0	1,0
Степная	чернозем обыкновенный	0,4	1,6	0,8
Субтропическая полупустынная	серозем	0,9	2,8	2,5
Пустынная	бурая	2,0	10,0	3,5

В случае радиоактивных выпадений из атмосферы часть их задерживается на растениях, часть попадает 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 попадавшими в почву радиоактивными элементами, а также причины, определяющие их поступление в растения. Установлено, что накопление растениями радионуклидов существенно зависит от содержания элементов — биофилов — в почвенном растворе, с которыми радионуклиды находятся в конкурентных отношениях. Так, при увеличении концентрации в почвенном растворе кальция снижается конкурентная способность радионуклидов в ионнообменной адсорбции на поверхности корней. В качестве обобщенного показателя, от которого в наибольшей степени зависит переход радионуклидов из почвы в урожай, можно принять уровень почвенного плодородия (Тихомиров, 1979). 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 (см. табл. 29). Из конкретных свойств почв 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 более продолжительный срок.

Сорбция почвенным мелкоземом микроорганизмов, обитающих в почве

Эта функция имеет важное значение, так как благодаря ей микроорганизмы защищены от выноса за пределы почвенного профиля с нисходящим током влаги.

Учет способности почв к сорбции микроорганизмов помогает 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, обогащенной тонкодисперсным материалом.

Наблюдается отчетливая зависимость процесса сорбции от свойств микроорганизмов и особенностей сорбента (Звягинцев, 1973). Это, например, проявляется в том, что одни микроорганизмы поглощаются интенсивно, другие — в меньшей мере, третьи — вообще не поглощаются определенным сорбентом. Поскольку почва по своему вещественному составу — весьма гетерогенная система, 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 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 в связи с влиянием на сорбционные процессы многих факторов (Chatterjee, Dalal, 1968).

Сорбция микроорганизмов почвой существенно зависит и от ее минералогического состава, что видно из опытов по взаимодействию почв с отдельными минералами, которые показали, что на первом месте по сорбционной способности стоят представители группы монтмориллонита (Звягинцев, 1969; Великанов, 1969).

Сорбция микроорганизмов зависит и от генетических особенностей почв. Так, черноземы больше сорбируют микробы клеток, чем дерново-подзолистые и серые лесные. Обычно больше сорбируют микроорганизмов те почвы, которые обладают более тяжелым механическим составом, емкостью поглощения и более высоким содержанием гумуса. О важной роли органического вещества в поглощении микроорганизмов говорят опыты с прокаливанием образцов мощного чернозема (Звягинцев, 1973): 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. pyocyanea*. Она составила 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 (1965, 1980) о существовании в почве микроорганизмов — обитателей твердой фазы и микроорганизмов — обитателей почвенного раствора. Л.И. Бубенчиком с сотрудниками (1934) 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 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 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, а при некоторых величинах pH может совсем прекратиться.

Отмечена отчетливая зависимость процесса сорбции микроорганизмов от того, какими катионами насыщен почвенный поглощающий комплекс. На примере *Az. chroococcum* было показано, что по интенсивности сорбции данного микроорганизма образцы почв, насыщенные разными катионами, располагались в следующий ряд: $Na^+ < Li^+ < NH_4^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Ba^{2+} < Al^{3+} < Fe^{3+}$. Особенно сильно азотобактер сорбировался почвами, насыщенными трехвалентными катионами. При насыщении почв двухвалентными катионами микроорганизмы также сорбировались довольно сильно. Образцы же, насыщенные одновалентными катионами, в условиях опыта почти не сорбировали азотобактер. Таким образом, зависимость сорбции микроорганизмов от насыщенности почвенного поглощающего комплекса различными катионами во многом подобна влиянию состава ППК на коагуляцию коллоидов.

Сорбция микроорганизмов зависит и от контакта между клетками микробов и поверхностью сорбента. При благоприятных условиях контакта сорбция микроорганизмов на почвах и минералах протекает быстро и может достигать максимума уже через 5—10 мин.

Существенным фактором, влияющим на поглощение почвой и минералами микроорганизмов, оказывается также размер частиц. С уменьшением размерности частиц обычно происходит заметное увеличение сорбции микробов (табл. 30, 31). Это объясняется несколькими причинами: увеличением удельной поверхности сорбента на единицу его веса; значительно большей склонностью мелких частиц образовывать агрегаты с клетками микроорганизмов, увеличением содержания вторичных минералов, полуторных оксидов, органических коллоидов при уменьшении размера частиц. Исследования свидетельствуют, что в подавляющем большинстве случаев имеет место адсорбция — поглощение клеток микроорганизмов активной поверхностью почвенного мелкозема. Причем адсорбция микроорганизмов во многом похожа на адсорбцию коллоидов.

Таблица 30

Адсорбция микроорганизмов на частицах разных размеров, % на весовую единицу (*Звягинцев*, 1973)

Микроорганизмы	Адсорбент	Размеры частиц адсорбента				
		3—1	1—0,1	0,1—0,01	0,01—0,001	<0,000—1
Sarcina lutea	мощный чернозем	35	45	90	99	99
	дерново-подзолистая	20	30	70	75	80
	бентонит	60	80	100	100	100
Ps. pyocyanea	мощный чернозем	5	15	30	45	80
	дерново-подзолистая	5	10	25	30	40
	бентонит	15	40	60	90	100

Таблица 31

Распределение микроорганизмов на частицах разной величины (*Звягинцев*, 1973)

Диаметр частиц, мкм	Примерная величина поверхности, мкм^2	Количество адсорбированных клеток в опыте	
		перегнойно-глеевая почва	дерново-подзолистая почва
1—2	13	1	0,1
4—5	121	4	0,3
10—12	726	8	1,1
20—25	2905	29	5,0
40—50	12 150	110	7,0
100—110	66 150	300	14,0
400—500	1 215 000	10 200	53,0

Относительно природы сил, обусловливающих адсорбцию, было высказано несколько гипотез. Достаточно широкой известностью пользуется теория, объясняющая особенности поведения коллоидных систем взаимодействиями электростатических сил отталкивания и ван-дер-ваальсовских сил притяжения отдельных коллоидов. Следует подчеркнуть, что размеры микроорганизмов (1—10 мкм) благоприятствуют проявлению сил притяжения. У частиц большого размера наблюдается превосходство гравитационных сил над силами прилипания, а частицы меньшего размера вследствие малого веса не в состоянии выдавить слой жидкости, прилегающей к поверхности адсорбента, и вступить в непосредственный с ним контакт, являющийся важным условием адсорбции.

Следует отметить, что указанный механизм адсорбции в действительности оказывается существенно сложнее, а силы, при этом действующие, — значительно разнообразнее. В частности, при адсорбции возможно проявление химических взаимодействий контактирующих наружных слоев поверхностей. Причем, как справедливо подчеркивает Д.Г. Звягинцев (1973, 1987), природа сил и прочность связей, возникающих при адсорбции, могут быть различными.

На отрицательно заряженных поверхностях, широко представленных в почве, адсорбция микроорганизмов имеет более избира-

тельный характер. Одноименность заряда порождает силы отталкивания. Поэтому снижение величины отрицательного заряда клеток и частиц адсорбента, облегчающее проявление сил притяжения, часто оказывается важным фактором адсорбции. Силы отталкивания между поверхностями заметно снижаются при введении катионов, особенно многовалентных, а также при подкислении pH среды. Усиление адсорбции также происходит при высушивании почвы, поскольку при этом снимается стерический барьер из слоя воды между клетками и частицами адсорбента, препятствующий их слипанию.

При характеристике сорбции микробов минералами и почвой необходимо подчеркнуть, что этот процесс не проходит бесследно для жизнедеятельности микроорганизмов. Опытами показано, что сорбция микроорганизмов меняет интенсивность и направленность физиолого-биохимических процессов, осуществляемых ими и их ферментами. Меняются скорость размножения микроорганизмов, размеры и формы клеток. Основная причина данных изменений заключается в специфике условий на поверхности раздела твердой и жидкой фаз. Силы же адсорбции не оказывают существенного действия на развитие микроорганизмов.

Обобщающее исследование по влиянию адсорбции микроорганизмов на их жизнедеятельность Д.Г. Звягинцева (1973, 1987) раскрывает наиболее важные особенности данного явления. Прежде всего становится ясным, что действие адсорбции на микроорганизмы может быть существенно разным в зависимости от конкретного взаимного расположения клеток и частиц адсорбента. Если адсорбция происходит непосредственно на поверхности частиц, то действие адсорбента проявляется сильнее. В этом случае микроорганизмы оказываются на границе раздела жидкой и твердой фаз, где питательные и другие вещества содержатся в иной концентрации, чем в почвенном растворе. При этом немаловажное значение имеет и то, как осуществляется прикрепление микроорганизмов — клеточной стенкой, капсулой или выростами, поскольку от этого зависит плотность контакта.

Особенно сильно влияние адсорбции проявляется при образовании агрегатов из клеток микроорганизмов и частиц адсорбента. В случае же, когда клетки отделены жидкой фазой от адсорбента, последний оказывает только косвенное действие путем удаления определенных веществ из раствора. Причем если удаляются токсины и другие вредные вещества, это действие может быть поло-

жительным; если удаляются элементы питания и стимуляторы роста, оно отрицательное. Таким образом, при прямом контакте и в его отсутствие влияние адсорбента может быть различным и даже противоположным, что было доказано специальными опытами. Однако это учитывается далеко не всегда, в связи с чем нередко возникают противоречия в трактовке полученных результатов.

Говоря о конкретных причинах влияния адсорбции на жизнедеятельность микроорганизмов, прежде всего следует назвать изменения в концентрации и активности различных веществ на границе раздела твердой и жидкой фаз. Обычно в этой зоне наблюдается повышенная концентрация многих питательных веществ, катионов, биологически активных соединений. Эти компоненты оказываются, как правило, более доступными для адсорбированных микроорганизмов и менее доступными для свободных. На поверхности адсорбентов изменяется также pH, окислительно-восстановительный потенциал, отмечается увеличение концентрации одних органических веществ и уменьшение других.

Изменение pH и Eh может происходить в результате действия регуляторных механизмов клеток микроорганизмов. Именно с активным изменением в благоприятную сторону ОВП связана способность анаэробов развиваться в кислородсодержащих средах при наличии в них адсорбентов. Изменения названных параметров могут быть значительными. Так, на границе раздела pH может изменяться на 0,5—2,0 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, 1987, 2003).

Глава 6

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ

Функция сигнала для сезонных и других биологических процессов

Данная функция контролируется в первую очередь периодически изменяющимися параметрами почвы — ее тепловым, водным, пищевым и солевым режимами. Так, было показано, что ведущим фактором пробуждения роста корней в ельнике чернично-зеленомошном северной тайги европейской части России является температура почв (Бобкова, 1974). На более холодных затопляемых талыми водами почвах рост ели задерживается на 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 температуре почв как факторе, регулирующем сезонное развитие, следует подчеркнуть, что она определяется многими составляющими: теплоемкостью и теплопроводностью почв, запасами тепла (холода), влажностью, температурой воздуха, потоком радиации и отражающей способностью почвы, интенсивностью излучения в ночные часы и др. (Чигир, 1975; Макеев, 1980, 1992; и др,). Данные параметры во многом определяются основными свойствами почв. Так, в зависимости от механического состава теплоемкость почвы может различаться в пять раз, а в зависимости от влажности — в 15 раз (Чудновский, 1999). 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°.

Существенно также затухание изменений температуры почвы с глубиной. Например, на болотах установлен следующий ход температуры: суточные колебания отчетливо обнаруживаются на глубине 15—25 см; годовые — до глубины 3—3,5 м (Давыдов, 1973). Таким образом, температура почвы как фактор регуляции сезон-

ных 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 (табл. 32—34). Отмечено, что при понижении температуры почвы происходит снижение интенсивности транспирации, а при повышении — ее усиление (Коровин, 1972). 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).

Таблица 32

Минимальные значения температуры (°С) для развития некоторых культур (по данным *В.Н. Степанова*)

Растение	Фаза развития				Холодостойкость
	появление всходов	формирование органов		плодоношение	
		вегетативных	репродуктивных		
Конопля	2—3	2—3	10—12	12—10	значительная
Яровые зерновые, горох	4—5	4—5	10—12	12—10	заметная
Лен-долгунец	5—6	5—6	10—12	12—10	средняя
Гречиха, подсолнечник	7—8	7—8	12—15	12—10	слабая
Кукуруза, просо	10—11	10—11	12—15	12—10	слабая
Сорго, фасоль	12—13	12—13	15—18	15—12	слабая
Рис, хлопчатник	14—15	14—15	18—20	15—12	отсутствует

Таблица 33

Влияние температуры раствора на поглощение воды и питательных веществ ячменем за 23 ч (по данным *Брокера, Хогленда*)

Температура, °С	Состав питательного раствора, мг-экв/сосуд				Испарено растениями воды, мл/сосуд
	K	Ca	Mg	NO_2	
Исходное содержание					
	20,1	19,8	7,6	37,7	
Поглощено растением					
10	6,2	0,2	0,2	6,2	540
15	16,3	1,1	0,4	19,8	600
24	20,0	3,0	1,0	32,5	730

Таблица 34

Влияние температуры почвы на белковость пшеницы (по данным *В.В. Буткевича*)

Температура, °С	Удобрения	Содержание белка в зерне, %
20	без удобрений	12,2
35	без удобрений	15,6
20	NPK	18,4
35	NPK	19,5

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 аридных ландшафтов. 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 ко-

лебания численности микроорганизмов почв в зависимости от поступления в нее растительного опада. Так, Т.В. Аристовская обращает внимание на осеннюю вспышку численности микробов благодаря поступлению свежего органического материала.

Таким образом, проявления рассматриваемой почвенной функции многогранны и существенны. К сожалению, они изучены еще недостаточно. В то же время данная функция почв может иметь отношение к самым различным явлениям, протекающим в биоценозах, связанных с почвой (Никитин, 2009, 2010).

Регуляция численности, состава и структуры биоценозов

Одна из важных форм проявления данной функции — воздействие почвенных факторов на формирование конкретной консортивной структуры биоценозов. Многими исследователями доказано, что в консортивных связях различных организмов примат принадлежит в целом высшим растениям. Пространственное же распределение этих растений и 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, фитофаги — 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; Крючков, 2000).

Отмечается также связь расселения почвенных беспозвоночных с отдельными свойствами почвы. 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 зави-

сит 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, Перцовский, 1954; Добровольский, Никитин, 2006).

Известно, что термофилы не свойственны объектам внешней среды, за исключением субстратов с высокой температурой. Поэтому целинные земли обычно отличаются 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.

Пусковой механизм некоторых сукцессий

Данная функция проявляется, например, в изменении биоценозов в результате засоления или заболачивания почв (Ковда, 1985; Караваева, 1982, 2004; и др.), которое вызывает стадийное преобразование почвы как среды обитания, порождающее соответствующие сукцессии. В Музее землеведения МГУ наглядно показана последовательная смена елового леса сосново-сфагновым болотным комплексом. По мере нарастания заболоченности почвы 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. М.С. Гиляров (1968) обращает внимание на то, что деятельность почвенных фитофагов может выступать как фактор, определяющий сукцессии растительного покрова. В степи в результате деятельности корневых вредителей некоторые растения погибают, а освободившееся место заселяется другими видами данной ассоциации. В результате имеет место постоянная смена мелких фитоценотических комплексов в пределах одного биогео-

ценоза, обеспечивающая общую стабильность данного фитоценоза. Кроме того, деятельность почвенных фитофагов может вызывать и сукцессии травянистых растительных ассоциаций в целом. Такие сукцессии были описаны М.Р. Якушевым (1941), который показал, как на лугах Смоленской области уничтожение дернины мягких злаков личинками *Phyllopertha norticola* L. оказалось первопричиной разрастания мохового покрова и способствовало заболачиванию участка (Добровольский, Никитин, 2006).

"Память" биогеоценоза (ландшафта)

У почвы стали выделять еще одну фундаментальную информационную функцию — функцию "памяти". Так, Д.Л. Арманд (1975) считает, что почва является памятью ландшафта.

Д.И. Берманд 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 (1975, 1978) 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 своем 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 в развитии географической среды. С помощью же почвы-момента происходит быстрое отражение сиюминутных изменений этой среды. В.О. Таргульян и И.А. Соколов (1978) обращают внимание на то, что "почвенная память" ландшафта существенно отличается от биологической ("генной памяти") биоценоза. Это прежде всего связано 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 изменений ландшафтов. Их анализ (Таргульян, Соколов, 1978) по-

казал, что различные свойства и компоненты почвы отражают факторы и процессы почвообразования с разной скоростью. Поэтому удобно пользоваться понятием "характерное время" (Арманд, Таргульян, 1974). 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; почвенного поглощающего комплекса — месяцы, годы; горизонта A_0 и солевых горизонтов — годы, десятки лет и т.д.

В.О. Таргульян и И.А. Соколов (1978) 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 равновесия 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 (Таргульян, Соколов, 1978; Память почв, 2008).

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 о ней. Наиболее ярким примером этого может служить деградация реликтовых гумусовых горизонтов в почвах юга лесной зоны, особенно в пределах Русской равнины (Никитин, 1985, 2009).

[1] В реальных условиях полный климакс почвы маловероятен (Таргульян, Соколов, 1978).

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 (1976), "можно сравнить с чтением книги, в которой на одних и 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". Сложность расшифровки информации, содержащейся в почвенном профиле, осложняется тем, что законы ее наложения, сохранения, стирания исследованы недостаточно, хотя здесь есть прогресс (Память почв, 2008).

Глава 7

ЦЕЛОСТНЫЕ ФУНКЦИИ

Трансформация вещества и энергии, находящихся или поступающих в биогеоценоз

Сущность трансформационной функции заключается в преобразовании почвообразовательным процессом исходного вещества материнских пород и продуктов, поступающих с пылью, атмосферными осадками, поверхностными и грунтовыми водами, растительными остатками. В результате этого 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 обычно содержат 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 — освобождение в ходе разложения орга-

нических остатков энергии, аккумулированной при фотосинтезе. Причем существенно то, что энергия высвобождается не только в тепловой, но и в химической форме, что, по мнению А.И. Перельмана, 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, Касимов, 1990).

Санитарная функция почв

В проявлении этой функции намечаются три основных аспекта. Первый аспект связан с участием почвенных организмов в деструкции поступающих на поверхность органических остатков.

Всем хорошо знакома великолепная картина осеннего листопада, ежегодно покрывающего землю разноцветным ковром отжившей недолгий век листвы. Если бы в лесах, полях и лугах весь образующийся из года в год растительный опад только бы накапливался и не подвергался минерализации, то поверхность Земли за короткое время оказалась бы заполненной отходами жизнедеятельности организмов и жизнь на планете в конце концов стала бы невозможной. Подвергая разрушению и минерализации поступающие в почву и на ее поверхность органические остатки, почвенные организмы (главным образом микроскопические) не только переводят в доступную для усвоения форму содержащиеся в опаде элементы и энергию, но и предохраняют ландшафты от самозагрязнения и гибели. В этом и заключается одно из важных проявлений санитарной функции почвы.

Долгое время полагали, что деструкция органических остатков осуществляется только микробами. В дальнейшем, однако, была установлена важная роль в этом процессе почвенных беспозвоночных, которые могут не только участвовать в разложении опада на поверхности почвы, но и вовлекать органические остатки в саму почву, тем самым увеличивая возможности их активного изменения. При отсутствии почвенных животных происходит ускоренное накопление на поверхности почвы мертвого опада, создаются анаэробные условия. 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 различных органических остатков. Значительна роль насекомых в разложении опада в лесах. В тропиках термиты перерабатывают всю отмирающую древесину, навозники поедают экскременты, общее количество которых достигает $^1/_4$ растительной массы, потребляемой скотом. За свою жизнь мелкие животные поедают количество пищи, в десятки раз превышающее их массу, 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 помет скота, не разложившийся из-за недостатка навозников. Их стали завозить, и после акклиматизации они начали быстро разлагать скопления навоза, что привело к 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 связанным с ней. 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 двойным путем — за счет непосредственного и косвенного их действия. Второй путь связан с активизацией деструктивной деятельности микроорганизмов благодаря определенным видам беспозвоночных. 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 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 происходит в 2 раза медленнее, липы — в 3 раза, а березы — в 1,5 раза (Карпачевский, 2003).

Другой важный аспект санитарной функции почвы связан с ее антисептическими свойствами, лимитирующими развитие в ней болезнетворных микроорганизмов (табл. 35, 36).

Таблица 35

Самоочищение почв от *Bact. Coli commune, Bact. Aërogenes*, количество клеток на 1 г почвы (*Мишустин, Перцовская*, 1954)

Время, протекающее с начала опыта, дни	Опыт с чистыми культурами		Опыт со смешанными культурами	
	Bact. coli commune	Bact. aërogenes	Bact. coli commune	Bact. aërogenes
0	9 000 000	1 300 000	1 300 000	80 000
4	2 500 000	170 000	170 000	1 300 000
11	800 000	17 000	17 000	1 300 000
25	600 000	50 000	50 000	900 000
39	600 000	50 000	50 000	900 000
43	350 000	5000	5000	600 000
57	50 000	5000	5000	350 000
78	35 000	1300	1300	350 000
92	26 000	1500	1500	13 000
106	600	500	500	8000
120	500	520	520	5000
134	130	80	80	800
148	20	20	20	500
162	13	11	11	350
176	5	6	6	170
197	0	0	0	50
218	0	0	0	80
248	0	0	0	0

Таблица 36

Длительность существования патогенных микробов в почве (*Мишустин, Перцовская*, 1954)

Возбудители болезни	Средний срок, недели	Максимальный срок, месяцы
Тифозная палочка	2—3	более 12
Дизентерийная палочка	1,5—5	около 9
Холерный вибрион	1—2	до 4
Туберкулезная палочка	около 13	до 7
Палочка		
некробациллеза	около 1,5	до 2,5
бруцеллеза	0,5—3	до 2
чумы	около 0,5	до 1
туляремии	—	до 2,5

Следует отметить, что в незагрязненных почвах содержатся лишь единичные виды микроорганизмов, которые могут вызывать заболевания у людей, животных и растений. Однако во многие почвы поступают отбросы и органические удобрения, содержащие представителей патогенной микрофлоры. Определенную опасность представляют навоз, компосты, торфо-фекальные удобрения, хозяйственные отбросы, сточные жидкости, при использовании которых должны соблюдаться определенные санитарно-гигиенические нормативы. Нарушение нормативов нередко приводит к распространению опасных инфекционных заболеваний. Например, огромный вред причиняют вспышки желудочно-кишечных заболеваний в странах, где для удобрения полей широко применяются свежие, необезвреженные фекалии. Негативные последствия возникают и при использовании сточных вод, где найдены возбудители тифа, дизентерии, туберкулеза, полиомиелита, а также патогенные анаэробы.

Механизмы распространения болезней среди людей при загрязнении почвенного покрова различны. Это возникновение инфекции при употреблении в сыром виде сельскохозяйственной продукции, распространение болезней в результате пылевой инфекции и др. Инфицированная почва является также причиной заболевания животных (бруцеллез, туберкулез и др.) и растений.

Таким образом, почвы населенных пунктов и прилегающих к ним территорий в определенные периоды представляют собой эпидемиологическую опасность в результате их загрязнения патогенной микрофлорой. Поэтому большое значение приобретают вопросы сохранности болезнетворных микроорганизмов в различных почвах. Необходимо подчеркнуть, что сама почва оказывается неблагоприятным субстратом для большинства патогенных и токсигенных микроорганизмов (см. табл. 35). Однако процесс обеззараживания осуществляется лишь при определенной продолжительности соприкосновения патогенных микроорганизмов с почвой.

Самоочищение от патогенной микрофлоры наступает при отсутствии питательного материала, антагонистического воздействия почвенных микроорганизмов, жизнедеятельности находящихся в почве бактериофагов и др. Пониженная температура, достаточная влажность, наличие органического вещества, доступного для болезнетворных микробов, сильно затрудняют обеззараживание почвы (Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

Болезнетворные микроорганизмы сохраняются в почве различное время (см. табл. 36). Самоочищение от возбудителей бруцеллеза, чумы, туляремии происходит довольно быстро. Максимальный срок существования этих микробов 1—2,5 месяца. Некоторые

микроорганизмы могут выживать в почве достаточно длительное время. Это возбудители столбняка, газовой гангрены, актиномикозов, ботулизма, некоторые фитопатогенные актиномицеты, бактерии и грибы. Особой длительностью выживания отличается возбудитель сибирской язвы, который в гумусовых горизонтах почв скотомогильников сохраняется более 30 лет.

Тип, свойства и состояние почвы играют важную роль в выживаемости патогенных микроорганизмов. Например, опыты по выявлению жизнеспособности дизентерийных бактерий в разных почвах показали существенные различия выживаемости в разных почвах. Так, для серозема максимальный срок, после которого в почве еще обнаруживались единичные клетки возбудителя, составил 15 дней, а для чернозема — 40 дней.

Самоочищение почвы от болезнетворных микроорганизмов в значительной мере определяется ее механическим составом. Опыты под Москвой (рис. 12) показали, что в песчаных почвах исчезновение кишечной палочки происходит быстрее, чем в суглинистых.

Время сохранения патогенной микрофлоры в почве также зависит от того, с каким материалом они в нее попали. Так, в опытах (см. рис. 12) почти полное освобождение почвы от кишечной палочки, внесенной с фекалиями, происходит через 5 месяцев. В случае же попадания в почву данного микроба с навозом его содержание через 5 месяцев оказывается довольно значительным. Это связано, вероятно, с тем, что в отдельных неразложившихся комочках навоза кишечная палочка может лучше сохраняться, что удлиняет срок ее жизни в почве.

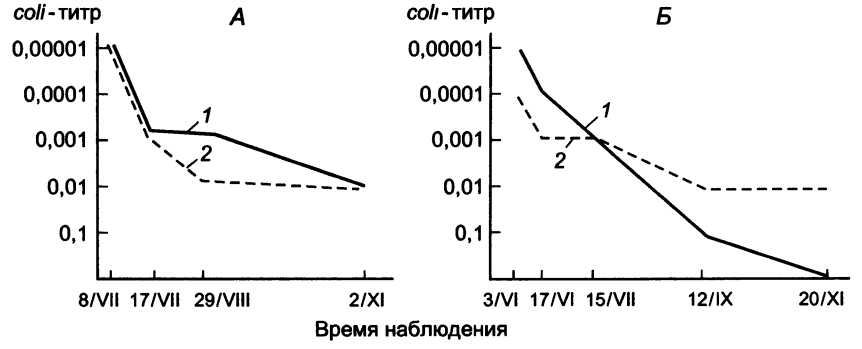


Рис. 12. **Самоочищение почвы от бактерий группы *Coli-aerogens* (*Мишустин, Перцовская*, 1954): А — оподзоленная суглинистая (Моск. обл.), Б — супесчаная слабооподзоленная: 1 — внесены фекалии, 2 — внесен навоз**

Представляет интерес также вопрос переноса патогенных микроорганизмов после их попадания в почву. Обычно даже в почвах легкого механического состава поверхностное бактериальное загрязнение локализуется на относительно небольшом расстоянии от источника поступления нечистот. Из загрязняющего почву материала бактерии проникают в основном на небольшую глубину. Необходимо, однако, учитывать, что на ровном месте загрязняется незначительное пространство, а при наличии стока — значительное. Например, стоки со скотных дворов могут загрязнять поверхность почвы на расстояние 100—150 м и более.

Различия в механическом составе почв довольно отчетливо сказываются на размерах зоны загрязнения и нормативах, определяющих безопасные расстояния от нее. Например, на суглинистых почвах относительно безопасное для колодцев расстояние от источников загрязнения (дрен) — около 20 м, а на средних песках колеблется от 40 до 200 м (Мишустин, Перцовская, 1954).

Различия отчетливо обнаруживаются и в вертикальном направлении. Так, густо населенная микроорганизмами зона в суглинистых почвах создается примерно на расстоянии около 1 м ниже дрены, в тонкозернистых песчаных — 2,4 м, в среднезернистых — 4 м (более слабое загрязнение может распространяться глубже).

Оценивая в целом распространение загрязнения в стороны от места его исходного попадания, можно отметить, что почвенный покров эффективно защищает грунтовые воды от проникновения в них бактериологических, а также химических загрязнений. Однако в ряде случаев (близкое залегание грунтовых вод, преобладание хорошо фильтрующих песчаных пород и т.д.) загрязнение может распространяться на значительные расстояния.

Существует еще одна важная форма проявления санитарной функции почв, которая заключается в разрушении почвенными микробами продуктов обмена живых организмов. Это предотвращает чрезмерное накопление в прикорневой зоне токсических веществ и обеспечивает дальнейшее их выведение из организма. Стерилизация почвенного субстрата в опытах угнетала рост растений даже при наличии полного удобрения (Никитин, 2009).

Функция защитного и буферного биогеоценотического экрана

Сформировавшиеся в ходе длительной эволюции зональные типы биогеоценозов отличаются значительной устойчивостью. Это оказывается возможным благодаря наличию в них буферных

и регуляторных механизмов обратной связи. Данная способность к гомеостатическому регулированию (Шмальгаузен, 1968; Одум, 1975; Федоров, Гильманов, 1980; Остроумов, 2010) важна, поскольку обеспечивает поддержание сложившегося функционирования биогеоценозов Земли, что является залогом благополучия биосферы. В регулировании жизни биогеоценоза (БГЦ) роль почвенного буфера несомненно велика, однако изучена недостаточно, что не позволяет дать ее общую объективную характеристику. Можно выделить лишь формы проявления буферной функции почв.

Прежде всего отметим способность почв нивелировать резкие колебания входных потоков вещества и энергии, что весьма существенно, поскольку состав, структура и функционирование БГЦ 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. Сходное действие почвы отмечается и в отношении колебаний температуры верхнего яруса БГЦ.

Существенной стороной рассматриваемой функции является 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 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 биоценозов за счет запаса почвенных семян (Карпачевский, 1981, 2003) и формирующего влияния сложившейся структуры почвенного покрова, которая помогает воссоздавать первоначальную неоднородность фитоценозов.

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 ограничен-

ным числом почвенных свойств. Современные достижения науки свидетельствуют о необходимости комплексного динамического подхода к вопросам повышения и регулирования плодородия почвы. Недоучет какого-либо фактора (табл. 37, 38) или функции может приводить к напрасной затрате удобрений, рабочего времени и техники.

Таблица 37

Снижение растительной продукции в зависимости от степени загрязнения почв (*Вальков* и др., 1996)

Степень загрязнения	Оценка степени загрязнения	Показатель снижения растительной продукции по сравнению с получаемой на таких же, но незагрязненных почвах, %
1	Практически не загрязнена	<5
2	Слабо загрязнена	6—10
3	Умеренно загрязнена	11—25
4	Сильно загрязнена	26—50
5	Очень сильно загрязнена	51—75
6	Чрезмерно загрязнена	>75

Таблица 38

Интенсивность фотосинтеза у кукурузы при различных значениях pH среды, мг CO_2 с 1 м²/г (*Авдонин*, 1982)

Возраст растений, дни	pH 4,0	pH 6,0
32	262	1150
46	820	2900
60	632	1550

Проблема почвенного плодородия является одной из фундаментальных, которой посвящены многочисленные публикации. Подробнее она будет рассмотрена в гл. 12.

Часть III

ГЛОБАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

В категорию глобальных функций почв входят функции, реализуемые почвенным покровом в его взаимодействии с литосферой, гидросферой, атмосферой, биосферой в целом, этносферой и социосферой.

Глава 8

ЛИТОСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ

Проблема литосферных функций почвы на первый взгляд может показаться неправомочной. Действительно, если влияние почвенного покрова на взаимодействующую с ним атмосферу и гидросферу 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 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 (Добровольский, Никитин, 2000; Добровольский и др., 2010).

Кратко отметим основные структурно-динамические особенности литосферы. Литосфера — сложное образование, где вещество представлено а основном в твердом состоянии. Она достигает мощности 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, мощностью 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 гранит. 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 располагается слой мощностью около 5 км, состоящий из преобразованных путем гидратации горячих глубокозалегающих ультраосновных пород — серпентинитов.

Континентальная и океаническая кора сильно различаются и по возрасту. Первая значительно старее — некоторые ее участки датируются временем около 4 млрд лет. Океаническая же кора существенно моложе — примерно 150 млн лет (Ясаманов, 2003).

Для понимания существа взаимосвязей почвы и литосферы, несомненно, первостепенное значение имеет динамика каменной оболочки. 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.

Проблема взаимодействия почвенной оболочки и литосферы не может исчерпываться только глобальным аспектом, ярким вы-

разителем которого оказываются исследования взаимосвязи континентов и океанов. Не менее важной самостоятельной стороной проблемы является всестороннее изучение экзогенных геологических процессов, их переплетений с процессами почвообразования. Здесь наиболее полно раскрывает себя механизм связи почвы и геологических систем, 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 бы она была полностью лишена защитного почвенно-растительного чехла. Прежде всего поверхность литосферы была бы подвержена мощному фронтальному эрозионному воздействию текучих вод. Даже в настоящий период, 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. 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, 1981, 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. Установлено, что литосфера Земли значительно отличается от литосфер других планет земной группы. Главная особенность заключается в 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). 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. Одна из важнейших причин этого — наличие на нашей планете развитого почвенного покрова. Материалы гл. 9 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).

Но дело не только в собственно круговороте воды, который сам по себе мог бы породить 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 главных своих 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. Особенно важно, что это преобразование носит 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 рельефов и способствующий образованию целого класса экзогенных соединений, минералов, пород и полезных ископаемых (Таргульян, 1991; Соколов, 1993; Добровольский, Никитин, 2006; и др.).

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 метрами или десятками метров, то на Земле осадочный чехол практически сплошь покрывает кристаллический фундамент земной коры, в ряде мест достигая 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 (1987), который 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. 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 полностью не осмыслено, подтверждением чему являются односторонние (без учета геосферных функций почвы) попытки объяснить причины существования у Земли тектонически активной развитой литосферы, а также полноценной атмосферы и гидросферы. В этом вопросе пока доминируют чисто геологический и геофизический подходы.

Так, активность литосферы и наличие атмосферы у Земли 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 являются решающими, но нельзя упускать из поля зрения другие существенные факторы, среди которых следует учитывать экзогенный источник энергетической подзарядки тектонических про-

цессов литосферы, действующий во многом благодаря почвообразовательному процессу. Генезис данного источника связан с формированием в процессе почвообразования—выветривания богатых энергией соединений и минералов и отдачей этой энергии в недра Земли при поступлении данных веществ в планетарные депрессии при миграции соединений с континентов в океаны. Для поддержания активности литосферы, в частности ее способности подпитывать воздушную оболочку газами, существенным 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, какая наблюдается в современной атмосфере. 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).

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 ор-

ганических кислот специфической и неспецифической природы, возникающих в процессе гумусообразования. Важно отметить, что растворяющей способностью обладают не только фульвокислоты, но и гуминовые кислоты (Пономарева, Плотникова, 1980).

Реальность активного изменения пород почвенными кислотами была доказана экспериментами, которые ставились еще в XIX в. 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 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.

Сравнительное изучение в течение шести месяцев 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 наибольшее растворяющее действие на минералы оказывали фульвокислоты (табл. 39), 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 три-четыре раза выше, чем в HCl.

Таблица 39

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

Минерал	HCl	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

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. 40). Впервые данные по этому вопросу обобщены К.Д. Глинкой (1927). Он обращает 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.

Таблица 40

Растворение минералов гуминовыми и фульвокислотами за 200 суток 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	—	—

Ряд опытов по растворяющей деятельности гуминовых кислот был поставлен К.Д. Глинкой, который использовал их щелочные растворы. Им показано заметное растворение под действием данных веществ натролита, каолинита, биотита, некоторых цеолитов. В результате проведенных экспериментов Глинка пришел к выводу, что щелочные растворы гуминовой группы представляют собой энергичный реактив. При действии их на природные алюмосили-

каты 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 оксиды.

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 воздействию на минералы они обладают не только сходством, но и различиями. Так, в условиях опыта гуминовые кислоты совершенно не поглощались порошками первичных минералов и из их растворов не осаждался Al, как это происходило 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. 40).

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? Данное противоречие В.В. Пономарева объясняет тем, что в естественных степных экосистемах гуминовые кислоты образуются из растительных остатков, богатых кальцием, 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 200 суток. 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 диссоции-

рованная соляная кислота не всегда стоит на первом месте по степени агрессивности. Лимонная кислота — быстро действующая, но и быстро расходующаяся. 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. 41). В результате совместного действия эти агенты оказываются важнейшими факторами мобилизации химических элементов, законсервированных в кристаллических решетках, которые идут на питание различных живых существ биосферы.

Таблица 41

Освобождение SiO2 из минералов под влиянием кислотно-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

Процесс микробиологической деструкции минералов материнских пород 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). Это 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% от общего углерода

сорбированных органических веществ. Однако надо учитывать, что данные кислоты в отличие от гумусовых не накапливаются в почве из-за 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 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 другие, 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 в равной мере можно отнести ко всей совокупности почвенных биохимических агентов преобразования литосферы, к которым кроме гумусовых кислот и метаболитов микроорганизмов относится такой существенный фактор, как прижизненные выделения растений (Роде, 1947; Ковда, 1973, 1985; Орлов и др., 1996; Добровольский, Никитин, 2006; и др.).

Рассмотрим главные результаты биохимического воздействия почвенных агентов выветривания на поверхностную часть лито-

сферы. Здесь необходимо назвать прежде всего перевод законсервированного в массивные глыбы и кристаллические решетки вещества литосферы в подвижное состояние. Это достигается 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, для алеврита — сотен километров. Тонкий же алеврит и глинистые частицы могут перемещаться даже 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 почвообразованием 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 около 6 м^2, то становится ощутимым колоссальное (в сотни тысяч раз) увеличение активной поверхности субстрата, имеющее место в ходе превращения монолитной исходной породы в разнородный мелкозем (Добровольский, Никитин, 1990, 2006).

При этом необходимо подчеркнуть особую роль почвенных биохимических агентов выветривания, приводящих к образованию

наиболее деятельной субколлоидальной и коллоидальной фаз, отличающихся наибольшей удельной поверхностью. Чисто 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. 42). В качестве одного из основных результатов биохимического и химического преобразования литосферы следует назвать обособление в ее поверхностной части коры выветривания, формирование которой тесно связано с почвообразовательным процессом и в значительной мере является его следствием (Добровольский, Никитин, 1990, 2006).

Таблица 42

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

Окончание табл. 42

Объект	Коэффициент концентрации	
	Fe	Mn
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

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. 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" (1960) 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.

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, неф-*

ти), то большинство из них прямо указывает на важность процессов исходного накопления органогенного материала на поверхности Земли с последующей его трансформацией в более глубоких слоях.

Наиболее очевидно участие почвообразования при формировании торфов. Исследования последних лет показали, что вклад почвообразовательных процессов в торфонакопление в действительности оказывается еще большим, чем это можно было считать до недавнего времени. 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 изменения ее свойств, при котором создаются предпосылки для накопления избыточных запасов влаги, достаточных для начала болотообразовательных процессов. Данный тип заболачивания — автохтонный — считается 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).

Богатый фактический материал, показывающий непосредственное влияние почвообразования на формирование торфов, дают исследования заболоченных почв и ландшафтов Западной Сибири (Орлов, 1975; Никитин, 1980, 1985; Добровольский и др., 1981; Караваева, 1982; Добровольский, Никитин, 1990, 2006; и др.). Показано, что торфяные горизонты часто подстилаются минеральными почвенными генетическими горизонтами с пониженной водопропускной способностью. 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 (Зайдельман, 1992, 2010), 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. Основным и существенным компонентом этих горизонтов во многих случаях является глинистая плазма (Никитин, Федоров, 1977; Никитин, 1980, 2009). 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, специальные эксперименты в полевых условиях (Никитин, 1980, 2009; Добровольский и др., 1981; Добровольский, Никитин, 1990, 2000; 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 с определенностью говорить, что почва является одним из факторов, "запускающих" процесс торфонакопления, существуют факты и суждения, дающие основание считать, что почвенный профиль, даже будучи покрытым торфяным материалом той или иной мощности, продолжает влиять на скорость роста и состав торфяных горизонтов. Это влияние происходит в нескольких направлениях и осуществляется в результате 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 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 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 зольному 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. 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).

Несмотря на неоднозначность конкретных путей заболачивания, связь его с почвообразованием в той или иной форме существует. Поэтому отсутствие специального комплексного анализа влияния не торфонакопление процессов почвообразования наряду с другими факторами тормозит развитие теории формирования болот и торфов и облегчает одностороннее их хозяйственное использование без учета всех экологических последствий освоения заболоченных ландшафтов.

В настоящее время мировые запасы торфа составляют более чем 300 млрд т. Около 95% запасов торфа сосредоточено в странах умеренного пояса Северного полушария — в России, Финляндии, Канаде, США, Швеции, Великобритании, Германии, Ирландии и др. Около 80% торфяных запасов сосредоточено в Европе и Азии, при этом более 50% приходится на Россию и ближнее зарубежье.

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 промышляют их для такой же потребы".

Взаимосвязь торфо- и угленакопления обусловлена прежде всего тем, что и торф и многие виды ископаемых углей — результат консервации растительных остатков, образовавшихся при совместном влиянии климата, растительности, геологической обстановки и, конечно, почвообразования. Почвенный фактор во многих работах, однако, не упоминается, что также 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 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 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, названная "ультраметаморфизмом" (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 (1985). 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.

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 тыс. месторождений нефти и газа во всем мире ни одно не открыто на основании прогноза, исходящего из гипотезы неорганического происхождения нефти.

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 других, основным источником нефти и газа является рассеянное органическое вещество в осадочных толщах. Именно из этого вещества в результате десорбции сорбированных 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 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, 1960; 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.) не что иное, как трансформированные органогенные горизонты былых торфяных почв. В связи с этим заслуживает поддержки высказывание 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 положения 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... Таким образом получается сплошной ряд каустобиолитов от антрацита, представляющего собой крайний член ископаемых углей, до жидкой нефти и углеводородных газов".

Рассматривая формирование исходного материала для нефти, он подчеркивал его сложную 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. На значительный же вклад почвообразования в органический материал, сносимый реками, неоднократно обращалось внимание.

Рассмотренные вопросы вклада почвообразования в формирование горючих полезных ископаемых свидетельствуют о сущест-

венном значении еще одного результата взаимодействия почвы с литосферой Земли. Становится ясным, что область влияния почвенной оболочки не исчерпывается той маломощной пленкой земной коры, в которой 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 большую часть литосферы.

Закон всеобщей связи предметов и явлений в данном случае получает еще одно убедительное подтверждение и для 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 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, 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 всесторонне решать и вопросы торфонакопления и углеобразования, которые имеют 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 ис-

ключено, 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).

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. Необходим тесный контакт 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 в качестве одного из важнейших звеньев включает 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 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 жезезняк, касситерит, гранат, алмаз и др.). В других случаях накапливаются вторичные образования (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 академик Н.М. Страхов (1960). 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 выветривания 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 (1960) 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. Одна из главных причин повышенной интенсивности докембрийского рудообразования, по Н.М. Страхову, — более высокое содержание CO_2 в атмосфере докембрия 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.

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 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). Количественные соотношения между данными типами вещества оказываются такие: общая масса автотрофного живого вещества составляет (по В.А. Успенскому) $539{,}68 \cdot 10^9$ т, гетеротрофного — $1{,}54 \cdot 10^9$ 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. Снижение интенсивности выветривания могло произойти в результате снижения 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 также связано с отмеченными изменениями биосферы и почвенной оболочки Земли. Для рудонакопления триады Al—Fe—Mn в докембрии было характерно осаждение данных металлов в морях, причем в значительной мере в их глубоководных 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).

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 докембрия джеспилитов стали формироваться неслоистые или только очень грубослоистые руды (Страхов, 1960).

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 на построении общей теории экзогенного рудонакопления.

Прямое и опосредованное участие почвообразования отмечается также и при *формировании всей осадочной оболочки*. Почвообразовательные процессы задействованы в том или ином виде в разной 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 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 живших 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).

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 их участии. Биокосные системы творят осадочные породы Земли. После захоронения жизнь в них замирает и биокосное тело превращается в косное (Лапо, 1987).

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 в качестве движущих факторов включает чисто физические силы, хемогенные, океанические, атмосферные и др. Мы вынуждены постоянно акцентировать внимание на значимости почвы и связанного с ней живого вещества для процессов литогенеза, так как длительное время (а во многих случаях и в настоящее время) глобальные функции педосферы полностью игнорировались или учитывались явно недостаточно. На это указывал В.И. Вернадский, когда давал высокую оценку работам Б.Л. Личкова по

современному 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 представляются правильными и ярко проявляются в учениях о 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.

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 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. Такая пленка развита во всех климатических поясах (Лапо, 1987). На важность данного обстоятельства, свидетельствующего о фактической пространственной непрерывности литосферообразующего действия почвообразования — выветривания — обратил внимание В.И. Вернадский (1987). 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.

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, стала получать все большую поддержку. 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.

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 сомнений. Особого внимания заслуживает обмен энергией и веществами между разными слоями литосферы. В.И. Вернадский считал, что гранитная оболочка — метаморфизованная и переплавленная, когда-то была на поверхности биосферой суши.

Н.В. Беловым и В.И. Лебедевым (1957) 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 важно, поскольку данные минералы составляют основную массу осадочных пород,

которые в областях опускания земной коры попадают в 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 механизм энергетических процессов может объяснить 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. 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 оксидов Fe_2O_3, MnO_2, SO_4^{2-}, которые в глубинах претерпевают восстановление до FeO, MnO, S^{2-}. Б.Б. Полынов указывает на важную роль почв в фиксации атмосферного азота в его глобальном круговороте, отмечая, что поступление азота в состав органических соединений происходит преимущественно в почве. Особенно важное значение имеет связывание почвенно-растительным покровом диоксида углерода с последующим погребением в осадочной оболочке.

Аккумуляция углерода в стратисфере достигает 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 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. Эта связь двусторонняя: благодаря связыванию и возврату CO_2 в недра Земли подновляется глубинный источник диоксида углерода, идущего на пополнение его содержания в атмосфере. Такое пополнение позволяет поддерживать жизнь на Земле и формировать резерв CO_2 путем накопления органического вещества и карбонатных пород. Если бы не было двустороннего процесса, то многие важнейшие процессы биосферы и сама жизнь на Земле быстро исчерпали бы 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).

Проанализировав затронутый вопрос, А.Б. Ронов (1980) сформулировал 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.

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. 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.

Эволюция и состав литосферы тесно сопряжены с теми процессами, которые развертывались в самой 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, среди которых необходимо назвать сильно различающийся временной 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 достаточно определенный: качественные изменения, вносимые человеком в жизнь и эволюцию почвенной оболочки, не могут не сказаться в отдаленном будущем на судьбе литосферы.

На самом деле, безразлично ли в перспективе для литосферы то, что почвенно-растительный покров 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?

А.Б. Роновым сделан 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 осушение болот и потери гумусового вещества пахотных почв приводят к деградации почвенного механизма связывания атмосферного диоксида углерода. 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 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. Обоснованную тревогу вызывает широкомасштабное освоение болотных почв, которые из накопителей в местах их осушения превратились 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 защиты литосферы — всевозрастающая антропогенная эрозия почв, которая за техногенный период многократно увеличилась (табл. 43).

Таблица 43

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

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

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. Произошло 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 в результате широкомасштабного освоения почвенного покрова. Известно, что одной из ярко выраженных тенденций антропогенного преобразования природы явилось сведение лесов и замена их пахотными угодьями. 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 только ли сказанным исчерпываются 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 происходит 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). Уничтожение лесов на больших площадях, приводящее к ослаблению химической 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 (Вернадский, Ковда и др.). Основную суть этого 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 времени, но и на последующую 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 предположения 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.

Глава 9

ГИДРОСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ

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, атмосферных и подземных вод и др. Хотя различные типы вод 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 понятия гидросферы (Посохов, 1985; Львович, 1986; Ясаманов, 2003; Добровольский, Никитин, 2006; Добровольский и др., 2010; и др.).

Особенности гидросферы как фактора почвообразования

Само понятие гидросферы впервые было предложено Э. Зюссом, который подразумевал под этим всю жидкую земную оболочку. В.И. Вернадский под гидросферой понимал прежде всего скопление поверхностных вод, в первую очередь океанических и морских. В то же время именно он 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 Мирового океана.

Анализируя различные трактовки гидросферы, подробно рассмотренные А.М. Алпатьевым, И.А. Федосеевым, Е.В. Посоховым и другими, 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 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 совокуп-

ность вод указанных частей наземной гидросферы (Добровольский, Никитин, 1990). Всю водную массу Земли, по-видимому, целесообразно именовать мегагидросферой, или планетарной водной оболочкой (Никитин, 2009).

Оправданность трактовки понятия водной оболочки как более широкого, чем гидросфера, отмечается В.И. Вернадским. Он постоянно использовал 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" (Вернадский, 1934).

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 однозначно не определен и трактуется разнообразно конкурирующими между собой гипотезами (Дерпгольц, 1979; Посохов, 1985; Клиге, 1995; и др.). Можно констатировать, что данные гипотезы достаточно отчетливо разбиваются на две группы: гипотезу земного происхождения вод гидросферы и гипотезы их космического 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% массы 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 (1979), в старинных хрониках описаны случаи падения чистых ледяных метеоритов, например в 1802 г. в Венгрии упала глыба массой 0,5 т. Возможность внеземного 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. Некоторые исследователи отмечают, что состав и объем вод не оставались постоянными (Алпатьев, 1969; Посохов, 1985). По-видимому существовала тенденция увеличения гидросферы. Одним из главных источни-

ков 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; Сорохтин, Ушаков, 1995; и др.).

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 (Алпатьев, 1969). По существу, именно такой взгляд на гидросферу был выработан В.И. Вернадским, однако некоторые исследователи ссылаются лишь на те высказывания, 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).

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, оставшиеся 6% объема распределяются также неравномерно: 4% приходится на подземные воды, основную часть которых составляют глубинные рассолы; 1,6% — полярные ледники, доля пресных поверхностных вод — 0,25% гидросферы, объем паров воды в гидросфере — 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 проявляется 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 океан — 53,3%, суша — 46,5% (Вернадский, 1960). Северный Ледовитый океан по сравнению с другими океанами характеризуется наименьшими площадями, объемом и глубиной, в то время как Тихий океан имеет больший объем, чем все другие океаны, вместе взятые (табл. 44).

Таблица 44

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

Океан и прилегающие моря	Площадь, 10^6 км^2	Объем, 10^6 км^2	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 восточно-европейской

к западно-сибирской тайге. Причем возрастание увлажненности идет вопреки изменению зонально-фациальных факторов, характерным моментом которых оказывается уменьшение атмосферного влагопереноса при переходе от умеренно континентального климата ЕТР к континентальному Западной Сибири. Известно, что повышенная увлажненность почвенного покрова севера Западной Сибири связана с геологическими и историческими причинами: повышенной равнинностью рельефа и высокой слоистостью пород, более медленной деградацией подземных льдов последнего оледенения и др. (Караваева, 1982; Никитин, 1985, 1997, 2009; 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 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" (Вернадский, 1960).

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 точнее их характеризуют термины "водообмен", "влагооборот". В ходе исторического развития Земли и ее гидросферы влагообороты в ней постоянно усложнялись, а их число возрастало. Среди основных типов влагооборота А.М. Алпатьев (1969) выделяет: 1) геокосмический, 2) атмосферно-океанический, 3) атмосферно-континентально-океанический, 4) атмосферно-литосферно-биологический или атмосферно-почвенно-биологический.

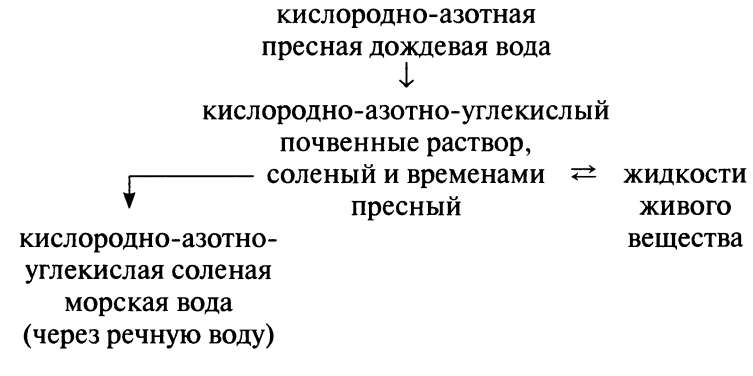
Благодаря наличию и взаимодействию различных типов влагооборота оказывается возможным структурно-динамическое единство гидросферы и ее проникновение в другие гидросферы Земли и взаимодействие с ними. В ходе этого взаимодействия особое значение приобретают разнообразие и неповторимое сочетание свойств 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; благоприятное сочетание физических и химических параметров для использования ее живыми организмами в качестве основы их 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".

Обобщенная оценка 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. Так, Е.В. Оппоков (1900) утверждал, что перед атмосферными осадками, питающими реки, все другие факторы, за исключением температуры, представляются более чем второстепенными. Однако постепенно стало выясняться существенное значение и других гидрологических факторов: почвы, литологии, рельефа, живого вещества, антропогенных влияний.

М.И. Львович (1986) полагает, что значимость почвенного гидрологического фактора впервые была показана крупным французским гидрологом Белграндом (1869), который установил зависимость паводкового стока различных притоков 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 "Истории природных вод" (1960), где он говорит об огромном значении в истории воды почвенных растворов, являющихся основным субстратом жизни. Рассматривая связи различных форм природной воды, он подчеркивает, что изучение почвенных растворов вскрывает в истории воды грандиозное явление, связывающее разные воды (морские, речные и дождевые). Ниже дана схема зависимости почвенных и других вод по В.И. Вернадскому:



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 учитывается 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, речным и подземным стоками. Ни одно явление водного баланса не минует почву. Поэтому необходимо самое пристальное внимание уделять 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 разнообразие свойств реальных почв и сильное антропогенное изменение многих из них, приводящее к значительной изменчивости гидрологических процессов, контролируемых почвой. 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 XX в. Г.Н. Высоцким, В.И. Лебедевым, А.А. Роде, И.И. Судницыным, А.Д. Ворониным 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 других, получило наиболее полное развитие в трудах М.И. Львовича, 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 возросли. 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).

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-временной динамики почв и структур почвенного покрова, поскольку эта динамика во многом будет определять качественно-количественные изменения в реальных проявлениях гидрологической роли почв.

Перейдем к рассмотрению конкретных гидросферных функций почвы (табл. 45).

Таблица 45

Глобальные функции почвы

Литосферные	Гидросферные	Атмосферные	Биоэтносферные
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	Участие в формировании речного стока	Регулирование влагооборота атмосферы	Связующее звено биологического и геологического круговоротов, планетарная мембрана
Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы	Фактор биопродуктивности водоемов за счет приносимых почвенных соединений	Источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу	Защитный барьер и условие нормального функционирования биосферы, этносферы и социосферы
Защита литосферы от чрезмерной эрозии и условие ее нормального развития	Сорбционный защищающий от загрязнения барьер акваторий	Поглощение и удержание некоторых газов от ухода в космическое пространство; регулирование газового режима атмосферы	Фактор биологической эволюции, этногенеза и эволюции общества

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 было выявлено несколько видов этой зависимости. Так, есть 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 нéчему 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, испарение увеличивается за счет образовавшихся ресурсов почвенной влаги, питание рек подземными водами возрастает.

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 малó при их крайних значениях. Полный речной сток изменяется наоборот: он снижается до минимума при средних значениях водно-физических свойств почв и возрастает при крайних 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, 1990), что первый тип зависимости наблюдается в основном при улучшении структуры почвы и одновременном

увеличении ее водопрочности, что характерно для суглинистых и глинистых почв. Второй тип зависимости может быть при увеличении размерности частиц, когда инфильтрационная способность почвы растет, а водоудерживающая падает. Такое явление отмечается у легких по механическому составу почв.

При рассмотрении влияния свойств почвы на водный баланс важное значение 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 происходит на типичных черноземах (табл. 46), поскольку они обладают наибольшей водопроницаемостью. На север и юг от зоны типичных черноземов поверхностный сток возрастает в связи с уменьшением водопроницаемости почв (Назаров, 1981). При этом различия в водопроницаемости почв исследователи, как правило, связывают с изменением их структуры и механического состава.

Таблица 46

Весенний сток на серых лесных почвах (1) и черноземах (2) (*Назаров*, 1981)

Год	Почва	Уклон, градус	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 не учитывалась.

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

Следует иметь в виду, что 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; Щербаков и др., 2000; Королёв, 2007; и др.).

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 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 от почвы зависит, какая часть атмосферных осадков поступит с водоразделов в реки в виде поверхностного 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 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 существенно изменяться. 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).

На характер стока заметно влияет 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 также существенно зависит от характера произрастающей на ней растительности. Так, структура стока в лесу и на поле очень сильно различается. В лесу он значительно меньше. Это связано прежде всего с тем, что ин-

фильтрация 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, 1992). 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 непосредственное участие в формировании водного баланса Земли. По М.И. Львовичу, основные элементы водного баланса таковы (%): 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 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 достаточно 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. Однако такое заключение неверно, поскольку подавляющая часть гипергенных продуктов, богатых связанной

водой, со временем попадает в зоны земной коры с повышенной температурой и там теряет воду, аккумулированную в процессе почвообразования и выветривания.

При дегидратации минералов (глинистых, полуторных окислов, гипса и др.) химически связанная вода в значительных количествах переходит в свободное состояние. 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 на 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, 2001). В конце XX в. отмечалось ежегодное пополнение вод Мирового океана в размере около 543 км 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 Мировой океан могло бы достигнуть 575 км и привести к еще более заметному повышению его уровня.

Сказанное свидетельствует о важности прогноза водного баланса и необходимости выявления всех основных причин, определяющих отмеченные изменения — 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, 1992).

Следует отметить, что оптимизация водного баланса оказывается одной из сложнейших проблем, поскольку положительные эффекты от каких-либо мероприятий нередко сопряжены с по-

бочными 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 России 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 России (ЕТР) 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).

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 почвенного плодородия, но и к негативным изменениям в ландшафтах, биосфере и географической оболочке.

Особое место среди приемов оптимизации водного баланса занимает сохранение естественной растительности, в первую очередь лесов, а также создание лесных полос и массивов в районах интенсивного земледелия. Этот вопрос требует первостепенного внимания, так как уничтожение лесов человеком продолжается несколько тысячелетий. Еще несколько сотен 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. 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 лишенных леса. Данное явление значительно влияет на продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Некоторые почвоведы отмечают, что в Сибири при сведении лесов в земледельческих районах происходило 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 (Назаров, 1981; Авакян и др., 1987, 1990; и др.) показывает, что влияние почвы на сток в озера и водохранилища проявляется по нескольким направлениям. От почвенного покрова прямо и опосредованно зависит общий процесс формирования стока на водосборах в каждой природной зоне. Поэтому зональные различия в озерном стоке обусловлены зональными особенностями почв и почвенного покрова. Неоднозначность же озерного стока по природным зонам весьма ощутима. В тайге ЕТР (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 ЕТР также большая часть водного баланса (около 55%) формируется в зимне-весеннее время, но внутрипочвенный и грунтовый сток мал или практически отсутствует.

Зональный характер изменения водного баланса озер и водохранилищ сильно осложнен влиянием других факторов (размер различных угодий, 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. 47).

Таблица 47

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

Озеро	Площадь, % от всего водосбора				Осадки на зеркало озера, %	Поверхностный сток, %				Внутрипочвенный сток, %		
	зеркало зера	лес	болото	пашня		лес	болото	пашня	сумма	лес	пашня	сумма
Каменское	17	55	3	24	28	16	2,5	23	41,5	23	7,5	30,5
Рогозово	14	47	12	27	23,5	21	11	16	48	21	7,5	28,5
Хвощно	2,5	89	3,5	5	6	36	5	1	42	51,5	0,5	52

Значительное воздействие на формирование приходной части водного баланса озер оказывает конкретный характер землепользования. Так, при изучении водного баланса водохранилища Борщень Курской области установлено, что бóльшую 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 два 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; с озимых — 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 вод постоянно или временно располагается в пределах почвенного профиля, то их можно выделить в отдельную категорию почвенно-грунтовых вод. В данной работе они рассматриваются совместно.

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 состава воды, взаимодействующей в дальнейшем с почвой. При этом в обоих случаях химический состав воды полностью зависит от характера почвы. Если вода фильтруется через бедные солями торфянисто-тундровые почвы, то она обогащается большим количеством органических веществ и лишь в очень малом — солями. Близкая к этому картина у подзолистых и супесчаных почв. 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 значительно, а влияние на состав воды различно.

Большая часть пород, образованных сложными силикатами и алюмосиликатами, почти нерастворима в воде, и только при длительном воздействии воды часть соединений из них переходит в раствор: $CaCO_3$, $MgCO_3$, $NaHCO_3$, $KHCO_3$. Значительно интенсивнее обогащают воду осадочные породы, причем известняки, доломиты, мергели, гипс, каменная соль обогащают природные воды ионами.

В работах, посвященных изучению процессов формирования химического состава грунтовых вод и влиянию на него почвы, сделаны обобщения по рассматриваемым вопросам. Так, отмечается, что при взаимодействии подзолистых почв с атмосферными осадками, имеющими кислую реакцию, происходит 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, дополнительное обогащение щелочных осадков химическими соединениями почв наблюдается 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 зависит как от первоначального состава самих осадков, так и от конкретных свойств и состава почв. Поэтому большое значение имеет детальный учет пространственно-временной динамики данных объектов. Это особенно важно в связи с возросшей изменчивостью природных компонентов из-за высоких антропогенных нагрузок на биосферу (Ковда, 1985). Данное обстоятельство приво-

дит к тому, что за относительно короткие сроки могут претерпевать сильное изменение состав атмосферных осадков и свойства почвы, что неминуемо должно сказаться на химизме грунтовых вод.

Установлено, что в воздушный океан планеты 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, 1985, 1990).

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; Добровольский, Никитин, 2006; и др.).

Необходимо отметить, что общая динамика грунтовых вод 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 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 существует *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 отметить, что генезис подземных вод зависит не только от почвы, но и от других факторов: климатических условий, рельефа, подстилающих пород, растительности и др. Однако вклад почвенного звена в рассматриваемый процесс особенно ощутим. Причем влияние почв на химический состав природных вод оказывается весьма сложным и многогранным. Это прежде всего связано 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 поверхности организмов.

При разработке проблемы закономерностей формирования состава грунтовых вод важно установить особенности удаления из почвы ионов при инфильтрации через нее атмосферных осадков. О.А. Алехиным и Л.В. Бражниковым (1964) 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 соли 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^+.

Вопросы миграции ионов в засоленных почвах всесторонне рассмотрены в фундаментальных трудах В.А. Ковды, которым по-

казано и геохимическое значение этой миграции, а также ее нарушения при антропогенном изменении аридных земель.

Различные аспекты геохимии природных вод, в том числе грунтовых, рассмотрены А.И. Перельманом (1982), Е.В. Посоховым (1985), Дж. Дривером (1985) и др. 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.

Необходимо 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 (1985) отмечает 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. В связи с широким хозяйственным освоением почвенного покрова отмечается 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 *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 случаях изменения 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 обогащение грунтовых вод изотопом $^{18}O_2$ при прохождении атмосферных осадков через почву, что 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).

Следует особо подчеркнуть, что формирование изотопного состава подземных вод, идущее в естественных условиях, значительно отличается от аналогичных процессов, протекающих на территориях с антропогенным загрязнением почвенного покрова. Поэтому расшифровка генезиса подземных вод районов интенсивного хозяйственного освоения по их изотопному 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 (Никитин, 1982, 1990; Добровольский, Никитин, 1990, 2000, 2006).

В результате привноса почвенных соединений водоемы получают большие количества биофильных макро- и микроэлементов, а также гумуса. Так, В.В. Пономарева (1964) указывает, что только воды 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 примерно равно 63% общего годового поступления в океан (табл. 48).

Таблица 48

Внешний годовой круговорот суммы ионов основного солевого состава вод Мирового океана (10^9 т) (по *В.Н. Иваненкову* и *О.К. Бордовскому*)

Составляющие круговорота	Поступление	Удаление
Ионный сток		
речной		
пресных подземных вод	3,1	—
при таянии антарктических и арктических	1,2	—
льдов материкового происхождения	0,003	—
Поступление солей при:		
растворении взвесей речного стока		
растворении частиц пыли из атмосферы	0,2	—
растворении донных осадков	0,05	—
десорбционных и диффузионных процессах	0,2	—
растворении вулканических и поствулканических продуктов	0,1	—
	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

Соединения, поступившие с континентов в конечные водоемы стока, активно вовлекаются в продукционный процесс водных экосистем и в биохимические циклы. По 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 об-

разом 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).

Говоря о важном значении соединений, поступающих с водоразделов, в формировании биологической продукции водоемов, необходимо отметить следующее. В условиях слабо измененных человеческой деятельностью регионов большая 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.

Современные почвы регионов интенсивного антропогенного воздействия 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. Глав-

ная причина этого — загрязнение водоемов (табл. 49, 50) вследствие техногенного и сельскохозяйственного загрязнения почв.

Таблица 49

Соотношения мировых природных и антропогенных потоков фосфора (млн т Р в 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 50

Планетарная оценка потерь фосфора и азота (млн т в 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

Среди наиболее негативных последствий данного процесса — 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; Кеспеу, 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) происходит 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 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; Добровольский, Никитин, 2006).

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 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; Перельман, Касимов, 2000).

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 (1985), в большинстве 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 большая 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 заметил Э. Деви, фосфор слишком драгоценен, чтобы отдавать его на "съедение" синезеленым водорослям.

Выброс во внешнюю среду отходов и нерациональное использование возрастающего количества агрохимикатов чреваты не только отравлением речной воды и водоемов. Почвы, загрязненные вредными соединениями и элементами, становятся непригодными. Так, в связи с загрязнением рек часто страдают очень плодородные пойменные земли. 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 длительное время.

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, существуют загрязнители, которые практически не сорбируются мелкоземом, например нитраты. Недостаточно эффективно срабатывает почвенный защитный барьер от загрязнений в зонах постоянной интенсивной химической нагрузки на ландшафт. Это прежде всего относится к районам широкого использования минеральных удобрений. Здесь 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 таких 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 чем необходимо установление уровня защищенности подземных вод от загрязнения. Степень защищенности подземных вод определяется действием ряда факторов (Роговская, 1976; Основы гидрогеологии..., 1983), среди которых выделяются: 1) почва и нижележащие горизонты зоны аэрации; 2) первый от поверхности региональный водоупор; 3) гидродинамическая 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 (1983) выделено несколько категорий защищенности: защищенные, условно защищенные и незащищенные (табл. 51).

Таблица 51

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

Данные таблицы 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, значительное место среди них занимают существовавший длительное время недоучет гидрологических функций почв и их изменений человеком. В последние годы особую актуальность приобрели именно вопросы антропогенных воздействий на гидросферу, возникающие при хозяйственном освоении почвенного покрова. Среди них большой интерес представляет влияние антропогенных трансформаций почв на изменение водообмена различных уровней (Зайдельман, 2009).

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 — это обусловлено изменением общей гидрологической обстановки, вызванной хозяйственным освоением земель (замена лесов на травянистые ценозы, орошение, осушение и др.).

Необходимо подчеркнуть, что проблема влияния освоения почв человеком на влагообороты в природе решается противоречиво. В ней существуют локальные, региональные и глобальные аспекты, находящиеся в сложном взаимоотношении. 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).

В последние десятилетия много внимания уделяется 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, 2000; Львович, 1986), поскольку главный потребитель воды (более 2/3) — сельское хозяйство, что связано в основном с развитием орошения. В конце XX века в мире орошалось 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 с 1894 по 1975 г. сокращались со средней скоростью около 316 км^2 в год. Одновременно на такую же величину увеличивался объем Мирового океана, благодаря чему за указанный срок он пополнился на 56 253 км^3 воды, или на $4{,}3 \cdot 10^{-3}$% 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. До сих пор из-за несовершенства оросительных систем значительная, а может и большая, часть поливной воды тратится на инфильтрацию. В то же время при реализации прогрессивных способов полива и строительстве современных гидротехнических сооружений удается су-

щественно 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 т.д.). В результате антропогенные поступления в водоемы биофильных элементов резко возросли (см. табл. 49, 50); для фосфора в XX в. они возросли на порядок. В начале XIX в. антропогенные поступления фосфора составляли около 20% его общего потока в гидросфере, в 40-х годах — 27%, в 60-х природный и антропогенный потоки фосфора сравнялись, а с 80-х годов антропогенный поток заметно "вышел вперед". Одновременно падала и степень замкнутости антропогенного круговорота фосфора в экосистемах: 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. — в несколько раз меньше, только 3,6 млн т). И.С. Коплан-Дикс с соавторами (1985) 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.

Аналогичная картина во многом 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. 52).

Таблица 52

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-регионально-ландшафтная неоднородность распределения ресурсов пресных вод	Планирование развития сельского хозяйства, промышленности и поселений с учетом пространственно-временной 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

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. Рекомендации подобного рода 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 рассматривать как перспективное широкое использование сточных вод в земледелии 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 говорят ведущие гидрологи. Так, М.И. Львович (1986) считает, что 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.

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 справедливо считается, что ориентирование на прекращение сброса сточных вод, в том числе и обработанных современными недостаточно совершенными способами биологической очистки, является главным в охране вод в условиях будущего. 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 содер-

жания 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 два раза, меди в три раза, цинка более чем в четыре 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 десятилетия данная проблема приобрела особую остроту и стала многими восприниматься с должной объективностью. Известные гигиенисты Г.И. Сидоренко и Е.А. Можаев (1987) 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.

Особого внимания заслуживает признание зависимости качества практически всех вод гидросферы от санитарного состояния почвы. Загрязнение почвы в результате действия различных загрязнителей (выброс 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 надежда использовать почву еще шире в качестве естественной фабрики по переработке антропогенных выбросов и отходов, а также в качестве планетарной свалки лишены объективных оснований, так как 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 реше-

ния проблемы загрязнения среды заключается в постепенном переходе к безотходной, малоотходной и энергосберегающей технологии. Развитие производств с безотходной технологией, при которой вредные выбросы 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; Никитин, 2009, 2010).

Стратегическое значение малоотходной и безотходной технологии для защиты гидросферы от загрязнения подчеркивают сами гидрологи. По мнению М.И. Львовича (1986), охрана водных ресурсов должна исходить из профилактических принципов; в промышленности она должна быть нацелена на бессточную (лишенную водоотведения) и безотходную технологию. 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. 52).

Единовременный объем русловых вод, наиболее доступных для потребления, составляет 1200 км; благодаря круговороту ежегодно их воспроизводится примерно 40 тыс. км, что в 33 раза больше русловой воды мира. Годовой расход воды в мире на нужды населения, промышленности, теплоэлектроэнергетики, животноводства уже с 1980 г. превысил 900 км^3. Одновременно расход воды на орошение составил 2810 км^3 в год. Таким образом, с 80-х годов годовой объем воды, используемой 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 вод, 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.

В этой связи особую остроту приобретает проблема разработки и реализации приемов и технологий экономного использования воды в сельскохозяйственной, промышленной, бытовой сферах и др. 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 полива тысячелетней давности, приводящие к тому, что до 50% забираемой воды тратится впустую на вертикальный и боковой оттоки, а также испарение. При этом происходит деградация непосредственно орошаемых почв и вторичное засоление прилегающих земель.

На серьезность проблем нерационального использования водных ресурсов обращают внимание многие ученые. Так, Е.Б. Величко и Б.Б. Шумаков (1987) 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 для интересов рисосеяния пожертвовали интересами ряда других отраслей, не менее важных. Пришлось пойти 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 некогда равновесная система биосферы зоны рисосеяния и ее окрестностей была доведена до грани экологического неблагополучия.

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. К примеру, 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 выде-

ление в ней нескольких уровней: 1) собственно технологического; 2) эколого-экономического; 3) 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. 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. Необходимо одновременно решение и организационно-правовых вопросов рационального водопользования, предусматривающего систему оплаты по конечным результатам, юридическую ответственность за грубые нарушения предусмотренных нормативов и др.

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

Различная обеспеченность водными ресурсами наиболее крупных частей суши континентов выражена достаточно отчетливо (табл. 53). Самая богатая водными ресурсами на единицу площади (по слою тока) — территория Южной Америки. Полный и подземный сток здесь в два раза больше, чем в Европе, занимающей второе место по водообеспеченности; далее Азия, Северная Америка, Африка и Австралия. По общему объему полного и подземного стока, зависящего от площади, распределение континентов следующее: первое место занимает Азия, далее Южная Америка, Северная Америка, Африка, Европа и Австралия с Океанией.

Таблица 53

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	47

Окончание табл. 53

Элементы водного баланса, мм	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия	СССР
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

Неоднородность распределения водных ресурсов отчетливо проявляется по отдельным странам и регионам. Это в полной мере относится и к СНГ, где на огромной территории водные ресурсы распределены крайне неравномерно и в ряде случаев невыгодно для ведения хозяйства. Известно, что около $^2/_3$ речного стока приходится на северные районы, а население и хозяйства сосредоточены прежде всего в центральных и южных районах: 80% хозяйств сосредоточено в районах, где имеется менее 20% ресурсов пресных вод. Это создает трудности, обусловленные относительной маловодностью густонаселенных районов, развитых в экономическом отношении.

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 ЕТР путем переброски части стока северных рек на юг. Проект переброски при более тщательном экологическом его анализе оказывался сопряженным с огромными негативными последствиями в случае его реализации. Среди них: 1) подтопление, затопление и изъятие из землепользования больших площадей ландшафтов и почв, в том числе высокоплодородных пойменных земель; 2) уменьшение водообеспеченности районов, изъятие части стока; 3) снижение биологической продуктивности прибрежных районов Северного Ледовитого океана и увеличение его ледовитости в связи со снижением притока теплых речных вод; 4) ухудшение климатических условий, изъятие речного стока и глобальное осложнение климатической обстановки в связи с нарастанием общей ледовитости Северного Ледовитого океана; 5) разрушение определенной части

памятников культуры и изменение природных условий на части особо охраняемых территорий и др. Следует добавить огромные затраты, которые необходимы для осуществления самого проекта. Ясно, что его реализация на фоне нерационального использования имеющихся водных ресурсов в южных районах переброски оказалась бы необоснованной. Поэтому отказ от такого проекта специальным постановлением был весьма своевременным.

Проект переброски части стока обнажил серьезные проблемы 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, 1985; Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000, 2006).

Доминировавшее отношение к почве как объекту сельскохозяйственного труда, несомненно, облегчало оправдание намечавшегося изъятия значительной части северных почв из естественного продукционного процесса, поскольку при этом предполагалось усиление производительности агробиогеоценозов 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 положительные эффекты в природных процессах от крупного перераспределения водных ресурсов между регионами.

Так, в числе доводов о целесообразности переброски части стока западно-сибирских рек с севера на юг выдвигалось утверждение, что это приведет к снижению заболоченности севера Западной Сибири. Болота и болотные почвы, как правило, рассматривались как природные феномены с общей негативной или малоценной экологической значимостью. Функциональный подход, однако,

не позволяет согласиться с таким утверждением. Болота и болотные почвы выполняют многие положительные экологические функции. Так, они оказываются одним из регуляторов содержания диоксида 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 оболочке. Следовательно, процессы широкомасштабного разболачивания и деградации болотных почв могут привести к дополнительному возрастанию CO_2 в атмосфере, что нежелательно (Добровольский, Никитин, 1986, 2000, 2006; Горшков, 1987; и др.).

При оценке других экологических потерь в связи с изъятием и деградацией почв при подтоплении, затоплении или осушении почв не менее важно 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 России можно встретить до 100 разных видов почвенных обитателей. Это объясняется запоздалым развитием почвенной экологии, следствием чего явился недоучет значимости почвообитающих организмов в функционировании экосистем и биосферы в целом, хотя определенный прогресс в данной области имеется (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.

Несмотря на то что водообеспеченность различных регионов явно неравноценна и естественное региональное распределение воды в ряде случаев невыгодно для ведения хозяйства, нельзя односторонне решать проблемы оптимизации водопользования. Любые сколько-нибудь значительные региональные перераспределения водных ресурсов наряду с ожидаемыми выгодами несут, 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, все более широкое распространение должно получить планирование развития сельского хозяйства, промышленности

и поселений с учетом пространственно-временной неоднородности распределения водных ресурсов.

В этой связи 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 многими гидрологами и мелиораторами. Признается необходимость более широкого применения в ирригации механизированных методов полива, позволяющих одновременно повышать производительность труда и значительно сокращать количество расходуемой воды. Например, капельное орошение позволяет в три-четыре раза тратить меньше воды, чем при ручном орошении. Все большее распространение должно получать внутрипочвенное орошение. Перспективным и экологически более обоснованным рассматривается увеличение доли подземных водохранилищ, которые по общему объему могут достигнуть масштаба поверхностных (Львович, 1986).

При разработке направлений и систем рационального использования гидросферы также приходится принимать во внимание уменьшение запасов пресных вод на душу населения. В настоящее время население различных стран и регионов обеспечено водными ресурсами неравномерно.

Даже для больших территорий обеспеченность водой на душу населения в конце XX в. колебалась в больших пределах: от 4,76 тыс. м^3 в год в Европе до 44,3 тыс. м^3 в год в Южной Америке и до 94 тыс. м^3 в год в Австралии и Океании в расчете на полный речной сток.

Обеспеченность водными ресурсами отдельных стран изменяется еще в больших пределах, чем водообеспеченность населения. 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

в 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. За последнее столетие отмечается постоянное снижение годовой обеспеченности населения мира ресурсами пресных вод. В связи с ростом населения обеспеченность его водными ресурсами с 1850 г. уменьшилась более чем в два раза. В течение каждого из трех последних десятилетий снижение обеспеченности водой населения мира происходило в три 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, 1995; Авакян и др., 1987; Романова и др., 1993). Однако, как уже подчеркивалось, создание поверхностных водохранилищ чревато многими экологическими потерями. Поэтому приоритет должны получать подземные водохранилища. Их главные преимущества заключаются в том, что они не требуют изъятия значительных территорий из сферы активного функционирования биосферы и землепользования; вода из них почти не испаряется 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. У современных подземных водохранилищ есть предшественники: 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).

Меры по предотвращению дальнейшего уменьшения обеспеченности населения водными ресурсами недостаточны. Они должны сочетаться с постоянным усилением водосберегающих мероприятий и улучшением технологий повторного использования воды и очистки сточных вод, позволяющих не только снизить об-

щее потребление воды, но, что не менее существенно, предотвратить дальнейшее падение качества природных пресных вод. По данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время питьевой водой соответствующего качества не обеспечены 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 к загрязнению почвенно-наземной, подземной и океанической гидросферы.

Эпоха научно-технической революции наряду с крупнейшими достижениями человечества породила ряд сложнейших глобальных проблем, среди которых загрязнение гидросферы, почвенной оболочки и других геосфер Земли оказалось особенно тревожным. К концу XX в. 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.

Необходимость международного решения многих проблем охраны гидросферы диктуется в первую очередь тем, что речной сток не подчиняется государственным границам, загрязнения, выброшенные в природную среду в одной стране, с транзитными водами легко попадают на территорию другой. 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; Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

В настоящее время изменилось мнение о безопасном применении нитратов в качестве минеральных удобрений. 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 ребенка — всего 10—20 мг. Учитывая это, предлагается приготовлять для новорожденных фасованную стерильную питьевую воду, содержащую ограниченные концентрации нитратов и заодно и натрия (Сидоренко, Можаев, 1987).

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

Дело осложняется также и тем, что загрязнение и деградация гидросферы и окружающей среды в целом должны блокироваться не только на основе традиционных методов, более доступных и тем не менее осуществляемых далеко не в полном объеме. Жизнь требует разработки принципиально новых подходов (Гирусов, 1976, 1995; Добровольский, Никитин, 1986, 2010; Гиренок, 1987; и др.). Так, М.И. Львович (1986) считает, что охрана гидросферы на основе соблюдения ПДК загрязняющих ее веществ 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. Некоторые гидрологи 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 отчетливо просматриваются. Мощными механизмами 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, 1990).

В качестве существенной ресурсной особенности гидросферы, проявляющейся в связи с увеличением антропогенного поступле-

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

Глава 10

ВЛИЯНИЕ ПОЧВ 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 было показано В.И. Вернадским (1926, 1987).

Тесная зависимость состава и динамики атмосферы от почвы диктуется в первую очередь их взаимопроникновением через газообразную фазу почвы. Поэтому не случайно ряд исследователей выделяют подземную атмосферу как продолжение 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 (Добровольский и др., 2010).

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 которой в разное время года и на разных широтах неодинакова: на полюсах — около 8—10, в умеренных широтах — 9—12, 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 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 0,5° и у верхней ее границы в умеренных широтах составляет 50—60°. В лежащей выше стратосфере, отделенной от тропосферы тропопаузой (мощность 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 про-

странства 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 воздушную оболочку. Это же воздействие, как будет показано ниже, важно и нуждается в специальном исследовании, связанном с глубоким, нарастающим антропогенным изменением почвенного покрова, в ходе которого подвергаются существенной трансформации и его атмосферные функции. Вопросы изучения связи почв и атмосферы рассматривал В.И. Вернадский. В 1944 г. им была опубликована статья программного характера "О значении почвенной атмосферы и ее биогенной структуры". Для понимания постановки проблемы взаимодействия почвы и атмосферы рассмотрим некоторые ее положения. В первую очередь обращает на себя внимание общая направленность статьи. Ее название свидетельствует о том, что проблема атмосферных функций почвы как важная самостоятельная задача фиксировалась уже в первой половине XX в. К сожалению, в дальнейшем данная проблема разрабатывалась крайне медленно. Первая работа в отечественной литературе появилась лишь спустя более 40 лет — "Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха" (1985). Отдельные публикации на данную тему были и раньше, но они носили узкоспециальный или обзорный характер.

Интересна подборка фактического материала, использованного В.И. Вернадским. Он взаимосвязанно рассматривает два важнейших эмпирических обобщения. В первом "Жизнь геологически вечна" (1944) обосновывается этот вывод ссылками на специальные работы крупных американских геологов Ч. Шухерта и К. Дёнбара, показавших, что нигде на Земле нет геологических слоев, которые бы образовались в среде, лишенной жизни. Второе эмпирическое обобщение, вытекающее из работ 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 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).

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. 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 данном учебнике, 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" (Вернадский, 1944).

К сожалению, слишком долго доминировало 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 еще далеко. К тому же нарастающее изменение атмосферы человеком выдвинуло ряд новых серьезных задач для ее всестороннего изучения.

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. Первое 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 впечатляющи, 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 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. В настоящее время признается, что практически вся геологическая история тесно переплетена с историей жизни на Земле и что даже в самых древних породах (возрастом 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 в геологическом времени. Отсюда вытекает 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.

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 генетические горизонты. Первичное же примитивное почвообразование наблюдается уже при появлении низшей растительности и микроорганизмов (Полынов, 1956; Сушкина, Цюрупа, 1973; Ковда, 1985; и др.). Продукт такого почвообразования (примитивные почвы, или микропочвы) существенно отличается от полнопрофильных почв, но тем не менее имеет почвенную природу. К сказанному можно добавить, что, по-видимому, имеет смысл шире использовать понятия "субпедогенное" и "педогенное" тело — близкое к почве образование, или почва в широком понимании, включающая в себя собственно почвы (классические докучаевские), примитивные наземные (микропочвы и полупочвы) 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 достаточно корректно (Никитин, 1980).

При решении вопроса о границах какого-либо природного образования за таковые можно принять границы структурных компонентов или формирующих его процессов. 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, на наш взгляд, лучше определять нижнюю границу почвы по пространственной локализации процессов, непосредственно ее образующих. 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, за которую обычно 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 некоторых растений. Например, невозможно объективно провести нижнюю границу почвы по глубине распространения корневых систем на пахотных землях или в подзолистых разновидностях, развивающихся в ельниках мерт-

вопокровных. 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 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 в суглинках 4 м, 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.

При рассмотрении конкретных видов влияния почвы на формирование состава атмосферы отметим, что существуют два относительно самостоятельных аспекта: воздействие почвы на атмосферу в течение истории ее развития и современное влияние почвы на воздушную оболочку.

В настоящее время исследователи полагают, что в истории атмосферы выделяются три этапа (Будыко и др., 1985). Первый 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 в результате дегазации верхней мантии и земной коры. Она состояла в основном из углекислого газа и паров воды, а также небольшого количества азота и водорода (Walker, 1977). Второй этап 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. Одно из них — незначительное изменение состава атмосферы 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 датируется силуром, когда происходило массовое заселение суши сосудистыми растениями. Однако, как уже говорилось, 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 причины 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, 1985). Такое заключение подтверждается фактами 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 кислорода. 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 возрастом 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 определен появлением и широким распространением автотрофных организмов.

Факты присутствия микроорганизмов в древнейших геологических слоях позволили говорить об их крупнейшем вкладе в биологизацию Земли и качественном изменении атмосферы (Заварзин, 1984; Будыко и др., 1985; и др.). Однако в этих высказываниях прослеживается 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 микроорганизмы оказывались уже, как правило, компонентом почв или педосистем (Никитин, 1980), 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 особую роль начинает играть сложная системная организация почвы (Добровольский, 1986; Добровольский, Никитин, 1986, 2006), являясь компонентом которой, микроорганизмы приобретают качественно новые геохимические возможности (Глазовская, Добровольская, 1984).

Рассмотрим основные причины усиления деятельности микроорганизмов в случае сформировавшихся почв. Почва прежде всего обеспечивает принципиально большее содержание микроорганизмов в единице объема поверхностных горизонтов зоны гипергенеза. Достигается это благодаря резкому возрастанию 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 существованию микроорганизмов почвы в основном в состоянии адсорбции на многочисленных активных поверхностях мелкозема. Благодаря этому микробы 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 большую 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. Комплекс почвенных микроорганизмов отличается по двум важнейшим показателям: по 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, 2003).

Кроме указанных причин принципиального усиления геохимической работы почвенных микроорганизмов по преобразованию состава атмосферы необходимо также указать на исключительное значение того, что почва оказывается влагопроводящим и воздухоносным телом, как правило, с быстрым отведением водорастворимых метаболитов и высокой скоростью газообмена с нижними слоями тропосферы. Благодаря последнему изменения, возникшие от воздействия микроорганизмов на газообразную фазу 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.

Таким образом, говоря об общем значении микроорганизмов в биологизации приповерхностных геосфер Земли и изменении состава ее атмосферы, необходимо 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, как у наиболее древних геологических отложений, испытавших воздействие живого вещества. Поэтому, рассматривая факторы трансформации атмосферы в древний, дофанерозойский этап ее развития, надо 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 отметить, что большинство исследователей видят наиболее существенный результат трансформации древней атмосферы в ее переходе из бескислород-

ного режима в кислородный. Данный процесс перехода 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 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. 54).

Таблица 54

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

Резервуар	Соотношение элементов (по СКОПЕ-14)				Резервуар $n \cdot 10^{15}$ 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	130	1	$1 \cdot 10^7$ (за 10^8 лет)
Ископаемое топливо	9300	36	—	1	6000
Растворимая органика океана	—	—	—	—	1000

Кроме того, в процессе минерализации отмирающей биомассы происходит связывание углерода в продуктах гумификации. Следует также учитывать и то, что в функционирующей почве постоянно продуцируется значительное количество углеродсодержащих ме-

таболитов 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 значительное количество углекислого газа включается в гидросферу через почвенное гидрологическое звено благодаря выносу в океан с поверхностными и почвенно-грунтовыми водами растворенного в них CO_2 и участию 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 необходимым.

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 публикаций (Ронов, 1980; Будыко и др., 1985; и др.).

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

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

Необходимо, однако, отметить, что около половины (46%) общего объема осадочных пород континентов сосредоточено в тол-

щах 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% ее общей массы. Относительно распределения углерода в осадочной оболочке А.Б. Роновым опубликованы следующие данные: доминирует карбонатный углерод, общая масса которого $860 \cdot 10^{20}$ г; больше всего его содержится в осадочных породах континентов — $563 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 66% его общей массы; в осадках шельфа и материкового склона находится $224 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 26%; меньше всего углерода содержат осадки пелагиали океана — $73 \cdot 10^{20}$ г $C_{карб}$, или 8% его общих 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 $C_{карб}$, 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 $C_{карб}$, 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, т.е. последние 1,6 млрд лет (Ронов, 1980). Поступление кислорода 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 (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, следует из других работ по эволюции состава воздушной оболочки. Так, Г.А. Заварзин (1984) подчеркивает, что кислородная атмосфера была сформирована до появления высшей наземной растительности. Причем, согласно некоторым расчетам, еще 3 млрд лет назад содержание освободившегося кислорода составляло 80% от современного уровня. Основными продуцентами кислорода в древние эпохи Г.А. Заварзин считает цианобактерии (синезеленые водоросли). Он обращает внимание на то, что цианобактерии могли занимать не только водные, но и наземные пространства, 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. В вопросе накопления кислорода в атмосфере Г.А. Заварзин 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.

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 — 3,5—4 млрд лет назад. 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 связана 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 воздей-

ствие древних микроорганизмов на атмосферу. Новый этап в изменении атмосферы наступил в фанерозое после развития континентальной биосферы — появления в ней сложноорганизованных биоценозов и почв. Но этот новый этап при всей его важности не должен затмевать 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 важно для правильного понимания не только прошлого, но и будущего ее развития (Добровольский, Никитин, 2000, 2006; Никитин, 2009, 2010).

В данном разделе 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 тесной связью процессов функционирования и газового метаболизма почвенно-биологических систем с жизнью биосферы и ее воздушной оболочки, что особо отмечал В.И. Вернадский (1926): "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_3, NH_3... Это не может быть случайностью".

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-временного 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 (табл. 55). Экспериментальные наблюдения позволили показать, что почва выступает как мощный регулятор газового состава атмосферы (Звягинцев, 1987).

Таблица 55

Эмиссия предельных углеводородов почвенным покровом планеты в атмосферу (*Минько*, 1998)

Почва	Площадь, тыс. км² (% от общей площади почвенного покрова)	Поток углеводородов за ПБА, 10^{12} г		
		CH_4	C_2H_6	C_3H
Тундровая зона	6866,0 (5,2)	3—6	1—3	0,2—0,4
Глеемерзлотные, болотномерзлотные, мерзлотно-таежные; кислые и слабокислые бореального, умеренного холодного климата; болотные и глее-таежные бореального климата	21 596,0 (16,4)	57—169	9—37	2—13
Нейтральные и слабощелочные суббореального теплоумеренного климата равнинных и горных территорий мира	6607,7 (5,0)	22—31	11—20	4—7
Тропические и субтропические леса	25 000,0 (19,0)	–5	~0	~0
Саванные	23 000,0 (17,4)	–10	~0	~0
Возделываемые под культутуру риса	1400,0 (1,1)	31—55	27—47	3—4
Непродуктивные и малопродуктивные земли: арктические и песчаные пустыни, земли населенных пунктов, промышленности, транспорта и нарушенные человеком	25 000,0 (18,2)	~0	~0	~0
Сумма	108 489,7 (82,3)	98—246	48—107	9,2—24,4

Значительное воздействие на состав атмосферы во многом обусловлено особыми свойствами почвы, определяющими ее влияние на воздушную оболочку. Среди этих свойств прежде всего следует 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 происходит 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 газообмен зависит 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 потребляется кислорода 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 бы 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 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 очень 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, 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 ве-

щества почв в целом (Звягинцев, 1987; Алиев, 1988; Добровольский, Никитин, 1990, 2006; и др.).

Значимость влияния почвы на динамику состава приземного слоя 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 — 3,5—30, бурые и серые лесные широколиственных лесов — 20—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 снивелированы. Это, однако, не должно приводить к общему выводу о несущественности пространственно-временной 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, 1980, 2000, 2009).

Положение об аэробиоценозе заставляет по-новому рассмотреть роль взаимодействия наземных организмов с атмосферой и значение почвы в изменении газового состава атмосферы. Прежде всего большой экологический смысл приобретает 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. Это связано 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 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% (Зборищух, 1985). Таким образом, кислородный режим почв, тесно зависящий 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%. Эколо-

гическое значение этого газа двойственно. Его положительная 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 10^{-9}—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 микроорганизмов, трансформацией удобрений и гербицидов и их поступлением в почвы с продуктами антропогенного загрязнения атмоферы (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 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 (Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

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 последние десятилетия 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, т.е. в два раза, требует увеличения суммарных затрат в 10 раз (про-

изводство, хранение, транспортировка, внесение удобрений и др.). Главная часть затрат связана с 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, 2000).

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. 56). Была выявлена активная азотфиксация в ризосфере и филлосфере небобовых растений, получившая название "ассоциативная азотфиксация". Ассоциативная азотфиксация осуществляется разными бактериями при развитии в ризосфере и филлосфере всех растений во всех природных зонах, в силу чего имеет большую экологическую значимость (Умаров, 1986, 2003).

Таблица 56

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

Источники 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

Окончание табл. 56

Источники поступления и потерь	Delwiche, 1970	Дельвич, 1972	Skinner, 1976
Ювениальные поступления	0,002	—	—
Речной сток	—	0,030	—
Общее поступление	0,0918	0,042	0,255
Потери			
Денитрификация земная (почвенная) морская	 0,043 0,040	 0,043 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	—

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 азотфиксация 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 "потенциальная азотфиксирующая активность 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 легкодоступ-

ного 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).

Газопоглотительная функция почв достаточно отчетливо прослеживается и по отношению к другим газам. К сожалению, сведения по данному вопросу весьма фрагментарны, и пока можно констатировать сами факты поглощения почвой различных газообразных 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. Бон (1972) отмечает, что почвы поглощают органические газы тем быстрее и тем в больших 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 погло-

щения — выделения почвой различных газов. 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, 2003).

В решение проблемы поглощения газов почв заметный вклад внесли наблюдения за поглощением антропогенных газообразных примесей атмосферы. Выяснилось существенное поглощение почвой оксида углерода. Известно, что он образуется при различных процессах горения в результате неполного окисления углерода. Это приводит к огромному (более $60 \cdot 10^{14}$) ежегодному поступлению оксида углерода в атмосферу (Seiler, 1974). Более высокая его концентрация обнаружена в Северном полушарии. Это объясняется тем, что основным поставщиком CO 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. Установлено, что процессы поглощения CO многочисленны: 1) поглощение почвой, 2) фиксация высшими растениями, 3) реакция с животным гемопротеином, 4) миграция в стратосферу с последующими фотохимическими реакциями, 5) окисление до диоксида углерода в тропосфере с помощью OH; 6) поглощение океаном. Однако, как подчеркивает Смит, если опираться на достоверные данные, существенное значение имеют только первых два процесса, причем наиболее важным поглощающим агентом служат почвы (Смит, 1985).

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 его снижение почти до нулевого уровня в течение трех часов. Изначальное 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 этого газа, 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. Кроме того, обнаружена значительная изменчивость в усвоении оксида углерода различными почвами. Так, при изуче-

нии поглощения CO почвами провинций США установлено, что скорость поглощения ими оксида углерода колебалась в пределах 7,5—10^9 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. Они обращают 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 быстрее, чем происходит 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 их поглощение (Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

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. 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).

Из данного принципиального для рассматриваемого нами вопроса положения В.И. Вернадского вытекает ряд 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 важную область исследований.

Значимость вопросов взаимодействия почв и подземной атмосферы становится все более очевидной, что связано с установлением 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, по его мнению, газы, находящиеся в газовых скоплениях и газовых сгущениях в твердых породах или образующие твердые растворы, несомненно, во много раз превышают по весу всю атмосферу.

В.И. Вернадский обратил внимание и на важность конкретных форм взаимодействия почвы с подземной атмосферой. Так, он отмечал, что 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. 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.

Современные исследования убедительно доказывают продуктивность 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).

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 (Вернадский, 1987; Мажарова, 2007).

Экологическое значение данной функции почвенных и подпочвенных микроорганизмов трудно переоценить, так как благодаря их действию атмосферная среда обитания высших организмов

оказывается защищенной от вредного действия горючих газов. В районе промыслов, где 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 1 г 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, и др. (Заварзин, Колотилова, 2001 и др.).

Газорегуляторная функция почвы в той или иной мере распространяется, по-видимому, на большую часть атмосферных газов. Особенно действенной она оказывается применительно к газам, содержащимся в малом количестве (Заварзин, 1984, 2001), экологическая роль которых, однако, весьма значительна. В связи с ярко выраженной способностью почвы влиять на газовый состав атмосферы возникает необходимость в усилении исследований газорегуляторных функций почвы. Особенно это касается углубленного изучения механизмов воздействия почвы на состав воздушной оболочки и изучения пространственно-временной 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. Ощуща-

ется также потребность в расширении числа измеряемых газообразных продуктов, вырабатываемых или поглощаемых почвами, особенно испытавшими антропогенные изменения. Решение этих задач позволит полнее оценить значимость газовых функций почвы в биосфере и точнее измерить количественную сторону их выражения, которая пока представляется весьма приближенно (Добровольский, Никитин, 1990, 2006).

Почва — источник и приемник твердого вещества и микроорганизмов атмосферы

Пограничное положение почвы среди приповерхностных геосфер Земли определяет многообразие ее взаимодействия с каждой из них. Существенным во 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 размерности составляющих частиц (табл. 57). В.А. Ковда (1973) отмечает, что наиболее мелкие частицы способны облетать вокруг Земли.

Таблица 57

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

Окончание табл. 57

Объект исследования	Выпадение эоловой пыли		Источник
	мм/год	г/м² в год	
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

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. В этом отношении показателен 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 наблюдается и 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 разнообразное воздействие на происходящие в ней процессы. Общая их оценка затруднительна, поскольку она слагается 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 может иметь положительное значение, если

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 оказывать положительное воздействие, 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; развеивание плодородного слоя земель; ухудшение качества воздуха. 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 некоторые исследователи обращают внимание на то, что слабой устойчивостью к ветровой эрозии отличаются многие почвы. Так, американский ученый 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 варьировать. Из-за сильного обнажения земной поверхности в результате хозяйственной деятельности процессы поступления в атмосферу вещества почвы резко активизировались (Кузнецов, 1994). К сожалению, многие стороны данных процессов изучены недостаточно. В связи с этим заслуживают поддержки высказывания ученых о необходимости углубленного развития дефляциоведения (Заславский, 1987), которое можно рассматривать как отдельную научную дисциплину. Особый интерес представляет проблема поступления в атмосферу микроорганизмов почвы.

Идея о населенности воздуха мельчайшими организмами была высказана еще Лукрецием более 2000 лет назад. Надежное же экспериментальное обоснование ее появилось в XIX в. Большая за-

слуга 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 с брызгами из вод океанов, с дикорастущих растений и другим путем.

Следует отметить, что микробы, попавшие в атмосферу с восходящими токами воздуха, часто поднимаются на значительную высоту. Например, при изучении Е.Н. Мишустиным микрофлоры воздуха над Москвой было отмечено, что летом и осенью количество бактерий на высоте 500 м составляло 2000—3000 на 1 м^3, причем при сильном ветре оно возрастало до 7000—8000. 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 снижалось в 4—5 раз.

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 выше, чем над облаками или под ними.

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 недостаточно и некоторые его аспекты находятся в стадии рабочих гипотез. Однако обнаружение микроорганизмов в различных типах воздушных масс, в том числе арктических и полярных, свидетельствует 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 вариантов 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 организмов возможно освоение ими новых территорий. Существует даже гипотеза Аррениуса о проникновении спор некоторых организмов сквозь космическое пространство. О возможности межпланетного обмена бактериями говорил и В.И. Вернадский (1926, 1987).

Следует также отметить, 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.

Необходимо 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 и выживаемости организмов в газообразной оболочке Земли.

В проблеме взаимодействия воздушных масс с почвенным, а также растительным покровом существует еще один важный аспект, которому уделяется мало внимания. Это ветровой перенос почвенного мелкозема, микроорганизмов, спор и пыльцы растений с последующим отложением их на поверхности различных водоемов. Масштабы данного явления 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 поверх-

ностных 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; Никитин, Залогин и др., 1995; и др.)

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 в значительной мере зависит 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, имеются данные, что исходные бурые суглинки отражают около 18—19% солнечной радиации, распаханные черноземы на тех же породах — 5—7, подзолы — до 30, солончаки — до 35%.

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 вещества

в природе..., 1980). Причем из 52% энергии, приходящейся на облака, после взаимодействия с ними поглощается — 10, отражается — 25, направляется к земной поверхности и достигает ее — 17%.

В последние годы был поставлен вопрос о необходимости всестороннего изучения участия почвы в формировании и регулировании влагооборота атмосферы (Добровольский, Никитин, 2000, 2006). 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, на европейской территории России осадки, выпадающие за счет местного испарения, составляют около 12%. Основной же влагоперенос происходит 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 и 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, поскольку 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, 1981, 1985). Возросла частота экстремальных явлений в воздушной оболочке: засух и сопутствующих им пыльных бурь, ливней и наводнений, резких понижений температур в зимний период и др. (Мазур, Иванов, 2004; и др.).

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 (1984) 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 и таяние вечных льдов с соответствующими глобальными последствиями.

Вывод о большой чувствительности современного климата заставляет обращать 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 (Никитин, 2005, 2010; и др.).

Антропогенные изменения атмосферных функций почв

Став фактором глобального масштаба, человеческая деятельность существенно отразилась и на атмосферных функциях почвенного покрова (табл. 58). 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 58

Основные антропогенные изменения атмосферных функций почвы

Типы изменений почвенных функций и их проявление	Причины отрицательных и положительных изменений функций	Главные экологические последствия 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 региональноглобальных 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
Глобальное (?) и региональное усиление функций почв как источника и приемника твердого вещества и микроорганизмов атмосферы	Активизация антропогенной дефляции почв; антропогенное загрязнение воздушной оболочки	Снижение санитарногигиенических показателей воздушной среды, усиление деградационных изменений биосферы
Изменение климатообразующей функции почвы	Водные мелиорации почв и антропогенные изменения альбедо почвенно-растительного покрова	Локально-региональное увеличение климатической увлажненности или засушливости
Локальное усиление газовых функций почвы	Строгое соблюдение требований передовой агротехники, реализация биологического земледелия и охраны почв	Ослабление деградационных изменений биосферы

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 др.). 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, 1985; Добровольский, Никитин, 1990, 2000, 2006).

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 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) в основном применительно 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 интервалы для различных значений КА: сверхизбыточная — более 100, избыточная — 100—50, оптимальная — 50—20, затрудненная — 20—10, неэффективная — 10—3, критическая — менее 3 (Зборищук, 1985).

Важно отметить, что оптимальная аэрация (КА = 20—50) характерна для обычного состояния черноземов. Наиболее плодородные почвы также характеризуются величиной КА = 20—50, что может считаться оптимальным для развития растений. При поливах же черноземов КА нередко падают до 10 и ниже. В случае же их снижения до 3—10 отмечается угнетение развития воздухолюбивых культур, при котором происходит опадение завязей, развитие гнилостных бактерий, общее снижение биологической продук-

тивности. Поэтому при использовании 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 с нормой воды менее 200 м³/га воды мало изменяет состав почвенного воздуха, то полив при норме 450—500 м³/га (широко распространено 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 м³/га) отмечается также заметное общее изменение газовой фазы почв. Так, снижается сумма CO_2 и O_2, что может свидетельствовать об увеличении 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 с нормой 1000 м³/га (табл. 59). 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.

Таблица 59

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.

Полив высокими дозами и особенно переполив со временем приводят 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 возникает 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, 1985), часть поступает в атмосферу.

Говоря о влиянии сельскохозяйственной деятельности на газообмен в системе почва—атмосфера в целом, необходимо отметить, что данный вопрос во всех 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 XX в. 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, 1992).

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 и др., почвы недополучают 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 — к ослаблению газовых функций почв в целом. Это, в частности, прослеживается по изменению скорости газообмена у беспозвоночных животных почвы. Отмечено, что даже на полях с посевами трав газообмен дождевых червей, благоприятствующих их развитию, ниже, чем в продуктивных зональных экосистемах (табл. 60).

Таблица 60

Скорость газообмена дождевых червей, населяющих 0,1 м³ верхнего слоя почвы, мл/сут (*Бызова*, 1986)

Показатель	Пятнистая тундра	Ельник кустарниково-зеленомошный	Ельник кисличко-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

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 других мероприятий происходит минерализация гумусовых запасов планеты, в результате чего в атмосферу вновь возвращается диоксид углерода, ранее 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, 1987). 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. 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, 1985, 1990).

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. 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. Естественно, это 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 (Никитин, 1990, 2010).

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 необходимо принимать во внимание то, что они помимо других функций выполняют 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 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. Например, известно, 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 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, который для многих культур еще не разработан (Зборищук, 1985, 1991).

Необходимо также отметить *региональное и глобальное усиление функции почвенного источника и приемника твердого вещества и микроорганизмов атмосферы.* Активизация данной функции вызвана возрастающим 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 почти в течение года непосредственно соприкасается с воздушными слоями тропосферы и каждый раз при активизации их динамики подвергается дефляционному воздействию.

Особенно мощно процесс развеивания 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 важных 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 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. Особенно часто данные фигуры встречаются в аридных регионах. Можно полагать, что в связи с расширением антропогенного опустынивания многих территорий земного шара (Ковда, 1981) указанные процессы возрастают.

Необходимо в полной мере учитывать и то обстоятельство, что минеральные частицы составляют значительную часть аэрозольного балласта воздушных масс населенных районов. В районе Лос-Анджелеса, по данным Р. Кейдала, смог 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, представленных в основном частицами почв и кор выветривания, принесенных воздушными потоками из других районов. Одноразовые порции такого материала могут достигать огромных размеров. В 1901 г. лишь при одном выпадении 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 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 се-

кунду полностью удаляет данную примесь из слоя воздуха толщиной 1 см, причем "очищенный" слой немедленно заменяется "новым" загрязненным слоем (Смит, 1985).

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). Ученые со все большей серьезностью и тревогой заявляют о недостаточности принимаемых мер по борьбе с загрязнением воздушного океана планеты, приобретающим исключительный размах (Израэль и др., 1983; Розанов, 1984; Ковда, 1985; Добровольский, Никитин, 1986, 2006; Сидоренко, 1987; Орлов, Демин, 2003; Smith, Dochinger, 1975; и др.). В связи с многочисленными негативными последствиями загрязнения атмосферы эта проблема должна приобрести более комплексное звучание. В данном случае мы, по существу, имеем дело 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, размером, 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 для лесных почв различных районов умеренного пояса отмечено возрастание содержания свинца. Такое возрастание 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 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.

В особо больших размерах почвы накапливают атмосферные антропогенные примеси вблизи городов, промышленных объектов, шоссейных дорог. Так, в 10 м от шоссе с интенсивным движением уровень свинца выше фонового в 5—15 раз, а на расстоянии в несколько метров — иногда в 30 раз (Смит, 1985). Накопление 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. 61).

Таблица 61

Время жизни (годы) тяжелых металлов под ельником (Швеция)*

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

* Указано число лет, необходимое для 10%-го снижения уровня загрязнения металлов, данные рассчитаны на основе экспериментов по выщелачиванию загрязнений искусственно подкисленными осадками, эквивалентными ежегодному просачиванию 150 л/м² (Смит, 1985).

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. Как уже говорилось, 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 различного характера (в том числе противоположного) местных климатических условий в связи с антропогенной трансформацией почв. Так, в результате широкомасштабных осушительных мелиораций без двойного водорегулирования в районах их проведения стали наблюдаться более частые атмосферные засухи. Одна из причин этого — снижение поступления в атмосферу водяного пара местного происхождения в связи с осушением почвенного покрова, что 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, 2002), а также увеличение годовой суммы осадков. Кроме того, изменяется и температурный режим нижних слоев тропосферы и самой почвы.

Определенное воздействие на климат может оказывать и увеличившаяся антропогенная запыленность атмосферы, обусловленная, в частности, возрастанием твердых частиц почвенного происхождения (табл. 62).

В последние годы обсуждается также возможное негативное воздействие на озоновый экран некоторых газов почвенного происхождения (табл. 63), 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; Орлов, Демин, 2003; 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

Таблица 62

Антропогенные компоненты атмосферы, их влияние на климат (*Костина*, 1997)

Фактор	Основные антропогенные источники	Время присутствия в атмосфере	Основные стоки	Фоновая концентрация в современной атмосфере	Прогноз на будущее	Потенциальное влияние на климат и изменение температуры поверхности	Масштаб влияния
CO_2	Ископаемое топливо, сведение лесов, разложение в почве	4 года (Т), 2 года (С)	Океан, биосфера	353 ppm	Возрастание в год на 1—4%	Потепление (Т) $2\times[CO_2]$ — 1,5—4,5°С глобально; на полюсах в 4—5 раз больше выхолаживание (С)	Глобальное, возможно, одно из основных
H_2O	Процессы горения в высотной авиации	10 суток (Т), 2 года (С)	Осадки	0—30 000 ppm	Возрастание	ПЭ и образование облаков и осадков (Т)	Локальное и региональное (Т), глобальное (С)
N_2O	Удобрение, ископаемое топливо, авиация	150 лет	Фотодиссоциация (С)	0,31 ppm	Возрастание в год на 0,33%	ПЭ (Т): $2\times[CO_2]$ — 0,6°С, влияние на баланс	Глобальное
NO_x	Сжигание биомассы	4—5 суток	Сухое охлаждение и окисление (Т)	0,001—0,1 ppm	На 0,33%	O_3 (С)	
O_3	Косвенная продукция при фотохимических реакциях с другими газами	30—90 суток (Т), 2 года (С)	Каталитическое разрушение другими МГС: NO_X, Cl_x, HO_x(С), сухое охлаждение (Т)	0,2—0,3 ppm (Т), 5 ppm (С)	Уменьшение содер жания в (С), увеличение содержания в (Т)	Глобальное, региональное	

Продолжение табл. 62

Фактор	Основные антропогенные источники	Время присутствия в атмосфере	Основные стоки	Фоновая концентрация в современной атмосфере	Прогноз на будущее	Потенциальное влияние на климат и изменение температуры поверхности	Масштаб влияния
ФХМ F-11	Аэрозольные упаковки, холодильники, изоляционные материалы	50 лет	Стоки в (Т) неизвестны, в (С) разрушение	0,17—0,28 ppm	Возрастание на 6—7% с постепенным замедлением	Выхолаживание из-за разрушения O_3; потепление из-за роста содержания ХФМ; итоговый эффект не определен	Глобальное
F-12		80 лет	При фотолизе	0,28—0,42 ppm			
CH_4	Ископаемое топливо, разведение крупного рогатого скота	11 лет	Окисление ОН-радикалами, почвенные бактерии	1,6—1,7 ppm	Возрастание с постепенным замедлением	Прямое влияние на O_3 в (Т), (С) и ПЭ, $2\times[CH_4]$ — 0,25°С	Глобальное
CO	Ископаемое топливо, лесные пожары	0,2 года	Окисление ОН-радикалами, почвенные бактерии	0,05—0,2 ppm	Возрастание	Эффект сходен с CH_4, но по величине меньше	Глобальное, региональное
NH_3	Ископаемое топливо, крупный рогатый скот, переработка отходов	7—10 суток	Вымывание осадками, сухое охлаждение, окисление NO_X	0,1—6 ppb	Возрастание с постепенным замедлением	$2\times[NH_3] - 0,1$°С	Региональное

Продолжение табл 62

Фактор	Основные антропогенные источники	Время присутствия в атмосфере	Основные стоки	Фоновая концентрация в современной атмосфере	Прогноз на будущее	Потенциальное влияние на климат и изменение температуры поверхности	Масштаб влияния
SO_2	Ископаемое топливо, металлургия	—	Влажное и сухое вымывание, окисление в сульфаты (аэрозоль)	0,05—1 ppb	Возрастание	Кислотные дожди, влияние на формирование облачности, аэрозоль влияет на радиационный баланс, $2\times[SO_2] - 0{,}02$°C	Региональное
Аэрозоль	Промышленные процессы, лесные пожары, расширение зоны пустынь	10 суток (Т), 2 года (С)	Вымывание, сухое охлаждение	10—50 мкг/м^3	Возрастание	Влияние на образование облаков, увеличивает альбедо; итоговый эффект — вероятное слабое потепление	Региональное
Альбедо поверхности	Стравливание пастбищ, урбанизация, энергозатраты, широкомасштабные проекты ирригации	—	—	—	Сильное повышение	Изменение альбедо поверхности, опустынивание, сведение лесов; итоговый эффект — 0,2°C по всему земному шару	Региональное, может стать глобальным

Окончание табл. 62

Фактор	Основные антропогенные источники	Время присутствия в атмосфере	Основные стоки	Фоновая концентрация в современной атмосфере	Прогноз на будущее	Потенциальное влияние на климат и изменение температуры поверхности	Масштаб влияния
Выбросы тепла	Производство первичной энергии	—	Окружающее пространство	—	Сильное возрастание	Влияние на испарение и атмосферную циркуляцию	Значительное локальное и региональное; глобальное маловероятно

Примечание (Т) — тропосфера, (С) — стратосфера, 2× — удвоение концентрации, ХФМ — хлорфторметаны; ПЭ — парниковый эффект, МГС — малые газовые составляющие

трансформации азота удобрений, либо в результате вымывания в глубокие слои почвы и далее в гидросферу (Первова, Розанов, 1985).

Таблица 63

Оценка мощностей источников и стоков (10^{12} г/год) малых газовых составляющих атмосферы (*Минько*, 1998)

Составляющие	CH_4	N_2O
Источник		
Почвенный покров	490—915 [118—295 (с.о.)]	11—79
Континентальная растительность	?	0,8—1,4
Мировой океан (биологические процессы)	14,3	3—70
Пресные водоемы	51	5
Домашние и дикие жвачные животные, человек	79	—
Насекомые	30	?
Свалки твердых бытовых и промышленных отходов	30—70	?
Лесные пожары, сжигание биомассы	25—110	2—6
Геогенный	200	—
Потери при добыче природного газа	7—21	—
Автомобильный транспорт	0,5	4,7—6
Фотохимические реакции в тропосфере	—	—
Грозовые разряды	—	15—90
Сумма	555—871	42—257
Почвенный покров от суммы источников, %	17—41	7—53
Сток		
Почвенный покров	15	507*
Мировой океан	?	40—140
Фотохимические реакции в тропосфере	860—2900	1—5
Сумма стоков	876—2921	91—195

* Оценка дана для почв рисовых полей

Поскольку сельскохозяйственные растения используют азот минеральных удобрений в среднем лишь на 30—50% (Башкин, 2004), 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, оксиды азота и др.), приводящим к ощутимому глобальному потеплению климата. В связи с этим осуществлялись попытки количественного прогноза изменения климата будущего 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, 1985). Механизмы связывания CO_2 (океан, целинные почвы, особенно болотные) продолжают "работать" и в настоящее время хотя в ослабленном виде. Сложность климатического прогноза связана и с другими причинами: 1) наличием многих факторов, влияющих на климат; 2) противоположно направленным характером влия-

ния различных факторов как естественных, так и антропогенных; 3) несовершенством или недостаточностью методических приемов сбора и обработки исходной информации и др.

Неслучайно 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).

Сложность предсказания общих глобальных изменений даже в случаях, казалось бы, прогнозируемых заставляет с 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 специалисты относят антропогенное увеличение содержания CO_2 в атмосфере, поскольку оно, видимо, тормозит очередное естественное похолодание климата и одновременно интенсифицирует фотосинтез. Если принять эту точку зрения, то можно очень многое оправдать из того крайне нежелательного или вредного, что делается обществом сейчас на Земле. Пытаются также оправдать загрязнение Мирового океана, мотивируя тем, что это приводит к снижению его способности забирать CO_2 атмосферы. Можно не замечать и деградационную минерализацию гумусовой оболочки планеты, поскольку этот процесс прибавляет CO_2 в воздухе. Такие попытки рассматривать происходящие антропогенные глобальные изменения природы отдельно, выделяя в них негативные и позитивные (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, предупреждают об опасности стихийной антропогенной трансформации биосферы. Так, В.А. Ковда (1985) 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. Весьма 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. 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 (Никитин, 2010).

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 Землю и особенно ее биосферу следует рассматривать как сложную динамическую систему с эффективно действующим региональ-но-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 происходит выравнивание (сглаживание) наметившихся возмущений в режиме функционирования биосферы. Однако это выравнивание может успешно осуществляться до тех пор, пока геосферы Земли не претерпят существенной антропогенной трансформации в основном деградационного характера.

В биосфере, несмотря на ее значительные негативные изменения, еще 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 и 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. Другие варианты, приводящие, например, к усилению какой-либо одной функции биосферы или к так называемому исправлению регионально-глобальных недостатков природы на современном этапе развития

науки и практики чреваты непредсказуемыми последствиями негативного характера (Добровольский, Никитин, 2006, 2011).

Сделанный вывод опирается не только на общие логические выводы и аргументы системного подхода. Количественный анализ функционирования биосферы (Горшков, 1987) 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 трансформации 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, 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, которые должны разрабатываться одновременно и взаимосвязанно. 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 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; 5) создание необходимых технических, экономических и правовых предпосылок реализации этих систем и приемов (Никитин, 2009, 2010).

Глава 11

ОБЩЕБИОСФЕРНЫЕ И ЭТНОСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ

Материалы предыдущих глав свидетельствуют о разнообразии гидросферных, атмосферных и литосферных функций почв. Специального рассмотрения заслуживает также 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. Это в первую очередь объясняется 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, 2000; и др.). В связи с тем что проявления жизни на континентах и в океане существенно различаются и по многим другим показателям, целесообразно 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 В.И. Вернадский считал, что живое вещество неразрывно связано в своих проявлениях с земной корой, 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). Столь тесная связь живого и кос-

ного 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, свидетельствующий 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 (Никитин, 1989, 2009).

Своеобразие живого вещества суши и океана проявляется в нескольких направлениях: 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 обширный 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 объясняли бы его более частные специфические черты.

По нашему мнению, к этим общим особенностям прежде всего следует 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 в сотни раз превышает общее количество живого вещества океана. По данным Т.А. Айзатуллина с соавторами (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 соавторами (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 преимущест-

венно 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 иная картина. Во-первых, здесь зона концентрации фотосинтезирующего живого вещества по вертикале значительно больше, 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; Добродеев, 1999; и др.).

Концентрация живого вещества суши во времени выражается прежде всего в том, что обновление и накопление биомассы на континентах 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; Добродеев, 1999; и др.).

Значительное плодородие и особенно запасы элементов питания в "лице" гумуса почвы позволяют наземным автотрофам существенно 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, в результате чего в морской воде лимитирована плотность заселения фитопланктоном данной зоны. Это оказывается одной из важных причин снижения эффективности фотосинтеза в океане. 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; Добродеев, 1990).

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). Кроме того, существует 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 большое *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.

Высокое видовое разнообразие наземного живого вещества свидетельствует о большей напряженности и результативности эволюционного процесса на суше, что во многом связано с контрастностью и высокой дифференциацией природной среды континентов, особенно почвенной. Л.А. Зенкевич отмечал, что океан представляет собой царство относительного однообразия и обшир-

ных однородных пространств, а воздушная (наземная) среда — царство контрастов и пестроты ландшафтов (1977).

Неоднородность 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 существ, прежде всего животных. Л.А. Зенкевич (1977) указывает, что 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.

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 значительное 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. Наряду с обилием видов наземных организмов это 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; Добровольский, Никитин, 2009).

Ряд данных и обобщений позволяют также говорить о более интенсивном преобразующем воздействии живого вещества суши на окружающую среду и ее компоненты. Доказательства[1] этого положения многочисленны. Так, в результате фотосинтеза поглощение и выделение CO_2 и O_2 в атмосферу живым веществом на суше происходят в четыре 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). Общий запас аккумулированной энергии Солнца в органи-

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

ческом 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. 64), 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.

Таблица 64

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 круговорот элементов из различных компонентов БГЦ. Обеспечение процессов аккумуляции и трансформации вещества и энергии

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

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 наоборот биомасса животных превышает фитомассу. Так, по данным В.Г. Богорова (1969), биомасса фитопланк-

тона и фитобентоса Мирового океана в сумме составляет 1,7 млрд т, биомасса же зоопланктона, зообентоса и нектона (рыбы и др.) — более 32 млрд т.

Причина этого заключается 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 составляет 5 лет (Добродеев, Суетова, 1976). В океане основными продуцентами фитомассы оказываются одноклеточные организмы с очень коротким сроком обновления (у фитопланктона — 1 сут). Благодаря этому, по данным Т.А. Айзатуллина с соавторами (Физическая география, 1980), годовая продукция фитопланктона в единицах живой массы приближается к ежегодной продукции наземной фитомассы, составляя $4{,}3 \cdot 10^{11}$ против $4{,}5 \cdot 10^{11}$ т/год, или даже превосходит ее.

Значительные различия отмечаются и в составе живых организмов суши и океана. Хотя в континентальной и океанической биосферах число видов животных преобладает над растениями, соотношение этих групп организмов в указанных местообитаниях разное. На суше видов животных примерно в три раза больше, чем видов растений, 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 в основом обусловлено насекомыми, птицами и млекопитающими. В океане видовое разнообразие животных обеспечивается значительно большим числом крупных таксонов: моллюсками, ракообразными, рыбами, простейшими, кишечнополостными, свободноживущими червями, губками, мшанками, иглокожими, низшими хордовыми и др. (Богоров, 1969; Добродеев, 1999, 2000).

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% (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 два раза превышает биомассу океана: $1{,}8 \cdot 10^{11}$ против $0{,}8 \cdot 10^{11}$ т/год. По количеству органического вещества превышение более чем в три 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 элементный 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 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. Здесь вследствие пониженных затрат кислорода на процессы окисления органиче-

ского вещества происходит частичное пополнение им атмосферы и компенсация перерасхода O_2 наземными ландшафтами жарких поясов, где процессы окисления идут очень интенсивно (Добродеев, Суетова, 1976). В океане иная картина. Захоронение CO_2 в осадках происходит здесь 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 океане обнаруживается и в сроках наступления одноименных биологических сезонов. Так, биологическое лето в морях Полярного бассейна начинается в августе, а в умеренных широтах — в мае (Багоров, 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 (Залогин, 2001).

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% на суше, 43% в океане. По годичному потреблению 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 биогеохимии 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. 65, 66) в биосфере (Ковда, 1973; Гришина, 1982; Горшков, 1987; Глазовская, 1997, 2007; Орлов и др., 1998; и др.).

Таблица 65

Затраты энергии на почвообразование и энергия, аккумулируемая в растительном веществе, ккал/см² в год (*Волобуев*, 1960)

Природные зоны	Общие затраты 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

В почвенной оболочке Земли, по данным М.М. Кононовой (Круговорот вещества в природе..., 1980), сосредоточено около 2500 млрд т гумуса. Запасы гумуса распределены 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 — 183 млрд т. Ежегодное образование гумусовых веществ в пересчете на углерод составляет 1—2 млрд т. Период формирования запасов гумуса 800—1500 лет (табл. 66).

Таблица 66

Приблизительные расчеты новообразования гумуса по М.М. Кононовой и 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	Опад 115—117	—	—
$C_{гумус}$—1500	$C_{опад}$ 50—70	1—2	800—1500

В настоящее время в связи с широким освоением почвенного покрова и усилением эрозии почв происходит сокращение мировых запасов гумуса. В год они уменьшаются 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 сельскохозяй-

ственной 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 (Добровольский, Никитин, 2006).

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 в основном использовались 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.

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, 1990, 1997, 2009, 2010; и др.).

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 России (ЕТР). Некоторые исследователи 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 ЕТР. Например, ее относят к одной таежно-лесной зоне с разграничением на северную, среднюю и южную тайгу (Ливеровский, 1974; Добровольский, Урусевская, 1984, 2006; и др.).

При объяснении причин указанного расхождения в зональном разграничении лесной территории ЕТР необходимо учесть особенности почвенного покрова этой области. Здесь отчетливо доминируют почвы подзолистого ряда, которые, как правило, оказываются малоблагоприятным субстратом для требовательных широколиственных пород. Поэтому, несмотря на благоприятные климатические показатели восточноевропейских районов, широколиственные породы здесь встречаются далеко не всегда, что 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.

Картина может быть и противоположной, когда зональная дифференциация природных комплексов усиливается почвенным фактором. Так, подзона подтайги, выделяемая некоторыми исследователями на территории Западно-Сибирской равнины, благодаря тому что в данной полосе широко распространены почвы с повышенным содержанием гумуса (дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, серые лесные и др.), покрыта в основном березово-осиновыми лесами (Ливеровский, 1974).

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 это было поддержано и развито другими учеными. Ю.П. Пармузин (1985) разделяет тайгу 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 ЕТР и Западной Сибири был сделан вывод о необходимости детализации природного районирования данных регионов на уровне крупных таксонов (Никитин, 1985, 2009). Таежную область двух великих равнин предложено рассматривать как состоящую из двух подобластей — восточноевропейской и западносибирской, включающих 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 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. 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 другие, существенное генетическое своеобразие которых заключается в том, что они относительно молоды и не полностью развиты (Никитин, 1985, 1997, 2009).

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. Весомым 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.

Рассмотрим некоторые аспекты 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 заметный вклад почвенного звена в выравнивание 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 существенно 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. При этом следует отметить, что благодаря внутризональной вариабельности водно-физических и других свойств почвы связанные с ними фитоценозы в пределах каждой зоны претерпевают 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 одновременно приводит к деградации связанных с ними сообществ растительных и животных организмов: снижается их структурированность и ви-

довое 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 в настоящее время доминирует климатическая концепция, связывающая развитие природных зон со значительными климатическими трансформациями. В то же время ряд исследований заставляет с вниманием отнестись к роли других компонентов географической оболочки, особенно почвенного звена, в эволюционном изменении природных зон. Так, анализ истории таежно-лесной зоны показал, что 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, 2004) 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. Многие палинологи принимают гипотезу 4-стадийной смены ландшафтов в голоцене по следующей схеме: лесотундра—еловые леса—лиственные березовые и осиновые леса—хвойные леса с господством пихты и кедра.

Анализ показал, что во многом теоретически оправданны положения, развиваемые И.М. Гаджиевым, о своеобразии эволюции почв на территории современной западносибирской тайги, проявляющейся 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 почвы как связующего звена.

Одно из главных различий биологического и геологического круговоротов заключается прежде всего в темпах и сроках завершения их полного цикла. Геологический круговорот (рис. 13) 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 их различие на подавляющей части суши заключается в противоречивости взаимодействия. Биологический круговорот, в отличие от континентального отрезка геологического, в целом направлен на аккумуляцию и удержание элементов на водоразделах, испытывающих постоянную денудацию. При этом следует 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 (Васильевская, Богатырев, 2003). Особую роль здесь играют гумус, органо-минеральные комплексы и вторичные минералы почвы, образование которых приводит не только к связыванию элементов, мобилизованных биологическим круговоротом, но и к их обменному поглощению, являющемуся эффективным механизмом удержания вещества от его выведения из биогеоценозов континентальным геохимическим потоком (Глазовская, 1972; Орлов и др., 1998; и др.).

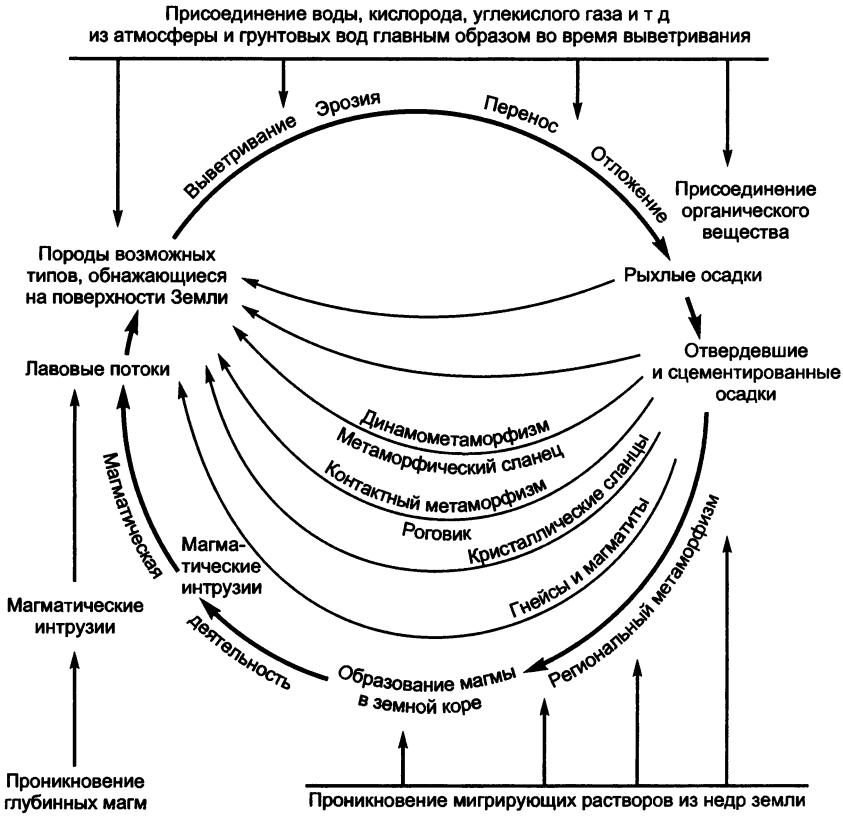


Рис. 13. Схема большого геологического круговорота вещества (Круговорот вещества в природе..., 1980)

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 России геологический круговорот возрос во много раз. В результате 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 их поступало в геологический круговорот. В современный период количество биофилов, мигрирующих в биологическом круговороте, всего лишь несколько 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 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; Кузнецов, Глазунов, 1994, 2004; и др.).

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 также оказывается защитным барьером и условием нормального функционирования биосферы в целом. В этом заключается его еще одна весьма важная глобальная экологическая функции (Никитин, 2009, 2010).

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 рассматривают почву как объект хозяйственного использования. 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 естественно-исторического тела, позволившая В.В. Докучаеву выделить ее в качестве "четвертого природного тела", недооценивается или чаще вовсе не принимается во внимание биолога-

ми. 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 обширные сведения, свидетельствующие об огромном значении почвы в биологической эволюции биосферы. Поскольку они систематизированы главным образом по животному миру, 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 ее водно-воздушными 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 близок к насыщению парами влаги (более 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 этого 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, 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 раковинных амеб (корненожек), исследователи отмечают, что особенно 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 случай приспособления к обитанию в почве типичной водной олигохеты *Tubifex*. 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.

В почвах широко распространены 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 в подстилке. При этом многие формы встречаются во влажной почве чаще, чем в воде. Имеются обитатели почв и среди немертин, хотя большинство — это морские формы (Гиляров, 1949, 1968, 1972).

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 еще 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 ко многим позвоночным животным. Известны случаи зарывания в почву некоторых рыб. Например, вьюн проводит сухой летний период, зарывшись в грунт пересыхающего водоема. Лабиринтовая рыба *Anabas scaundes*, имеющая приспособленные 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. Из-за частой встречаемости при раскопках эту рыбу стали называть "земляной".

В почве сухой период проводят 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, где развиваются их яйца.

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 обитания, где также развиваются их яйца.

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. Животные, поселяющиеся в верхних слоях почвы или часто выходящие на поверхность, пигментацию и зрение сохраняют.

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 благодаря высокой насыщенности почвенного воздуха влагой.

В случае же обитания в воздушной среде требуется значительно более эффективная защита от высыхания, исключающая кожное дыхание (Гиляров, 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 других — позволяет им использовать кожное дыхание. Такое дыхание, однако, делает многих животных 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 маленького диаметра 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 наружное, 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 животных разные варианты наружно-внутреннего оплодотворе-

ния, 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 месяцев 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 2—3°С (Криволуцкий, 1969, 1994).

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, 1986, 1990; и др.).

Значительную роль в заселении корненожками почвы сыграли образование плоской вентральной поверхности (подошвы) и приобретение полусферической формы, позволившей организму луч-

ше использовать промежутки между почвенными частицами неправильной конфигурации. Форма и величина раковинок в значительной мере определяют преимущественно приуроченность разных видов корненожек к различным 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 (фитофагия) распространена среди почвенных беспозвоночных реже, главным образом среди более высокоорганизованных форм (Гиляров, 1949, 1968, 1972).

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* существуют минимум 140 млн лет, в то время как лошадей — 5,6 млн лет, хищных млекопитающих — 6,5, аммонитов — 20 и даже пелиципод (медленно эволюционирующей группы) — 78 млн лет. Причина медленной эволюции почвенных орибатид связывается Д.А. Криволуцким прежде всего со стабильностью среды 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, 1972).

Архаичность животного мира почвы 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 особенно отчетливо обнаруживается при группировке почвенного населения по крупным систематическим категориям.

Такое 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 этому почвенные животные, с одной стороны, защищены от экстремальных воздействий факторов внешней среды, а с другой — обладают возможностью выбора подходящих условий в пределах профиля, что позволяет им избегать дальних и длительных миграций (Стриганова 2003; и др.).

Данные свойства почвы как среды обитания сыграли исключительную роль в эволюции животного мира (табл. 67). 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, подо мхом на стволах деревьев. Выход на поверхность дождевых червей сопровождается серьезными морфофизиологическими преобразованиями.

Таблица 67

Встречаемость личинок 100 семейств жуков в различных местах обитания (*Гиляров*, 1949)

Почва (включая A_0)	Мертвая и гнилая древесина, детрит и др.	Внутри живых растительных тканей	На поверхности листьев, открытые места обитания	На животных	В воде	Неизвестно
30 (+4)	33 (+12)	10 (+9)	1 (+2)	1 (+1)	8 (+2)	15

Примечание. В скобках представители семейств, для которых не только данное местообитание является типичным.

Наземный образ жизни требует глубоких адаптационных изменений, которые трудно осуществимы при резком переходе от водной среды к обитанию на поверхности земли без промежуточного звена — почвы. Нам представляется, что для некоторых групп животных такой переход оказался бы невозможным или потребовал гораздо большего времени, что привело бы к общему снижению темпов биологической эволюции и ее упрощению. Иными словами, без почвы невозможно то разнообразие наземных форм, которое существует в настоящее время (Никитин, 2009 и др.).

Данному выводу не противоречит положение о замедленных темпах эволюции собственно почвенных форм, так как, во-первых, без почвы этих форм могло 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 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 — 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. 68).

Таблица 68

Число эндемических родов клещей в разных почвенных экологических группах (*Криволуцкий*, 1977)

Почвенные экологические группы	Число эндемиков	% 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	72	32	219

Буферность и внутрипрофильное экологическое разнообразие почвы благоприятствуют успешному осуществлению ею и функции хранителя древних форм, которая по-настоящему еще не изучена и не оценена, хотя имеются факты, свидетельствующие о ее проявлении (Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

Антропогенные изменения общебиосферных функций почвенной оболочки

Основные тенденции антропогенных изменений общебиосферных функций почв в целом те же, что и у рассмотренных ранее 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. 69) необходимо отметить следующее. Происходит 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 появляются новые антропогенно обусловленные почвенно-экологические ниши, часть которых благоприятна для обитания наземных организмов (удачно мелиорированные земли, почвы под искусственными лесонасаждениями и т.д.).

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. 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. Появление устойчивых специфических признаков свойственно не только агроценозам, но и самим почвам в связи с необратимостью антропогенной (агрогенной) эволюции. Последнее было показано Ф.И. Козловским (1987): “Агрогенная эволюция в нормальном ряду необратима, что связано с уплотнением, выщелачиванием, лессиважем, слитизацией; в денудационном ряду она практиче-

Таблица 69

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	Уменьшение дифференцирующего влияния почвенного покрова Появление антропогенно обусловленных аномалий в зональной структуре географической оболочки	Ослабление вклада почвы в поддержание биологического круговорота. Усиленное вовлечение почвенного материала в геологический круговорот	Ослабление вклада почвы в прогрессивную эволюцию видов Исчезновение редких видов организмов в связи с антропогенной деградацией необходимых почвенных мест обитания
Снижение разнообразия естественных почвенно-экологических ниш	Исчезновение ряда естественных растительных зон в связи с освоением почвенного покрова	Изменение исторически сложившегося соотношения биологического и геологического круговоротов	Уменьшение генофонда наземных популяций в связи с ухудшением почвенных условий жизни организмов
Появление новых антропогенно обусловленных почвенно-экологических ниш	Появление новых зонально-региональных образований	Дебиологизация географической оболочки и биосферы	Появление новых форм (?) организмов в связи с антропогенным изменением почвенной среды обитания

ски (в масштабе столетий) необратима, что связано с пассивной карбонатизацией — припахиванием иллювиально-карбонатного горизонта".

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 результате 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 происходит деградация структуры естественных популяций живых организмов и уменьшается их генофонд. Кроме того, все более широким размахом характеризуется исчезновение редких видов организмов в связи с антропогенным разрушением необходимых для них почвенных мест обитания (Никитин, 2010).

С сокращением численности видов наземных организмов вплоть до полного их исчезновения появляются новые структуры популяции, осваиваются новые, созданные человеком места обитания, что вносит в современную биологическую эволюцию нетипичные для ее естественного развития черты, еще недостаточно изученные и слабо осмысленные в плане последствий для будущего биосферы.

Этносферные и социосферные функции почв

Среди достижений междисциплинарных направлений исследования взаимосвязей природы и общества следует отметить географо-этнологические работы Л.Н. Гумилева "Этногенез и биосфера Земли" (1990), "Тысячелетие вокруг Каспия" (1993), в которых он убедительно показал, что разнообразие ландшафтов является причиной этнической мозаичности антропосферы. Выдающийся ученый стимулировал многие науки по-новому оценить степень зависимости этносов от различных компонентов географической

среды и биосферы в целом. Данная оценка должна коснуться и почвоведения, поскольку в прямой и опосредованной форме степень влияния почвы на этногенез весьма ощутима. "Космические и планетарные вариации стоят на несколько порядков выше этногенезов, влияют на всю биосферу, включающую не только совокупность живых организмов, но и почвы... И хотя этносы — "капли в океане биосферы", они не могут не реагировать на ее флуктуации".

Анализ данного вопроса дает основание выделить категорию этносферных функций почвы, существенно определяющих этногенез и жизнь этносферы. Среди таких функций можно назвать: роль почвы как одного из важных факторов существования и динамики этносферы; участие ее в формировании полезных ископаемых и энергетических ресурсов, используемых этносами Земли; почва как место для строительства промышленных и дорожных объектов; сохранение почвой информации о развитии природной среды и этносов и др.

Этносферные функции почв нуждаются в обстоятельном изучении прежде всего в рамках социально-экономической географии почв, которая до настоящего времени развита явно недостаточно. В то же время потребность в данном научном направлении будет постоянно расти, что было показано на Международной конференции "Почвенные ресурсы Прикаспийского региона и их рациональное использование в современных социально-экономических условиях" (1994).

Актуальность социально-экономических почвенных исследований в региональном и глобальном масштабе все более возрастает в связи с антропогенной деградацией биосферы и педосферы, чреватой неизбежными этническими напряжениями и катаклизмами: "Биосфера, способная прокормить людей, не в состоянии насытить их стремление покрыть поверхность планеты хламом, выведенным из цикла конверсии биоценозов. В этой фазе этнос, как Антей, теряет связь с почвой, т.е. жизнью, и наступает неизбежный упадок" (Гумилев, 1990).

Целесообразно также выделить категорию социосферных функций почвы, многие из которых будут аналогичны этносферным функциям. Следует отметить, что проблема этносферных и социосферных почвенных функций стала разрабатываться лишь в последние годы (Никитин, 2000, 2005, 2010; Карпачевский, Ашинов, Зубкова, 2009; и др.) и нуждается в дальнейших исследованиях в рамках этно-социосферного почвоведения (Никитин, Шоба, Сабодина, 2010).

Часть IV

СОХРАНЕНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВ НА ОСНОВЕ УЧЕНИЯ О ПОЧВЕННЫХ ЭКОФУНКЦИЯХ

При реализации программ по сохранению и рациональному использованию почв важно определить научное основание, опираясь на которое данные программы могут быть успешно осуществлены (при соблюдении других необходимых условий). В качестве основания прежде всего должно выступать учение о почвенных экологических функциях, изложенное выше.

Глава 12

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОХРАНЕНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ

Взаимосвязь и изменчивость экологических функций почв

Во многих научных исследованиях и прикладных рекомендациях по хозяйственному использованию земель наиболее часто предается забвению положение о системности, взаимообусловленности свойств и функций почвы и перестройке в той или иной мере ее функционального состояния в случае изменения какого-либо одного блока. Причины этого 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 отражена, в частности, в концепции педосистемы (биопедоценоза) (Никитин, 1977, 1990, 2009), а также в 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 (рис. 14). 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 совокупность 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 по-

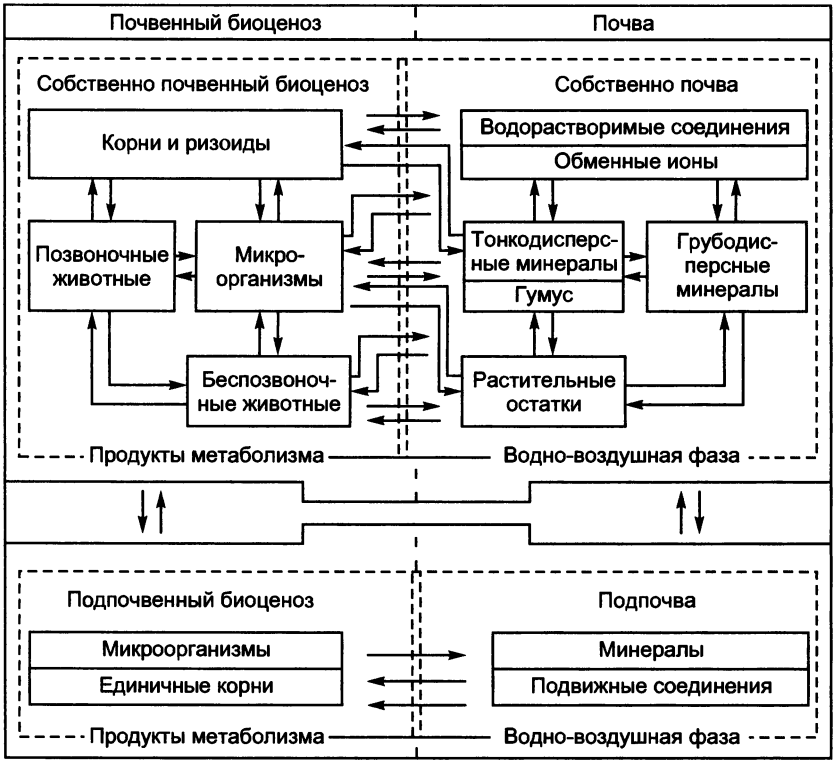


Рис. 14. **Структурная модель педосистемы (биопедоценоза)**

селяющимися 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 (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 подпочвы, а также сообщества населяющих их организмов — давно назревшая задача, попытки решения которой предпринимались неоднократно. 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 большую 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 распространения 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. Кроме того, она 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. рис. 14) 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 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 не может трактоваться как автономная, а должна рассматриваться в составе другой, еще более сложной системы — биогеоценоза (экосистемы).

Такое вычленение нескольких иерархических систем не противоречит принципам системного подхода. Оно позволяет одновременно фиксировать как качественное своеобразие объектов, так и возникновение более сложной системной организации, несводимой к простой сумме взаимодействующих структурных образований. Таким образом, введение понятия "педосистема", с одной стороны, позволяет 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 экологии почв, 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 важны в плане углубленного исследования почвенных биогеоце-

нотических 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 понятна 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; Минеев, 1984, 1999; и др.). Другим фактором негативных химических изменений почв, приводящих к деградации их биоценоза, оказывается техногенное воздушное загрязнение земель, масштабы и сила воздействия которого весьма внушительны. Размах данного явления вызывает серьезную тревогу. Если в доиндустриальную эпоху pH дождевых вод составлял примерно 5,6, то в настоящее время во многих регионах нередко опускается ниже 4,5. В результате происходит значительное подкисление многих почв и, следовательно, деградация их биоценозов. Ученые Германии подсчитали, что нейтрализация ежегодно выпадающих по стране с осадками кислот требует в среднем до 7 ц/га извести.

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 одностороннее, слабо контролируемое антропогенное воздействие на биопедоценоз вызывает в нем сложную перестройку и изменения, что приводит к негативным последствиям. 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 четыре 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).

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 соавторами (1981) показали на почвах в биометрах 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 значительному увеличению в почве содержания обменных Ca и K, гумуса, оказали стимулирующее воздействие на активность протеазы и др. В результате влияния дождевых червей урожай озимой ржи увеличился на 15%, ячменя — на 25%, клевера красного — на 47%.

Особый теоретический и практический интерес представляет проблема изменения экологических функций почв во времени и пространстве. При решении 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 ослаблении функционирования почв. 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, возникает значительная деградация более молодых экологических функций почвы (функции стимулятора и ингибитора биохимических процессов, жилища для почвообитающих животных и др.), происходящая на фоне сохранения 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 более глубокое содержание приобретают многие традиционные узловые вопросы почвоведения. Так, по-новому должно пониматься почвенное плодородие (Никитин, 2010; Савич и др., 2010 и др.).

Проблема почвенного плодородия — одна из наиболее давних, которую всегда решали 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. Вильямса, который видел сущность плодородия почвы в обеспечении растений пищей и водой. Роль же других факторов сводилась 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, неспособных обеспечить жизненную потребность растений в одновременном и совместном наличии двух факторов их существования — воды и пищи" (1939).

Примером второго подхода, который можно назвать многофакторным, служат высказывания С.М. Богданова, который считал,

что плодородие земли — это совокупность всех тех условий жизни растений, которые обеспечивает почва (см. Б.А. Никитин, 1981). К условиям почвенного плодородия, кроме химических свойств почв, он относил также физические свойства, живые организмы, обитающие в почве, и др. Каждое из перечисленных условий жизни растений им одинаково 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.

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), В.И. Кирюшин, 1996 и др. При этом наметились новые аспекты в понимании почвенного плодородия. Стала конкретизироваться идея В.И. Вернадского о плодородии как планетном явлении, что выразилось в представлениях Б.А. Никитина (1981) о том, что плодородие почвы является лишь частью плодородия биосферы. Когда говорят о плодородии почв, то имеют в виду плодородие биогеоценоза в целом по отношению к какому-либо виду растения или их группе. 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.

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).

В некоторых работах стала отмечаться тесная зависимость плодородия не только от статичных параметров почв, но и от их режимных показателей (Карпачевский, 1997, 2007), что с очевидностью указывает на относительность почвенного плодородия не только в пространстве, но и во времени. А.П. Щербаков и И.Д. Рудай (1983), 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.

В свете разрабатываемых представлений об экологической полифункциональности почвы ее плодородие можно определить как интегральную почвенную экологическую функцию, обеспечивающую формирование биомассы растений, имеющую относительный характер, отличающуюся сильной пространственно-временной изменчивостью и обусловленную взаимодействием различных свойств и функций почвы. Кроме того, 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 (Добровольский, Никитин, 2000, 2006).

Вышеприведенное определение почвенного плодородия прежде всего акцентирует внимание на его многопричинной обусловленности, относительности и динамичности. Так, показательны примеры низких урожаев на удобренных почвах, зараженных паразитами растений, и резкого увеличения урожайности полей в случае их уничтожения (табл. 70).

Таблица 70

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

Исследования свидетельствуют о том, что плодородие почвы существенно зависит не только 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 опытах фотосинтез, амонийный азот оказывал положительное влияние (Фотосинтез, 1988).

Наглядным доказательством многофакторной обусловленности почвенного плодородия может служить обилие причин почвоутомления (табл. 71).

Таблица 71

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

Рациональное использование почв с учетом их основных свойств

Являясь ресурсом широкомасштабного освоения, почва может быть сохранена при условии рационального использования различными отраслями хозяйства, особенно сельским хозяйством (Добровольский, Никитин, 1990, 1996, 2000, 2006; Федоров, 1990; Шишов и др., 1991; Айдак, 1993; Каштанов и др., 1994; Кирюшин, 1996; Щербаков и др., 1996; Минеев, 2000, 2003; Зайдельман, 2008; Никитин, 2009, 2010; и др.).

Становится очевидным, что большинство произошедших сельскохозяйственных бед было порождено прежде всего недостаточным учетом конкретных свойств эксплуатируемых земель, слабой заботой об их сохранении и восстановлении. Извлекая уроки из прошлого и планируя будущее хозяйствование на селе, необходимо в первую очередь разобраться в характере главного объекта труда — почвы — и выделить в ней фундаментальные свойства, которые необходимо в полной мере принимать во внимание при определении путей рационального сельскохозяйственного использования земель (табл. 72). Среди таких свойств прежде всего следует назвать *повышенную пространственно-временную изменчивость почв*, которая проявляется в разнообразных формах: высокая пестрота и сложность почвенного покрова; сильные различия почв, формирующихся в пределах одной и той же зоны, но не в одинаковых физико-географических районах, провинциях, ландшафтах, биогеоценозах и др. (Наумов, Градусов, 1974; Розов, Строганова, 1979; Корсунов, Ведрова, 1982; Добровольский, Урусевская, 2004; Геннадиев, 1990; Шоба, 2003; и др.).

Установление высокой пространственной изменчивости почв привело и приведет в дальнейшем к выделению новых генетических типов. Если в период становления докучаевского почвоведения выделялось лишь около 10 типов почв, то сейчас их насчитывают более 100. Естественно, что каждая почва требует специфических приемов сельскохозяйственного использования. Данное требование не выполнялось, и на практике нередко продолжает действовать устаревшая концепция зонального типа, согласно которой каждой природной зоне соответствует свой тип почвы, предполагающий однотипность сельскохозяйственного использования в пределах всего ареала распространения. В настоящее время в почвоведении принято положение о множественности генетических типов в каждой природной зоне, кроме того, при районировании природные зоны разукрупняют. Например, таежную область двух великих равнин — Восточно-Европейской и Западно-Сибирской —

Таблица 72

Рациональное использование почв с учетом их основных свойств и требований охраны биосферы

Основные свойства почв	Основные направления рационального использования почв			
	Получение сельскохозяйственного сырья	**Получение древесины, пищевого и лекарственного сырья естественных экосистем**	**Жизненное пространство (поселения, дороги, рекреации и др.)**	**Воспроизводство биосферных констант**
Повышенная пространственно-временная изменчивость	Реализация сугубо дифференцированного сельскохозяйственного использования почв на основе динамического земледелия, исключающего шаблонный подход	Осуществление лесохозяйственных мероприятий с полным учетом пространственно-временной динамики почв	Полный учет пространственно-временной изменчивости почв и подпочв при строительстве зданий, дорог, при организации рекреаций	Максимальное сохранение естественного разнообразия почв на представительных площадях
Открытость потоков энергии и веществ, их трансформация и значительная аккумуляция в почвенном профиле	Строго дозированное внесение удобрений и пестицидов, исключение концентрации в почвах тяжелых металлов, канцерогенов, токсикантов, расширение биологической защиты растений	Ограниченное использование химикатов в лесном хозяйстве и их исключение, защита территорий с лекарственными травами, ягодниками, орешниками от загрязнений	Охрана строений от разрушающего воздействия агрессивных факторов почвенно-геологической среды — биокоррозии, химической коррозии и др	Исключение использования почв в качестве свалки и очистителя отходов цивилизации

Окончание табл. 72

Основные свойства почв	Основные направления рационального использования почв			
	Получение сельскохозяйственного сырья	**Получение древесины, пищевого и лекарственного сырья естественных экосистем**	**Жизненное пространство (поселения, дороги, рекреации и др.)**	**Воспроизводство биосферных констант**
Замедленность и неполнота восстановления нарушенных свойств и функций	Исключение чрезмерной нагрузки на почву, борьба с эрозией и ее предотвращение, своевременное восстановление почв и блокировка негативных побочных эффектов от мелиорации	Замена тяжелых и несовершенных лесохозяйственных машин, исключение трелевки по поверхности почвы и т.п.	Всемерное ограничение разрушения почв при строительстве и функционировании промышленных, бытовых, рекреационных, военных и других объектов	Своевременное восстановление и сохранение естественных и окультуренных почв, расширение особой охраны почв и биоценозов
Геобиологичность почвы, взаимообусловленность почв и биоценозов и их экологическая полифункциональность	Реализация требований экологического земледелия, в полной мере учитывающего законы естественной жизни почв	Реализация требований экологического лесоводства, в полной мере учитывающего законы естественной жизни леса	Максимальное сохранение и восстановление почв и биоценозов, своевременное проведение в полном объеме рекультиваций в районе поселений, прокладки дорог, строительства промышленных и других объектов	Восстановление и сохранение природных зон биосферы на основе положений экологического землепользования

предложено рассматривать как состоящую из двух подобластей — восточноевропейской и западносибирской, включающих по 6—7 родственных широтно-меридиональных таежных зон (Никитин, 1985, 1990, 2009).

Необходимо помнить, что любая многообещающая технология неприменима на огромных территориях, нуждается в конкретизации, а также в специальных почво- и природоохранных мероприятиях. Это относится и к интенсивной технологии. А.М. Рябчиков, К.Г. Тарасов (1986) отмечают, что есть хозяйства, где урожайность пшеницы при интенсивной технологии достигает 60 ц/га, но при такой технологии по всему административному району урожай снижается до 40 ц/га, а по всей области — до 20 ц/га. Успешное решение практических мер с учетом специфики местных условий должно опираться на более совершенные теоретические основы земледелия (Минеев, 1984, 1999; Шишов и др., 1991; Витезев, Макаров, 1991; Айдак, 1993; Каштанов и др., 1994; Кирюшин, 2008; и др.). В большинстве работ отмечается, что системы земледелия следует строить на зональной основе. Однако этого недостаточно: системы земледелия должны быть минимум трехуровневыми — зонально-регионально-ландшафтными (биогеоценотическими) с адаптивной направленностью. Кроме того, необходимо в полной мере принимать в расчет временной фактор. Ведь одна и та же земля, взятая в разные годы, будет разной по сельскохозяйственным показателям. Этот важнейший аспект до сих пор очень слабо осмыслен, и при разработке стратегии использования почв природных зон их продолжают разграничивать по грубой схеме, например на зоны избыточного и недостаточного увлажнения. Между тем именно такое предельно схематизированное разграничение привело ко многим нарушениям в регулировании водного режима почв. Если лесную территорию европейской части страны относят к избыточно влажной, то тем самым здесь обосновывается и широкое распространение осушения болот без двойного водорегулирования. Считают, зачем сберегать воду и тратить средства на более дорогостоящие мелиоративные системы с двойным водорегулированием, если воды в зоне и так в избытке? При этом совершенно упускается из виду, что земледелец взаимодействует не только с зоной, а с конкретным участком поля в конкретный период года. Например, в так называемой избыточно влажной зоне Нечерноземья летом бывает много засушливых периодов, а если растение не получает в течение недели нужного количества влаги, то это существенно сказывается на будущем урожае. Поэтому не случайно в опытах по регламентированному дождеванию посевов трав на корм скоту в Подмосковье была получена прибавка зеленой массы более чем в два раза.

Отнесение целых регионов к зонам недостаточного увлажнения на практике во многих случаях также сказывалось отрицательно. Так, в одном из степных колхозов были загублены участки орошаемых черноземов. Хозяйство заставили централизованно поливать поля, несмотря на возражение агронома и председателя, доказывавших, что из-за близости засоленных грунтов полив не уместен. В результате 400 га плодородных земель превратились в бросовые солончаки, которые стали использовать для свалки.

Шаблонный подход, игнорирование специфики почв конкретного района, хозяйства, участка — одна из главных причин недостаточной эффективности различных мероприятий по повышению урожайности полей в различных регионах. Так, в Тюменской области из-за недостаточного учета особенностей различных почв неэффективно использовались органическое удобрение — торф. По данным Л.Н. Каретина (1990), негативным является то, что торф без предварительного приготовления вносили в чистом виде, причем в высоких дозах, независимо от типа почв, что приемлемо только для малогумусных почв, где необходимо повысить содержание гумуса, но ни агрономически, ни экономически не оправдано для высокогумусных почв. Аналогичную картину Л.Н. Каретин отмечает и в отношении известкования, проводившегося без должного учета свойств различных почв и охватывавшего не только кислые подзолистые, но и нейтральные черноземные почвы. Это делалось несмотря на то, что уже при слабокислой реакции и степени насыщенности основаниями, более 70—75% известкование малоэффективно или неэффективно (Д.Н. Прянишников).

Другая существенная особенность почвы, которую необходимо принимать в расчет в процессе ее использования, — это *незамкнутость потоков веществ, их трансформация и аккумуляция в почвенном профиле.*

С этим свойством почвы земледелие сталкивается постоянно во всех природных зонах и регионах, но о нем часто забывают, как забывают и о многих других законах жизни и функционировании почв, тем самым делая использование земли несовершенным.

Сельское хозяйство и окружающая среда пережили множество драматических последствий из-за того, что недоучитываются или игнорируются фундаментальные свойства почвы. До сих пор расточительно используются удобрения; из-за нерационального внесения значительная часть их выносится из почвы поверхностными или грунтово-почвенными водами, вызывая загрязнение гидросферы и эвтрофирование водоемов. В регионах интенсивного земледелия около половины азотных удобрений аккумулируется в агробиоценозах, а 40—50% азота в дальнейшем может попадать в грунтовые

воды (Башкин, 1986, 2004). В начале XXI в. потребность в азотных удобрениях в мировом земледелии составляет около 120 млн т, а глобальные потери азота в результате эрозии и смыва почвы, испарения, денитрификации и вымывания — около 60 млн т.

Велики потери и фосфора, несмотря на то что этот элемент в биосфере находится в дефиците. В 80—90-х годах в водоемы попадало более 10 млн т фосфора в год в результате хозяйственной деятельности, прежде всего из-за нерационального применения фосфорных удобрений. Чтобы существенно снизить потери и отрицательное влияние удобрений на биосферу, необходимы их строгая дозировка и внедрение в практику соответствующих технологий внесения, в полной мере учитывающих незамкнутость потоков вещества в почвах, особенно с промывным и полупромывным водным режимом. Для этого прежде всего требуется преодолеть технократическое мышление, которое происходит из-за непрофессионализма специалистов, их неспособности оценить проблему в целом (Шишов и др., 1991). Другой бич земледельца и потребителя сельскохозяйственной продукции — это неучет аккумуляции в почвах вследствие их высокой поглотительной способности, тяжелых металлов и токсических соединений, которые накапливаются в почвенных горизонтах при длительном применении минеральных удобрений и при использовании сточных вод и их осадков (табл. 73).

Таблица 73

Валовое содержание Cd, Ni, Pb в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы после внесения осадка сточных вод (ОСВ) в 2001 г. (*Валитова*, 2006)

Доза извести	Доза ОСВ	Cd		Ni		Pb	
		2001	2004	2001	2004	2001	2004
т/га		мк/кг					
0	0	0,42	0,39	9,43	9,37	10,11	9,82
3	15	5,09	4,92	17,24	15,49	14,70	12,22
	30	7,33	6,88	28,94	24,66	19,99	16,61
	60	13,30	10,69	38,50	32,64	28,27	23,63
	120	21,96	17,58	64,20	54,55	39,87	34,12
ОДК*		0,50		20,00		32,00	

* ОДК — ориентировочно допустимая концентрация элементов в почве.

Зарубежными учеными установлено, что за последние 70 лет в результате применения фосфорных удобрений содержание кадмия, присутствующего в них в виде микропримеси, возросло в почвах в 10 раз. Это подтверждает остроту проблемы качества удобрений и регулярного "отдыха" почв от агрохимикатов (Ковда, 1987; Федоров, 1990; Щербаков и др., 1996, 2003; и др.). Применение в качестве удобрения почв различных отходов промышленности и городского хозяйства часто приводит к плачевным результатам. Рекламируя сточные воды для орошения полей, обычно ссылаются на то, что это не только источник увлажнения, но и удобритель почв биофильными элементами. При этом упускается следующее: способы очистки, которые существуют сейчас, далеко не во всех случаях реализуются, а если и применяются, то с очень серьезными нарушениями и отклонениями от заданных параметров (Львович, 1986; Протасов, Молчанов, 1995; Никитина, Кагарманов, 2003, Никитина, 2010; и др.).

Польскими исследователями показано, что в верхних горизонтах почв, которые поливали сточными водами, содержание свинца, кадмия и мышьяка возросло более чем в 10 раз. Сточные воды всегда обогащены токсическими соединениями и особенно тяжелыми металлами, которые интенсивно накапливаются в верхних горизонтах почв, что приводит к отравлению биопродукции полей и, конечно, людей (Ковда, 1987; Добровольский, Никитин, 2006).

К аналогичным последствиям приводит и применение в качестве удобрения городских отбросов и осадков сточных вод. По данным Дж. Кука (1970), овощи, выращенные на почве, в которую был внесен осадок сточных вод, содержали в 2—4 раза больше меди, никеля и цинка.

Важнейшее условие недопущения деградации почв — это поддержание на должном уровне *физических свойств и режимов корнеобитаемого слоя*. Особое значение имеют структурное состояние и плотность сложения (Ахтырцев, Ахтырцев, 1993). Как отмечают А.Г. Бондарев и И.В. Кузнецова, суглинистые и глинистые почвы должны содержать в пахотном слое 70—80% механически прочных почвенных агрегатов размером 0,25—10 мм и 40—60% водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм. Оптимальная плотность пахотного горизонта для культур сплошного сева колеблется в пределах 1,1—1,3 г/см^3, а для пропашных — 1—1,2 г/см^3. Однако в результате переуплотнения продуктивного слоя почвы ходовыми системами сельскохозяйственных машин плотность почвы возрастает до 1,5—1,8 г/см^3. Это снижает урожайность зерновых в среднем на 20%, уменьшает эффективность удобрений на 40%, повышает суммарный расход горючего на 18% (Переуплотнение пахотных почв, 1987).

Последствия уплотнения могут сохраняться в почве в течение нескольких лет. Свести к минимуму уплотнение почв, а в перспективе его полностью исключить можно путем максимального уменьшения проходов техники по полям, облегчения ее веса, внесения высоких доз органических удобрений с целью саморазуплотнения почв (Королёв, 2008; и др).

К фундаментальным свойствам, кроме указанных ранее, относятся *тесная взаимозависимость почв и биоценозов и их экологическая полифункциональность.*

Следует отметить, что сельское хозяйство в мире, выполняя благороднейшую задачу обеспечения людей "хлебом насущным", ведется в основном в экологически ущербных формах. В результате блага, которые оно приносит, обходятся очень дорого и чреваты серьезными последствиями для биосферы. Такой вывод делают многие ученые-почвоведы. Академик РАСХН В.Г. Минеев в монографии "Агрохимия и биосфера" (1984) ссылается на суждение известного западногерманского ученого Кнанера: "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".

Необходимо не только поддержать большинство практических рекомендаций этого ученого, но и обратить внимание, что они построены на принципах экологического земледелия, направленного на получение необходимой сельскохозяйственной продукции без ущерба для биосферы и слагающих ее компонентов. При таком подходе обрабатываемые почвы воспринимаются не только как объект сельскохозяйственного труда, но и как важнейший компонент биосферы со своими многочисленными незаменимыми экологическими функциями.

Какие же пути ведут к реализации экологического земледелия на практике? Во-первых, это поддержание плодородия почв на нужном уровне за счет оптимизации естественных почвообразовательных процессов, наиболее ответственных за почвенное плодородие. Прежде всего это гумусообразование, в связи с чем оптимизация гумусного состояния обрабатываемых почв является первоочередной задачей, которую нужно решать комплексно. Наиболее дей-

ственное средство — регулярное внесение органических удобрений и прежде всего навоза. При систематическом внесении навоз оказывает благотворное влияние на почву: увеличивает в ней содержание гумуса, улучшает физико-химические свойства (емкость поглощения, буферность), способствует росту численности полезных микроорганизмов и дождевых червей, улучшает структуру почвы.

Особая роль навоза в общей системе удобрений заключается в том, что он способствует обратному вовлечению в почву питательных веществ, взятых из нее сельскохозяйственными растениями. Полагают, что из всего количества веществ, выносимых с урожаем, в навоз может переходить (через корма и подстилку) азота до 50%, оксида калия 60% и оксида фосфора 40%. Кроме того, навоз содержит биофильные микроэлементы и биологически активные соединения. В.Р. Вильямс и Д.Н. Прянишников призывали к полному использованию навоза — бесплатного комплексного удобрения. В.Р. Вильямс говорил даже о развитии специального навозного животноводства, предназначенного не столько для производства мяса, сколько для получения эликсира полей — навоза. Однако нередко наблюдается, как этот "эликсир плодородия" оказывается еще одним фактором деградации биосферы. Ведь не внесенный вовремя и хранящийся неправильно навоз подвергается разложению и загрязняет воздушную оболочку газообразными недоокисленными соединениями, которые, попадая в атмосферу, тратят на свое дальнейшее окисление и без того сокращающиеся запасы кислорода.

В требования экологического земледелия входит и использование для защиты растений биологических средств, которые, к сожалению, применяются в существенно меньшем объеме, чем химические. Так, в конце 80-х — начале 90-х годов более 80% сельскохозяйственных земель в нашей стране обрабатывали химическими средствами (в США около 60%), причем масштабы их применения имели тенденцию к росту. Эти химикаты часто вносятся без крайней необходимости, нередко ими подменяется биологическая и интегрированная защита, чем причиняется огромный ущерб окружающей среде и здоровью людей (Шишов и др., 1991). При этом нарушаются оптимальные сроки применения пестицидов и принципы локального их использования. В то же время установлено, что только строгий учет фаз развития вредителей позволяет сократить применение химических средств защиты на 30—40%.

Многие специалисты считают, что приоритетными средствами борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур должны стать: комплексная и особенно биологическая защита,

повышение общей культуры земледелия, поддержание на должном уровне плодородия почв, максимально полный учет местных почвенно-климатических особенностей конкретных полей каждого хозяйства. Нельзя надеяться, что каким-нибудь одним мощным средством можно победить сорняки, болезни и вредителей посевов. Лишь создание специальных систем борьбы с каждым конкретным вредителем каждой конкретной культуры в каждом конкретном хозяйстве может принести желаемый успех. Системы эти оказываются сложными и многокомпонентными, причем нарушение в каком-то одном звене резко снижает их эффективность и приводит к напрасной трате ресурсов. Так, повышение дозы азотных удобрений уменьшает устойчивость растений к заболеваниям (Минеев, 1984, 1999; Башкин, 2004; и др.).

Попытки решить проблему повышения урожая за счет одностороннего насыщения почвы агрохимикатами опасны еще и потому, что они резко снижают численность и видовое разнообразие почвообитающих организмов, работающих на урожай, прежде всего полезных микроорганизмов и дождевых червей (Шишов и др., 1991). Неслучайно сейчас все большую актуальность приобретает разработка конкретных приемов увеличения численности и видового разнообразия дождевых червей на полях. Один из приемов — сохранение среди пашни небольших участков с естественной растительностью (резерватов) для этих и других полезных организмов. Небольшие участки под кустарниками (0,5—2 га) на пашне являются резервным местом для люмбрицид, откуда они могут распространяться и способствовать большому разнообразию видового состава червей на обрабатываемых площадях, где численность дождевых червей в результате различных агротехнических мероприятий уменьшается (Атлавините и др., 1981; Эколого-гидрологические основы..., 1986; и др.). Благоприятно влияют на урожай не только кустарниковые, но и лесные острова среди пашни. Отсутствие и уничтожение таких островов приводят к снижению стабильности и продуктивности агроландшафта в целом.

Самостоятельным звеном рационального использования почвенного покрова является реализация принципов гармоничного землеустройства территории (Тетиор, 1997; Варламов, Хабаров, 1999). Из разработок в данной области можно отметить предложения В.А. Лихачева (1990) о выделении в проектах землеустройства ряда ландшафтно-территориальных зон применительно к Омской области (в % от площади землепользования): зона эталонных резерватов составляет всего 2—3% (без нарушения естественных и антропогенных ландшафтов); зона охраняемых консервативных

ландшафтов — поймы рек, озер, колки лесов в степных районах, кедровники, верховые болота и др. Это потенциально рекреационная территория, занимающая до 20%; зона гармоничных, используемых сельскохозяйственных, лесных, промышленных и других культурных ландшафтов, занимающая в рациональном землепользовании 52—65%; зона преобразования (формирования) типов ландшафта в интересах экономики и социальных задач, составляющая 10% территории; зона рекультивации, охватывающая все окультуренные ландшафты, которые после восстановления можно включить в любую из вышеперечисленных зон.

Проблемы экологической оценки и мониторинга почв

19 февраля 1887 г. на общем собрании Вольного экономического общества В.В. Докучаев в докладе "О нормальной оценке почв Европейской России" отмечал, что для сельскохозяйственной России по сравнению с промышленно развитыми странами Запада почвы имеют особое значение: "В Европе нет другой страны, для которой земля имела бы хотя половину того значения, какое имеет она для нашего отечества". В этой связи "...казалось бы, что у нас уже давно методы оценки земель доведены до совершенства... Но все это, к величайшему сожалению, только казалось бы, на самом же деле, в сущности, ничего этого нет, а если и существует, то в микроскопических размерах" (Докучаев, 1994).

С тех пор прошло более века, однако агрооценочные работы и бонитировка почв оставляют желать лучшего. К тому же в связи с нарастающей деградацией окружающей среды остро встал вопрос создания системы экологической оценки почв (Добровольский, Никитин, 2000, 2011; Апарин, 2004; и др.).

В почвенно-экологической оценке в настоящее время можно выделить несколько принципиальных направлений. Первое касается анализа общего состояния почвенного покрова Земли в целом, отдельных природных зон, физико-географических регионов, районов экологического бедствия, с одной стороны, и относительно благополучных территорий — с другой. Второе направление — оценка проявлений почвенных экофункций на различных уровнях: глобальном, зональном, региональном, ландшафтно-биогеоценотическом, локальном. Третье направление — анализ и ранжирование различных видов загрязнения и нарушения почв: химического, радиоактивного, биологического, эрозионного и др.

Актуальность указанных видов оценки не нуждается в особых доказательствах. Достаточно сказать, что такая злободневная за-

дача, как сбережение биоразнообразия, может быть успешно решена лишь при выполнении ряда условий, среди которых в числе первых стоит оценка различных почв как сред обитания с целью выявления и сохранения населяющих их видов живых организмов. Работы по изучению животного мира России показали преобладающее распространение на ее территории беспозвоночных животных, основной экологической нишей которых в наземных экосистемах является почва. Причем дело осложняется тем, что эти животные изучены во многих случаях слабо: в России около 90 тыс. видов (95,4%) приходится на беспозвоночных животных. Именно по этим животным, и особенно насекомым, фауна России изучена наименее полно, и для многих из них еще недостаточно разработана систематика (Алимов и др., 1996). Если учесть, что насекомые составляют 61,7% от общего числа видов и при этом более 90% из них в своей жизнедеятельности связаны с почвой (Яхонтов, 1969), то становятся понятными исключительная злободневность экооценки почв и максимального сохранения целинных и слабо измененных человеком разностей во всех природных зонах и регионах. Без этого проблема сбережения биоразнообразия не может быть решена удовлетворительно, поскольку при освоении человеком почв естественное разнообразие населяющих их организмов существенно утрачивается даже при условии соблюдения правил рационального использования земель.

В качестве самостоятельного направления выделяется экологическая бонитировка почв, направленная на учет широкого круга факторов, определяющих производительную способность почв, и оценку почв по значимости осуществляемых ими экологических функций. В широко принятом понимании "бонитировка почв — сравнительная оценка качества почвы как средства производства в сельском и лесном хозяйствах, выраженная в количественных показателях и основанная на учете свойств почвы и уровня урожайности" (Толковый словарь по почвоведению, 1975), т.е. бонитировка — оценка почв с точки зрения их плодородия: чем меньше получаемый урожай, тем ниже бонитет почв. Такой сиюминутный подход приводит к занижению значимости многих малоплодородных почв, что сопровождается недостаточной заботой об их сохранении (Прокашев, 2009; Никитин, 2011).

В последние годы намечается перелом в данном вопросе. Л.И. Шепелев, Л.Ф. Шепелева (1995) отмечают, что нередки случаи, когда непродуктивные почвы прирусловой зоны рек, не выдерживающие даже малейших антропогенных (техногенных) нагрузок, успешно выполняют ландшафтно-защитные и социально-хозяй-

ственные функции. То есть плодородие пойменных почв не может быть основанием и тем более единственным критерием оценки качества и агротехнической пригодности земель. Данный вывод касается не только указанных пойменных почв, но и многих других малоплодородных земель.

При экологической бонитировке почв существенно корректируются доминирующие методы определения бонитета и переоценивается набор показателей, по которым он выводится. Известно, что за главный показатель бонитета принимается содержание гумуса; кроме того, учитываются запасы валовых или подвижных форм азота, фосфора и других элементов (Востокова, Якушевская, 1979; и др.). Гранулометрический состав, режим увлажнения и другие факторы учитываются как поправочные показатели к установленному бонитету.

Несомненно, в число учитываемых показателей должны привлекаться не только химические, но и физические, и биологические почвенные характеристики (тепловой режим почв, их структурная прочность и фильтрационная способность, данные по почвенной биоте и др.). Причем эти параметры оцениваются не сами по себе, а по отношению к тем нагрузкам, которые почве предстоит выдержать. В соответствии с этим может существенно измениться стратегия намечаемого использования земель.

Известно, что восстановление физических свойств почв после прекращения на них нагрузки наблюдается лишь в том случае, если эта нагрузка не превышает структурной прочности почв. Данная же прочность, например для пойменных почв при влажности, равной НВ, колеблется от 0,1—0,2 кг/см^2 (в болотных и лугово-болотных) до 0,2—0,5 кг/м^2 (в луговых и дерново-луговых). Следовательно, указанные почвы в случае вовлечения их в сельскохозяйственный оборот оказываются особенно уязвимыми именно по показателям структурной прочности. Это связано с тем, что современная сельскохозяйственная техника характеризуется давлением на почву от 7,5 (МТЗ) до 2,7 кг/см^2 (Т-150, К-700), что в несколько раз выше структурной прочности всех почв. Данный пример свидетельствует о том, что бонитировка почв должна быть каждый раз конкретной с учетом планируемого их целевого назначения. Не может быть универсальных показателей качества почв различного происхождения и использования, а также единых методов оценки их плодородия и агрохозяйственной пригодности (Шепелев, Шепелева, 1995).

Следует также отметить тенденцию увеличения числа учитываемых показателей оценки и бонитировки почв, для расчетов ко-

торых, например, Л.Л. Шишовым с соавторами (1991) была предложена следующая формула:

$$\text{ПЭи} = 12{,}5\ (2 - V)\ \text{П} \times \text{Дс} \frac{t > 10\ (\text{КУ} - P)}{\text{КК} + 100} \text{А},$$

где ПЭи — почвенно-экологический индекс; V — плотность (объемная масса) почвы (в среднем для метрового слоя); 2 — максимально возможная плотность почв при их предельном уплотнении, г/см^3; П — "полезный" объем почвы (в метровом слое); Дс — дополнительно учитываемые свойства почв; $t > 10$ — среднегодовая сумма температур более 10°С; КУ — коэффициент увлажнения; P — поправка к КУ; КК — коэффициент континентальности; А — итоговый агрохимический показатель. Величина 12,5 вводится в формулу для того, чтобы привести определенную совокупность экологических условий к 100 единицам почвенно-экологического индекса.

В качестве отдельного направления нами выделяется комплексная экологическая оценка почв, которая предполагает определение динамики биоклиматических условий, степени антропогенного изменения почв; выявление уровня и характера загрязнения и эрозионного поражения почв, установление степени окультуренности обрабатываемых земель в случае их рационального использования; учет биосферной, хозяйственной и научной значимости почвенных объектов и др.

Важнейшей частью работы в области охраны почв должна быть разработка принципов и методов организации и проведения систематического наблюдения за состоянием почвенного покрова, т.е. *почвенного мониторинга*.

Если система наблюдений за состоянием атмосферы, суши и морских вод в настоящее время основывается на достаточно широкой сети пунктов слежения и аналитических лабораторий, измеряемой тысячами единиц с ежесуточной обработкой сотен тысяч проб, то сеть наблюдений за состоянием почв крайне ограничена и в сущности еще должным образом не организована (кроме наблюдений за температурой и влажностью почв, выполняемых гидрометеорологическими службами). Конечно, почвенный покров представляет систему менее динамичную, чем атмосферный воздух и водоемы. Поэтому при наблюдении за состоянием почв нет необходимости в такой же частоте проб. И все же важнейшая экологическая роль почв в биосфере и жизни человека диктует необходимость организации специального *почвенного мониторинга* как части общего мониторинга земель и окружающей природной среды.

В России задачи наблюдений за состоянием почв определяются Постановлениями Правительства "О мониторинге земель" (№ 491 от 15 июля 1992 г.) и "О совершенствовании ведения государственного земельного кадастра в Российской Федерации" (№ 622 от 25 августа 1992 г.). Разработана и утверждена Постановлением Правительства (№ 100 от 5 февраля 1993 г.) "Государственная программа мониторинга земель Российской Федерации на 1993—1995 годы". К сожалению, принятая программа не выполнялась должным образом из-за крайне низкого уровня финансового обеспечения.

Промедление с организацией и реализацией комплексного почвенного мониторинга может привести к весьма отрицательным последствиям. Локальное разрушение почвенного покрова, практически необратимые (или требующие капитальных затрат на восстановление) изменения свойств почв в зонах расположения химических и горнодобывающих комбинатов могут произойти в течение ближайших десятилетий. Примерно те же сроки характеризуют развитие вторичного засоления и осолонцевания, еще быстрее происходят изменения гидрологического режима и т.п. В результате этого, как и вследствие недостаточно контролируемого отчуждения, возможны значительные потери земель главным образом сельскохозяйственного использования. Почвенный мониторинг позволит своевременно обнаружить неблагоприятные тенденции и принять меры для предупреждения их дальнейшего развития или осуществления рекультивационных работ (Добровольский, Орлов, Гришина, 1983; Добровольский, Никитин, 2006).

Комплексный почвенный мониторинг должен быть направлен на достижение главных целей: 1) своевременное (раннее) обнаружение неблагоприятных изменений свойств почв и почвенного покрова при различных видах его использования, 2) контроль за состоянием почв по сезонам года (динамика свойств) под сельскохозяйственными культурами для выдачи современных рекомендаций по применению регулирующих мероприятий.

Первое связано с теми изменениями почв, которые возникают в результате длительного, многолетнего воздействия однотипных внешних факторов. Эти изменения приводят к коренным изменениям свойств почв или почвенного покрова, если действие факторов продолжается достаточно долго. К таким изменениям относят развитие эрозионных процессов, накопление токсичных металлов в результате промышленных выбросов в атмосферу. Это загрязнение частично связано с применением некоторых видов удобрений и мелиорантов, что вызывает прогрессирующее засоление почв при подъеме почвенно-грунтовых вод на неправильно спроектированных оросительных системах. К ним же можно отнести дефицитный

баланс гумуса и азота при усиленной минерализации органического вещества и недостатке органических удобрений, нарастание кислотности и расширение площадей кислых почв вследствие выпадения кислых атмосферных осадков и использования кислых минеральных удобрений на не известкованных фонах и др. Периодичность наблюдений определяется темпами развития контролируемых процессов, а промежутки между сроками повторных наблюдений могут колебаться от одного года до десятков лет.

Вторая цель мониторинга связана с необходимостью ежегодного прогноза урожайности важнейших сельскохозяйственных культур и выявления находящихся в минимуме условий жизнеобеспечения растений на конкретных посевных площадях. Главным образом это касается влагообеспечения и обеспечения растений важнейшими элементами питания. Периодичность наблюдений обусловливается физиологическими особенностями возделываемых культур, но, видимо, не менее двух-трех раз за вегетационный период.

На современном этапе важнейшими задачами почвенного мониторинга являются:

1) оценка среднегодовых потерь (скорости потерь) почвы вследствие дождевой, ирригационной и ветровой (дефляции) эрозии;
2) обнаружение регионов с дефицитным балансом главнейших элементов питания растений, обнаружение и оценка скорости потерь гумуса, азота и фосфора;
3) контроль за изменением кислотности и щелочности почв, особенно в районах с внесением высоких доз минеральных удобрений, а также при ирригации, использовании для мелиорации промышленных отходов, и в крупных промышленных центрах, характеризующихся высокой кислотностью атмосферных осадков;
4) контроль за изменением солевого режима орошаемых и удобряемых почв;
5) контроль за изменением почв в результате глобальных выпадений из атмосферы загрязняющих веществ;
6) контроль за локальным загрязнением почв тяжелыми металлами в зоне влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей, а также пестицидами в регионах их постоянного использования, детергентами и бытовыми отходами на территориях с высокой плотностью населения;
7) долгосрочный и сезонный (по фазам развития растений) контроль за влажностью, температурой, структурным состоянием, водно-физическими свойствами почв и содержанием в них элементов питания растений;

8) экспертная оценка вероятного изменения свойств почв при проектировании гидростроительства, мелиорации, внедрении новых систем земледелия и удобрений и др.;
9) инспекторский контроль за размерами и правильностью отчуждения пахотно-пригодных почв для промышленных и коммунальных целей.

Это наиболее общий и, вероятно, неполный перечень задач, которые должны быть дифференцированы применительно к почвенно-географическому, климатическому и экономическому районированию страны, иными словами, применительно к объектам почвенного мониторинга.

Важнейшее место в программе почвенного мониторинга занимает выбор контролируемых параметров, от которых зависит эффективность всей дальнейшей работы. В оптимальном варианте (программа-максимум) мониторинг должен базироваться на трех группах показателей:

1) характеризующих сезонные или краткосрочные (2—5 лет) изменения свойств почв; эта группа показателей необходима для оценки текущего состояния почвенного покрова в связи с прогнозами урожайности и рекомендациями срочного (сезонного) внесения удобрения, поливов и других мер повышения урожая текущего года;
2) долгосрочных изменений, проявляющихся в течение 5—10 лет и более и отражающих неблагоприятные тенденции изменений свойств в результате антропогенеза;
3) ранней диагностики развития (появления) неблагоприятных изменений свойств почв и почвенных режимов. Для ранней диагностики пригодны биологические тесты, микроморфологические наблюдения, анализ водносолевого, окислительно-восстановительного и кислотно-основного режимов почвы.

Краткосрочные изменения свойств почв диагностируются по динамике влажности, величинам pH, составу почвенных растворов, дыханию почв, содержанию доступных растениям элементов питания.

Наиболее трудоемки определения показателей долгосрочного изменения почв, поскольку они требуют периодического определения содержания и запасов гумуса, эрозионных потерь почвы, структурного состояния, состава обменных катионов, общей щелочности, кислотности, солесодержания.

Несомненно, при почвенном мониторинге придется использовать различные виды методов. Важное место займут интенсивно

разрабатываемые в настоящее время в различных странах мира аэрофото- и космические методы, которые позволяют выявлять не только структуру почвенного покрова или состояние растительности, но путем изменения спектральной отражательной способности почв количественно (или полуколичественно) характеризовать температуру почв, уровни содержания гумуса, обнаруживать развитие соленакопления и эрозионных процессов. Хотя дистанционные оптические методы и позволяют получить быструю и большую по объему информацию, они не могут заменить наземные наблюдения, и, более того, для дешифрирования такого рода информации необходимы стандартные показатели отражательной способности почв, ее функциональной зависимости от состава и свойств почвы и контрольные (реперные) измерения абсолютных величин измеряемых показателей, которые могут быть найдены только в лабораторных условиях. Поэтому параллельно с налаживанием регулярных аэрокосмических наблюдений должна быть создана сеть стационарных режимных наблюдений, которые поддаются практически полной автоматизации при дистанционной регистрации (по радиоканалу) результатов измерений. Этими методами можно контролировать влажность почв, температуру, pH, активность важнейших ионов, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал. Непосредственно в полевых условиях в дополнение к автоматическим или полуавтоматическим анализаторам должны определяться размеры твердого стока или дефляции, уровень дыхания почвы, некоторые биологические показатели.

В лабораторных условиях в периодически отбираемых пробах почв обязательны определения содержания гумуса, карбонатов, легкорастворимых солей, тяжелых металлов, кислотности или щелочности, состава обменных катионов. К числу лабораторных определений следует отнести также анализ биологических, биохимических показателей, включая численность определенных видов микрофлоры, азотфиксирующую способность, ферментативную активность почв. Нет необходимости обосновывать включение в число контролируемых параметров показатели развития урожайности сельскохозяйственных культур.

Почвенный мониторинг позволит не только научно обоснованно осуществлять охрану почв, но уже в первые годы несомненно даст значительный экономический эффект. Он позволит подготовить текущие и долгосрочные прогнозы на проведение необходимых мероприятий по улучшению свойств почв и повышению их плодородия (Мотузова, Безуглова, 2007 и др.).

Несмотря на продолжающийся процесс деградации почв, нельзя сказать, что преодоление этого губительного для человека и биосферы явления дело безнадежное.

Во многих странах мира, в том числе в России, имеется немало примеров успешного ведения сельского хозяйства, где высокая и устойчивая его продуктивность гармонично сочетается с охраной и повышением плодородия почв. Задача заключается в том, чтобы всеми средствами распространять этот опыт, показывая его экологическую необходимость и экономическую обоснованность.

Блестящим и широко известным примером рационального землепользования в условиях засушливых степей России является знаменитая "Каменная степь" под Воронежем, где размещается научно-исследовательский институт Центрально-черноземной полосы имени В.В. Докучаева. Здесь по проекту Докучаева был полнее всего осуществлен комплекс работ по борьбе с засухой, что привело к удивительным результатам: прежде мертвая земля стала живой, а опытное хозяйство на ней служит эталоном подлинно разумного, экологически сбалансированного и высокопродуктивного земледелия с неизменно устойчивыми урожаями сельскохозяйственных культур даже в самые засушливые годы.

В еще более критических условиях полупустынных ландшафтов Ногайской степи, где в результате бесконтрольного использования пастбищ начался процесс "опустынивания" с образованием сыпучих песков, удалось приостановить наступление пустыни. Лесные насаждения, созданные здесь работниками Очикулакской лесной станции, преобразовали пустыню в оазис разумного землепользования.

В результате исследовательских и опытных работ под руководством ученого-почвоведа А.А. Роде на Джанибекском стационаре в полупустыне Прикаспийской низменности была не только доказана, но и осуществлена возможность преобразования скудных солонцовых и солончаковых земель в культурные производительные агролесные ландшафты (Роде, 1974, 2005).

Подобная научная и производственная деятельность по борьбе с деградацией почв и опустыниванием земель нуждается в государственной и общественной поддержке. Необходимы международные конференции, решения, концепции, рекомендации, внутригосударственные законы и правительственные постановления и программы, которые стимулировали бы экологически обоснованные почвоохранные системы землепользования и земледелия и в то же время предусматривали бы меры административного и экономического контроля и наказания за нарушения правил почвоохранного землепользования.

За последние годы значительно интенсифицировались научные разработки по основам ландшафтно-экологического земледелия (Каштанов и др., 1994), адаптивно-ландшафтного земледелия (Кирюшин, 1993, 2010), оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах (Зайдельман, 2009 и др.).

Все большее внимание уделяется проблемам охраны почв в университетах и сельскохозяйственных высших учебных заведениях, в этом направлении издаются специальные учебники и учебные пособия (Добровольский, Гришина, 1985; Почвенно-экологический мониторинг, 1994; Кузнецов, Глазунов, 2004). Несомненно, это является свидетельством понимания опасности дальнейшего расширения деградации почв и необходимости подготовки специалистов по борьбе с этим губительным для человека и биосферы процессом (Добровольский, Никитин, 2006, 2011).

Основные принципы сохранения почв и биосферы

Вопросы, рассмотренные в настоящем учебнике, свидетельствуют о явной неэффективности существующей системы охраны окружающей природной среды и ее компонентов, в особенности почв (табл. 74, 75, 76). Причины этой неэффективности многочисленны и сложны и требуют специального всестороннего анализа и рассмотрения. Уже сейчас ясно, что охрана почв и биосферы в целом во многом не дает нужного результата из-за явно недостаточной разработки ее теоретических и методических основ.

Таблица 74

Площадь и степень деградации почв (*Global Assesment of Soil degradation*, 1991)

Деградация	Площадь	
	млн га	%
Тип		
Смыв и разрушение водной эрозией	1093,7	55,6
Размывание и разрушение ветровой эрозией	548,3	27,9
Химическая деградация (обеднение элементами питания, засоление, загрязнение, закисление)	239,1	12,2
Фактическая деградация (переуплотнение, заболачивание, просадки)	83,6	4,2

Окончание табл. 74

Деградация	Площадь	
	млн га	%
Всего	1964,4	100
Степень		
Слабая	749,0	38,1
Умеренная	910,5	46,4
Сильная	295,7	15,1
Очень сильная	9,3	0,5

Таблица 75

Причины деградации почв
(*Global Assesment of Soil degradation*, 1991)

Континент	Причина деградации				
	сведение лесов	перевыпас	неправильная агрокультура	переэксплуатация	промышленное воздействие
Африка	67	243	121	63	+
Азия	298	1997	204	46	1
Южная Америка	110	68	64	12	—
Северная и Центральная Америка	18	38	91	11	+
Европа	84	50	64	1	21
Австралия	12	83	8	—	21
Всего	579	679	552	133	23

Таблица 76

Площадь разных по экологическим свойствам земель планеты
(*Розанов А.Б., Розанов Б.Г.*, 1990)

Характер почвы	Площадь земель	
	млн га	% от общей площади суши
Ледниковые покровы	1440	10
Очень холодные земли	2235	15
Очень сухие земли	2533	17

Окончание табл 76

Характер почвы	Площадь земель	
	млн га	% от общей площади суши
Очень крутые склоны	2682	18
Очень маломощные почвы	1341	9
Очень влажные почвы	596	4
Очень бедные почвы	745	5
Итого, непригодные земли	11 622	78
Малопродуктивные почвы	1937	13
Умереннопродуктивые почвы	894	6
Высокопродуктивные почвы	447	3
Итого, пахотнопригодные земли	3278	22
Общая площадь суши Земли	14 900	100

По существу, до последнего времени охрана естественной окружающей среды связывалась почти целиком с ее защитой от факторов разрушения. Недостаточность данного подхода сейчас очевидна, поскольку в тени остаются такие важнейшие направления, как реально осуществляемое на практике использование природных ресурсов и своевременное природовосстановление.

Особенно отстающим звеном оказалось восстановление разрушенной и деградированной природы, хотя оно должно было бы идти примерно в том же объеме и с той же активностью, что использование природных ресурсов. На это, в частности, обращает внимание В.В. Крючков (1996): "Природопользование и природовосстановление — это двуединый процесс, так как природопользование всегда ведет к нарушению и разрушению природных систем, и для того чтобы природные системы в дальнейшем вырабатывали для нас потребительские стоимости (воду, леса, кислород, фитонциды, животных и т.п.), их надо восстанавливать".

В связи со сказанным считаем, что должна быть выработана более широкая природоохранная концепция, которую мы предлагаем предварительно именовать природосохранением. Природосохранение — это система тесно взаимосвязанных локальных, местных, региональных и глобальных мер, в которой успешно реализуются все три базовых природосберегающих направления: 1) охрана природы (защита от факторов разрушения и деградации);

2) рациональное использование природных ресурсов; 3) природовосстановление.

Программы и реальные шаги природосохранения необходимо увязать с рядом исходных положений и постулатов (табл. 77). Первым установочным положением, как нам представляется, должно быть признание незаменимости для человека естественно-исторической биосферы и почвенной оболочки — ее важнейшего структурно-функционального компонента. Другие исходные положения: 1) наличие организованности структурно-функциональных составляющих биосферы на уровне глобальной органически целостной системы; 2) взаимопроникновение и полифункциональность приповерхностных геосфер и роль почвы как планетарного узла экологических связей; 3) неспособность биосферы и педосферы далее выдерживать возрастающую антропогенную нагрузку и реальная опасность стремительного развития регионально-глобальных экологических катастроф.

Перечисленные исходные положения определяют принципиальные установки природосохранения по всем основным направлениям. Так, в области рационального использования природных ресурсов ориентирами должны служить: использование ресурсов биосферы и педосферы в пределах природно-ресурсного потенциала (табл. 77), пространственно-временная дифференциация природопользования в соответствии с логикой организации биосферной системы; использование компонентов биосферы и педосферы с учетом их полифункциональности и исторически сложившихся взаимосвязей; кардинальное снижение хаотичности, экстенсивности и антиэкологичности использования ресурсов биосферной системы.

К сожалению, ни одна из названных установок рационального природопользования не выдерживается. Так, эксплуатация биосферной системы давно вышла за рамки природно-ресурсного потенциала, который определяется как способность природных систем без ущерба для себя (а следовательно, и для людей) отдавать необходимую человечеству продукцию или производить полезную для него работу в рамках хозяйства данного исторического типа (Реймерс, 1990).

Не выдерживается и большая часть установок охраны природы: блокировка деградации и разрушения структурно-функциональных компонентов биосферы; прекращение дальнейшего роста и существенное снижение химической, радиоактивной, эрозионной, строительной и другой нагрузки на экосистемы, педосферу и биосферу и др. (Атлас почв Республики Коми, 2010).

Таблица 77

Основные направления и принципы природосохранения

Исходные положения и постулаты	Принципы рационального использования природных ресурсов	Задачи охраны природы	Задачи восстановления природы
Незаменимость для человека естественно-исторической биосферы и педосферы	Использование биосферы и почвенного покрова в пределах восстановимости природно-ресурсного потенциала	Недопущение действия факторов взрывного регионально-глобального уничтожения биосферы и поэтапное их снятие	Восстановление утраченных под натиском цивилизации позиций биосферы и педосферы
Наличие организованности структурно-функциональных составляющих биосферы на уровне глобальной органически целостной системы	Пространственно-временна́я дифференциация природопользования в соответствии со сложной организацией биосферной системы	Блокировка постепенной деградации и разрушения структурно-функциональных компонентов биосферы и педосферы	Регенерирование разрушенных “тканей” и “органов” биосферы и географической оболочки (ландшафтов, физико-географических районов и природных зон)
Взаимопроникновение и экологическая полифункциональность приповерхностных геосфер и роль почвы как планетарного узла экологических связей	Использование компонентов биосферы и педосферы с учетом их полифункциональности и исторически сложившихся взаимосвязей	Прекращение дальнейшей разбалансировки приповерхностных геосфер и ослабления их экофункций	Восстановление утраченных и усиление ослабленных экологических функций и планетарных связей биосферы и педосферы
Неспособность биосферы и педосферы далее выдерживать возрастающую антропогенную нагрузку и реальная опасность развития регионально-глобальных экологических катастроф	Кардинальное снижение хаотичности и антиэкологичности использования ресурсов биосферной системы	Прекращение дальнейшего роста и существенное снижение химической, радиоактивной, эрозионной, строительной и другой нагрузки на экосистемы, педосферу и биосферу в целом	Периодическое выведение из эксплуатации ослабленных техногенезом экосистем и восстановление их потенциала

Не реализуется и природовосстановление, которое должно включать: восстановление утраченных под натиском цивилизации позиций биосферы и педосферы; регенерирование разрушенных "тканей" и "органов" биосферы и географической оболочки — природных ландшафтов, физико-географических районов и природных зон; периодическое выведение из эксплуатации ослабленных техногенезом экосистем и восстановление их потенциала и др.

В связи с явно недостаточной разработанностью проблемы природовосстановления возникает вопрос: актуально ли вообще возрождение разрушенных естественных природных ландшафтов и целых территорий?

На поставленный вопрос могут быть достаточно разные по своей сути ответы. Так, еще сравнительно недавно многие были увлечены идеями коренного преобразования природы, выражением чего, например, явились проекты переброски стока северных рек на юг. Некоторые географы хотели видеть Землю благоустроенной в соответствии с интересами людей и небольшими заповедными островками, выполняющими роль естественной летописи и знакомящими людей с природой, которая когда-то господствовала на нашей планете.

Мы исповедуем иную точку зрения и опираемся на функционально-экологический подход, согласно которому наша планета и ее приповерхностные геосферы, включая биосферу и почвенную оболочку в ней, относятся к особому классу планетарных органически целостных систем. Функционирование этих систем во многом подчиняется тем же законам, что и жизнь биологических объектов (живых организмов), в связи с чем они нуждаются в таком же комплексном бережном отношении и сохранении, как и детища живой природы (Никитин, 1982, 2009, 2010; и др.).

Глава 13*

ОХРАНА ПОЧВ И ПУТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Положения, изложенные в предыдущих главах, со всей очевидностью свидетельствуют, что подавляющая часть антропогенных изменений биосферы отличается разрушительной направленностью, что ведет к структурно-функциональной разбалансировке

* Глава подготовлена совместно с С А Шобой, Е.Б. Скворцовой, Е.П. Сабодиной

и деградации биосферной системы и почвенной оболочки Земли. В связи с этим при определении путей охраны почв важно найти перспективные подходы к ее реализации. Это одна из наиболее сложных задача. До последнего времени она воспринималась упрощенно, и когда речь заходила об охране почв, то в основном имелась в виду их защита от ветровой и водной эрозии, а также химического загрязнения.

Анализ проблемы охраны почв показывает, что это весьма многоплановая задача (Никитин, 1982; Добровольский, Гришина, 1985; Никитин, Скворцова, 1994, 2002), в которой выделяется несколько взаимосвязанных уровней (Никитин, 1990, 1997, 2010).

Уровни и виды охраны почв

Первый уровень — защита почв от прямого уничтожения и полной гибели. Это ограничение отведения новых земель под строительство различных объектов; ограничение и запрещение открытых и нерациональных разработок полезных ископаемых; максимальное использование для промышленных и других объектов ранее выведенных из биосферы территорий и участков; своевременное проведение рекультиваций в полном объеме и др. (табл. 78).

Особенно слабо контролируемые потери почв отмечаются при добыче, разведке и транспортировке полезных ископаемых. Эта проблема весьма значима для многих стран, в том числе для России, где добывается нефти около 17%, газа — 25%, каменного угля — 15%, товарной железной руды — 14% объема мировой добычи этих ископаемых. Добыча полезных ископаемых часто осуществляется нерационально, приводя к неоправданно большим потерям земель. В огромных объемах продолжают накапливаться в отвалах вскрытые породы и отходы переработки минерального сырья, в значительной части пригодные для использования в народном хозяйстве. Из хозяйственного оборота выведены крупные массивы земель. Вместе с тем в стране действуют тысячи мелких ведомственных карьеров по добыче общераспространенных полезных ископаемых, которые во многих случаях можно с успехом заменить отходами горнодобывающих предприятий (Протасов, Молчанов, 1995; Добровольский, Никитин, 2006, 2010).

В этой связи особое значение приобретают почвовосстановительные рекультивационные работы, являющиеся важнейшим направлением реального сохранения разрушаемого почвенного покрова. Актуальность этой проблемы давно осознается отечественными и зарубежными учеными. Особо остро она прозвучала

Таблица 78

Система почвосохраняющих мероприятий

УРОВНИ И ВИДЫ ОХРАНЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ

Защита почв от прямого уничтожения	Защита освоенных почв от качественной деградации	Предотвращение негативных структурно-функциональных изменений освоенных почв	Восстановление деградированных освоенных почв	Сохранение и восстановление естественных почв
Ограничение отведения новых земель под строительство различных объектов	Защита почв от водной и ветровой эрозии	Оптимизация пищевого режима почв	Постановка точного диагноза патологии почв	Резервирование целинных почв с целью ограничения и исключения их хозяйственного использования
Установление объективных цен на земли, отводимые под строения, водохранилища, свалки и др	Предотвращение деградации почв из-за нерационального проведения водных мелиораций	Оптимизация водного и теплового режима почв	Снятие дальнейшего действия факторов, вызвавших деградацию почв	Полное соблюдение требований охраны почв особо охраняемых территорий
Ограничение и запрещение открытых разработок полезных ископаемых	Предотвращение химического и радиоактивного загрязнения почв	Оптимизация газового режима почв	Временное исключение деградированных земель из активного хозяйственного использования	Исключение части освоенных редких и эталонных почв из хозяйственного использования и восстановление их естественного состояния
Максимальное использование для промышленных и других объектов ранее выведенных из биосферы территорий и участков	Защита почв от биологического загрязнения	Поддержание биохимической активности и сохранение полноценной биоты почв	Биологизация почв и восстановление устойчивости их плодородия (внесение органических удобрений, травосеяние и др)	Соблюдение особого режима использования и охраны высокобонитетных и “опытных” почв
Своевременное проведение рекультиваций в полном объеме и правовая ответственность за их невыполнение		Оптимизация физического состояния почв и предотвращение их обесструктуривания и уплотнения		Организация новых комплексных и почвенных заказников, заповедников, памятников природы и др

на III Международной конференции "Освоение Севера и проблемы рекультивации" (Санкт-Петербург, 1996), материалы которой представляют большой интерес, поскольку общая площадь северных районов составляет около 70% территории России (Крючков, 1996; Арчегова, 1996; Атлас почв Республики Коми, 2010).

Ведущие специалисты в области рекультивации земель Севера обращают внимание на отставание в совершенствовании стратегии дальнейшего освоения ресурсов северных территорий, отчего во многом зависит практика восстановления и рекультивации нарушенных почв. Так, И.Б. Арчегова с соавторами (1996) отмечает, что в новых экономических условиях, складывающихся в России, принимаются попытки некоторых изменений как стратегии освоения ресурсов Севера в целом, так и отраслевых стратегий. Однако сохраняется недостаток старой стратегии: экстенсивность. По-прежнему приоритеты отдаются освоению новых территорий, новых месторождений, расширяется перечень видов добываемого сырья, используемых биоресурсов.

Некоторое, но далеко не достаточное внимание уделяется лишь новым, более экологичным технологиям по добыче и переработке сырья, очистке и утилизации некоторых отходов производства.

Налицо явное недопонимание всей серьезности грозящей беды, которая может обернуться не только региональными, но и общенациональными бедствиями. Такой тревожный вывод подтверждается многочисленными фактами.

В настоящее время свыше 8% тундры и не менее 15—20% лесотундры и северной тайги нарушено в процессе индустриального освоения, 20% (из 100 млн га) оленьих пастбищ подверглось деградации, более 40 млн га северных земель испытывают химическое воздействие: запыление, кислотные дожди и др. (Тишков, 1996).

Следует обратить внимание на то, что почвы и экосистемы различных территорий, в том числе особо охраняемых, могут подвергнуться глубокой деградации вплоть до полного разрушения не только вследствие прямого воздействия техники, но и опосредованно через воздушное загрязнение. Ведь выбросы в атмосферу ежегодно составляют около 375 млн т. Вокруг таких промышленных гигантов, как "Североникель", Норильский горно-металлургический комбинат, "Печенганикель" и другие, возникли техногенные пустоши, достигающие нескольких сотен квадратных километров. На обнаженных почвах и грунтах активно развернулась плоскостная и овражная эрозия. При этом рекультивация таких территорий весьма затруднена, поскольку она может дать положительный эффект только в том случае, если каждое предприятие сократит ежегодные выбросы в десятки раз, иначе древесно-кустарниковая

растительность не в состоянии восстановиться на данных пространствах (Крючков, 1996; Атлас почв Республики Коми, 2010).

Несмотря на усугубляющуюся тяжесть экологической ситуации, восстановление разрушенных земель в Российской Федерации идет недопустимо медленными темпами. Так, на Севере темпы восстановления техногенно трансформированных земель составляют всего 4—5% от площади ежегодных нарушений и ориентированы на залужение, а не на формирование исходной экосистемы (Тишков, 1996).

В других странах СНГ экологическая ситуация такая же тяжелая. Например, на Украине, по данным А.П. Травлеева, во второй половине XX в. шла катастрофическая потеря пахотных земель. Если до Второй мировой войны там распахивалось 40 млн га, то к началу 90-х годов их площадь составила лишь 32 млн га, из которых 4 млн га оказались загрязненными радиоактивными осадками после чернобыльской катастрофы. Количество пахотных земель на душу населения за это же время снизилось с 0,80 до 0,56 га. Около 3 млн га необходимо рекультивировать.

Определенные достижения в восстановлении разрушенной природы получены в развитых странах. К примеру, как отмечают Л.О. Карпачевский и В.А. Обухова, в Рурской области в результате рекультивационных работ к 90-м годам лесистость возросла до 35% (см. Никитин, Гирусов, 1993). Было проведено полное комплексное восстановление территории, на рекультивированных землях построены новые фермы. Успехи в восстановлении разрушенной природы и рекультивации земель не должны, однако, обольщать. Во-первых, это восстановление практически никогда не бывает полным и не возвращает утраченных естественно-исторических экосистем и почв с их первоначальной структурой, разнообразием компонентов и экологических функций. Во-вторых, процедура восстановления в большинстве случаев оказывается весьма дорогостоящей. Так, для восстановления только оленьих пастбищ Тюменского Севера потребуется около 50% затрат, вложенных в развитие всего нефтяного комплекса Западной Сибири со дня его образования (Исекеев, Тихановский, 1996). Поэтому главным принципом в вопросах природопользования должна быть установка на сведение к предельному минимуму процессов негативного воздействия человека на природу и максимальное недопущение ее разрушения (Добровольский, Никитин, 2000, 2006, 2011).

Второй уровень охраны почвенного покрова — защита освоенных и используемых почв от качественной деградации (см. табл. 77). Многие столетия главным фактором деградации почв является

эрозия, ею поражена большая часть пахотных земель, которые в связи с этим остро нуждаются в противоэрозионных мероприятиях. Но далеко не все хозяйства предпринимают необходимые усилия по борьбе с эрозией, не везде понимают значительную выгоду от ее предотвращения.

Например, в подмосковном совхозе "Каширский" благодаря противоэрозионной защите начиная с 80-х годов было приостановлено развитие оврагов, в 10—20 раз снижен сток воды с полей, существенно повысилась продуктивность угодий. Урожайность зерновых с 11 ц/га (1961—1965) возросла до 23,2 (1980—1982) и затем до 36 ц/га (1983—1987); сбор сена многолетних трав увеличился до 58,8 ц/га, кормовых корнеплодов — до 552 ц/га (Сдобников, 1989). Из этого следует, что есть все основания считать борьбу с эрозией и дефляцией одной из первоочередных задач для земледельческих районов страны, особенно в местах с пересеченной местностью и в зонах неустойчивого увлажнения: лесостепной, степной, полупустынной и др.

Для того чтобы добиться ощутимых достижений в борьбе с водной и ветровой эрозией (дефляцией), необходимо знать основные ее закономерности и сформулировать принципиальные положения системы противоэрозионных мероприятий, помогающие ориентироваться в множестве разнообразных рекомендаций и выбирать из них наиболее действенные.

Первое — противоэрозионные мероприятия должны быть комплексными и в полной мере учитывать специфику местных условий. Второе — следует ясно представлять главные задачи мероприятий по защите почв от эрозии. Эти задачи: 1) уменьшение силы воздействия факторов эрозии почв и предотвращение их действия; 2) максимальная защита растительностью и другими противоэрозионными покрытиями поверхности почв от эродирующих агентов и сокращение времени взаимодействия с ними; 3) увеличение противоэрозионной стойкости почв; 4) своевременное и полное восстановление эродированных земель (Заславский, 1987; Никитин, 1990, 2010; Кузнецов, Глазунов, 2004; и др.).

Другой фактор качественной деградации почв, которому долгое время не уделялось должного внимания, — нерациональное осуществление водных мелиораций. Печальный пример — орошение черноземов и осушение торфяных болотных почв.

Многочисленные исследования, проведенные в различных районах страны, показали, что орошение неблагоприятно влияет на черноземы, причем независимо от качества используемой оросительной воды (Орошаемые черноземы, 1989). И.П. Карабецким (1990) отмечено, что в Молдове химические и физические показа-

тели плодородия орошаемых черноземов чаще всего претерпевают негативные изменения и по сравнению с богарными черноземами снижают свои параметры. Из этого следует вывод, что при проведении всего комплекса современных агротехнических мероприятий можно добиться и без орошения высокого уровня эффективного плодородия черноземов и получать на них высокие урожаи зерновых (60—70 ц/га и более). Орошение же, причем строго дозированное, небольшими порциями, должно быть подстраховочным (дополнительным к естественному увлажнению) приемом регулирования водного режима черноземов и применяться далеко не во всех случаях. Однако на практике орошаемое земледелие страдает от шаблонных подходов. А.Т. Лисконов с соавторами (1992) отмечают, что орошение ведется исходя из теоретических соображений по заданному графику, а не по фактическому дефициту влажности. Это приводит к переполивам и созданию избытка воды в подпочве и подъему грунтовых вод, следствием чего является серия неблагоприятных побочных эффектов орошения. Значительные площади орошаемых земель приходят в неудовлетворительное состояние: "...неблагополучное почвенно-экологическое состояние отмечается на 15—45% орошаемых территорий в степной и сухостепной зонах России" (Экологические требования к орошению почв России, 1996).

Много ударов приняла на себя почва и при проведении другого вида водных мелиораций — осушения заболоченных земель, в результате которого произошло переосушение почв, особенно легкого механического состава, которые, по данным Ф.Р. Зайдельмана и других авторов, во многих случаях вообще не должны подвергаться коренным водным мелиорациям.

При проведении водных мелиораций (рис. 15) необходимо соблюдение определенных требований по охране ландшафтов и почв. В.Н. Экзарьян (1997) в числе этих требований называет следующие: 1) при строительстве осушительных систем и регулировании речного стока часто целесообразен отказ от спрямления русел рек; 2) недопустимо сплошное осушение заболоченных земель. Так, весьма нежелательно осушение верховых болот, питающих истоки рек гумидной зоны, по этой же причине целесообразно максимально сократить на них добычу торфа; 3) при строительстве оросительных систем необходимо в полной мере учитывать деформацию просадочных лёссовых пород, на которых построено 80% существующих систем, а также то, что большую опасность представляют послепросадочные явления, приводящие к прорывам каналов, провалам, образованию полостей и др.

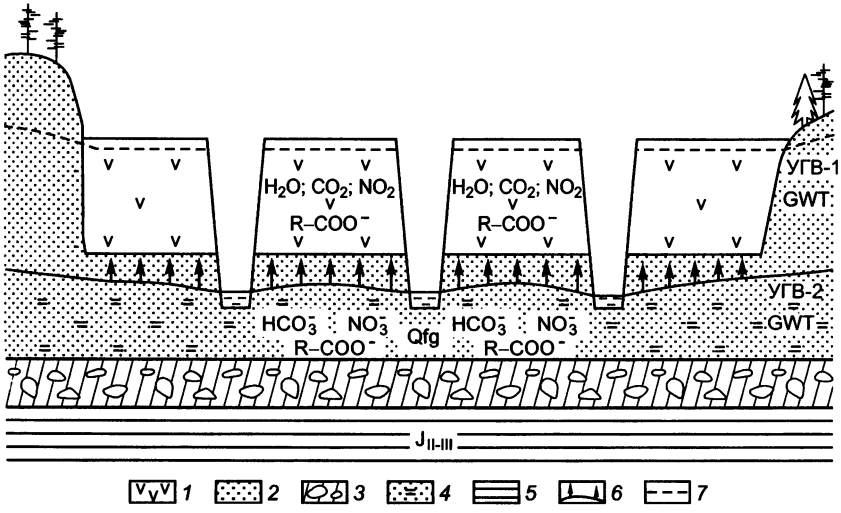


Рис. 15. **Схема самотечного глубокого осушения низинных торфяных почв системой каналов: 1 — торф; 2 — флювиогляциальный песок; 3 — моренный суглинок; 4 — грунтовые воды; 5 — юрские глины; 6 — уровень грунтовых вод и положение капиллярной каймы после осушения; 7 — уровень грунтовых вод перед осушением (*Зайдельман*, 2003)**

Говоря о деградации почв при проведении водных мелиораций и мерах защиты от нее, отметим необходимость пересмотра стратегии дальнейшего развития орошения и осушения (Добровольский, Никитин, 2000; Зайдельман, 2003). Не отрицая в принципе целесообразность развития данного вида мелиораций при соблюдении, конечно, всех природо- и почвоохранительных требований, подчеркнем важность комплексности их осуществления с соответствующим выделением средств на другие виды мелиораций. Еще недавно на водные мелиорации в странах СНГ выделялось ежегодно более 90% отчисляемых на мелиоративные мероприятия средств, а на остальные 35—40 видов мелиораций — 3—4%. И это при том, что только 10% земельного фонда нуждаются в водных мелиорациях. Новые положения по почвоохранному аспекту при водных мелиорациях изложены в книге Ф.Р. Зайдельмана "Естественное и антропогенное переувлажнение почв" (1992) и других работах (Добровольский, Никитин, 2006; Зайдельман, 2009).

Для предотвращения качественной деградации необходима защита почв от химического, биологического и радиоактивного загрязнения. Последнее является грозной опасностью для почвы, поскольку многие попадающие в нее радиоактивные изотопы

вследствие мощных сорбционных сил почвы могут сохраняться в ней десятилетиями. Чернобыльская трагедия заставила по-новому взглянуть на последствия радиоактивного заражения почв — наиболее поздно освобождающегося от радиации компонента экосистемы. Остро встал вопрос охраны почв на основе изучения закономерностей пространственно-временного распределения в почвенном покрове радиоактивных выпадений и механизма освобождения от них почвенного профиля (Щеглов, 1999; и др.). Уже сейчас выявляются повышенная пестрота этого распределения и наличие отдельных участков почв, радиоактивность которых многократно превышает средний уровень радиоактивного загрязнения данной местности. Такие участки, в частности, прилегают к домам и другим строениям, с крыш которых в почву смывались радиоактивные выпадения. Активными аккумуляторами радионуклидов оказались почвы геохимических барьеров, а также подстилки и гумусовые горизонты всех почв, испытавших радиоактивное заражение (Омнигенная экология, 1996; и др.).

К *третьему уровню* охраны относится предотвращение негативных структурно-функциональных изменений освоенных почв (см. табл. 77).

К сожалению, в работах по охране земель явно недооценивается важность профилактики их негативных изменений. Эта профилактика должна представлять собой систему опережающей защиты почв от деградации. Важными компонентами этой системы являются: регулирование пищевого, водного, теплового и газового режима почв, поддержание на должном уровне их биохимической активности и сохранение полноценной почвенной биоты, оптимизация физического состояния почв и предотвращение их обеструктуривания и уплотнения.

Решение всего комплекса профилактических мер по предотвращению "почвенных болезней" одновременно позволяет успешно справляться и с задачей получения качественной сельскохозяйственной продукции. Решение же проблемы качества урожая — один из действенных механизмов удовлетворения потребностей населения в здоровой пище.

Качество овощей напрямую зависит от оптимизации пищевого режима почв. В работе В.А. Борисова (1990) по овощеводству в поймах Нечерноземья показано, что избыточное азотное питание овощных культур вызывает ухудшение структуры урожая, приводит к растрескиванию кочанов и корнеплодов, снижает содержание сухого вещества и сахаров, вызывает избыточное накопление небелкового и нитратного азота, способствует сильному развитию

болезней овощей в период зимнего хранения. Применение калийных и органических удобрений (навоз, сидераты) существенно улучшало товарные и биохимические качества овощей, а также способствовало повышению их устойчивости к болезням при хранении.

Существует еще один важный аспект недопущения функционального "расстройства" почв при использовании агрохимикатов — предотвращение отравления почвообитающих организмов, "работающих" на урожай.

Разумная система применения удобрений и пестицидов (биоидов) способствует поддержанию на должном уровне не только пищевого режима, но и активности биоты почв. Поэтому защита почв от загрязнения агрохимикатами — важное условие сохранения здоровья почв и окружающей среды (Добровольский, Гришина, 1985; Щербаков и др., 1996). Многие аспекты такой защиты получили научное обоснование (Минеев, 1984, 2004). Стало ясно, что одно из основных условий охраны почв и ландшафтов от загрязнения пестицидами — это создание менее токсичных и менее стойких соединений, уменьшение доз их внесения и др. К сожалению, требования по рациональному использованию пестицидов во многих случаях нарушаются, что ведет к функциональным расстройствам и болезням почв и биоценозов и загрязнению окружающей среды. Наиболее часто наблюдаются: превышение или занижение дозировок биоцидов и неучет того, что в отличие от удобрений пестициды эффективны лишь в сравнительно узких рамках оптимальных доз; проведение сплошной обработки посевов препаратами вместо выборочной; нарушение установленных сроков обработки; несоблюдение требований защиты людей и животных при применении биоцидов, что может приводить к их серьезному отравлению, и др. Устранение данных нарушений — необходимое условие охраны экологического благополучия почв, растений, животных и природной среды обитания человека в целом (Гербициды и почва, 1990; Никитин, 2010; и др.).

Для обоснования необходимости своевременного предотвращения негативных структурно-функциональных изменений освоенных земель важно знание масштабов их загрязнения экотоксикантами. Установлено, что около 60—90% гербицидов, 97—99% инсектицидов и фунгицидов, используемых в качестве средств защиты растений, попадает в почву, водотоки и водоемы. Ощутим масштаб загрязнения почв тяжелыми металлами в результате внесения их с удобрениями в качестве примесей. Повышенной загрязненностью отличаются фосфорные удобрения, с которыми в почвы попадают: медь 127 г/т действующего вещества, цинк 164 г/т,

кадмий 3 г/т, свинец 34 г/т, никель 92 г/т, хром 121 г/т д.в. (Омнигенная экология, 1996). В связи с действием сорбционных механизмов почвы попавшие в нее тяжелые металлы имеют тенденцию к накоплению, особенно в разностях со слабопромывным водным режимом, что со временем может привести к существенному снижению почвенного плодородия и ослаблению почвенных экофункций (Добровольский, Никитин, 1990, 2000, 2006, 2010).

Обязательным звеном действенной охраны земель является своевременное *восстановление* деградированных освоенных *почв* (см. табл. 77). Оно должно проходить в несколько этапов: 1) точное диагностирование патологии почв; 2) снятие дальнейшего действия факторов, вызвавших их деградацию; 3) временное исключение деградированных земель из активного хозяйственного использования; 4) очищение почв от загрязнений; 5) биологизация почв и восстановление устойчивости их плодородия с последующим включением в сельскохозяйственное использование при условии строгого контроля за их состоянием и др.

Значение данных работ трудно переоценить. В последние десятилетия в нашей стране происходит сокращение площади пашни под наиболее важные культуры. Так, если в 1980 г. зерновые в СССР занимали 126,6 млн га, то в 1985 г. — 117,9, в 1988 г. — 113,9 млн га (Агропромышленный комплекс..., 1990). В Российской Федерации за период 1940—1990 гг. из оборота выбыло 26,4 млн га сельскохозяйственных угодий, в том числе за 1965—1990 гг. площадь пашни сократилась на 4,5 млн га (Зволинский, 1994). Процесс деградации сельскохозяйственных земель в различных природных зонах продолжается и в настоящее время, особенно в степных регионах, о чем, в частности, свидетельствуют материалы Международного симпозиума "Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем" (1997).

Каковы основные пути возвращения почве утраченной силы? В общем виде можно выделить два главных направления — комплексное агротехническое и естественно-природное. В первом случае "лекарем" почв выступает заботливый хозяин, во втором — сама природа. О том, что человек в состоянии "вылечить" землю и поддерживать ее плодородие на высоком уровне, свидетельствуют высокие урожаи в передовых опытных хозяйствах и на личных приусадебных участках. Например, в опытном учхозе "Самарский" Днепропетровского сельскохозяйственного института урожай озимой пшеницы по занятым парам регулярно составляет 45—50 ц/га без орошения. Одна сотка у старательного дачника в 80—90-е годы более чем в 10 раз была продуктивнее среднего колхозного поля.

Не случайно в конце 80-х — начале 90-х годов личные хозяйства, занимая в стране лишь около 3% общей используемой в сельском хозяйстве площади, давали примерно 20% общей продукции растениеводства и 30% продукции животноводства (Агропромышленный комплекс, 1990). Ясно, что всемерное развитие добротного хозяйствования в государственном секторе и улучшение личных хозяйств — действенный путь восстановления и сохранения почвенного плодородия и получения необходимых объемов качественной сельскохозяйственной продукции.

Эффективный, но мало используемый путь восстановления утраченной силы земли с последующим получением на ней высоких урожаев — это "лечение" почвы естественными почвообразовательными процессами на многолетних залежах (Федоров, 1990; Каштанов и др., 1994). Такой путь спасителен для многих почв, особенно черноземов. В Музее землеведения МГУ имеется натурная экспозиция, показывающая эффективность восстановления на залежах деградированных степных почв. Выделяется несколько этапов восстановления степи: мягкие залежи без дернины (бурьянистая — 1—2 года, пырейная — 5—7 лет); твердые залежи с дерниной (тонконоговая — 3—5, типчаковая — 10—15 лет); целина (ковыльная степь).

Отметим в качестве самостоятельного такое направление охраны почв, как сохранение и восстановление естественных почв (см. табл. 77), включающее: 1) резервирование целинных почв; 2) полное соблюдение требований охраны почв особо охраняемых территорий; 3) исключение части освоенных редких и эталонных почв из хозяйственного использования и восстановление их естественного состояния; 4) соблюдение особого режима использования и охраны высокобонитетных и "опытных" почв; 5) организация новых комплексных и почвенных (а также агропочвенных) заказников, заповедников и памятников природы.

Особая охрана земель в ее высшей форме — заповедование ландшафтов и почв — тесно связана с вопросами рационального использования и сохранения педосферы в целом.

Становление особой охраны почв

Актуальность и в то же время слабая разработанность проблемы особой охраны почв вызывают необходимость осветить ряд ее основных аспектов: становление и место особой охраны почв в общей природоохранной системе, основные положения Красной книги почв и кадастра ценных почвенных объектов и др.

Известно, что еще задолго до промышленного бума XIX—XX вв. ученые вполне отчетливо формулировали природоохранную проблему и немало делали для ее решения. Р. Гроув (1993) отмечает, что природоохранному движению на Западе по меньшей мере 200 лет, началось оно уже при освоении тропиков. Конкретными результатами этого движения явились: создание на о. Тобаго в 1764 г. лесных заповедников, принятие на о. Сент-Винсент в 1791 г. Кингсхильского акта о защите лесов, принятие в Южной Африке в 1858 г. закона об охране лесов и трав; в 1860-е годы на о. Тасмания вступил в действие закон о защите птиц, в 1864 г. организована Индийская лесная служба. Не оставалась в стороне от природоохранных дел и Россия. Достаточно вспомнить указы Петра Великого о запрещении рубки приречных лесов и бесконтрольной охоты в государственных заказниках.

Несмотря на достаточно давние проявления природоохранного движения, в нем в течение длительного времени просматривалась определенная ограниченность, так как оно носило преимущественно ботанико-зоологический характер и распространялось главным образом на растения и животных. Почва, к сожалению, на долгие годы выпадала из сферы интересов природоохранников. Серьезное внимание на нее стали обращать значительно позже, в основном в 60—70-е годы XX в., когда резко усилилась деградация почв в связи с расширением эрозии и загрязнением окружающей среды. Но и тогда политика охраны почв носила односторонний характер, поскольку была направлена лишь на защиту земель от эрозии и химического загрязнения и не охватывала проблему особой охраны почв, предполагающей сохранение почвенного эколого-генетического разнообразия.

Отставание развития особой охраны почв связано с рядом причин, среди которых одно из важных мест занимает преобладающая утилитарная, главным образом агрономическая трактовка почвы как объекта сельскохозяйственного производства, основное назначение которого — выращивание урожая за счет обеспечения растений почвенными элементами питания. Начиная с 70-х годов такая трактовка почвы уже не могла удовлетворить ни ученых, ни практиков. Почва, как выяснилось, более многогранна в структурно-функциональном отношении (Никитин, 1977; Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000; Структурно-функциональная роль почв в биосфере, 1999; Красная книга почв России, 2009; и др.).

Разработка представлений об экологической полифункциональности почв позволила расширить задачи их сохранения и выделить в отдельное направление особую охрану почв и проблему создания Красной книги почв (Никитин, 1982, 2009).

Создание Красной книги почв

Подготовка и правовое утверждение Красной книги почв различных уровней (федерального, регионального и др.) имеют принципиальное значение для реализации особой охраны почв и биосферы. Данный документ не только создаст юридическую основу для практических работ по сбережению почвенного разнообразия, но и приведет в целостную систему сам процесс борьбы за сохранение почвенного царства природы. Без такого правового документа попытки сберечь естественно-исторические почвенные тела не дадут нужного эффекта и окажутся тщетными.

Известно, что Красная книга — это документ исключительной важности, в который заносят различные природные объекты, подлежащие особой охране в связи с реальной угрозой их исчезновения или сильной деградации. До недавнего времени имелась лишь Красная книга растений и животных. Красные же книги исчезающих экосистем, почв, геологических образований находятся в основном в стадии разработки и пока созданы лишь в отдельных субъектах Федерации, что существенно тормозит сбережение этих "произведений" природы, поскольку они не защищены специальной охранной грамотой.

Одна из причин слабого продвижения в данном вопросе — недостаточное осознание значимости всех детищ эволюции Земли. Необходимо повысить оценку значимости неживой природы до уровня живых организмов, в отношении которых справедливо считают, что любой вид — это уникальное чудо, подобное произведениям искусства, которое мы с благоговением храним в музеях (Биология охраны природы, 1983).

Для того чтобы сохранить биосферу и все разнообразие естественных почвенных разностей, в Красную книгу прежде всего следует включить те из них, которые находятся под угрозой исчезновения. Это необходимо и для успешного решения многих практических задач. Так, для проведения мониторинга и сравнительного анализа процессов, происходящих в целинных и освоенных землях, следует иметь эталонные почвы. После окультуривания почвы продолжают оставаться под воздействием факторов почвообразования. Знать, какие изменения в пахотных землях вызываются человеком, а какие — природой, необходимо для выработки оптимальных систем земледелия и максимального использования почвенного плодородия, не только созданного трудом людей, но и постоянно возобновляемого естественными почвообразовательными процессами.

Естественное же плодородие почвы при правильном обращении с ней может сохраняться на достаточно высоком уровне в течение очень длительного времени, что было доказано опытами на Ротамстедской станции (Кук, 1970). Однако изначальное плодородие почв во многих случаях используется неэффективно, а нередко почти полностью блокируется.

Недооценка возможностей естественного почвенного плодородия во многом объясняется малочисленностью соответствующих исследований, которые в освоенных районах трудно проводить из-за ограниченности эталонных целинных почв, особенно в степных и лесостепных районах, почти сплошь распаханных и застроенных.

Несомненная практическая польза от заповедных почв и в том, что благодаря им возможно оптимальное чередование обрабатываемых земель с целинными и залежными, с тем чтобы последние могли выполнять роль поставщиков полезных микроорганизмов и беспозвоночных животных, которые постоянно гибнут на полях в связи с повышенной антропогенной нагрузкой на них.

Можно привести много и других убедительных доводов в пользу незамедлительного создания Красной книги почв, но на это могут возразить, так как в уже существующих заповедниках есть и почвы. Но в них находятся далеко не все почвы, которые непременно необходимо сохранить. Причина здесь прежде всего в том, что подавляющая часть заповедных территорий выделялась для защиты растений и животных, а почвы попадали лишь как места обитания. В результате многие исчезающие почвенные разности не попали в ныне существующую сеть заповедников, заказников, памятников природы, биосферных резерватов и не могут в нее попасть, так как не внесены в Красную книгу. От того, как будет заповедоваться почва, во многом зависит успешное решение всей природоохранной проблемы. Поэтому весьма актуально своевременное включение всесторонней программы почвенного заповедования в общую систему долгосрочных мероприятий по развитию сети особо охраняемых территорий.

Данная сеть характеризуется отчетливой тенденцией к расширению. По некоторым экспертным оценкам, общая площадь заповедников, заказников, национальных парков, памятников природы в нашей стране в недалеком будущем должна удвоиться или даже утроиться. Нет необходимости специально доказывать, насколько важны работы почвоведов по организации особо охраняемых природных территорий с учетом задач охраны почв.

К сожалению, данная проблема была поставлена сравнительно недавно. В отечественной почвоведческой литературе идея необхо-

димости создания Красной книги почв высказывалась нами начиная с 1979 г. (Никитин, 1979, 1982, 1989; Добровольский, Никитин, 1990). Ряд важных аспектов проблемы рассмотрен И.А. Крупениковым, за создание Красной книги почв в 1983 г. высказался академик М.С. Гиляров, а в дальнейшем эту идею поддержали Л.О. Карпачевский, Л.Н. Ташнинова, А.М. Русанов, О.В. Чернова, А.И. Климентьев, Е.В. Блохин, А.А. Чибилев и др.

При разработке Красной книги почв целесообразно использовать опыт создания 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 со спецификой почвенных образований, воздействием на них человека, разнообразием почв и т.д.

В связи с этим возникает необходимость в 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 (см. приложение), но цели и формы их охраны могут заметно различаться.

Из категории целинных земель в Красную книгу почв прежде всего целесообразно включение эталонных представителей тех почвенных разностей, для которых существует угроза значительного изменения, деградации или исчезновения под влиянием антропогенных факторов. Основная задача особой охраны почв данной категории — это сохранение наибольшего разнообразия естественных почвенных разностей, структур почвенного покрова и их биоценозов. Поэтому кроме редких и исчезающих целинных почв режим особой охраны должен быть установлен и для наиболее представительных эталонов широко распространенных почвенных разностей с целью устранения опасности их бесконтрольного освоения и организации своевременного всестороннего изучения.

Главными формами охраны целинных почв следует считать почвенные заповедники и заказники специального режима. На территории заповедников исключается всякая хозяйственная деятельность, а на территории заказников разрешаются только те виды

деятельности, которые не связаны с заметным воздействием на почву (охота, умеренный сбор ягод и грибов, заготовка кормов и лекарственных растений).

При решении вопроса о включении в Красную книгу тех почв, которые подверглись освоению, прежде всего необходимо выявить наименее измененные разности, близкие к целинным почвам и нуждающиеся в охране.

В связи с высоким уровнем антропогенного изменения среды многие почвенные разности фактически остались без целинных эталонов. В самом трудном положении оказались черноземы. Так, почвенный покров многих лесостепных и степных европейских районов освоен выше нормы оптимального освоения. Следует учитывать, что полное освоение территории приводит к минимуму полезной продукции, равному 25% возможного максимума (Реймерс, Штильмарк, 1978).

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 должна стать организация почвенных заказников общего режима. На их территории исключается широкомасштабное строительство промышленных, бытовых и жилищных объектов; мероприятия по защите среды от загрязнения должны проводиться 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. На первом этапе, вероятно, целесообразно организовывать небольшие по площади почвенные заказники и заповедники.

Прежде всего необходимо точно установить, какие почвы к настоящему времени включены в уже существующую в стране систему заповедников и заказников. К сожалению, пока не существует полной сводки по данному вопросу. Это во многом связано с тем, что далеко не все почвы заповедников и заказников изучены с не-

обходимой полнотой, далеко не всем из них даны надежная диагностика и классификационное определение. Так, анализ материалов, изложенных в книгах "Заповедники СССР" (1983) и "Заповедники России" (1994), показал, что сведения о почвах имеются примерно лишь для 25% заповедников, для остальных же такие сведения просто отсутствуют. Следовательно, первейшая необходимость — создание общей сводки и списка уже заповедных почв. Для этого потребуются дополнительные исследования, которые необходимо срочно проводить, так как дальнейшее продвижение в разработке Красной книги почв без них невозможно.

Другая задача связана с выявлением всех редких и исчезающих в силу различных причин (эрозии, застройки промышленными и городскими объектами, загрязнения, глубокого преобразования техническими мероприятиями и др.) естественных почвенных разностей. Одновременно необходимо выявление эталонных почвенных профилей, наиболее полно характеризующих различные систематические категории почв (виды, роды, подтипы и др.).

Успешная разработка Красной книги почв прямо зависит от всесторонней разработки общей теории охраны и рационального использования почв, объективных исходных положений, 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 реализации Красной книги почв.

Для подлинного понимания значения сбережения и охраны мира почв особенно важно учение о незаменимости почвенного покрова в биосфере и экологической полифункциональности почв. В свете данного учения создание Красной книги почв, всесторонняя охрана и рациональное использование почв выходят за рамки почвозащитных вопросов. Это становится проблемой сохранения благополучия биосферы и планеты в целом, поскольку биогеоценотические и глобальные функции почв (прежде всего естественных) являются обязательным условием сохранения исторически сложившихся круговоротов вещества и энергии на Земле, без чего сложноорганизованная жизнь на ней невозможна.

Относительно исходных понятий особой охраны почв необходимо отметить, что они разработаны пока недостаточно, а публикации, посвященные этому вопросу, до недавнего времени были немногочисленны. Так, кроме авторов настоящей работы данные понятия применяет И.А. Крупеников (1985), который подразделяет почвенные заповедники на три вида — раритетные, агроно-

мические и заповедники моделей высокого плодородия (на примере Молдовы). Первые, почвы-раритеты занимают небольшую площадь, но представляют большую научную ценность. Агрономические заповедники — главные в хозяйственном отношении эталонные заповедники, которые в Молдове 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 привлекательно стремлением дифференцировать объекты охраны, однако сами определения указанных видов заповедников, судя по всему, носят предварительный характер и отражают специфику землепользования пока только в Молдове.

И.А. Крупеников использует также понятие "почвенный заказник". В целом такая трактовка коррелирует с понятием почвенного заказника общего режима, рассмотренного выше.

Столь важный вопрос, как определение некоторых понятий и положений особой охраны почв, не может быть решен декларативно отдельными специалистами, важна всесторонняя его разработка с учетом появившихся в последние годы публикаций (Чернова, 1995; Ташнинова, 2000; Климентьев и др., 2001; Мукатанов, 2003; Кретинин, 2006; Апарин и др., 2007; Федорец и др., 2009).

К числу первоочередных относится также задача предварительного определения конкретных почв, на которые должен распространяться режим заповедников и заказников. Первый опыт ее решения уже имеется. И.А. Крупениковым (1985) в общем виде намечены почвы, подлежащие особой охране на территории Молдовы. К редким почвам (почвам-раритетам), подлежащим заповедованию, он относит ксерофитно-лесные черноземы в гырнецовых дубравах, бурые лесные почвы под буком и дубом, слитые черноземы, лесолуговые почвы в поймах. Для таких почв заповедники организовать нетрудно, поскольку эти почвы можно найти в лесу, где они не испытали заметного антропогенного воздействия. Следовательно, необходимо выделить соответствующие участки леса и перевести их на заповедный режим.

Значительно сложнее обстоит дело с организацией заповедников для эталонов широко распространенных почв, ценных в агрономическом отношении. В районах интенсивного освоения они почти сплошь распаханы. Поэтому, по мнению И.А. Крупеникова, такие заповедники в Молдове должны включать все основные подтипы черноземов — типичные, выщелоченные, обыкновенные, карбонатные; предлагается изъять небольшие площадки из земель

сельскохозяйственного пользования для возрождения черноземов. Это позволит проводить сопоставление используемых разностей с целинным стандартом, прогнозировать позитивные и негативные изменения в плодородии и различных экологических функциях почв.

Заповедники моделей высокого плодородия И.А. Крупеников предлагает организовать на тех черноземах и обрабатываемых лесных и пойменных почвах, у которых плодородие доведено до высокого уровня.

При реализации заповедования почв в различных регионах России (табл. 78, 79) 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.

Таблица 78

Почвы первоочередной особой охраны в лесной зоне европейской территории России (ЕТР) и Западной Сибири

Широко распространенные почвы, нуждающиеся в эталонных особо охраняемых участках		Почвы редкие и ограниченного распространения, нуждающиеся в организации особой охраны	
почвы	**основные районы распространения**	**почвы**	**основные районы распространения**
Глеево-подзолистые	Северная тайга ЕТР	Дерновые шунгитовые	Тайга Карелии
Собственно подзолистые	Средняя тайга ЕТР	Подбуры	Северная и средняя тайга ЕТР
Дерново-подзолистые	Южная тайга ЕТР	Дерново-карбонатные	Лесная зона ЕТР
Дерново-палево-подзолистые	Хвойно-широколиственные леса	Бурые лесные	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТР
Слабоподзолистые глееватые	Северная и средняя тайга Западной Сибири	Буроземы, поддубицы, коричнево-бурые	Западные районы ЕТР, Приуралье
Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, дерново-глеевые	Южная тайга Западной Сибири	Почвы ополий	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТР

Окончание табл. 78

Широко распространенные почвы, нуждающиеся в эталонных особо охраняемых участках		Почвы редкие и ограниченного распространения, нуждающиеся в организации особой охраны	
почвы	**основные районы распространения**	**почвы**	**основные районы распространения**
Подзолы песчаные	Лесная зона ЕТР и Западной Сибири	Подзолистые со вторым гумусовым горизонтом	Средняя тайга Западной Сибири(и отчасти ЕТР)
Почвы с двумя эллювиальными горизонтами на двучленных породах	Лесная зона ЕТР и Западной Сибири	Подзолистые и дерново-подзолистые на пермских глинах	Лесная зона Приуралья
		Карликовые подзолы	Тайга Кольского полуострова и Карелии
		Подзолы с мощным ортзандовым горизонтом	Тайга Западной Сибири и ЕТР
		Темноцветные почвы западин	Южная тайга и хвойно-широколиственные леса ЕТР

* Список предварительный, неполный; некоторые названия почв — рабочие.

В районах интенсивной освоенности территорий, прежде всего степных и лесостепных, конкретные проблемы заповедования почв будут во многом перекликаться с рассмотренными выше для Молдовы.

Районы, испытывающие меньшую антропогенную нагрузку, находятся в более благоприятном положении. Поэтому может показаться поначалу, что реализация для них программы особой охраны почв значительно менее актуальна и может быть отодвинута на более поздние сроки. Однако в действительности такой взгляд неверен. 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 тер-

Таблица 79

Почвы — претенденты на включение в Красную книгу почв России (полноразвитые, целинные и слабо измененные человеком)

№	Почвы, отображенные на Почвенной карте РСФСР, м-б 1 : 2,5 млн
	Почвы лесостепей и степей
1	Темно-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, буровато темно-серые
2	
3	Черноземы оподзоленные, в том числе мицеллярно-карбонатные
4	Черноземы выщелоченные, в том числе мицеллярно-карбонатные
5	Черноземы типичные
6	Черноземы обыкновенные
7	Черноземы южные
8	Черноземы мицеллярно-карбонатные
9	Черноземы языковатые и карманистые выщелоченные
10	Черноземы языковатые обыкновенные и южные
11	Черноземы мучнисто-карбонатные (промытые)
12	Черноземы осолоделые, солонцеватые, слитые
	Лугово-черноземные
	Комплексы степей
13	Черноземы и солонцы автоморфные
14	Черноземно-луговые и солонцы луговые
	Почвы сухих степей и полупустынь
15	Темно-каштановые типиные
16	Темно-каштановые мицеллярно-карбонатные
17	Темно-каштановые мучнисто-карбонатные и остаточно-карбонатные
18	Каштановые
19	Светло-каштановые
	Комплексы сухих степей
20	Каштановые и солонцы

риторий местами 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, особенно в районах активного действия ветровой эрозии, вторичного засоления, вечной мерзлоты и др. Следовательно, программа реализации особой охраны почв должна носить общероссийский характер и охватывать все природные зоны. В плане реализации данной программы нами было выдви-

нуто предложение о разработке Красной книги эталонных и редких почв лесной зоны. Объектами особой охраны должны стать те почвенные разности, которые наиболее характерны для типов, подтипов, родов (а в перспективе и видов) почв, достаточно широко распространенных на территории лесной зоны, а также почв, встречающихся локально (см. табл. 78).

К числу почв, подлежащих первоочередному заповедованию, следует 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, дерново-карбонатные, бурые лесные, почвы ополий Русской равнины и др.). Эти почвы часто отличаются высоким плодородием и поэтому подвергнуты широкому, а в некоторых районах сплошному освоению. Понятно, как важно сохранить уцелевшие целинные или слабо измененные участки этих почв (Федорец и др., 2009; Атлас почв..., 2010).

К группе почв первоочередной особой охраны относятся также эталонные профили, всестороннее изучение которых является 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, в Коми собственно подзолистые почвы на покровных отложениях в типичных районах средней тайги занимают всего около 16% площади (Забоева, 1975, 2010).

По-видимому, все участки, на которых были проведены фундаментальные исследования свойств и режимов почв, должны быть рассмотрены как возможный объект почвенных заказников специального режима и почвенных заповедников; их создание будет способствовать преемственности научных исследований прежних лет и современному почвенному и экологическому мониторингу.

Важным объектом особой охраны должны стать 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 относятся подзолистые и дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, почвы с карбонатными конкрециями, автоморфные песчаные подзолы с мощными ортзандовыми горизонтами и др.

Существует самостоятельная группа вопросов, связанных с организацией и координацией работ по созданию Красной книги почв различных уровней. В реальном воплощении данной задачи выделяется несколько этапов (Никитин, Скворцова, 1994, 1999), которые целесообразно кратко рассмотреть, поскольку они представляют интерес в связи с необходимостью создания Красных книг почв в различных субъектах Российской Федерации и других странах мира (Ерёмченко, Филькин, Шестаков, 2010; и др.).

Первый этап — осознание необходимости подготовки данного важнейшего почвоохранного свода и привлечение к нему внимания специалистов и общественности.

Второй этап, тесно связанный с первым, — это организация конкретных работ по подготовке Красной книги почв России и входящих в нее субъектов Федерации.

Наш опыт деятельности в рассматриваемом направлении говорит о явном запаздывании первого этапа работ и замедленном переходе ко второму этапу. Так, после высказывания идеи создания Красной книги почв страны (Никитин, 1979) и поддержки ее крупными учеными потребовалось 10 лет, чтобы были предприняты на нужном уровне первые организационные шаги в соответствующем направлении: в 1989 г. по решению VIII Всесоюзного съезда почвоведов образована Рабочая группа по созданию Красной книги почв (председатель Е.Д. Никитин, секретарь Е.Б. Скворцова). К тому времени для территории современной Молдовы были выдвинуты предложения по проблеме создания Красной книги почв на республиканском уровне (Крупеников, 1985).

Третий этап — проведение и координация практических работ по созданию Красной книги почв страны и субъектов Федерации — оказался наиболее труднореализуемым. После рассылки рабочей группой соответствующего обращения в различные отделения Всесоюзного общества почвоведов и его опубликования (Никитин, Скворцова, 1990) на призыв приступить к соответствующим работам откликнулось только одно отделение из более чем 100. Потребовалось второе обращение, в котором была аргументированно разъяснена реальность угрозы потерять в связи с антропогенной деградацией, приватизацией земель и другими причинами многие уникальные почвы и особо ценные объекты (научные стационары и учебные полигоны, не имеющие соответствующего статуса и др.).

После вторичного призыва дело сдвинулось с мертвой точки. Поступили материалы с предложениями об особой охране конкретных ценных почвенных объектов России (см. Приложение) от специалистов из Московской, Оренбургской, Ростовской, Туль-

ской областей, Калмыкии и других субъектов РФ. При этом наметились два основных подхода к практическому воплощению особой охраны почв. Один из них, предлагаемый Л.Н. Ташниновой и другими почвоведами, направлен на выделение, полномасштабное изучение и сохранение ценных почвенных объектов в уже существующей системе охраняемых территорий (Ташнинова, 2000).

Другой подход (разработки П.А. Садименко, А.И. Климентьева, Е.В. Блохина, А.А. Чибилева и др.) предполагает широкое развертывание особой охраны почв и значительное расширение сети охраняемых природных территорий за счет пополнения ее ценными почвенными объектами (Климентьев и др., 2001).

В связи с вышеизложенным возникла необходимость принципиального ускорения работ во всех субъектах Российской Федерации по созданию Красной книги почв. Однако эффективное решение этой давно назревшей проблемы на энергии и энтузиазме отдельных людей невозможно. Необходимы специальные программы с финансовым обеспечением, а также подключение к данной проблеме научного потенциала страны с постановкой соответствующих тем в ведущих почвенных научных и учебно-научных центрах.

Подготовка сводного кадастра ценных почвенных и других природных объектов

Продолжающаяся антропогенная деградация окружающей среды все настоятельнее требует сохранения и резервирования природных и природно-культурных объектов повышенной экологической значимости. Для России эта задача особенно актуальна, поскольку в ее пределах территория, защищенная режимом специальной охраны, составляет лишь около 3%. Одним из эффективных механизмов реализации данной проблемы является создание сводного кадастра указанных объектов, в котором должны быть указаны местоположение и основные параметры различных природных и природно-культурных образований (почвенных и агропочвенных, биологических, географических, природно-исторических и др.), подлежащих сохранению и ранжированных по категориям ценности и предлагаемому режиму охраны. Наличие кадастра существенно облегчило бы рациональное природоохранное землепользование и позволило бы своевременно корректировать проекты хозяйственного освоения земель. Однако подготовка такого кадастра сопряжена с рядом трудностей: недостаточной изученностью многих претендентов на включение в данный при-

родоохранный свод, неразработанностью методических и концептуальных положений и др.

Особенно слабо разработан почвенный блок. До середины 90-х годов не было известно ни одного почвенного объекта, который получил в России официальный статус почвенного заповедника, заказника или почвенного памятника природы. Такое отставание контрастирует с активной работой по другим природоохранным направлениям. Так, выделено значительное количество биологических, гидрологических, геологических памятников природы с рекомендациями по режиму их сохранения (Зеленая книга Поволжья, 1995; Зеленая книга Республики Татарстан, 1993; и др.). Многое из опыта и опубликованных работ могло бы с успехом использоваться и почвоведами. Например, продуктивными могут оказаться контакты с геологами, занимающимися выделением, обоснованием и изучением уникальных геологических памятников. Интерес почвоведов к достижениям в области особой охраны компонентов геологической среды должен усиливаться и тем, что на многих уникальных геологических площадках могут оказаться и уникальные, слабоизученные почвы и биоценозы, нуждающиеся в исследовании и сохранении.

Использование почвоведами опыта геологов и других специалистов по охране эталонных и редких объектов природы — весьма актуальная задача. Этот опыт достаточно богат и касается правовых аспектов, методики исследования, типизации и картографирования охраняемых феноменов и др.

Как считает Я.Г. Кац, для конкретного решения вопроса об уникальности какого-либо природного объекта и включении его в сеть особо охраняемых территорий может быть использована методика компьютерной оценки с учетом набора факторов и их значимости, среди которых приоритетную роль играют: научная ценность, роль в культурном наследии, познавательная и эстетическая ценность, состояние объекта и его действующий статус, использование в эколого-просветительской работе, применение в учебных целях, рекреационные возможности и доступность.

В методическом плане почвоведами могут быть использованы намеченные геологами основные направления деятельности по сохранению уникальных феноменов: работы на региональном уровне по выявлению объектов охраны в соответствии с действующими правовыми и нормативными актами; обеспечение сохранности памятников благодаря отражению соответствующих требований в лицензиях по использованию прилегающих территорий; придание работоспособности положению о вознаграждении лиц,

открывших новые уникальные объекты; разработка методических рекомендаций по изучению и выделению объектов охраны; составление региональных карт и справочных материалов по памятникам природы для научных экскурсий, экологического образования и др.

Большая часть перечисленных задач должна решаться при проведении соответствующих работ по выделению ценных почвенных образований и отнесению их в ту или иную категорию охраняемых объектов. Такие работы были поставлены и в определенной мере проведены рядом почвоведов рабочей группы Общества почвоведов по созданию Красной книги почв, преобразованной в 2000 г. в подкомиссию (председатель Е.Д. Никитин, секретарь Е.Б. Скворцова). В данном направлении многое сделали также молдавские почвоведы во главе с И.А. Крупениковым.

Важным результатом почвоохранных работ, кроме указанных выше первых Красных книг почв субъектов Федерации, явился подготовленный первый вариант кадастра ценных почвенных объектов, извлечения из которого даны в Приложении к монографии "Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы" (Добровольский, Никитин, 2000). При подготовке кадастра на каждый выделяемый объект заполнялся экологический паспорт ценного почвенного объекта (табл. 80), на основе которого тот или иной почвенный участок рассматривался в качестве возможного претендента на включение в сеть особо охраняемых территорий (Красная книга почв России, 2009 и др.).

Таблица 80

Экологический паспорт ценного почвенного объекта (ЦПО)

№	Общие сведения
1	Название ЦПО, площадь (в га), кто является землепользователем
2	Значение ЦПО, характер использования
3	Административный район, область
4	Состояние и стадия оформления охраны ЦПО
5	Ф.И О, рекомендовавших ЦПО для особой охраны, год рекомендации
6	Местоположение ЦПО, схема расположения с указанием масштаба
7	Геолого-географические условия и экзогенные процессы в районе ЦПО
8	Почвы, генетические горизонты и их мощность
9	Антропогенные процессы, изменения ЦПО и прилегающих территорий, прогнозные оценки изменений
10	Основные особенности ЦПО, являющиеся основанием для занесения его в Красную книгу почв
11	Рекомендуемые мероприятия по особой охране ЦПО, по режиму охраны, ответственные за охрану организации
12	Основная литература по ЦПО (если имеется или готовится)

Проведена также классификация почв по возможным формам охраны (Никитин, 1990; Никитин, Скворцова, 1994). Выяснилось, что существует большое разнообразие почвенных объектов первоочередной охраны, куда входят: целинные эталонные почвы; редкие целинные и освоенные разности; реперные почвы — объекты мониторинга; почвы опорных пунктов исследовательских учреждений, учебных полигонов и археологических объектов; высокоокультуренные огородные почвы и сильноокультуренные земли различных хозяйств — модели высокого плодородия; городские почвы повышенной экологической значимости и др. Для сохранения разнообразия особо ценных почв необходимо использовать различные формы охраны: комплексные и почвенные заповедники и заказники, почвенные памятники природы, агропочвенные заказники, почвенно-палеонтологические и почвенно-археологические заказники и памятники и др. (табл. 81).

Таблица 81

Виды почвенных объектов особой охраны

Объект	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, государственные сортоиспытательные участки
Почвы как среда обитания растений и животных, включенных в Красную книгу	Комплексные заповедники и заказники
Реперные почвы — объекты мониторинга	Ценные почвенные объекты специального использования
Огородные высокоокультуренные почвы	Ценные почвенные объекты, защищаемые от застройки и загрязнения

Окончание табл. 81

Объект	Основные формы охраны
Почвы археологических объектов	Почвенно-археологические заказники
Ископаемые природные почвы	Почвенно-палеонтологические заказники и памятники
Городские почвы повышенной экологической значимости	Ценные почвенные объекты, защищаемые от застройки и загрязнения

Правовые предпосылки сохранения почв и биосферы в целом

Большинство разделов и статей конституционного, гражданского, уголовного права посвящены регулированию общественных и межличностных отношений. Отношения же между природой и обществом, человеком и окружающей средой юридически оформляются с явным запозданием и недостаточной глубиной. Особенно отстает правовое обеспечение охраны почв. При этом нередко игнорируется необходимость сохранения почвы наравне с другими компонентами природы. Так, согласно законодательству 80—90-х годов, охране подлежит земля, ее недра, растительный покров, животный мир, воздушный бассейн и водные ресурсы (Петров, 1996). Почвенный покров при перечислении охраняемых природных феноменов отдельно не указан. Обеспечение его сохранности, судя по всему, должно регулироваться земельным правом.

В этой связи рассмотрим, насколько обеспечивается эффективность правового механизма сохранения почв в рамках современного земельного права. Основные концептуальные установки исходят из того, что под землей прежде всего понимается поверхностный слой земной коры, включающий голую материнскую породу, поверхность дна водоемов, почвы и другие элементы (Земельное право России, 1995). Приведенная генерализованная трактовка понятия "земля" для ее юридической защиты осложняет адекватную правовую реакцию на нужды охраны почв. Действительно, если голые материнские породы и почвы воспринимать как качественно однопорядковые образования, тогда нет нужды всерьез заниматься правовым обеспечением сохранения географо-генетического почвенного разнообразия как одного из главных условий сбережения биологического разнообразия. Ведь голый материнский субстрат не обладает теми экофункциями и свойствами, которые делали бы его важнейшей незаменимой эко-

логической нишей для наземных организмов. Такими функциями и свойствами обладают лишь почвы, возникающие после соответствующего преобразования материнской породы под воздействием почвообразовательного процесса в течение длительного времени.

Негативные последствия некорректности рассматриваемой исходной посылки в вопросах охраны почв мы ощущаем в полной мере. В настоящее время почвы в правовом отношении защищены явно недостаточно. В первую очередь это касается особой охраны почв, которая долгое время не была подкреплена соответствующими нормативными актами и законами. Специальный закон о почвах с включением статей по особой их охране, к сожалению, начал разрабатываться слишком поздно.

Не принес удовлетворения и Земельный кодекс РСФСР 1991 г. В нем хотя и были впервые выделены в самостоятельную категорию земли особо охраняемых территорий, тем не менее проблема сохранения почвенного разнообразия не просматривается с той же отчетливостью, что и спасение редких и исчезающих видов растений и животных. И неслучайно при подготовке законопроекта "Об особо охраняемых природных территориях СССР" почва как один из объектов особой охраны природы вообще не упоминалась. Она "растворилась" в понятии "земля", что нельзя признать оправданным, поскольку данный термин имеет много значений.

Многозначность понятия "земля" делает расплывчатыми многие правовые природоохранные положения, и порой неясно даже, о чем идет речь — о защите от деградации территории в целом, об охране верхнего плодородного слоя земной коры (почвы) или о том и другом одновременно.

В связи со сказанным очевидна необходимость специальной углубленной разработки почвенного права как самостоятельной правовой отрасли, которая бы в полной мере законодательно обеспечила сохранение почв и почвенного покрова нашей планеты. Борясь за поднятие правового статуса охраны почв, следует оговориться, что аналогичного юридического усиления требуют и другие природоохранные направления. Нами были предложены (Структурно-функциональная роль почвы, 1999, 2003) два основных правовых направления, отражающие задачи спасения гибнущей природы и ее детищ, — природно-социальное и природное (см. схему).

Природно-социальное направление включает экологическое, земельное, горное, лесное и водное право. Экологическое право стало активно разрабатываться лишь в последние десятилетия (Голиченков, 1984, 1992; и др.). Оно определяется как совокупность правовых норм и правоотношений, регулирующих общественное

Основные природоохранные направления



отношение в сфере взаимодействия общества и природы (Петров, 1996; Бринчук, 1998, 2005; и др.).

Природное направление, как нам представляется, должно включать планетарно-биосферное, биологическое, почвенное, географическое и геологическое право. Данное направление разработано явно недостаточно, определенные достижения имеются в основном в области правового обеспечения сохранения видов живых организмов. Сформулированы положения биополитики, согласно которым общество должно обеспечить право на жизнь различным видам растений и животных, созданных длительной биологической эволюцией. Подготовлены и утверждены важнейшие правовые документы — Красные книги редких и находящихся под угрозой исчезновения видов живых организмов. Кроме того, возникла необходимость правового обоснования защиты природных комплексов, подтверждением чему является организация сети биосферных заповедников и резерватов.

Однако в целом уровень развития природного права, которое юридически обеспечивало бы сохранение естественной природы в различных ее формах, недостаточен. Причин такого положения много, одна из которых — явное отставание в разработке теоретических проблем сохранения биосферы и ее компонентов. С недопустимой медлительностью осознается истина, что без сохранения и восстановления естественно-исторической биосферы и ее составляющих земная цивилизация обречена. Только в конце XX в. стало получать признание положение о том, что людям, для того чтобы иметь виды на будущее, необходимо сохранить не менее

30% естественной природы (Горшков, 1995). По нашим представлениям, доля естественных природных комплексов должна быть еще более значительной. Но без юридической гарантии особой охраны природы и ее расширения данную задачу не решить.

В России в начале XXI в. правовое обеспечение сохранности имеют лишь около 3% природных комплексов, входящих в сеть особо охраняемых территорий. Поэтому развитие природного права для нашей страны архиактуально. Правоведы призывают к охране всей экологической цепи. С точки зрения правовой, обеспечение естественного воспроизводства (восполнения) каждого конкретного элемента среды должно осуществляться путем мероприятий по охране всей экологической цепи и отдельных ее элементов (Голиченков, 1984). Однако почва, являясь центральным звеном экологической цепи, долгое время имела явно недостаточную юридическую защиту.

Роль экологических движений в сохранении почв и биосферы

Постановка проблемы роли экодвижений в сохранении почв и биосферы и их адекватности связана с необходимостью предотвращения экологического коллапса. Мы полагаем, что решение столь серьезной сверхзадачи потребует напряжения всех сил планетарного социума и в первую очередь объединенных в экологические движения групп, что подробно рассмотрено Е.П. Сабодиной, Е.Д. Никитиным, А.Н. Кочергиным, С.А. Шобой в монографии (2008).

Возникшая современная экологическая ситуация является предметом широкого и разностороннего обсуждения в научных и общественных кругах. Одновременно, поскольку речь идет не только о научной проблематике, но и о благополучной жизни любого человека, экологические проблемы стали объектом мысли и деятельности фактически всех людей в их повседневной практике. Любая социальная группа, независимо от степени ее интереса к данной проблеме и уровня осознания, вносит определенную лепту в дело общепланетарного выживания самим фактом своего бытия. Но, к сожалению, приходиться констатировать, что реальный вклад экодвижений в сохранение окружающей среды и гармонизирующее развитие системы "Природа — социум — человек" пока не адекватны современному эколого-цивилизационному вызову.

Для понимания глубины проблемы неадекватности социального ответа экологическому вызову нами разработана матрица

неадекватности (табл. 82). Эта проблема ставится нами в связи со строго определенной ситуацией. Академики РАН Г.В. Добровольский и Е.П. Челышев считают: "В своей деятельности наш совет неизменно руководствовался принципом неделимости природного и культурного наследия. В его трудах всегда подчеркивалось, что для преодоления истощения ресурсов биосферы необходимо активизировать весь потенциал культуры... сохранение среды обитания органически связано с задачами защиты культуры от разрушения и деградации, с воспитанием в человеке ответственности за состояние природной и духовной среды" (2004).

В данном разделе рассматриваются причины, формы проявления и способы преодоления неадекватности. Так, неразработанность на уровне фундаментальной науки теории единства человека и природы способствует хищнической эксплуатации природных ресурсов.

Неполнота экологического знания на деле является фактическим отсутствием информации о причинах, масштабах и последствиях экологического кризиса. Имеются многочисленные разрозненные знания, создающие иллюзорное восприятие проблемы. Поэтому возникла острая нужда в прогнозе экологической планетарной ситуации по аналогии с прогнозом ядерной зимы, с привлечением крупных научных сил на уровне всей страны и международного сообщества.

Неразработанность теории единства человека и природы не случайна, что связано с господством антропоцентрического мировоззрения. Осознание на уровне фундаментальной науки причин, масштабов и последствий экологического коллапса может стать необходимым стимулом для формирования нового геобионоосферного мышления (Никитин, 2005, 2009; и др.).

Поскольку причины, масштабы и последствия нерешенности экологических проблем не осознаны ни на уровне фундаментальной науки, ни тем более на уровне массового сознания, экологические действия социальных движений разрозненны, неорганизованны и не способны решить ситуацию в пользу сохранения благоприятных условий существования природы и человека. Поэтому необходимо формирование структуры и правовой базы широкомасштабного объединенного движения человечества за сохранение окружающей среды и здоровья человека. Экологическое мышление внесет и новое понимание в законодательство о правах человека и природы.

Следует обратить внимание на то, что экологическое движение по созданию Красных книг почв (отдельных субъектов Федера-

Таблица 82

Неадекватность экологических движений и ее преодоление

Формы проявления	Основные причины	Пути преодоления
На планетарном уровне отсутствует стратегия и тактика позитивного взаимодействия человека и природы, нет теории единства человека и природы как фундаментальной научной дисциплины	Приоритет материального успеха любой ценой как в личностной, так и в государственной деятельности, отсутствие общепринятого современного экологического мировоззрения	Формирование на планетарном уровне экологического мировоззрения, преодоление разрыва между естественной и социальной экологией, создание теории единства человека и природы
Недостаточная экологическая образованность социума	Неполнота экологического образования	Расширение и углубление целостного экологического знания
Теория и практика воспитания молодого поколения не учитывает в должной мере единства человека и природы	Отсутствие мировоззрения единства человека и природы	Поддержка научных и художественных творений, формирующих мировоззрение единства человека и природы
Отсутствует стратегия и тактика позитивного единства экологических социальных движений, не изучены и не систематизированы противостоящие им социальные движения	Нет организационной структуры, законодательного и исполнительного уровня для разработки условий позитивного объединения экологических социальных движений и для выявления и нейтрализации противостоящих им социальных движений	Разработка структуры и необходимых условий позитивного единства экологических социальных движений
Отсутствует экология личности как научная дисциплина, не соблюдается экологическая этика в повседневной жизни человека	Многообразие психологического, антропологического, философского и других знаний не сведено к целостной ясной системе, обладающей прикладным значением в решении экологических проблем личности и социума	Формирование концепции *homo sapiens novis*, разработка ее прикладного значения с экологической доминантой
Не разработана адекватная эколого-цивилизационному вызову государственная стратегия и тактика как в российском, так и в планетарном масштабе	Не осознаны масштабы и опасность экологического коллапса управляющей элитой	Разработка и внедрение адекватной эколого-цивилизационному вызову государственной стратегии и тактики

ции, России в целом, Международной Красной книги почв) и ряд положений, сформулированных в законе об охране окружающей среды под непосредственным влиянием этого движения (ст. 62 Федерального закона "Об охране окружающей среды"), являются одним из важнейших практических начинаний по государственному содействию экологическим движениям. Другим таким начинанием оказалась поддержка почвоведами России расширения почвенно-краснокнижных работ до создания Комплексной Красной книги природы и ноосферы, что нашло свое отражение в трудах 4-го съезда почвоведов и в докладе "От Красной книги почв к Комплексной Красной книге природы" (Никитин, Кочергин, Сабодина и др., 2011), а также в региональных почвоохранных достижениях, формирующих базу общероссийского целостного краснокнижного дела. Однако стратегия и тактика позитивного единства экодвижений еще не разработана. Для этого требуются объединенные усилия большинства государств планеты.

Глубины человеческой личности, особенности психики таят в себе еще много непознанного. Открытие З. Фрейдом и его многочисленными последователями феномена "бессознательного" свидетельствует о наличии некоторого механизма взаимодействия подсознания с окружающим миром и влияния импульсов подсознания на поступки человека. Данная область содержит больше загадок и белых пятен, нежели научно достоверного знания. Однако даже недостаточная информация позволяет сделать выводы, что факторы внешнего воздействия, соединенные с неосознанными глубинами человеческой психики, нередко определяют поведение человека. Мы не рассматриваем медицинский психиатрический аспект данного феномена, нас интересует поведение большинства, здоровых членов общества. В рамках концепции гармонизирующего развития происходит поиск факторов гармонизации взаимодействия человека и природы, среди которых сам человек и его неадекватное эколого-цивилизационному вызову поведение занимают решающее место. Как действия отдельных лидеров, так и социальные движения во всей их совокупности в настоящее время чрезвычайно далеки от быстрого и эффективного предотвращения экологической катастрофы. Причиной данного явления, по нашему мнению, помимо всего прочего, является непонимание обусловленности поведения как отдельных людей, так и социумов при взаимодействии внешнего мира не только с сознанием человека, но и с его подсознанием и личностью в целом (Сабодина и др., 2008; и др.).

Еще Аристотель, размышляя о сущности государства, подчеркивал, что государство призвано формировать такое общение граждан, которое способно организовать добродеятельную жизнь и благополучие людей. Не случайно в исторической реальности процветание возникло в тех странах, где госаппарат активно способствовал проявлению лучших человеческих качеств посредством религии, идеологии, искусства, системы образования и др.

Проявление не лучших человеческих качеств также может происходить осознанно или неосознанно, в результате влияния внешних факторов. Исследования в данной области необходимы прежде всего с позиций поведения индивида и социума в целях сохранения окружающей среды и выживания народа. Но и без специальных исследований понятно, что реклама сигарет, спиртных напитков и др. непосредственно формируют такое поведение, чувства, эмоции и мышление, которые полностью блокируют возможность адекватного ответа социума экологическому вызову. Следовательно, формируется цепь причинно-следственных связей, фатально предопределяющих судьбу планеты в целом и в частности России. Положение усугубляется тем, что под воздействием негативных факторов находятся не только массы, но и лидеры.

Понимание управляемости данным процессом предоставляет шанс выживания. Необходимость введения цензуры или запретов на производство той или иной нежелательной продукции и пропаганду неэтичного образа жизни определяется не только моральными, религиозными, политическими, идеологическими соображениями, но и ясным осознанием причинно-следственных связей человека с внешними факторами и элементарным желанием жить. Как бы ни стремились к совершенству отдельные индивиды или социальные движения, формируя рациональное мышление и поведение, решение проблемы адекватного ответа современному эколого-цивилизационному вызову под силу только государству.

Задача науки и образования донести до элиты общества идею необходимости использования мощи государства для решения указанной проблемы. Выявление факторов, пробуждающих негативные импульсы сознания и подсознания, сведение их к минимуму, разработка и внедрение факторов, благотворно влияющих на человека, являются мерами неотложной помощи социуму, промедление которой недопустимо. Концепция гармонизирующего развития предполагает формирование идеологии, отражающей интересы не только отдельных социальных групп и социума, но и всей жизни на Земле. Планетарная жизнь сегодня поставлена в полную зависимость от человеческого фактора.

Разработка структуры и необходимых условий позитивного единства экодвижений возможна при активной деятельности целого ряда научных организаций в условиях государственного заказа. Одновременно с этим необходимо произвести анализ и классификацию всех социальных движений, тайно или явно, осознанно или неосознанно негативно влияющих на единство человека и природы, для создания таких правовых норм, которые в перспективе свели бы это отрицательное влияние к минимуму. Данная задача требует своего решения сразу после осознания причин, масштабов и последствий экологического коллапса на уровне как фундаментальной науки, так и массового сознания.

Другим слабым местом современной цивилизации является отсутствие разработанной и обоснованной экологии личности. Когда-то, в далекие двадцатые годы, разоренная Гражданской войной Россия, голодная, исключительно аграрная, каждый вечер погружалась во тьму. Однако уже тогда замышлялась, казалось, несбыточная электрификация всей страны. Этому замыслу суждено было осуществиться, что обернулось мощью и процветанием великого государства. Сегодняшняя Россия в определенном смысле снова находится в такой же критической ситуации. На этот раз перед ней и всем миром стоит новая задача. Если ранее нужно было дать народу возможность получить образование и овладеть секретами современного производства, то теперь кроме упомянутой стоит задача духовного развития человека до уровня, пока еще нигде не достигнутого. Научные разработки в той или иной степени, раскрывающие духовный потенциал человека, уже имеются. Однако между ними нет единства, взаимопонимания и объединяющей идеи. С нашей точки зрения, этой идеей должно стать осознание хрупкости общепланетарной цивилизации в условиях надвигающегося экологического коллапса. Различные духовно-экологические движения, ставящие цель духовного совершенствования человека, ответственного за богатство и сохранение жизненных форм планеты, вносят большой вклад в сохранение природы. Но их усилия без государственной поддержки, без разработки и внедрения программ государственного развития, созданных на основе интегральной экологии, в том числе экологии личности, не являются адекватным ответом экологическому вызову. Формирование концепции *homo sapiens novis* как фундаментального знания XXI в., его философское обоснование и практическое применение является одним из необходимых условий адекватного ответа на отрые экологические проблемы. Современ-

ному человеку, отягощенному физическим и психическим неблагополучием, эта задача пока не под силу.

В итоге авторы пришли к следующему выводу: для предотвращения экологического коллапса и сохранения жизни на Земле необходимы соединенные усилия всех граждан государства и мирового сообщества, как индивидуальные, так и коллективные, при организующей и направляющей деятельности государств и их первых лиц. В то же время адекватная эколого-цивилизационному вызову государственная стратегия и тактика как в российском, так и планетарном масштабе не разработана, масштабы и опасность экологической катастрофы управляющей элитой и социумом не осознаны. Важнейшей причиной этого является запоздалое развитие биосферологии, экологии почв, экологического почвоведения и др.

В последние годы положение стало меняться в лучшую сторону в части правового обеспечения особой охраны почв. Важным событием стало включение в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 специальной почвенно-краснокнижной статьи 62.

1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения почвы подлежат охране государством, и в целях их учета и охраны учреждается Красная книга почв Российской Федерации и красные книги почв субъектов Российской Федерации, порядок ведения которых определяется законодательством об охране почв.

2. Порядок отнесения почв к редким и находящимся под угрозой исчезновения, а также порядок установления режимов использования земельных участков, почвы которых отнесены к редким и находящимся под угрозой исчезновения, определяются законодательством.

Существенным шагом вперед в деле сохранения почвенного разнообразия оказался выход в свет первого выпуска "Красной книги почв России" (2009). Следует также указать, что 06.09.2005 на заседании Правительства Москвы принято постановление "О городских почвах", предусматривающее контроль за состоянием и охраной почв. Важным событием явилась, кроме того, публикация первых красных книг почв субъектов федерации — Калмыкии; Оренбургской, Ленинградской, Белгородской областей и др.

Часть V

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ УЧЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ ПОЧВ И ГЕОСФЕР

Учение о почвенных экологических функциях и экология почв в целом оказались востребованными различными разделами науки о почве и смежными с ней дисциплинами. В данной части характеризуются основные задачи дальнейшей разработки учения об экофункциях почв в качестве актуального направления почвоведения как фундаментальной науки. Рассматриваются также некоторые наиболее злободневные экологические проблемы современности, решение которых во многом зависит от всестороннего развития науки о почве.

Глава 14

ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ УЧЕНИЙ О ФУНКЦИЯХ ПОЧВ И ГЕОСФЕР

Одна из острейших проблем человечества, бесспорно, экологическая[1]. Но как подступиться к ее эффективному решению? Где ключ к продуктивному подходу, который дал бы ясное обозначение целей и путей такого взаимодействия социума и природы, которое обеспечивало бы не только выживание мирового сообщества, но и его прогрессивную полноступенчатую эволюцию. Среди многочисленных подходов особый интерес представляет функционально-экологический. Именно его реализация в почвоведении позволила создать учение об экологических функциях почв, оказавшееся востребованным не только внутри самой науки о почве, но и за ее пределами.

Действительно, публикации по почвенным экофункциям получили признание у геологов, географов, биологов и других специалистов и были ими творчески использованы при изучении и описании отдельных приповерхностных геосфер Земли. Наиболее яркие примеры: коллективный фундаментальный труд "Экологические функции литосферы" (2000) и теоретическое обобщение "Основы геоэкологии" (2003), в которых авторы успешно приме-

[1] Основные положения данного раздела опубликованы в журнале "Почвоведение" М., 2010 № 7

нили указанный подход с учетом его апробирования в почвоведении. Это очень важно и ценно. Однако, естественно, возникает вопрос: а что дальше?

Понятно, что применение функционально-экологического подхода в науке о почве не случайно дало весьма ощутимые результаты. Ведь почвенная оболочка — это планетарно-космический узел экологических связей, объединяющий в единое целое все приповерхностные геосферы Земли, которые контактируют и активно взаимодействуют между собой именно через почву. Поэтому когда почвоведы расширяли предмет своего исследования и подвергали углубленному изучению взаимосвязи почвы с другими составляющими природного комплекса, они достигали нетривиальных результатов. Наиболее яркий пример — это творчество Докучаева и его выдающихся последователей, а также создание интегрального естествознания, включающего в себя науку о почве как неотъемлемую отрасль. Важнейшим методологическим посылом должна стать установка на сопряженное изучение закономерностей функционирования почвы и взаимодействующих с ней оболочек Земли.

Рассмотрим кратко основные задачи дальнейшего развития учения об экологических функциях почв и геосфер (табл. 83), охарактеризованные ранее (Никитин, 2005, 2009, 2010).

В группе задач изучения ***биогеоценотических (БГЦ) функций почв*** выделяются: усиление работ по слабоисследованным экофункциям почвенных систем и их компонентов; использование разработок, полученных при изучении почвенных БГЦ-функций в исследованиях объектов, родственных почвам; изучение пространственно-временной динамики биогеоценотических функций почв; анализ БГЦ-функций измененных человеком почвенных разностей и др. Решение данных задач представляет несомненный интерес как для самого почвоведения, так и для смежных с ним наук. Так, использование классификации биогеоценотических функций почв для описания жизнедеятельности их микробов существенно обогатило понимание особенностей функционирования педомикробиоты и позволило дать более целостную объективную картину динамики почвенных микроорганизмов. Учение об экофункциях почв дало основание В.Г. Минееву (1999) выявить и систематизировать в агрохимии экологические функции калия.

Весьма значимо изучение с единых позиций функционирования почв и родственных им объектов. Например, полезными оказались обобщения по почвенным БГЦ-функциям при выявлении закономерностей динамики активного ила станций аэрации (Никитина, 2010).

Таблица 83

Основные задачи развития учений об экологических функциях почв и геосфер

Теория экофункций почв		Теория экофункций геосфер	
Биогеоценотические (БГЦ) функции почв	**Глобальные функции почв**	**Функции отдельных геосфер**	**Интегральное функционирование геосфер**
Усиление изучения слабоисследованных функций почвенных систем и их компонентов	Разработка раздела по социосферным и этносферным функциям почв	Выработка единого подхода к выявлению и классификации экофункций различных геосфер	Изучение взаимосвязей и выявление закономерностей взаимодействия приповерхностных геосфер
Использование разработок, полученных при изучении БГЦ-функций в исследовании объектов, родственных почвам	Углубление исследований гидросферных, атмосферных, литосферных функций почв	Осуществление теоретических обобщений по экологическим функциям атмосферы, гидросферы, биосферы	Теоретические монографические обобщения по экофункциям природных зон Земли
Изучение пространственно-временной динамики почвенных БГЦ-функций	Исследование воздействий на экофункции почв опасных природных процессов	Актуализация исследований слабоизученных экофункций различных геосфер	Разработка концепции геобиосоциосферы, ее функционирования и эволюции в геобионоосферу
Исследование БГЦ-функций антропогенных почв в контексте их рационального использования и охраны	Анализ влияния антропогенеза и техногенеза на глобальные функции почв	Выявление антропогенных изменений в экофункциях отдельных приповерхностных геосфер	Развитие положений о почве как узле планетарных связей и антропогенной трансформации интегральных функций геосфер и геобиосоциосферы

Актуальность данной проблемы определяется как ее междисциплинарностью, так и ярковыраженным почво- и природоохранным аспектом. В литературе часто звучат призывы использовать органический осадок сточных вод, в котором нередко оказывается и избыточный активный ил, в качестве удобрений для сельскохозяйственных угодий. Однако нами неоднократно отмечалось, что такие советы не имеют необходимого научного обоснования, поскольку не учитывают мощное проявление и в почве и в активном иле сорбционной функции, обусловливающей весьма ощутимое накопление в рассматриваемых объектах различных загрязнений. Поэтому не случайно наблюдается существенное ухудшение по ряду показателей качества сельхозпродукции при удобрении угодий органическим осадком сточных вод.

Говоря о функциональном сходстве активного ила и почв, подчеркнем, что активный ил представляет собой полифункциональную систему, основными компонентами которой являются организмы флокулированные и нефлокулированные. В очистке сточных вод, осуществляемой в аэротенках, главную роль играют бактериальные флокулы, на которые приходится около 90% биомассы сообщества. Флокулы часто называют экологическими единицами активного ила и утверждается, что именно структура и биологические свойства отдельных флокул активного ила определяют его основную эффективность.

Выявлению и классификации экологических функций активного ила (табл. 84) способствовала система понятий и схема биогеоценотических функций (см. рис. 2), разработанные в почвоведении, что было рассмотрено ранее (Никитин и др., 2008).

Отметим, что всестороннее изучение экологических функций активного ила имеет большое практическое, теоретическое и методическое значение. Так, классификация и схема экологических функций активного ила позволяет биотехнологу полнее представлять сущность контролируемого процесса, не упускать из вида ни одной функции, акцентировать внимание на той, нарушение которой повлекло изменение процесса очистки в данный момент.

Касаясь вопроса о междисциплинарном значении сравнительного анализа экологических функций активного ила и почв, следует подчеркнуть наличие здесь нескольких взаимосвязанных аспектов. Это прежде всего стимулирующее влияние учения о почвенных экофункциях на использование функционального под-

хода в изучении активного ила и ответное воздействие работ по экофункциям активного ила на почвенно-экологические исследования. Последнее вызывает значительный интерес у почвоведов при сравнительных исследованиях структурно-функциональных особенностей биоценозов активного ила и почв, особенно почв гидроморфного ряда. Так, осуществление общих экологических функций активного ила (см. табл. 84) и целостных биогеоценотических почвенных функций (см. рис. 2) способствует выполнению сходных задач по сохранению биосферы Земли и особенно гидросферы и почвенной оболочки. Действительно, от того, насколько эффективно станет осуществляться активным илом функция минерализации веществ, поступающих на очистные сооружения, в решающей степени зависит качество сточных вод, выходящих со станций аэрации и вливающихся в гидросферу, которая взаимосвязана со всеми другими приповерхностными оболочками Земли и в первую очередь с педосферой. Следует напомнить, что степень загрязненности, например пойменных почв — этих оазисов жизни — напрямую зависит от качества очистки поступающих в речные долины сточных вод.

Отметим некоторые задачи дальнейшего изучения ***глобальных функций почв***, в число которых входит: разработка раздела по социосферным и этносферным почвенным функциям; углубление исследований гидросферных, атмосферных, литосферных функций; изучение воздействий на функционирование почв опасных природных процессов; анализ влияния антропо- и техногенеза на глобальные почвенные функции. Решение данных актуальных проблем будет успешным в случае развития нескольких междисциплинарных направлений.

Прежде всего, должно привлечь повышенное внимание направление, которое можно предварительно определить как социальное и экономическое почвоведение, важнейшей задачей которого должно стать изучение и рациональное использование функций почв в системе взаимодействия общество—природа (табл. 85). Эти функции в полном и целостном виде пока что не осмыслены и не описаны. Между тем для сохранения и развития планетарной цивилизации, и в первую очередь России, их изучение, использование и охрана имеют принципиальнейшее значение. Взять хотя бы группу почвенных экофункций, проявляющихся в сфере жизненного пространства человечества, — это место для поселения, строительства дорожно-транспортной сети и др.

Таблица 84

Экофункции активного ила

<table>
<tr><th colspan="4">Функции бактериальных флокул активного ила</th></tr>
<tr><th>Физические</th><th>Физико-химические</th><th>Биохимические</th><th>Информационные</th></tr>
<tr><td>Жизненное пространство</td><td>Сорбент растворенных и взвешенных веществ</td><td>Источник питательных веществ</td><td>Пусковой механизм сукцессий</td></tr>
<tr><td>Механическая опора</td><td>Сорбент организмов и их зачатков</td><td>Депо пищи и энергии</td><td>Сигнал для смены стадий очистки</td></tr>
<tr><td>Сохранение сообщества в системе</td><td>Депо зачатков организмов</td><td>Активатор и ингибитор ряда биохимических процессов</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Функции нефлокулированных организмов</td><td colspan="2">Общие функции</td></tr>
<tr><td colspan="2">Стимулятор увеличения численности популяции бактерий</td><td colspan="2" rowspan="2">Минерализация органических веществ;
образование нового органического вещества, аккумуляция различных веществ</td></tr>
<tr><td colspan="2">Агглютинация веществ</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Ворошение и рыхление осевшего активного ила</td><td colspan="2">Образование биологически полноценной воды; санитарная функция</td></tr>
<tr><td colspan="2">Защитный экран по отношению к водоему—приемнику очищенных сточных вод</td></tr>
</table>

Таблица 85

Функции почв в системе взаимодействия общество—природа

Сферы взаимодействия	Биоресурсы	Жизненное пространство	Минеральные и энергетические ресурсы	Природные круговороты и информация
Функции почвы	Обеспечение воспроизводства сельскохозяйственного сырья	Место для поселений и промышленных объектов	Формирование минеральных полезных ископаемых при участии почвообразования и выветривания (бокситы, болотные и др руды)	Поддержание исторически сложившихся круговоротов вещества и энергии в геосферах и биосфере в целом
	Обеспечение воспроизводства древесного сырья	Место для дорожно-транспортной сети	Формирование энергетических ресурсов (органическое вещество почв, торф и др.)	Сохранение информации о развитии природной среды
	Обеспечение воспроизводства пищевого сырья естественных экосистем	Рекреационные функции, санитарное сохранение среды и поддержание эстетики ландшафта	Формирование водных ресурсов и их поддержание	Сохранение генофонда наземных организмов
	Обеспечение воспроизводства лекарственных растений	Базовый компонент вмещающего ландшафта для этносов, фактор этногенеза и развития общества	Образование строительных материалов (пески, глины и др.)	Модель для изучения общих закономерностей жизни сложных систем

На сегодня фактически отсутствуют глобальные и региональные прогнозы последствий эксплуатации данных функций в существующих формах. Эти последствия могут оказаться весьма драматическими. Ведь сокращающаяся оболочка естественных почв, ставшая "шагреневой кожей" Земли, находится под постоянным натиском все расширяющейся техносферы, живущей по своим законам, во многом противоположным законам жизни природных почв. Поэтому не случайно бóльшая часть почвенного покрова планеты подверглась различным видам деградации. И, говоря языком синергетики, пребывает в точке бифуркации и может далее изменяться в режиме с обострением, когда за относительно короткие сроки при том же уровне антропогенной нагрузки происходят форсированные негативные необратимые изменения.

Для России данная проблема особенно актуальна по нескольким причинам. Во-первых, главный кормилец страны — чернозем — давно переосвоен и эродирован, а во многих местах загрязнен и уплотнен и в целом существенно ухудшил основные свои свойства, заметно снизив плодородие. Характерное для последних десятилетий резкое снижение экологической культуры земледелия сопровождалось развитием утомления и засоренности черноземов, чему способствовали постоянные нарушения севооборотов и рост продолжительности монокультур. Чрезвычайно широкое распространение приобрело комплексное по своей природе, но целостное по сути явление "выпахивания" черноземов, которое еще требует своего осмысления (Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО, 1996).

Другая опасность — широкомасштабная деградация холодных и мерзлотных почв. Ведь северные и приравненные к ним районы Федерации, преобладающие в ней, давно эксплуатируются без оглядки на последствия, без своевременного принятия природоохранных и природовосстановительных мер. Одна из причин этого — слабое развитие теории охраны почв и природы в целом, ее недостаточное философско-методологическое обоснование. Вследствие этого весь многоаспектный, сложнейший спектр охраны сводился лишь к одному аспекту — защите от факторов разрушения и деградации, которые также не реализовывались.

Поэтому не случайно, как уже отмечалось выше, авторами предложено более широкое понятие "природосохранение", включающее: 1) охрану в традиционном смысле ("оборону" от разрушающих воздействий); 2) рациональное использование природных ресурсов; 3) природовосстановление как самостоятельное направление, равноправное с первыми двумя. О явно недостаточ-

ном развитии природовосстановительного направления стали специально говорить, но слишком поздно.

Одно из печальных следствий слабого развития природовосстановительных мероприятий — это сокращение почв, относящихся к категории экологически наиболее ценных и расширение ареала почв с пониженной экологической ценностью (табл. 86).

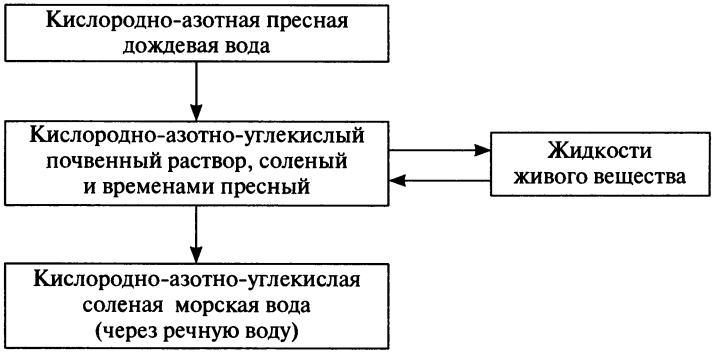
Таблица 86

Основные категории экологической ценности почв (в зависимости от загрязненности и нарушенности)

Категории	Естественные почвы и близкие к ним	Антропогенно измененные и созданные активно используемые почвы
I	Развитые незагрязненные почвы под естественными ненарушенными биоценозами	Высокоплодородные незагрязненные почвы
II	Развитые незагрязненные почвы под нарушенными биоценозами	Высокоплодородные частично загрязненные почвы
III	Слаборазвитые незагрязненные почвы под ненарушенными биоценозами	Среднеплодородные незагрязненные почвы
IV	Слаборазвитые незагрязненные почвы под нарушенными биоценозами	Среднеплодородные частично загрязненные почвы
V	Загрязненные естественные почвы	Низкоплодородные незагрязненные и плодородные загрязненные почвы

Потери в почвенной оболочке часто связаны с тем, что эксплуатация и защита других геосфер Земли реализуется, как правило, без учета почвенной стратегии. Так, охрана вод и почв рассматривается, как правило, изолированно. Это и понятно: дисциплины, отвечающие за научную разработку данных проблем, разные, и они слабо взаимодействуют друг с другом. Вместе с тем такое положение нельзя признать нормальным, поскольку оно противоречит объективной теснейшей взаимосвязи почвенной и водной оболочек нашей планеты. Говоря об общем гидрологическом значении почвы, В.И. Вернадский (1936) в своей монографии, посвященной истории и геохимии природных вод, подчеркивал, что "огромное значение в истории воды имеют почвенные растворы, облекающие, за исключением пустынь, всю сушу и являющиеся основным субстратом жизни".

По В.И. Вернадскому, связь таких разных вод, как морская, речная и дождевая, осуществляется через почвенные растворы, что отражено в предложенной им схеме:



Приведенная концептуальная схема Вернадского лучше всяких слов говорит о бесперспективности некоторых предложений использовать почву как планетарный утилизатор и очиститель различных отходов цивилизации для экономии средств и снижения загрязненности других оболочек, например гидросферы. Ясно, что загрязнение почв в конце концов увеличит загрязненность различных вод Земли — речных, озерных, морских, а также грунтовых вод и жидкостей живого вещества.

В последние годы резко возрос интерес к опасным природным процессам (Мазур, Иванов, 2004), которые испытывают явную тенденцию к своему расширению. Естественно, что данная проблема должна быть спроецирована и на динамику глобальных функций почв. Оснований для этого более чем достаточно. Следует хотя бы учесть разносторонние негативные последствия эрозии почв для реализации планетарных почвенных экофункций. Известно, что масштабы эрозионного процесса в течение всего XX в. имели явную тенденцию к расширению. Если в 20-е гг. снос эрозионных почв реками в моря и океаны составлял около $3 \cdot 10^9$ т/год, а в 60-е гг. — $9 \cdot 10^9$, то начиная с 70-х гг. XX в. он превысил $24 \cdot 10^9$ т/год (Ковда, 1989). В результате произошло суммирование различных отрицательных последствий почвенной эрозии (снижение урожаев, уменьшение плодородия и иссушение почв, ухудшение условий водоснабжения населенных пунктов и работы гидротехнических сооружений, затопление пойм и др.) с другими опасными природными процессами, прежде всего атмосферными.

Указанный явный негатив можно было бы существенно уменьшить, если бы своевременно прислушались к мудрейшим советам В.В. Докучаева о необходимости комплексного рационального природопользования, описанных им в книге "Наши степи прежде и теперь".

В самостоятельный блок выделяются *задачи по углубленному изучению функций не только педосферы, но и других геосфер — литосферы, атмосферы, гидросферы* и др. В их число входят: выработка единого подхода к выявлению и классификации экофункций различных геосфер; осуществление теоретических обобщений по экологическим функциям атмосферы, гидросферы, биосферы; актуализация исследований слабоизученных экофункций приповерхностных оболочек и др. (см. табл. 83). Данная проблема уже обсуждалась в научной печати, и ей были посвящены специальные публикации. Здесь же отметим явный прогресс в экологической геологии, где ведущие специалисты, использовав подходы, примененные при выявлении и изучении почвенных экофункций, осуществили серьезные теоретические обобщения по экологическим функциям литосферы (Трофимов и др., 2000).

Другой класс задач — это *изучение интегрального функционирования геосфер*. Сюда входят: изучение взаимосвязей приповерхностных оболочек; монографические обобщения по экофункциям природных зон; разработка концепции геобиосоциосферы и положений о почве как узле планетарных экологических связей и их сохранении.

Кратко охарактеризуем подходы к решению некоторых из указанных задач. Отметим прежде всего актуальность работ по экофункциям природных зон и их сохранении как прямого продолжения учения об экологических функциях почв и геосфер.

Злободневность данной проблемы диктуется рядом обстоятельств и прежде всего тем, что человечество вместе с созданной техносферой адаптировалось к той зональной структуре Земли, которая сложилась в результате эволюции в голоценовый период. Мировое сообщество, несмотря на всю свою интеллектуальную мощь и гениальность отдельных представителей, не в состоянии сколь-либо безболезненно решить проблему своей адаптации к природной среде в случае ее быстрого сильного планетарного изменения, например в случае углубления глобального потепления или наступления быстрой фазы ледниковья.

Решение этой проблемы прежде всего следует искать на пути сохранения и частичного восстановления природных зон, каждая из которых выполняет свои незаменимые экофункции (табл. 87), в совокупности поддерживающие биосферные константы, приемлемые для вполне сносного бытия *Homo sapiens*.

Таблица 87

Ведущие экофункции природных зон

Природные зоны	Некоторые экологические функции и особенности зон			
	Атмосферные и гидросферные	**Педосферные и литосферные**	**Биосферные**	**Этносферные и социосферные**
Ледовая зона, тундра,лесотундра	Термический минимум Земли и консервация воды в виде льда и снега	Доминирование криопедогенеза и ледового литогенеза	Убежище для психрофильных организмов	Сохранение коренных этносов и традиционных промыслов
Леса умеренного пояса	«Легкие» северного полушария, формирование и поддержание речной сети	Производство подвижного органического вещества, умеренное экзогенное минерало- и породообразование	Многоярусная экологическая ниша для многочисленных видов живых организмов Северного полушария	Обеспечение взаимодействия различных этносов и форм хозяйствования
Лесостепи и степи	Гумусовая и карбонатная аккумуляция CO_2, формирование глубоко врезанных речных долин	Депо внутрипочвенного органического вещества	В основном двухъярусная почвенно-напочвенная экологическая ниша для живых организмов	Обеспечение развития и взаимодействия различных этносов и форм хозяйствования, особенно аграрного направления
Полупустыни и пустыни	Источник эолового материала и засоленных вод	Аккумуляция солей в почве и коре выветривания	Двухъярусная почвенно-напочвенная экологическая ниша для живых организмов	Доминирование скотоводства и орошаемого земледелия

Окончание табл. 87

Природные зоны	Некоторые экологические функции и особенности зон			
	Атмосферные и гидросферные	**Педосферные и литосферные**	**Биосферные**	**Этносферные и социосферные**
Влажные, полувлажные и полусухие зоны теплых и жарких поясов	Континентальные легкие планеты, формирование и поддержание мощной речной сети	Мощное экзогенное минерало- и породообразование, активное производство подвижного органического вещества	Многоярусная экологическая ниша для основной части наземных видов живых организмов	Базовая территория этногенеза, разнообразные формы природопользования
Природные зоны горных стран	Перераспределение воздушных потоков, важный источник питания живых систем	Источник терригенного материала	Убежище для различных видов живых организмов, особенно для эндемиков	Поддержание разнообразия этносов, рекреационная функция и др.

В литературе обсуждается вопрос разработки технических приемов предотвращения резких изменений климата Земли. Так, уже отмечалось, что М.И. Будыко (1982) предлагал метод распыления специального аэрозоля с помощью стратосферной авиации с целью снижения потока солнечной инсоляции к земной поверхности при опасности ее чрезмерного разогрева. Рассматриваются также возможности размещения орбитальных зеркал в ближайшем космосе, с помощью которых можно влиять на потоки солнечного света. Например, направлять свет на ночную поверхность Земли и тем самым увеличивать теплообеспеченность планеты или, наоборот, ограничивать солнечный свет, падающий на Землю, уменьшая приток тепла к ней (Новый век, 2004, № 1).

При обсуждении поднятых в настоящем разделе вопросов целесообразно также рассмотреть проблему интегральных понятий, в данном случае понятие геобиосоциосфера (геобиоэтносфера), введенное сравнительно недавно (Никитин, 2005, 2009, 2010), вызывающее междисциплинарный интерес и отражающее равноправное единство и неразрывную взаимосвязь всех приповерхностных оболочек нашей планеты — гидросферы, атмосферы, литосферы, педосферы, биосферы, социосферы, сформировавшихся в процессе длительной планетарно-космической эволюции Земного шара (Никитин, 2003, 2005, 2008).

К сожалению, перечисленные геосферы Земли изучались и продолжают изучаться, как правило, изолированно друг от друга. В то же время взаимопроникновение и взаимообусловленность данных образований требуют целостного познания, без чего невозможна разработка природосберегающих технологий воздействия социума на окружающую среду. Ярким примером могут служить рекомендации по особой охране природы, отраженные в существующих Красных книгах. До последнего времени они распространялись почти исключительно на редкие и исчезающие растения и животные. Остальные детища эволюции Земли — почвы, породы и минералы, аквосистемы — оставались "за скобкой". В результате предпринималась попытка одностороннего сохранения биоразнообразия, без сбережения природного разнообразия в целом. Данная однобокость стала постепенно преодолеваться после выдвижения идей Красной книги почв и Комплексной Красной книги природы и ноосферы и их практической реализации.

Для дальнейшей успешной работы по сохранению природы важно понять, что осуществление только одной традиционной

охраны детищ Земли от факторов разрушения уже недостаточно. Слишком далеко зашел процесс фронтальной деградации ландшафтов и географических зон планеты, ряд из которых исчезли с Земной поверхности на обширных площадях (мангры, степи и др.) и нуждаются в восстановлении.

Однако природовосстановительные мероприятия достаточно трудоемки и нуждаются в финансировании. Поэтому нужно убедительное обоснование необходимости их проведения. Разработка и междисциплинарное усвоение концепции геобиосоциосферы в значительной мере способствуют данному обоснованию.

В чем главная ценность рассматриваемого понятия?

Использование и расширение области приложения концепции геобиосоциосферы прежде всего выводит изучение взаимодействия общества и природы из ситуативных ракурсов на фундаментальный уровень. Это исключительно важно, поскольку базовое философско-научное основание концепции геобиосоциосферы диктует необходимость сопряженного изучения социума и вмещающей его природной среды и их интегративных функций (табл. 88). Этого, увы, до сих пор не происходит, о чем свидетельствуют обильные обществоведческие труды, включая недавно опубликованную многотомную фундаментальную монографию по социологии, в которой нет ни одного тома, специально посвященного раскрытию закономерностей взаимодействия общества и природы, являющейся результатом планетарно-космической эволюции планеты. Последнее обстоятельство обычно полностью упускается из виду.

Нещадно эксплуатируемая природа рассматривается поглотителями ее ресурсов как данность, специально предназначенная для разнообразного использования. Вместе с тем антропный принцип развития Вселенной предполагает не только возможность появления в ней человека, как бы заложенного в проекте ее эволюции, но и вписывание жизни возникшего социума в естественно-исторические круговороты вещества и энергии на нашей планете, особенно ее поверхностной части, непосредственно контактирующей с околоземным космическим пространством.

Человечеству может очень дорого стоить игнорирование того, что приповерхностные оболочки Земли прошли совместную долгую эволюцию и образовали единую органически целостную глобальную систему. Достаточно проанализировать ведущие функции основных составляющих геобиосоциосферы (табл. 88), чтобы

Таблица 88

Ведущие функции основных составляющих геобиосоциосферы

Атмо- и гидросфера, литосфера	Педосфера и биомир планеты	Биосфера в целом, ноосоциосфера
Атмосфера и гидросфера	***Педосфера***	***Биосфера в целом***
Блокировка жесткого космического излучения	Регулирование круговоротов вещества и энергии в гидросфере, атмосфере, биосфере	Интеграция приповерхностных геосфер в единую систему
Среда жизни	Биохимическое преобразование верхних слоев литосферы и защита их от эрозии	Фактор прогрессивного полноступенчатого развития Земли
Фактор формирования биомира, педо- и литосферы	Источник вещества для образования минералов, пород, полезных ископаемых	Жизнепригодная среда обитания человека
Регулирование теплового режима Земли	Планетарный узел взаимосвязей приповерхностных оболочек Земли	Источник разнообразных ресурсов
Ресурс сельскохозяйственного и промышленного производства	***Биомир планеты***	Фактор эволюции общества
Литосфера	Незаменимый ведущий фактор почвообразования	***Ноосоциосфера Земли***
“Фундамент биосферы”	Регулирование состава атмосферы	Познание Земли и Вселенной, сохранение этносов и социума
Источник материала и энергии для глобальных круговоротов	Аккумуляция и трансформация солнечной энергии	Разработка природосберегающих технологий использования естественных ресурсов планеты
Фактор эволюции биосферы и ее компонентов	Качественная активизация геохимических процессов Земли	Восстановление естественно-исторических ландшафтов и зон Земного шара
Трансформация и захоронение вещества, образовавшегося на поверхности Земли	Основной источник пищевых и бытовых ресурсов человечества	Разработка и реализация теории единства природы, этносов и социума, личности и их совместного гармонизирующего развития
Осуществление взаимосвязей с ниже расположенными оболочками планеты		Освоение космического пространства

убедиться в справедливости данного утверждения. Следовательно, серьезные антропогенные нарушения какой-то одной оболочки негативно скажутся на всей геобиосоциосфере. Таким образом, целостный вселенский взгляд на земные процессы в настоящее время оказывается особенно востребованным, а слова В.И. Вернадского о научной мысли как о планетарно-космическом явлении, сказанные еще в первой половине XX в., звучат сегодня пророчески. В контексте идей Вернадского можно утверждать, что геобиосоциосфера должна эволюционировать в геобионоосферу. Этот важнейший процесс, по существу, является главной целью развития нашей планеты. Содействовать данному процессу — долг каждого живущего на Земле.

В заключение обсуждения затронутых в настоящей главе вопросов еще раз подчеркнем несомненную актуальность дальнейшей сопряженной разработки учений об экологических функциях почв и геосфер и их сохранении, что предполагает существенное усиление коллективных междисциплинарных взаимодействий почвоведения с различными науками и прежде всего с науками о Земле и экологией. Это должно стать важнейшим стимулом не только создания интегральной теории единства природы, человека, социума, но и подготовки механизмов эффективной реализации ее практических положений и рекомендаций. Диагностическим показателем успеха в решении данной сверхзадачи будет активизация и повышение результативности экологических движений, которые сегодня, увы, не отвечают (см. табл. 82) тем вызовам, с которыми столкнулись большинство стран и планетарная цивилизация в целом, что было показано Е.П. Сабодиной, Е.Д. Никитиным, А.Н. Кочергиным, С.А. Шобой (2008).

Однако, говоря о проблемах недопущения экологического коллапса и необходимости активации, а также объективизации экологических движений, нельзя не заметить и определенных успехов в природоохранном движении. Так, следует отметить позитивные сдвиги в решении проблемы особой охраны почв, которые отражены в Федеральном законе "Об охране окружающей среды" ст. 62 об учреждении Красных книг России и субъектов Федерации, а также в ряде пионерных региональных почвенных Красных книг и первого выпуска Красной книги почв России. Важно только, чтобы данная работа не ослабела, а приобрела устойчивый тренд дальнейшего развития, особенно в плане практической реализации.

Глава 15

ГАРМОНИЗИРУЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Стремительно движется вперед XXI век, обостряя перед человечеством задачи, не решенные в ушедшем тысячелетии, и ставя новые, еще более сложные проблемы. Среди них — поиск таких универсальных алгоритмов поведения человека и социума в меняющемся мире, которые предусматривали бы позитивное разрешение сопряженных противоположных процессов во взаимодействии человека, общества и природы. В данном контексте авторами была сформулирована концепция гармонизирующего развития (Никитин, 2005, 2009, 2010; Никитин, Гирусов, 2007), находящаяся с теорией устойчивого развития в отношениях преемственности.

Концепция гармонизирующего развития включает в себя несколько важнейших составляющих. Прежде всего признание того, что без сохранения и реального восстановления естественно-исторической биосферы человечество лишается каких-либо серьезных перспектив развития и даже существования. Главная причина заключается в том, что биологическая основа человека — его организм — является частью биосферы, а потому без нее он не в состоянии не только развиваться, но и существовать.

В то же время сама биосфера в силу как естественных причин (периодические оледенения и др.), так и антропогенно обусловленных обстоятельств (сведение большей части лесов, глобальное загрязнение и др.) не может рассматриваться как полностью безопасная среда обитания. Она нуждается в существенных капиталовложениях с целью восстановления разрушенных человеком природных ландшафтов и зон и блокировки нежелательных в ней катастрофических процессов и эволюционных изменений. Коэволюционировать вместе с природой к очередному оледенению, как нам представляется, не только нецелесообразно, но и не очень интересно. Подвергнуть биосферу техногенному перегреву — явное преступление. Замена естественной биосферы на искусственную среду, как показали исследования ряда авторов, современному человечеству не по плечу.

Откуда же взять средства для решения этой сложнейшей проблемы? Тем не менее источники средств есть. И важнейшие из них — это перевод финансовых потоков и технологий из сфер обеспечения военного производства и запросов общества гипертрофированного потребления различных товаров и услуг на комп-

лексные полномасштабные исследования динамики природы и решения экологических задач различного уровня — от индивидуального до глобального.

Однако для достижения успехов необходимо существенно изменить господствующие до сих пор механизмы развития общества и систему ценностей в жизни цивилизованных стран. Противоречия, борьба, максимальное удовлетворение материальных запросов индивидуума, как движущие стимулы прогресса, должны уступить право первенства другим ориентирам — поиску согласия, взаимоподдержки, преобладанию духовного над материальным и др. Во всех этих планах и действиях Россия должна занять подобающее ей достойное место, так как, несмотря на огромные потери периода реформ, она все еще обладает колоссальными природными ресурсами, интеллектуальным и духовным потенциалом. В этой связи попытки "отжать" из России все, что можно, и похоронить ее окончательно как великую державу, контрпродуктивны, ибо только коренные этносы в состоянии найти общий язык с любимой ими природой и реализовать на практике совместное с ней гармонизирующее развитие. И еще одно важнейшее условие осуществления такого развития — это совершенствование самого человека.

Рассмотрим подробнее особенности эколого-геополитической стратегии России в контексте концепции гармонизирующего развития, освещенной нами ранее (Никитин, 2003, 2010).

Наступившее тысячелетие ознаменовалось рядом событий, требующих глубинного осмысления путей дальнейшего развития человечества в целом и мировых цивилизаций, среди которых, при реализации ряда условий, российская цивилизация занимала, занимает и будет занимать одно из ведущих мест, несмотря на все периодические потрясения, испытываемые нашей страной. Что же это за условия, в совокупности определяющие развитие России на среднюю и дальнюю перспективу? Отвечая на данный вопрос, мы коснемся в основном экологического аспекта, ставшего особенно злободневным в последние десятилетия.

Принципиальное положение, на которое мы опираемся в дальнейших рассуждениях, — это тезис о неразрывном единстве этноса и той части природной среды, где он сформировался и продолжает существовать в настоящее время. В этой связи нами было введено понятие геобиоэтносферы (ГБЭ) как целостной глобальной системы, которая включает в себя совокупность этносов Земли и вмещающий их планетарный комплекс, образованный приповерхностной частью атмосферы и литосферы, биомиром Земли, гидросферой и почвенной оболочкой.

Российская цивилизация — это евразийский блок геобиоэтносферы со своим историческим назначением и незаменимыми функциями в жизни и развитии человечества, которое все более и более начинает существовать как единое планетарное образование. В настоящее время данный процесс называется глобализацией. Зародился он не вдруг, поскольку еще Кант говорил о необходимости создания мирового правительства. Признавая объективную обусловленность данного процесса, так как наличие глобальных проблем требует в определенном отношении глобальности управления, необходимо со всей решительностью заявить об исключительной ответственности любой державы, берущей на себя роль лидера в этом процессе. Если человечество смирится с тем, что им будет управлять несовершенный лидер, то оно обречено на известный финал, который нетрудно предсказать. В данной связи Россия никак не может уйти от первостепенного участия в планетарных интеграционных процессах, ибо они захватывают всю геобиоэтносферу, а наша страна обладает наиболее крупной ее частью, и до сих пор является державой, обладающей огромным ресурсным потенциалом.

Признание положения о том, что современные мировые цивилизации (российская, американская, европейская, китайская и др.) являются частью планетарной цивилизации и функционируют как определенные незаменимые органы единого планетарного механизма геобиосоциосферы, геобиоэтносферы, приводит к выводу, что гибель любого этого органа неизбежно приведет к патологическим трансформациям всего мирового сообщества. Такой вывод дает нам основание сформулировать некоторые подходы в определении основных положений стратегии развития России в третьем тысячелетии в контексте концепции гармонизирующего развития.

Главным базовым основанием, на котором должна формироваться вся стратегия и ее ведущие компоненты, является положение о том, что благополучие России и всей планетарной цивилизации будет зависеть от того, сумеет ли наша страна сохраниться как единая великая высокотехнологичная держава, продолжающая и в будущем играть ту же роль, которую она играла не одно столетие. Ясное осознание своих функций, их четкое определение и составит стратегический каркас развития России. В ряду таких функций выделяются прежде всего духовно-интеллектуальная, ресурсно-экологическая, миротворческая, интеграционно-коммуникативная, природосохраняющая. Кратко поясним их, сделав акцент на эколого-геополитическом аспекте стратегии России.

Выдающаяся духовно-интеллектуальная роль России не требует особых доказательств. Она давно признается в большинстве стран и мире в целом. Но в последнее десятилетие отмечается явный дефицит активного проявления данной роли. В связи с распадом СССР, требуется новое поле деятельности России как мощного духовно-интеллектуального донора мирового сообщества. И такое поле имеется — оно тесно соприкасается и в значительной мере совмещается с экологической и природосохраняющей ролью нашей страны, об актуальности чего свидетельствуют коллективный труд "Духовно-экологическая цивилизация" (1996), а также публикация "Зеленая Россия" (Горелов, 1995).

Такой подход, как нам представляется, может лечь в основу выработки стратегии России в третьем тысячелетии, по своей сути являющейся прежде всего духовно-эколого-геополитической. Отметим ряд конкретных положений и направлений, которые она, по нашему мнению, должна в себя включать.

1. Вся геобиоэтносфера, находящаяся на территории России, все ее природные ресурсы и земли, независимо от форм собственности, рассматриваются как национальное достояние единой страны.

2. Существенно расширяется понимание ресурсов, используемых внутри страны и за ее пределами. Так, в ресурсы включается биологическое, почвенное, ландшафтное и другие виды природного разнообразия. В этой связи постулируется необходимость компенсации со стороны ряда богатых развитых стран вклада естественной природы России в общее благополучие биосферы и планетарной цивилизации, поскольку ее леса и другие биоценозы оказываются поглотителями избытка углекислого газа и донорами кислорода в биосферу, от чего прямо зависит нормальная жизнь природы планеты и населяющих ее этносов (Тишков, 2006).

3. Признается необходимым построение взаимодействия человека и окружающей среды на базе принципа природосохранения, включающего в себя три равноправных составляющих — рациональное использование природных ресурсов, защита их от факторов разрушения, деградации и природовосстановление. Реализация этого единства исключительно актуальна, так как в ряде природных зон допущено их сильное переосвоение и они нуждаются в восстановительных мероприятиях. Например, степь и лесостепь во многих субъектах Федерации освоены на 90% и более. В то же время при сбалансированном природопользовании, по Н.Ф. Реймерсу, естественные экосистемы должны составлять: в тундре и лесотундре 98—100% территории, в тайге: 80—90% на севере и 45—50% на юге, в зоне смешанных лесов 30—35%, в лесостепи 35—40%, в степи 40—60%.

Таблица 90

Создание комплексной Красной книги природы и ноосферы

Направления деятельности по комплексной Красной книге природы и ноосферы			
Биологическое	**Почвенное**	**Гидрологическое, геологическое и др.**	**Ноосферное**
Дальнейшее углубление биологической краснокнижной деятельности	Подготовка почвенных Красных книг субъектов Федерации	Выявление водных объектов, подлежащих особой охране, в субъектах Федерации	Подготовка кадастра природно-культурного наследия России
Подготовка раздела по особой охране микроорганизмов	Издание федеральной Красной книги почв России	Создание системы особой охраны эталонных и редких водных объектов России с занесением их в Красную книгу	Подготовка Красной книги объектов природно-культурного наследия России
Усиление раздела по особой охране беспозвоночных животных	Разработка методологии и методики создания Красной книги почв мира	Создание Красной книги редких и эталонных геологичеких, геоморфологических, палеонтологических, ландшафтных объектов	Пополнение и утверждение кадастра мирового природно-культурного наследия
Подготовка разделов по охране редких и исчезающих видов организмов на урбанизированных территориях	Развитие особой охраны городских почв	Особая охрана водных, геологических и других связанных с ними объектов на урбанизированных территориях	Создание кадастра природно-культурного наследия городов
Преодоление биологического изоляционизма	Установление и реализация почвоведами междисциплинарных связей в охране почв как компонента биосферы	Совместная природоохранная деятельность геологов, гидрологов, ландшафтоведов с биологами, почвоведами и другими специалистами	Междисциплинарная деятельность по сохранению природно-культурного наследия

4. К числу важнейших составляющих эколого-геополитической стратегии России следует отнести и такое принципиальное положение, как расширение сети особо охраняемых территорий (заповедников, заказников, национальных парков), с доведением ее в ближайшие десятилетия до 10—15% площади страны и более, т.е. увеличения в 3—5 раз. Такая установка аналогична тенденции роста охраняемых на правовой основе территорий в наиболее развитых странах мира.

5. В этой связи необходимо как можно шире использовать новые направления в сфере особой охраны природы России (табл. 90), выражающиеся, например, в разработке комплексной Красной книги природы и ноосферы, составной частью которой является Красная книга эталонных, редких и исчезающих почв (Никитин, 1989, 2000, 2005), уже подготовленная и изданная в некоторых субъектах Российской Федерации (Оренбургская область, Республика Калмыкия, Ленинградская, Белгородская, Волгоградская области).

В заключение отметим, что кратко рассмотрена лишь часть концепции гармонизирующего развития в проекции на экологические проблемы нашей страны. Важно было обратить внимание на ее исключительную актуальность для России и всей планетарной цивилизации.

Глава 16

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ И УЧЕНИЕ О ПОЧВЕННЫХ ЭКОФУНЦИЯХ — АКТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

Стало уже общепринятым считать, что В.В. Докучаев является основоположником генетического почвоведения, но еще важнее, что он оказался одновременно основателем и других направлений научного почвоведения, и самое главное, он заложил основы единой фундаментальной науки о почве. Это обстоятельство нередко упускается из виду, что ведет не только к недооценке вклада великого ученого в естествознание, но и затрудняет корректный анализ истории развития почвоведения в целом, где экология почв и учение о почвенных экофункциях оказываются его узловой составляющей.

Говоря о наиболее существенных чертах создаваемой почвенной науки, Докучаев не столько обращал внимание на ее генети-

ческую направленность, сколько подчеркивал самостоятельный фундаментальный характер, фиксировал высокое, равноправное с другими науками значение. Эта позиция ученого отчетливо прослеживается в содержании и названиях трудов, посвященных общим вопросам почвоведения, которое определяется им прежде всего как самостоятельная отрасль естествознания: «Почвоведение, несомненно, имея первенствующее, так сказать, основное значение для сельского хозяйства, вместе с тем остается самостоятельной отраслью естествознания, со своими собственными задачами» (Докучаев, 1994).

Аналогичной позиции придерживался и сподвижник Докучаева Н.М. Сибирцев, который, отдавая должное генетическим аспектам создаваемого в России почвоведения, именовал его естественно-научным, т.е. более широко, что отражено в опубликованном им первом учебнике по курсу почвенной науки: "В предлагаемом курсе я старался... дать по возможности... цельный очерк естественнонаучного почвоведения" (Сибирцев, 1951). Такая трактовка науки о почве получила поддержку и отражение в специальных трудах по методологии и истории почвоведения того времени. Так, А.А. Яриловым в 1904 г. была опубликована монография "Педология как самостоятельная естественнонаучная дисциплина о земле".

Таким образом, созданное на рубеже XIX и XX вв. В.В. Докучаевым и его соратниками почвоведение, хотя и было прежде всего генетическим, вместе с тем воспринималось более широко и трактовалось, по существу, если выражаться современным языком, как фундаментальная наука. Поэтому не случайно, кроме основателя науки о почве В.В. Докучаева, выделяется группа сооснователей почвоведения, разрабатывавшая различные его разделы. Из отечественных ученых это П.А. Костычев и Н.М. Сибирцев, а из зарубежных Вольни, Гильгард и др. На данное обстоятельство обращает внимание И.А. Крупеников: "Почвоведение опирается, однако, не только на генетические аспекты. Поэтому к числу его сооснователей следует отнести и других ученых, особенно немецкого ученого Вольни и американского ученого Гильгарда" (1981).

Фундаментальный целостный характер докучаевского почвоведения выражается в первых руководствах по данной науке, особенно в подготовленном Н.М. Сибирцевым учебнике "Почвоведение", не потерявшем до сих пор своей научной и познавательной ценности.

Н.М. Сибирцев прежде всего сознательно объединяет два разных воззрения на почву, развитые В.В. Докучаевым и П.А. Косты-

чевым, рассматривавшими почву с экологической точки зрения как среду обитания живых организмов: "Было бы, однако, ошибкой думать, что указанные два взгляда мешают или противоречат один другому. Напротив, они взаимно друг друга дополняют и развивают: почва, как... определенный комплекс верхних горизонтов земной коры, есть вместе с тем и масса и среда, точнее группа соприкасающихся сред, — должна быть тщательно изучена, как таковая с механической, физической, химической и химико-биологической точек зрения» (1951). Н.М. Сибирцев решает именно задачу целостного, фундаментального эколого-генетического изложения и осмысления всей основной почвенной информации, накопленной к тому времени: данные о процессах формирования почв, взаимосвязи с различными факторами почвообразования, изменении почв в пространстве и времени; данные по их химическим и физическим свойствам. К тому же он рассматривает вопросы географии, картографии, бонитировки почв и др. В труде Сибирцева выделяются шесть отделов: 1. Почвообразование; 2. Учение о почве как о массе; 3. Почва как геофизическое образование; 4. Описательное почвоведение; 5. География и картография почв; 6. Бонитировка почв. Формулировки отдельных глав и разделов, написанных более 100 лет назад, поражают своей актуальностью и сегодня. Среди них такие, как динамические явления почвообразования, химические преобразования в почвенной массе, состав почвенной жидкости и почвенного воздуха, функциональные физические свойства почв, тепловые явления в почвах, деятельность животных в почве, возраст почв и их история, естественно-исторические классификации почв, территориальная оценка земель и др.

Такая всеохваченность почвенной науки, когда в комплексе обстоятельно рассматриваются общетеоретические, экспериментальные и прикладные проблемы, является убедительным доказательством того, что классики отечественного почвоведения строили его, как интегральную, фундаментальную науку с акцентом на генетические, экологические аспекты, что было важно для придания почвоведению статуса особой отрасли естествознания и его научно-организационного утверждения и развития. И не случайно, будучи построенным как одна из базовых наук о Земле, докучаевское почвоведение получило широкое признание как в России, так и за рубежом, что отметил Раманн: "Придется учиться русскому языку тем почвоведам, которые хотели бы стоять на современном научном уровне... Только благодаря русским ученым почвоведение превратилось в обнимающую весь земной шар науку" (Крупеников, 1981).

Дальнейший путь развития науки о почве оказался, однако, тернистым из-за ряда причин, на что обратил внимание И.А. Крупенников (1981): "Век нынешний получил от минувшего прочный научный задел, но многое он у него отнял. Почти одновременно на рубеже нового столетия ушли из жизни В.В. Докучаев, П.А. Костычев, Н.М. Сибирцев, М.Э. Вольни. Сделанные ими открытия *фундаментального и интегрального характера* (курсив наш), подготовленные всем предшествующим ходом развития науки, требовали скрупулезной работы по накоплению новых фактов и их осмысливанию... При такой ситуации важно было иметь хороших лидеров, а их на первых порах не было. С этим связан некоторый разброд, ненужные противоречия, взаимные опровержения, которые возникли в первые годы нового века. Но в этом была и объективная причина. В руках Докучаева и Сибирцева почвоведение синтезировалось, а далее требовалась разумная дифференциация его на составляющие дисциплины, а такой процесс в истории любой науки проходит болезненно" (1981).

Для уяснения места экологии почв и учения о почвенных экофункциях в современной науке о почве рассмотрим некоторые важные особенности эволюции почвоведения постдокучаевского периода и его общей трактовки в нашей стране. Первое, что обращает на себя внимание, — это постепенное усиление акцентов генетической направленности отечественного почвоведения. Причем такое усиление порой вступает в определенное несоответствие с тем, как понимали науку о почве ее основоположники. Как уже отмечалось, В.В. Докучаев говорил, прежде всего, о самостоятельном характере почвоведения. Не случайно в книге "Дороже золота русский чернозем" (1994), где Г.В. Добровольским систематизированы и проанализированы основные труды великого естествоиспытателя, раздел, в котором представлены работы В.В. Докучаева по общей трактовке почвоведения, назван докучаевскими терминами: "вполне самостоятельная отрасль естествознания".

Процесс усложнения науки о почве, ее дифференциация на отдельные дисциплины требовали концептуальной конкретизации сущности отечественного почвоведения и понятийного обозначения его специфики, что позволило бы с единых позиций интегрировать различные разработки по отдельным направлениям почвенной науки. Теоретическим и методологическим интегратором явилось учение В.В. Докучаева о специфическом генезисе почв, его представления о генетической связи между почвами и факторами почвообразования, что свидетельствует о реализации, по со-

временной терминологии, эколого-генетического подхода к изучению почв.

В связи с этим отечественное почвоведение все чаще стало именоваться генетическим. Вместе с тем достаточно долгое время такая точка зрения не была единственной. Так, В.Р. Вильямс трактовал "Почвоведение" Сибирцева, включившего в себя докучаевское понимание почвы, прежде всего как динамическое. Подобным же образом воспринимается и "Почвоведение" С.А. Захарова: «По поводу первого учебника генетического почвоведения Сибирцева В.Р. Вильямс говорил, что это курс "динамического почвоведения". С неменьшим основанием так можно аттестовать и учебник Захарова» (Крупеников, 1981).

Однако жизнь брала свое. Необходимость широкомасштабного изучения колоссальных площадей почв страны при малочисленности специалистов требовала сосредоточения их усилий на наиболее актуальном, объединяющем генетическом направлении. На данном пути были получены впечатляющие результаты.

Прежде всего было установлено принципиально большее генетическое разнообразие почв, чем это считалось в первые годы становления научного почвоведения. Так, если в начале XX в. в России выделялось порядка десяти генетических типов почв, то в 70-е гг. их насчитывают более 100.

Благодаря наличию разработанного генетического ядра оказалось возможным изучить с единых позиций почвы различных европейских регионов и подготовить фундаментальный трехтомник "Почвы СССР. Европейская часть СССР" (1939). В дальнейшем были исследованы почвы малоизученных территорий Сибири, Средней Азии, Дальнего Востока и др. В результате почвоведы смогли дать систематизированное географическое и картографическое описание почвенного покрова огромной страны, что вряд ли состоялось, если бы ученые не были вооружены прогрессивной генетической идеей, связующей в одно целое работы, выполненные различными специалистами и коллективами.

Генетическая направленность отечественного почвоведения позволила решить и ряд других не менее важных задач. Так, всестороннее изучение генезиса и механизмов образования различных почв стимулировало развитие химии, физики, биологии, морфологии и минералогии почв и др., способствовало появлению новых направлений и усилило их контакты и взаимосвязи друг с другом. Трудно переоценить влияние генетического почвоведения на родственные ему науки.

Прежде всего выделяется стимулирующее воздействие исследований почвоведов на физическую географию, геохимию, геологию, экологию и др. Например, очевидно благотворное воздействие работ по районированию почвенного покрова на глобальную и региональную физическую географию, приведшее к разукрупнению природных зон и более углубленному их изучению. Не надо специально доказывать, что исследования Б.Б. Полынова, В.А. Ковды, И.И. Базилович, В.В. Пономаревой, М.А. Глазовской и др. значительно обогатили биогеохимию, а работы почвоведа-геолога докучаевской школы Р.С. Ильина, предсказавшего еще до Губкина нефтегазоносность Западно-Сибирской равнины, оказались заметным междисциплинарным явлением. Понятно также, что докучаевские идеи о теснейшей взаимосвязи почв и факторов почвообразования способствовали рождению и развитию ряда почвенно-биологических направлений, явились стимулом для разработки представлений о роли почв в жизни природы и общества и учения об экологических функциях почв и геосфер и др.

Бесспорно, успехи генетического почвоведения, позволившие консолидировать как различные собственно почвенные, так и пограничные исследования, дают основание рассматривать его как важнейший этап развития науки о почве, принципиально обогативший почвоведение в целом и оказавший ощутимое прогрессивное воздействие на фундаментальное естествознание. В то же время возникает ряд существенных методологических и науковедческих вопросов относительно дальнейшего развития отечественного почвоведения. Так, в первую очередь следует получить ответ: необходимо ли и далее развивать почвенные исследования в рамках генетической парадигмы и каково должно быть соотношение генетического и экологического направления, ставшего де-факто также узловым? Получить правильные ответы на данные вопросы помогает осмысление сущности того почвоведения, которое было создано в России на рубеже XIX и XX вв.

Как уже отмечалось выше, усилиями В.В. Докучаева и его соратников в России была теоретически разработана и организационно создана наука о почве в ранге особой отрасли естествознания, которая с точки зрения современных понятий вправе трактоваться как фундаментальная.

Однако, несмотря на свой изначально фундаментальный характер, отечественное почвоведение в постдокучаевский период прогрессивно эволюционировало в основном в рамках генетической парадигмы. При этом развитие его других, в том числе прикладных, направлений шло менее активно. Так, к началу 30-х гг.

в почвоведении комплексные практические проблемы оказались разработанными явно слабее теоретических. Это отразилось, в частности, в содержании издаваемых в то время учебников по почвоведению, в которых при характеристике успешно разрабатывавшихся тогда разделов почвенной науки, к сожалению, не оказалось бонитировки почв, представленной в учебнике Н.М. Сибирцева. Аналогичная картина продолжала сохраняться и в дальнейшем вплоть до 70-х гг..

В последние десятилетия положение начинает меняться. Показательны в данном отношении два обобщающих труда: Ковда В.А. "Основы учения о почвах" (1973) и "Почвоведение" (1988) под редакцией В.А. Ковды и Б.Г. Розанова. Если в первой работе информация по рациональному использованию и охране почв минимальна и не вынесена в самостоятельные главы, то во второй она присутствует достаточно полно в специальных разделах.

Выход в свет учебника "Почвоведение" (1988), пожалуй, можно считать заметным событием в процессе восстановления равноправного присутствия в интегральных почвенных трудах как теоретических, так и прикладных разделов, что свидетельствует о фундаментализации науки о почве. До него в какой-то мере это имело место лишь в отдельных специальных монографиях, а также в учебных пособиях для сельскохозяйственных и других отраслевых вузов. Таким образом, на вопрос о дальнейшем сохранении в отечественном почвоведении приоритета чисто научных генетических исследований ответ получается неоднозначным. Эти вопросы попрежнему актуальны в связи с недостаточной изученностью формирования и эволюции почв различных регионов страны. Однако при всей необходимости генетических работ все большую злободневность приобретают полнокомплексные программы и исследования, прежде всего по экологии, динамике, истории почв и этнографо-социальному почвоведению (Никитин, 2005, 2010; Память почв, 2008; Зайдельман, 2009; и др.).

Фактически в последние десятилетия наблюдается усложнение ядра отечественного почвоведения, а вся наука о почве приобретает фундаментальную структуру, заложенную еще ее основателями. В связи с этим представляется целесообразным еще раз повторить тезис о необходимости усиления фундаментальности почвоведения, затронутый в первой главе данного учебника.

Как известно, положение о том, что почвоведение относится к числу фундаментальных естественных наук о Земле наряду с геологией, биологией, географией и др., не оспаривается. Однако удельный вес фундаментальных почвенных исследований, обес-

печенность почвоведения базовыми научными, производственными, учебными учреждениями и кадрами и возможностями публикаций фундаментальных изданий были и остаются явно недостаточными (Добровольский, 1988, 2006; и др.).

Во многом это связано с продолжающимся недопониманием значимости почвоведения в общей системе землеведения и изучения Земли и ее ресурсов как единого целого с "равноправным" исследованием всех компонентов. Представление о почве, в том числе и у лиц, принимающих ответственные решения на государственном уровне, продолжает оставаться главным образом утилитарным, в основном агрономическим.

Не отрицая всей значимости почвы как основного средства сельскохозяйственного производства и необходимости дальнейшего развития агропочвенных работ, мы в то же время подчеркиваем, что значение почвы выходит далеко за эти рамки. Прежде всего, необходимо уяснить, что без приобретения почвоведением равноправного с другими науками о Земле реального статуса фундаментальной науки и развития его в соответствующем направлении, интегральная природоведческая наука будет страдать неполнотой добываемого знания и неспособностью корректно решать проблемы рационального использования и охраны ресурсов нашей планеты (Никитин, 2001, 2009, 2010).

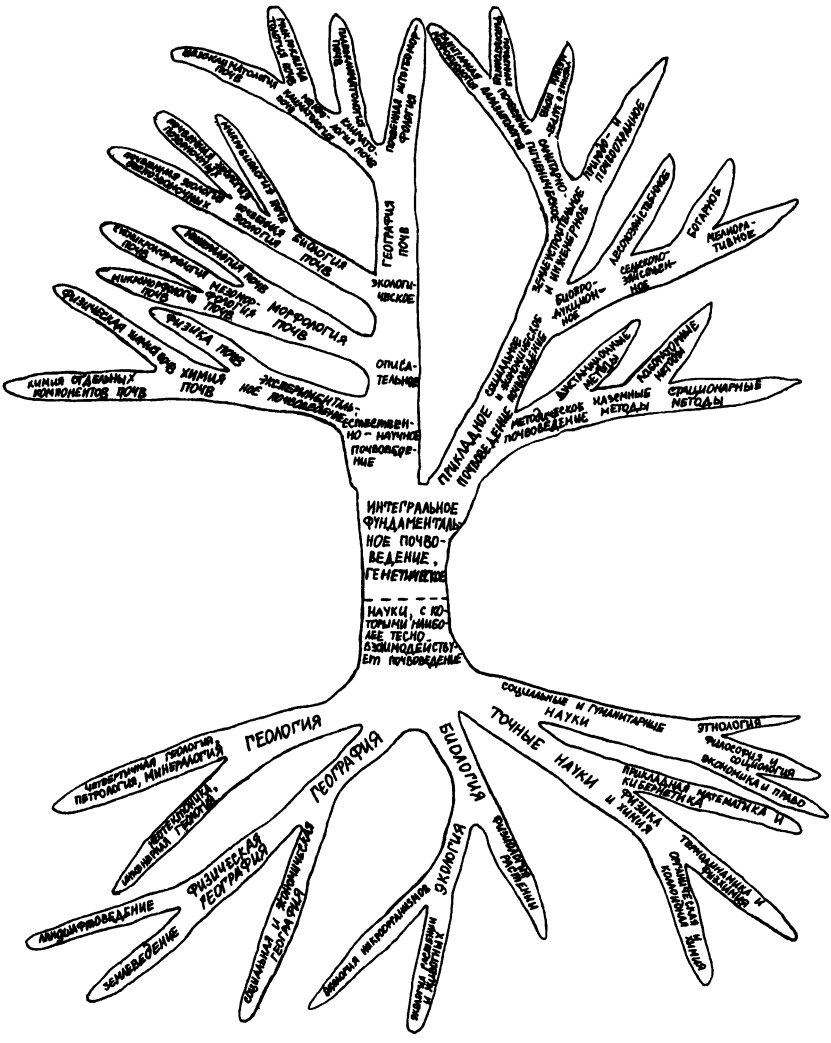
Примером продолжающей сохраняться очевидной неполноты суммарного природоведческого знания из-за недостаточного включения в него достижений почвоведения могут служить сводные работы по общему землеведению. Так, в учебнике Т.А. Самцовой "Общее землеведение" (2008) сведения о жизни почв представлены не только более чем скромно, но и разбросаны по разным разделам. В то же время в специальных главах она подробно рассматривает структуру и динамику атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы. Аналогичная картина, по существу, наблюдается и во всех других общеземлеведческих руководствах, включая соответствующие словари. Например, в Географическом словаре приводится следующее определение биосферы: "Биосфера... — одна из оболочек (сфер) Земли, состав, структура и энергетика которой обусловлены главным образом деятельностью живых организмов. Понятие биосферы близко понятию географической оболочки... Охватывает приземную часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, которые взаимосвязаны сложными биогеохимическими циклами миграции вещества и энергии" (2008). Почва в этом определении при перечислении структурно-функциональных компонентов биосферы отсутствует.

Мы уже указывали на недопустимость данного положения, поскольку в результате уменьшается число базовых блоков биосферы за счет почвы, которую обозначают как часть биострома, коры выветривания или литосферы. Данное упрощение способствует излишне лаконичному анализу роли почв в функционировании и благополучии биосферной системы. В действительности вклад почвенной оболочки в функционирование биосферы ничуть не меньше вклада других входящих в нее оболочек.

Таким образом, узкая односторонняя оценка экологической роли почвы и общенаучного значения почвоведения приводит к пагубным последствиям в деле реального использования почвы, которая по существу стала "шагреневой кожей" нашей планеты, ежегодно теряющей миллионы гектаров природных земель. Экономя на развитии почвоведения как фундаментальной многоплановой науки и пренебрегая реальной охраной и восстановлением почв, государства, человечество рискует остаться без "почвы под ногами", что будет означать неуклонное угасание сложноорганизованной жизни на Земле.

Самостоятельный важный аспект фундаментального почвоведения связан с развитием его внутренней структуры и совершенствованием взаимосвязей с другими науками (рис. 16). Здесь выделяется прежде всего проблема взаимодействия и интеграции различных почвенных дисциплин и направлений, без чего вся система науки о почве не может функционировать и развиваться эффективно. По существу, вопрос стоит о создании общего теоретического и методологического основания почвоведения, которое с одной стороны объединяло бы различные почвенные дисциплины и магистральные направления (химию, физику, географию почв и др.), а с другой — облегчало бы действенные контакты с родственными и основными базовыми науками (геологией, биологией, географией, математикой и др.). Успешное решение указанной задачи, несомненно, требует соответствующего обоснования объединяющего направления, которое мы предлагаем именовать в рабочем варианте как фундаментальное интегральное почвоведение. Его место в общей системе других почвенных направлений и наук носит ярко выраженный пограничный междисциплинарных характер.

Ближайшими целями интегрального направления могло бы явиться инициирование и координация работ по наиболее актуальным проблемам почвенной науки. Среди них особого внимания заслуживает создание единого теоретического фундамента для всей почвенной науки, включая ее прикладные разделы, и


ИНТЕГРАЛЬНОЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ГЕНЕТИЧЕСКОЕ
НАУКИ, С КОТОРЫМИ НАИБОЛЕЕ ТЕСНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЕ
ГЕОЛОГИЯ
ГЕОГРАФИЯ
БИОЛОГИЯ
ТОЧНЫЕ НАУКИ
СОЦИАЛЬНЫЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ
ЭТНОЛОГИЯ
ФИЛОСОФИЯ И СОЦИОЛОГИЯ
ЭКОНОМИКА И ПРАВО
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА
ФИЗИКА И ХИМИЯ
ТЕРМОДИНАМИКА И ЭНЕРГЕТИКА
ОРГАНИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ ЗЕМЛИ
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ
ЭКОЛОГИЯ
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ
ЛИТОЛОГИЯ, ГЕОМОРФОЛОГИЯ
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГ

усиление разработок по экологическому, динамическому, социальному почвоведению и, конечно, дальнейшее развитие экологии почв и учения о почвенных экофункциях (Никитин, 2000, 2005, 2009).

В заключение главы можно констатировать следующее: научное отечественное почвоведение, созданное на рубеже XIX и XX вв. трудами В.В. Докучаева и его сподвижников, изначально мыслилось как особая отрасль естествознания со своими собственными задачами или, выражаясь современным языком, трактовалась как фундаментальная наука. В дальнейшем, в связи с необходимостью сосредоточения усилий на центральном направлении почвенных исследований, получил приоритет генетический аспект проблем, а само почвоведение стало именоваться генетическим. Начиная с 60—70-х гг. все активнее начали звучать экологические вопросы, которые в 80—90-е гг., так же как и генетические проблемы, оказались злободневными для всей почвенной науки, в связи с чем экологию почв и учение о почвенных экологических функциях есть все основания рассматривать в качестве узловой составляющей и актуального направления развития почвоведения как фундаментальной науки, которое объединяет и активизирует различные почвенные и смежные с ними дисциплины и направления.

Говоря о будущем науки о почве, целесообразно подчеркнуть необходимость дальнейшей ее действительной фундаментализации, что предполагает:

• повышение реального статуса почвоведения в системе естествознания; усиление всех основных тенденций исследования (теоретических, экспериментальных, прикладных);

• совершенствование взаимосвязей с родственными науками; упорядочение внутренней структуры почвоведения; создание общего теоретического основания, которое связало бы воедино различные почвенные дисциплины и актуализировало бы главные направления развития почвоведения как фундаментальной отрасли знания.

Литература

К части I

Агаджанян Н.А., Торшин В.И. Экология человека. М.: Круг, 1994. 225 с.

Аллен Дж., Нельсон М. Космические биосферы. М.: Прогресс, 1991. 120 с.

Атлас почв республики Коми. Сыктывкар. 2010. 360 с.

Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: Наука, 1995. 470 с.

Гусев М.В., Олескин Е.Р., Карташова Е.Р. Некоторые тенденции гуманитаризации биологии под влиянием биосферного мировоззрения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2000. № 1. С. 3—8.

Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: Интеграция в изучении природы и общества. Пущино, 1997. 200 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Наука, 1997. 227 с.

Добровольский Г.В. Тихий кризис планеты // Вестн. РАН. 1997. Т. 67, № 4. С. 313—320.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2006. 364 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 137 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 270 с.

Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во МГУ. 2004. 430 с.

Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почвы. М.: Наука, 1983. 168 с.

Ковда В.А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 447 с.

Карпачевский Л.О. Новые подходы к оценке роли почв в биосфере // Почвоведение. 1987. № 1. С. 135—137.

Карпачевский Л.О. Динамика свойств почвы. М.: Геос, 1997. 170 с.

Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: Геос, 2007. 400 с.

Макеев О.В. Глобальная экология почвенного холода и тепла. Пущино, 1980. 36 с.

Мильков Ф.Н. Общее землеведение. М.: Высш. шк., 1990. 335 с.

Никитин Е.Д., Гирусов Г.В. Шагреневая кожа Земли: Биосфера — почва — человек. М.: Наука, 1993. 110 с.

Никитин Е.Д., Градусов Б.П., Залогин Б.С. Проблема функций биосферы и экологическое почвоведение // Жизнь Земли: Геодинамика и экология. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 109—115.

Никитин Е.Д. О биогеоценотических функциях почв // Вестн. Моск. ун-та Сер. Почвоведение. 1977. № 4. С. 3—8.

Никитин Е.Д. Роль почв в жизни природы. М : Знание, 1982. 47 с.

Никитин Е Д. Экология почв и учение о почвенных экофункциях // Почвоведение 2005. № 9. С. 15—30

Никитин Е.Д. Почвоведение — землеведение — философия. М.: МАКС Пресс, 2009. 550 с.

Олдак П.Г. Равновесное природопользование: Взгляд экономиста. Новосибирск Наука, 1983. 128 с

Орлов В.И. Динамическая география / Науч. ред. Г.В. Добровольский. М.: Научный мир, 2006. 594 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 640 с.

Реймерс Н Ф. Экология. М.: Молодая гвардия, 1994. 365 с.

Розанов Б.Г Основы учения об окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1984. 372 с

Ропполь Г. Техника как противоположность природы // Философия техники в ФРГ. М : Прогресс, 1989. С. 203—222.

Рябчиков А М., Тарасов К.Г. Географический подход к оценке влияния сельского хозяйства на окружающую среду // Вестн. Моск ун-та. Сер. 5. География. 1986. № 5. С. 8—15.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 1993. 231 с.

Стасьев Г.Я. Почвоведение в системе биосферного естествознания. Кишинев: Изд-во Молдавск. гос ун-та, 1992. 184 с.

Трофимов В.Т., Зиллинг Д Г., Аверкина Т.И. и др. Теория и методология экологической геологии М.: Изд-во МГУ, 1997. 365 с.

Трофимов С.Я., Седов С Н. Функционирование почв в биогеоценозах. Подходы к описанию и анализу // Почвоведение 1997 № 6. С. 770—778.

Урсул А.Д. Экологическая проблема и агроноосферная революция М.: Луч, 1994 195 с

Федоров В.М Биосфера — земледелие — человечество. М. Агропромиздат, 1990. 238 с.

Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле / Под ред. И.С. Кауричева. М.: Наука, 1986 175 с.

Щеглов Д.И. Черноземы Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов· Автореф. дис. . д-ра биол наук. Воронеж, 1995 46 с

Яблоков А.В. Атомная мифология. Заметки эколога об атомной индустрии. М.: Наука, 1997. 271 с

Яблоков А.В., Остроумов С.А. Уровни охраны живой природы М. Наука, 1985 175 с

Яншин А.Л., Мелуа А.И. Уроки экологических просчетов. М.· Мысль, 1991. 430 с.

Ясаманов Н А Основы геоэкологии. М.: Академия, 2003 352 с.

К части II

Алиев С.А. Азотфиксация и физиологическая активность органического вещества почв Новосибирск Наука, 1988 144 с

Бабьева И П., Зенова Г.М. Биология почв. М . Изд-во МГУ, 1983. 248 с.

Гиляров М.С. Почвенный ярус биоценозов суши // Успехи современной биологии 1968 Т 66, вып 1 С 121—136.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2006. 364 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 270 с.

Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром., 1981. 261 с.

Криволуцкий Д.А. Животный мир почвы. М.: Знание, 1969. 48 с.

Кук Дж.У. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос, 1970. 520 с.

Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус, 2007. 237 с.

Рассел Э.Д. Почвенные условия и рост растений. М.: ИЛ, 1955. 624 с.

Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1972. 355 с.

Сидоренко Г.И., Можаев Е.А. Санитарное состояние окружающей среды и здоровья населения. М.: Медицина, 1987. 124 с.

Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. М.: Наука, 2003. 365 с.

Судницин И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во МГУ, 1979. 254 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.

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. М.: Колос, 1971. 455 с.

Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие. М.: Колос, 1982. 461 с.

Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И., Ерофеев В.В. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

Щербаков А.П., Рудой И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М.: Колос, 1983. 188 с.

К части III

Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М.: Наука, 1964. 144 с.

Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: АН СССР, 1960. Т. 4. 651 с.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 339 с.

Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 520 с.

Грани геоэкологии. М., 2010. 258 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2006. 364 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.

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 почвенного и атмосферного воздуха. М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 35—47.

Добродеев О.П., Суетова И.А. Живое вещество Земли // Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ. 1976. С. 26—58.

Иванов И.В. Связь ритмов почвообразования с периодичностью солнечной активности за последние 5 тысяч лет // ДАН. 1994. Т. 334, № 2. С. 230—233.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Пресмен А.Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 206 с.

Караваева Н.А. Заболачивание и эволюция почв. М.: Наука, 1982. 295 с.

Касимов Н.С. Палеогеохимия ландшафтов степей и пустынь: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1983. 55 с.

Клиге Р.К. Изменения глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 284 с.

Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.

Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эфтрофировании вод суши. Л.: Наука, 1985. 181 с.

Криволуцкий А.Е. Голубая планета. М.: Мысль, 1985. 335 с.

Криволуцкий Д.А. Пути приспособительной эволюции панцирных клещей в почве // Адаптация почвенных животных к условиям среды. М.: Наука, 1977. С. 102—129.

Лапо А.В. Следы былых биосфер. М.: Знание, 1987. 205 с.

Личков Б.Л. К основам современной теории Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. 117 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 254 с.

Круговорот вещества в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. М.: Изд-во МГУ. 1980. 272 с.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 255 с.

Основы гидрогеологии: Использование и охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1983. 230 с.

Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха. М.: Изд-во МГУ, 1985.

Полынов Б.Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 748 с.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 24 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 640 с.

Реймерс Н.Ф. Экология. М.: Молодая гвардия, 1994. 365 с.

Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1984. 372 с.

Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. М.: Наука, 1980. 79 с.

Смит У.Х. Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985. 429 с.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 1993. 231 с.

Степанов И.Н. Формы в мире почв. М.: Наука, 1986. 190 с.

Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. М.: Наука, 2003. 365 с.

Таргульян В.О. Поверхностно-планетарные оболочки: Место и роль педосферы // Глобальная география почв и факторы почвообразования. М., 1991. С. 302—323.

Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. М.: Изд-во МГУ, 1986. 131 с.

К части IV

Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васенева. Курск, 1996. 326 с.

Алимов А.Ф., Старобогатов Я.И., Хержнер И.М. и др. Проблемы исследования разнообразия животного мира России // Ж. общей биологии. 1996. Т. 57, № 2. С. 5—13.

Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 246 с.

Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Почвенный покров Среднерусского черноземья. Воронеж: Изд-во Воронежск. ун-та, 1993. 214 с.

Биология охраны природы. М.: Мир, 1983. 430 с.

Витязев В.Г., Макаров Н.Б. Общее земледелие. М.: Изд-во МГУ, 1991. 286 с.

Геннадиев А.Н. Почва и время: модели развития. М.: Изд-во МГУ, 1990. 227 с.

Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во МГУ, 1997. 100 с.

Голиченков А.К. Экологический контроль: Теория, практика правового регулирования. М.: Изд-во МГУ, 1992. 160 с.

Гроув Р.Х. Зарождение на Западе движения в защиту окружающей среды // В мире науки. 1993. № 9—10. С. 6—14.

Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 223 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. Функционально-экологический подход. М.: Наука, 2000. 185 с.

Докучаев В.В. Дороже золота русский чернозем. М.: Изд-во МГУ, 1994. 544 с.

Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.

Заповедники России. М.: Росагросервис, 1994. 210 с.

Каштанов А.Н., Липецкий Ф.Н., Швебе Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994. 125 с.

Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 365 с.

Климентьев А.И., Чибилев А.А., Блохин Е.В., Грошев И.В. Красная книга почв Оренбургской области / Научн. консульт. Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. Екатеринбург, 2001. 295 с.

Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. М.: Колос, 1984. 303 с.

Криволуцкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 268 с.

Крупеников И.А. Сохраним и приумножим. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1985. 136 с.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2004. 352 с.

Минаев В.Г. Агрохимия и биосфера. М.: Колос, 1984. 246 с.

Минаев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.

Никитин Б.А. Плодородие почвы, его виды и методы оценки. Горький: ГСХИ, 1981. 84 с.

Никитин Е.Д. О создании Красной книги почв // Почвоведение. 1989. № 2. С. 113—121.

Никитин Е.Д. Берегите почву. М.: Знание, 1990. 60 с.

Никитин Е.Д. Основа жизни на Земле: почва — Россия — цивилизация. М.: МАКС Пресс, 2010. 220 с.

Никитина О.Г. Биоэстимация: контроль процесса биологической очистки и самоочищения воды. М.: МАКС Пресс, 2010. 280 с.

Олдак П.Г. Равновесное природопользование: Взгляд экономиста. Новосибирск: Наука, 1983. 128 с.

Орошаемые черноземы / Под ред. Б.Г. Розанова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 210 с.

Переуплотнение пахотных почв: Причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. 215 с.

Петров В.В. Экологическое право России. М.: Бек, 1996. 557 с.

Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской. М.: Изд-во МГУ, 1994. 272 с.

Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: ВГУ, 2003. 368 с.

Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.

Розов Н.Н., Строганова М.Н. Почвенный покров мира. М.: Изд-во МГУ, 1979. 287 с.

Савич В.И., Булгаков Д.С., Вуколов Н.Г. и др. Интегральная оценка плодородия почв. М., 2010. 347 с.

Ташнинова Л.Н. Красная книга почв и экосистем Калмыкии / Под ред. Е.Д. Никитина. Элиста, 2000. 214 с.

Штильмарк Ф.Р. Историография российских заповедников. М.: ТОО Логага, 1996. 340 с.

Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. М.: Наука, 1999. 300 с.

Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 196 с.

К части V

Апарин Б.Ф., Касаткина Г.А., Матинян Н.Н., Сухачева Е.Ю. Красная книга почв Ленинградской области. СПб.: Аэроплан, 2007. 320 с.

Ашинов Ю.И., Зубкова Т.А., Имгрунт И.И., Карпачевский Л.О. Почва и социум. Майкоп: Полиграфиздат Адыгея, 2006. 151 с.

Герасимова М.И. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2007. 315 с.

Добровольский Г.В. Место и роль почвоведения в изучении и решении современных экологических проблем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2006. № 2. С. 3—7.

Добровольский Г.В. Лекции по истории и методологии почвоведения. М.: Изд-во МГУ, 2010. 230 с.

Королев В.А. Современное физическое состояние черноземов центра Русской равнины. Воронеж: ВГУ, 2008. 314 с.

Красная книга почв России / Науч. ред. Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. М.: МАКС Пресс, 2009. 576 с.

Кропоткин П.А. Взаимопомощь среди животных и людей как двигатель прогресса. М.: Либерком, 2011. 280 с.

Мазур И.И., Иванов О.П. Опасные природные процессы. М.: Экономика, 2004. 702 с.

Марфенин Н.Н. Устойчивое развитие человечества. М.: Изд-во МГУ, 2007. 625 с.

Муромцев Н.А. Деревенские рассказы почвоведа. М.: 2009. 264 с.

Наумов Г.Б. Геохимия биосферы. М.: Академия, 2010. 380 с.

Никитин Е.Д. Закономерности таежно-лесного почвообразования (в регионах с различной историей развития): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1985. 40 с.

Никитин Е.Д. Философский анализ системных взаимосвязей биосферы, почв, цивилизации: Автореф. дис. ... д-ра филос. наук. М., 2005. 63 с.

Никитин Е.Д. Хомонатурология: теория единства человека и природы. М.: МАКС Пресс, 2010. 240 с.

Почва, город, экология / Под ред. Г.В. Добровольского. М., 1997. 320 с.

Память почв / Отв. ред. В.О.Таргульян, С.В.Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.

Стасюк Н.В. Региональный почвенный мониторинг. М.: МАКС Пресс, 2009. 205 с.

Сабодина Е.П., Никитин Е.Д., Кочергин А.Н., Шоба С.А. Развитие экологических движений. М.: МАКС Пресс, 2008. 275 с.

Экология речных бассейнов: Труды 4-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. Т.А. Трифоновой. Владимир, 2001. 526 с.

*Приложение**

ВЫДЕРЖКИ ИЗ КРАСНОЙ КНИГИ ПОЧВ И КАДАСТРА ОСОБО ЦЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН

В связи с многоаспектным характером проблемы правового обеспечения охраны почв и повышенной актуальностью задач создания Красной книги и кадастра особо ценных почвенных объектов и их утверждения в соответствующих инстанциях приводим Приложение, где даются выдержки из подготовленных материалов.

КРАСНАЯ КНИГА ПОЧВ
(*общие положения*)

I. В Красную книгу особо ценных почв включаются все доминирующие, находящиеся под угрозой деградации и исчезновения естественные (целинные и слабо измененные человеком) почвенные разности, имеющие повышенное экологическое, научное и познавательное значение. Это прежде всего уцелевшие высокобонитетные целинные или слабо измененные человеком черноземы, каштановые, серые лесные, бурые лесные и другие почвы, т.е. те почвы, которые в естественном состоянии преобладали в соответствующих природных зонах до их широкого антропогенного освоения.

II. В Красную книгу почв включаются также высокобонитетные целинные и освоенные почвы ограниченного распространения, изначально занимающие в природных зонах небольшие площади и потому нуждающиеся в специальной охране для сбережения почвенного разнообразия. Например, для лесной зоны такими почвами являются высокоплодородные разновидности дерновых шунгитовых, дерново-карбонатных почв, почв ополий Русской равнины и др.

III. Включению в Красную книгу также подлежат уникальные почвы (независимо от степени плодородия) целинные или используемые человеком. Уникальность таких почв определяется специфическими факторами почвообразования (например, почвы равнинных территорий на локальных выхо-

---

* *Приложение подготовили*: Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, Е.Б. Скворцова, С.А. Шоба, В.А, Рожков, Э.В. Гирусов, О.В. Чернова, А.И. Климентьев, Л.Н. Ташнинова, А.Н. Кочергин, Е.П. Сабодина, О.В. Мякокина, О.Л. Шарганова и др. (см. кадастр).

дах редких кристаллических пород) или особой научной, познавательной, исторической значимостью (почвы научных стационаров с длительным проведением опытов, почвы базовых учебных полигонов, почвы ключевых археологических раскопок, почвы мемориального значения и др.).

IV. В Красную книгу заносятся эталоны почв и структур почвенного покрова различных систематических категорий. Почвенные эталоны характеризуются наиболее полным выражением специфических признаков выделяемых систематиками почв и структур почвенного покрова.

V. Занесенные в Красную книгу почвы защищаются с помощью особых форм охраны: почвенных или комплексных заповедников, заказников, почвенных памятников природы, национальных парков, агропочвенных заказников и др.

VI. Занесение почв в Красную книгу сопровождается пояснительной информацией. На почвы I и II категорий (доминирующие и ограниченного распространения) дается общая характеристика их *экологического* значения, строения, свойств и диагностических признаков, а также указываются ареалы распространения. Почвы III и IV категорий (уникальные и эталонные) сопровождаются описанием критериев их выделения и кратким перечнем конкретных почвенных объектов, подлежащих особой охране.

VII. Работы по Красной книге почв необходимо проводить во всех субъектах Российской Федерации. В результате их осуществления должна появиться серия региональных красных книг почв, на основе которых создается общая Красная книга особо ценных почв России. Указанные Красные книги утверждаются соответствующими природоохранными и правительственными органами страны регионального и федерального уровней.

VIII. Работы по Красной книге почв осуществляются научными, прикладными и общественными организациями соответствующего профиля. Кураторская и координационная функции реализуются ведущими научно-исследовательскими и учебно-научными центрами страны, Докучаевским обществом почвоведов и Российской академией наук, добивающимися одновременно целевой финансовой поддержки работ по особой охране почв, важнейшей составной частью которых является создание Красной книги почв.

IX. Работы по Красной книге почв являются узловой частью подготовки комплексной Красной книги природы и ноосферы, призванной выполнить роль важнейшего механизма сохранения глобальной системы природа—общество.

КАДАСТР ОСОБО ЦЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Кадастр особо ценных почвенных объектов создается как дополнение к Красной книге почв. Он содержит необходимые сведения о конкретных значимых почвенных объектах, представленных к особой охране. Заносимые в кадастр объекты должны обеспечиваться достаточной базовой информацией, включая площадь объекта, его картографическое изображение, рекомендуемые формы охраны и др. Формы охраны зависят прежде всего от особенностей объекта и задач его сохранения и использования. Кадастр утверждается соответствующими природо- и почвоохранными организациями. Порядок и этапность работы по созданию кадастра особо ценных почвенных объектов аналогичны таковым при создании Красной книги почв.

Правовая база

Важнейшей составной частью правовой базы подготовки Красной книги почв является:

Статья 62. Охрана редких и находящихся под угрозой исчезновения почв закона "Об охране окружающей среды".

1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения почвы подлежат охране государством, и в целях их учета и охраны учреждается Красная книга почв Российской Федерации и красные книги почв субъектов Российской Федерации, порядок ведения которых определяется законодательством об охране почв.

2. Порядок отнесения почв к редким и находящимся под угрозой исчезновения, а также порядок установления режимов использования земельных участков, почвы которых отнесены к редким и находящимся под угрозой исчезновения, определяются законодательством.

Федеральный закон "Об охране окружающей среды" принят Государственной Думой 20 декабря 2001 г. Одобрен Советом Федерации 30 декабря 2001 г.

"Российская газета" от 12 января 2002 г. № 6 (№ 2874).

Москва и Московская область

Чашниковская агробиостанция факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова; 600 га; дерново-подзолистые почвы; сохранение и исследование типичного объекта (*Карпачевский, 1988*)

Долгопрудная агрохимическая опытная станция им. Д.Н. Прянишникова; 155 га; дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы на покровных суглинках; сохранение длительных стационарных полевых опытов (*Касицкий, Хлыстовский, 1990*)

Раменская агрохимическая опытная станция; 107 га; дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы на покровных суглинках; сохранение уникальных стационарных полевых опытов (*Клименко, Боронин, Кузьменков, 1990*)

Люберецкое опытное поле; 82 га; дерново-подзолистые супесчаные почвы на флювиогляциальных песках; сохранение уникальных многолетних стационарных опытов (*Прокошев, 1990*)

Лесная опытная дача РАСХН; 250 га; уникальный участок ландшафта, ценнейший (опорный) полигон для комплексных почвенно-гидрологических наблюдений и др. (*Тимофеев, Бородин, Васильев, 1988*)

Пойма р. Оки на территории Серпуховского района; 1030 га; пойменные луговые и дерново-луговые суглинистые почвы; сохранение и изучение наиболее плодородных почв области (*Слуцкая, 1988*)

Вязовники на р.Пахра, д/о Плесково; 200 га; дерново-перегнойно-карбонатные почвы; сохранение уникальных объектов Подмосковья (*Карпачевский, 1988*)

Малинская биогеоценологическая станция; 2000 га; совокупность основных типов леса Подмосковья; сохранение уникального объекта и изучение развития лесов и почвообразования (*Карпачевский, 1988*)

Ромашково; 300 га; редкие для Подмосковья виды растений; сохранение и почвенно-геоботаническое изучение ценного объекта (*Никитин, Скворцова, Шишкина, Воронцова, 1998*)

Дерново-глубокоподзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы на флювиогляциальных отложениях под старыми хвойными культурами; НП

"Лосиный остров" (ель 110—130 лет, сосна 150 и 200 лет); 214 га. Ценные объекты для изучения хода почвообразования под лесом при известной истории лесопользования. Ведется мониторинг состояния леса и аэротехногенного загрязнения (4 участка) (*Киселева и др., 2005*)

Торфяные олиготрофные и мезотрофные почвы болотного массива в лесопарке НП "Лосиный остров"; 23 га; весьма детально изученный типичный олиготрофный торфяник мощностью более 8 м в 1,5 км от МКАД. Ведется мониторинг растительности и уровня грунтовых вод (*Абрамова и др., 2003; Гришиневская и др., 2004*)

Торфянисто-подзолисто-глеевые почвы под луговой растительностью в левобережье истоков р. Яузы. Почвы как компонент влажных суходольных лугов, сформировавшихся после прекращения торфоразработок в непосредственной близости от Москвы; 25 га (*Киселева и др., 2005*)

Аллювиальные луговые кислые почвы заливных лугов по долине ручья Нехлюдов рукав (НП "Лосиный остров"). Один из немногих в ближнем Подмосковье участков луговых почв с сохранившимся пойменным режимом увлажнения, не нарушенных хозяйственной деятельностью; 44 га (*Киселева и др., 2005*)

Постантропогенные почвы селищ XVI—XVIII вв. на территории НП "Лосиный остров"; 24 га. Объекты для изучения скорости восстановления природных процессов после прекращения человеческой деятельности на точно датированных селищах. 8 участков (*Киселева и др., 2005*)

Архангельская область

Почвы Соловецкого архипелага (почвы островов Большого Соловецкого и Заяцкого): иллювиально-железистые подзолы, образовавшиеся на пестрых по минералогическому составу покровных отложениях; 138 га; сохранение уникальных по климатическим и почвенным характеристикам участков архипелага, изучение влияния состава пород на различные характеристики почвенных горизонтов, полигон для полевых практик студентов-почвоведов (*Орешникова, 2002*)

Ростовская область

Персиановская заповедная степь, учебно-опытное хозяйство "Донское" Донского СХИ; 66 га; черноземы обыкновенные карбонатные среднесуглинистые на лёссовидном суглинке; сохранение и изучение уникального массива с целинной растительностью и почвами (*Крыщенко, Назаренко, Удалов, 1991*)

Дубрава им. Докучаева; 18 га; черноземы обыкновенные (северо-азовские) слабовыщелоченные среднесуглинистые на лёссовидном суглинке; сохранение и изучение уникального природного объекта изменения процессов почвообразования под влиянием смены растительного покрова (*Назаренко, Удалов, 1991*)

Заповедная залежь "Приазовская степь", учебно-опытное хозяйство Ростовского университета "Недвиговка"; 15 га; черноземы обыкновенные (североприазовские) карбонатные среднемощные малогумусные тяжелосуглинистые на лёссовидном тяжелом суглинке; сохранение и восстановление уникального природного объекта степной зоны (*Вальков, Фиськов, 1990*)

Азовский лесной массив в 9 км на запад от разъезда Орловка С-К ж/д, лесничество "Ленинское"; 5525 га; черноземы обыкновенные (североприи-

азовские) карбонатные различной мощности, степени гумусированности и эродированности на лёссовидных глинах и суглинках; сохранение памятника природы, имеющего важное значение для защиты окружающей среды и включенного в категорию особо ценных лесных массивов европейской территории страны (*Морозов, 1992*)

Лесхоз "Манычский"; Веселовское лесничество; 1852 га; Зерноградское лесничество, 115 га; Кагальницкое лесничество, 144 га; всего 2111 га; черноземы обыкновенные карбонатные (предкавказские) разной мощности на лёссовидных глинистых породах; сохранение уникальных природных объектов в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Безуглова, Садименко, 1992*)

Сальское лесничество мехлесхоза "Сальский"; 1099 га; черноземы обыкновенные карбонатные мощные и среднемощные и темно-каштановые почвы в комплексе с солонцами; сохранение уникального природного объекта в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России, как почвозащитный массив и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Безуглова, Садименко, 1992*)

Лесной массив Сальского мехлесхоза в 15 км от центральной усадьбы совхоза им. Фрунзе; 735 га; слабо- и среднесолонцеватые каштановые почвы террас в комплексе с солонцами; сохранение комплексного почвенного покрова с посадками дуба и белой акации с примесью сосны, ясеня, вяза, березы (*Садименко, Бирюкова, 1992*)

Романовское урочище Пролетарского мехлесхоза; 800 га; черноземы южные среднемощные слабосолонцеватые слабогумусированные глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках и глинах; сохранение памятника природы: искусственно созданного дубового леса на черноземах (*Садименко, Бирюкова, 1992*)

Ильичевское урочище Зимовниковского мехлесхоза; 145,5 га; темно-каштановые и каштановые почвы разной степени солонцеватости в комплексе с солонцами каштановыми; сохранение ценных лесонасаждений почвозащитной группы на комплексном почвенном покрове (*Бирюкова, 1992*)

Остров "Водный" (Южный) на оз. Маныч-Гудело; 2500 га; комплексы темно-каштановых и каштановых слабо- и среднесолонцеватых, частично слабо- и среднесмытых дефлированных почв с солонцами каштановыми мелкими, средними и (реже) глубокими солончаковатыми сильнозасоленными; сохранение уникального природного объекта в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Садименко, Бирюкова, 1992*)

Аксайское лесничество Приморского мехлесхоза; 3119 га; комплексы темно-каштановых и каштановых слабо- и среднесолонцеватых почв с солонцами каштановыми средними и глубокими; сохранение уникальных природных объектов в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Безуглова, Садименко, 1992*)

Аксайский лес Приморского мехлесхоза; 328 га; комплексы каштановых солонцеватых, каштановых солонцеватых слаборазвитых почв, солонцов каштановых (мелких, средних) и лугово-каштановых солонцеватых почв; сохранение уникального природного объекта в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России (*Садименко, Бирюкова, 1992*)

Сальская дача" (Сальское лесничество) Романовского мехлесхоза; 2835 га; темно-каштановые несолонцеватые и слабосолонцеватые почвы в комплексе с лугово-каштановыми почвами и солонцами, а также черноземы южные среднемощные в комплексе с солонцами; сохранение уникального природного объекта в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России, как почвозащитный массив и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Безуглова, Садименко, 1992*)

Волгодонское лесничество Романовского мехлесхоза; 1014 га; черноземы южные среднемощные карбонатные в комплексе с лугово-черноземными почвами и темно-каштановые глубинно засоленные почвы в комплексе с лугово-каштановыми почвами; сохранение уникального природного объекта в качестве базы для научных и производственных исследований в степной зоне России и в качестве генофонда для воспроизводства животных и растений (*Безуглова, Садименко, 1992*)

Урочище "Хоботок" Каменского мехлесхоза; 31 га; сочетание черноземов южных среднемощных среднесмытых слабосолонцеватых слабогумусированных слабощебенчатых с черноземами южными маломощными сильносмытыми слабосолонцеватыми слабогумусированными слабощебенчатыми; сохранение пойменного насаждения дуба с примесью тополя, березы, черемухи и других видов естественного происхождения (*Бирюкова, 1992*)

Урочище "Сосновый бор" племсовхоза "Сосновый бор"; 75 га; редкие в подзоне черноземов южных песчаные почвы, непригодные для сельскохозяйственного использования; сохранение естественной растительности, предотвращение эрозии почв (*Морозов, 1992*)

Санеевские пески Обливского мехлесхоза; 444 га; сочетание песков развеваемых с неполно развитыми маломощными песчаными почвами; сохранение уникальных природных объектов лесного хозяйства с типчаково-ковыльной, никогда не пахавшейся степью вокруг посадок (*Минкина, 1992*)

Урочище "Ореховое" мехлесхоза "Кашарский"; 272 га; черноземы южные среднемощные малогумусные, различные по гранулометрическому составу, карбонатности, почвообразующим породам, степени эродированности и др.; сохранение искусственного лесного массива первой почвозащитной группы, имеющего важное значение для охраны окружающей среды (*Морозов, 1992*)

Урочища "Широкое" и "Жуково" мехлесхоза "Кашарский"; 257 га; черноземы южные среднемощные различной степени смытости, щебенчатости, гумусированности, карбонатности и др.; сохранение искусственного лесного массива, имеющего важное значение для охраны окружающей среды (*Морозов, 1992*)

Урочище "Липяги" мехлесхоза "Кашарский"; 844 га; черноземы южные среднемощные различного гранулометрического состава и различной степени смытости, гумусированности, карбонатности и др.; сохранение ценного лесного массива первой почвозащитной группы, имеющего важное значение для охраны окружающей среды и являющегося памятником природы районного значения (*Крыщенко, Морозов, 1992*)

Песковато-Лопатинский лес Верхнедонского мехлесхоза; 150 га; аллювиальные луговые почвы с высоким варьированием гранулометрического состава и химических свойств на аллювиальных отложениях; сохранение уникального массива лесной растительности с большим количеством ценных видов, имеющего огромное значение в предотвращении эрозионных процессов, поддержании стабильного гидрологического режима, улучшении экологического состояния территории (*Минкина, 1992*)

Аютинские склоны; 60 га; черноземы южные слаборазвитые и маломощные на известковых плитах, суглинисто-известково-песчанистой толще, третичной глине и черноземы южные супесчаные на суглинисто-известково-песчанистой толще; сохранение уникальных природных объектов степной зоны (*Назаренко, Удалов, 1991*)

Аксайский госсортоучасток; 25 га; аллювиальные луговые насыщенные карбонатные малогумусные среднесуглинистые почвы на аллювиальных отложениях; база научных и производственных исследований по районированию основных овощных культур: капусты, картофеля, помидоров, перца, лука, огурцов, моркови, свеклы (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Зимовниковский госсортоучасток; 286 га; каштановые почвы различной степени солонцеватости в комплексе со средними и глубокими солонцами; проведение работ по сортоиспытанию зерновых, зернобобовых, технических культур на комплексном почвенном покрове (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Неклиновский госсортоучасток; 58 га; лугово-черноземные почвы мощные солончаковатые и солончаковые слабозасоленные слабогумусированные глинистые на древнеаллювиальных глинистых отложениях; база научных и производственных исследований по сортоиспытанию основных овощных культур в пойме р. Миус (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Орловский госсортоучасток; 198 га; в центральной и восточной частях ГСУ черноземы южные среднемощные несолонцеватые и слабосолонцеватые, в западной и юго-западной частях темно-каштановые почвы разной степени солонцеватости и комплексы этих почв с солонцами и лугово-каштановыми почвами; база научных и производственных исследований по районированию сортов и гибридов зерновых, зернобобовых и технических культур (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Пролетарский рисовый сортоучасток; 10 га; темно-каштановые глинистые и тяжелосуглинистые почвы на желто-бурых глинах в комплексе с лугово-каштановыми и темно-каштановыми среднесолонцеватыми почвами; для отбора лучших сортов и выяснения оптимальных условий выращивания риса при орошении, для использования в качестве эталонного объекта в системе почвенного мониторинга (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Ростовский госсортоучасток; 273 га; черноземы обыкновенные мощные глинистые и тяжело-суглинистые; сохранение и восстановление уникальных природных объектов степной зоны, база научных и производственных исследований (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Семикаракорский госсортоучасток; 60 га; черноземы южные остаточно-луговатые среднемощные слабогумусированные тяжелосуглинистые на древнеаллювиальных тяжелосуглинистых отложениях; испытание в условиях высокой культуры земледелия разных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых и овощных культур: озимой пшеницы, ярового ячменя, сорго, гороха, сои на зерно, кукурузы на силос, многолетних трав, картофеля, капусты, томатов, огурцов, лука, перца (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Тарасовский госсортоучасток; 350 га; черноземы южные среднемощные слабогумусированные и малогумусные некарбонатные и карбонатные глинистые на желто-бурых глинах; районирование высокоурожайных и ценных по своим качествам сортов и гибридов зерновых, технических и кормовых культур, приспособленных к условиям северной зоны распространения южных черноземов (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Тацинский госсортоучасток; 300 га; черноземы южные среднемощные малогумусные глинистые; испытание сортов озимой пшеницы, ярового яч-

меня, подсолнечника, кукурузы, проса, озимой ржи, гороха, однолетних трав (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Чертковский госсортоучасток; 234 га; черноземы южные среднемощные глинистые малогумусные некарбонатные и карбонатные на желто-бурых глинах; сохранение уникальных природных объектов области, база научных и производственных исследований, комплексные сортоиспытания на черноземах южных (*Бирюкова, Минкина, 1994*)

Шолоховский госсортоучасток; 265 га; черноземы южные среднемощные слабосолонцеватые слабогумусированные (реже малогумусные) глинистые и тяжело- суглинистые на желтобурых глинах; выявление и районирование высокоурожайных и ценных по своим качествам сортов и гибридов зерновых, масляничных и кормовых культур, приспособленных к условиям северной зоны распространения южных черноземов (*Крыщенко, Бирюкова, Минкина, 1994*)

Оренбургская область

Природный заказник "Малый Накас"; 6000 га; на вершинах гор крутых склонов черноземы обыкновенные щебенчато-каменистые неполноразвитые, на пологих покатых склонах, в межгорных долинах и на плато темно-серые оподзоленные почвы, черноземы выщелоченные тучные и среднегумусные глинистые и тяжелосуглинистые на делювиальных желто-бурых карбонатных глинах; сохранение ценного почвенного и геоботанического объекта (*Климентьев, Грошев, 1995*)

Почвенный эталонный участок "Радиостанция Бугуруслан"; 50 га; черноземы типичные и обыкновенные, менее распространены темно-серые лесные почвы; сохранение одного из немногих оставшихся в целинном состоянии участков сыртово-холмистого лесостепного ландшафта (*Климентьев, Блохин, Грошев, 1995*)

Проектируемый ландшафтно-исторический заповедник "Каргалинские рудники"; 1298 га; черноземы обыкновенные среднегумусные среднемощные тяжелосуглинистые на делювиальной красно-бурой карбонатной глине; сохранение ценного почвенного, геоботанического и историко-археологического объекта, сохранение полигона для изучения влияния повышенных концентраций меди на почвы и растительность (*Блохин, Климентьев, Грошев, 1995*)

Памятник природы "Троицкие меловые горы"; 150 га; темно-каштановые неполноразвитые карбонатные щебенчатые почвы на меловых щебнистых породах; сохранение редких эталонных почв на меловых породах (*Климентьев, Блохин, 1995*)

Памятник природы "Троицкие меловые полигоны"; 121 га; специфические почвы черноземной зоны на солонцово-меловых полигонах (буграх пучения и др.); сохранение уникального неизученного почвенно-геологического и геоморфологического объекта (*Климентьев, 1995*)

Участок государственного заповедника "Оренбургский", Таловская степь; 3200 га; зона перехода от черноземов южных к темно-каштановым почвам: черноземы южные остаточно-солонцеватые карбонатные и темно-каштановые карбонатные солонцеватые среднемощные среднеглинистые почвы на делювиальной желто-бурой карбонатной и засоленной глине с окремнелой галькой; сохранение эталонных почвенных объектов (*Климентьев, Блохин, Грошев, 1996*)

Памятник природы "Кзыл-Адырское карстовое поле"; 3600 га; почвенный покров имеет сложное строение: встречаются черноземы южные карбонатные, гажевые, луговые загипсованные почвы, участки глинисто-солончаковых такыров; сохранение биосферного объекта национального и всемирного значения с исключительным ландшафтным и биологическим разнообразием (*Климентьев, Грошев, 1994*)

Участок государственого заповедника "Оренбургский", Айтуарская степь; 6753 га; черноземы южные карбонатные солончаковые, сочетания и комплексы черноземов южных с вариантами неполноразвитых щебенчато-каменистых почв и солонцов, по днищам балок лугово-черноземные среднегумусные почвы тяжелого механического состава; сохранение эталонного участка степных экосистем (*Климентьев, Грошев, 1996*)

Памятник природы "Карабутакская степь"; 1300 га; черноземы южные маломощные слабогумусированные супесчаные и песчаные; сохранение степных экосистем на продуктах выветривания гранитов, сохранение участка, ранее распаханного, затем залуженного и в настоящее время восстанавливающего естественную степную растительность (*Климентьев, Грошев, 1997*)

Участок государственного заповедника "Оренбургский", Буртинская степь; 4500 га; черноземы южные карбонатные и остаточно- карбонатные мало- и среднегумусные маломощные глинистые, тяжело- и среднесуглинистые, на горно-холмистых участках неполноразвитые почвы с высоким содержанием гумуса; сохранение эталонного участка степных экосистем (*Климентьев, Грошев, 1996*)

Типичные почвы лесостепи Бугульминской-Белебеевской возвышенности (к-з им. Кутузова); 3 га; черноземы выщелоченные среднегумусные среднемощные среднесуглинистые на четвертичной делювиальной супеси; эталонные почвы Предуральской провинции лесостепной зоны (*Русанов, 1990*)

Лесостепные почвы Южного Урала (к-з "Победа"); 7 га; черноземы типичные среднегумусные мощные тяжелосуглинистые на делювиальных карбонатных глинах; сохранение уникальных природных объектов Оренбуржья — эталонных почв Южно-Уральской горностепной провинции (*Русанов, 1990*)

Типичные степные почвы Сыртового Заволжья (к-з им. Шевченко); 12 га; черноземы обыкновенные карбонатные малогумусные среднемощные легкосуглинистые на делювиальных желто-бурых карбонатных глинах; сохранение эталонных почв Заволжской провинции степной зоны (*Русанов, 1990*)

Типичные степные почвы Южного Урала (Оренбургский государственный степной заповедник); 25 га; черноземы южные карбонатные среднегумусные маломощные глинистые на бурых карбонатных глинах; сохранение эталонных почв Заволжской провинции степной зоны (*Русанов, 1990*)

Древние коры выветривания Зауралья (Оренбургский государственный степной заповедник); 6—7 га; солончак гидроморфный луговый сульфатно-хлоридный поверхностный корковый; сохранение уникальных природных объектов Оренбург-ской области (*Русанов, 1990*)

Типичные почвы Оренбургского Зауралья (Оренбургский государственный степной заповедник); 12 га; темно-каштановые карбонатные солончаковые (содово-сульфатные) слабозасоленные среднесолонцеватые маломощные среднесугли-нистые почвы на древних карбонатных корах выветривания; сохранение эталонных почв Казахстанской провинции степной зоны (*Русанов, 1990*)

Типичные почвы сухих степей Предуралья (к-з им. Свердлова); 10 га; темно-каштановые карбонатные среднемощные среднесуглинистые почвы на желто-бурых карбонатных суглинках; сохранение эталонных почв Заволжской провинции (*Русанов, 1990*)

Пермская область

Почвы и почвенный покров Государственного комплексного (ландшафтного) заказника "Предуралье" регионального назначения; 2290 га (*Еремченко, 2005*)

Челябинская область

Троицкое учебно-опытное хозяйство Пермского государственного университета; 1220 га; черноземы сегрегационные (обыкновенные и выщелоченные), черноземы глинисто-иллювиальные (оподзоленные), темные (черноземно-луговые) солонцы, солончаки темные (луговые) глееватые, солоди светлые глеевые (луговые); сохранение памятника природы лесостепного Зауралья, объект для проведения почвенно-экологического мониторинга, место проведения учебных и производственных практик студентов биологического и географического факультетов университета (*Еремченко, 1998*)

Базовая территория заповедника "Аркаим"; 3761,3 га; преобладают различные виды черноземов, на засоленном аллювии пойм рек формируются солонцы, автоморфные и гидроморфные солончаки, на остепненных участках высокой поймы — аллювиальные дерновые почвы, под колковыми лесами — солоди; встречаются буроземовидные почвы; полигон для изучения редких целинных и освоенных почв, почв археологических объектов, ископаемых природных почв (*Иванов, Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Сарым-Саксы", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 12,3 га; современные черноземы и почвы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Куйсак", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 20 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Чернянский, Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Кизильский", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 18,3 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Андреевский", филиал музея-заповедника "Аркаим", 100,4 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Синташта", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 32 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Синташта", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 7,3 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Берсаут", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 68,2 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Родники", филиал-заповедника "Аркаим"; 24,9 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Ольгинское", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 81 га; редкие для региона черноземные почвы мощностью (А+АВ) более 1 м, погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение целинных эталонных почв, археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Журумбай", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 60 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Устье", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 40 га; современные и погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Исиней", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 118,9 га; черноземы обыкновенные, погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, Чернянский, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Степное", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 37,6 га; черноземы обыкновенные, погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, Чернянский, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Черноречье", филиал музея-заповедника "Аркаим"; 37,3 га; черноземы обыкновенные, погребенные черноземы археологических комплексов; сохранение и изучение археологических и ископаемых почв (*Плеханова, Чернянский, 2000*)

Историко-культурный комплекс "Аландское", филиал музея-заповедника "Аркаим"; черноземы обыкновенные, солонцы мелкие и корковые солончаковатые сульфатно-содовые со вторым гумусовым горизонтом, погребенные почвы археологических комплексов; сохранение и изучение почв ключевых учебных полигонов, археологических и ископаемых почв (*Плеханова, Чернянский, 2000*)

Калужская, Тульская области

Лесные участки Заокской засечной черты; 197 510 га; серые лесные почвы с мощностью гумусового горизонта до 80 см; сохранение эталонных почв сокращающихся первичных полидоминантных дубово-широколиственных лесов (*Пономаренко, Пономаренко, 1986*)

Сатинский учебный полигон географического факультета Московского государственного университета; дерново-подзолистые, дерново-карбонатные и другие почвы; сохранение и изучение почв ключевых учебных полигонов (*Касимов, Геннадиев, Герасимова, 1989*)

Брянская область

Севский район; 900 га; черноземы оподзоленные; сохранение наиболее агрономически ценных почв в условиях области (*Воробьев, 1997*)

Кировская область

Дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая остаточнокарбонатная почва со сложным органопрофилем на покровном карбонатном суглинке; 100 га; редкая (исчезающая) сильнодеградированная почва со вторым и третьим реликтовыми остаточными гумусовыми горизонтами (*Прокашев, 2002*)

Дерново-подзолистая суглинистая почва со сложным органопрофилем (со вторым гумусовым горизонтом) на покровном карбонатном суглинке; 125 га; редкая (исчезающая) почва, деградирующая под влиянием естественных и антропогенных факторов. В настоящее время находится под вторичным березовым лесом на месте бывшей пашни (*Прокашев, 2002*)

Дерново-подзолистая суглинистая почва со сложным органопрофилем на покровном бескарбонатном суглинке; 150 га; редкая (исчезающая) почва, деградирующая под влиянием естественных факторов в результате усиления гумизации и бореальности климата во второй половине голоцена (*Прокашев, 2002*)

Дерново-подзолистая суглинистая почва со сложным органопрофилем (со вторым гумусовым горизонтом) на покровном бескарбонатном суглинке; 60 га; редкая для Кировской обл. почва, деградирующая в течение 5,5 тыс. лет под воздействием естественных факторов. Находится под коренным еловым лесом (*Прокашев, 2002*)

Серая лесная суглинистая почва со сложным органопрофилем (со вторым гумусовым горизонтом) на покровном карбонатном суглинке; 100 га; редкая для Кировской обл. почва, деградирующая под воздействием естественных и антропогенных факторов. Находится под разнотравно-злаковым лугом (*Прокашев, 2002*)

Дерновая оглеенная (гумусово-глеевая) суглинистая почва со сложным органопрофилем на покровном бескарбонатном суглинке; 1—2 га; редкая почва, имеющая в своем составе слабо деградированный остаточный гумусовый горизонт (*Прокашев, 2002*)

Дерново-карбонатная почва (рендзина) со сложным органопрофилем; площадь точно не определена из-за спорадического характера пространственного распределения. Уникальная для территории России и Кировской области почва, представляющая собой карбонатный среднеголоценовый педореликт; в настоящее время находится под пахотными угодьями (*Прокашев, 2002*)

Белгородская и Воронежская области

Бекарюковский меловой бор; 150 га; перегнойно-карбонатные лесные почвы легко-, средне-, реже тяжелосуглинистые, слаборазвитые и развитые, слабо-, средне-, сильносмытые; сохранение уникальных местообитаний реликтовых древесных пород и травянистой растительности (*Соловиченко, Азаров, Бережной, 1997*)

Воронежская область

Каменная степь; 62,3 га, из нее три заповедных участка с семью участками некосимых залежных степей общей площадью 26,5 га и двумя участками косимых залежных степей общей площадью 35,8 га. Памятник природы национального уровня (*Щеглов, Беляев, 2005*)

Хрипунская степь (бывш. Байбаковский заповедник), площадь 13 га; памятник природы — комплексный ботанический заповедник, никогда не распахивался, с сохранением природного процесса почвообразования (*Щеглов, Беляев, 2005*)

Шипов лес, Красное лесничество; 58 га; чернозем выщелоченный среднемощный (мощный) эволюционировавший под влиянием длительного воздействия (более 200 лет) насаждений дуба черешчатого из чернозема обыкновенного среднемощного. Интересен как объект эволюции обыкновенных черноземов под влиянием лесных насаждений в черноземы выщелоченные и темно-серые лесные (*Щеглов, Беляев, 2005*)

Хреновская степь. Естественные условия почвообразования в условиях типичной лесостепи (*Щеглов, Беляев, 2005*)

Почвенный покров урочища "Дивногорья", на основе которого организован историко-археологический музей-заповедник (Маяцкое городище и др.); 1400 га; совместно с природоохранной (буферной) зоной около 11 500 га (*Щеглов, Ахтырцев, Дудкин, 2005*)

Липецкая область

Дендрарий лесостепной опытно-селекционной станции (ЛОС); 10 га (*Щеглов, Беляев, 2005*)

Орловская область

Шатиловский лес; 1066 га; многофункциональное действие лесных насаждений в условиях сильнорасчлененного рельефа Среднерусской возвышенности на окружающую среду (*Беляев, Щеглов, 2005*)

Пензенская область

Попереченская степь заповедника "Приволжская лесостепь"; 252 га; черноземы типичные и слабовыщелоченные среднемощные на элювиальных и делювиальных покровных суглинках; сохранение уникальных для европейской территории России почв целинного участка луговой степи (*Чернова, 1997*)

Островцовская лесостепь (Дикий сад) заповедника "Приволжская лесостепь"; 352 га; черноземы типичные среднемощные и мощные на элювиальных и делювиальных покровных суглинках; сохранение почв уникального для лесостепной зоны европейской территории России старозалежного участка (*Чернова, 1997*)

Кунчеровская лесостепь заповедника "Приволжская лесостепь"; 998 га; черноземы слабодифференцированные неполноразвитые на легких щебнистых породах; сохранение эталонных почв под массивами естественных смешанных лесов значительного возраста и старозалежными участками луговых степей с фитоценозами специфического видового состава (*Чернова, 1997*)

Тюменская область

Многолетний стационар по изучению мелиоративных приемов освоения луговых солонцов (к-з "Вагайский"); 20 га; луговые многонатриевые солонцы сульфатно-содового засоления; сохранение длительных опытов по изучению последствий химической мелиорации (*Федоткин, 1991*)

Курская область

Многолетний стационарный опыт по организации контурно-мелиоративного земледелия (КМЗ) Всероссийского НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН (*Масютинко, Здоровцев, Зарудная, Дощечкина, Подлесных, 2005*)

Многолетний стационарный опыт по физическому моделированию систем земледелия (МФПО) Всероссийского НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН (*Масютенко, Пыхтин, Шутов, Нитченко, 2005*)

Опытное поле Петринского опорного пункта Почвенного института им. В.В. Докучаева РАСХН (*Фрид, Когут, 2005*)

Волгоградская область

Целинные (эталонные) и агрогенноизмененные в результате агролесомелиорации в богарных условиях почвы солонцового комплекса межпадинной равнины, а также почвы больших падин и лиманов. Джаныбекский стационар Института лесоведения РАН и НЦП лесного хозяйства Республики Казахстан (*Базыкина, Сидемская, 2005*)

Республика Хакасия

Каштановая среднемощная почва на древних аллювиальных отложениях (целина). Хакасский республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (*Кутькина, Еремина, Воронина, 2005*)

Чернозем южный маломощный среднесуглинистый на красноцветных породах девона (зацелиненная залежь более 30 лет). Государственный природный заказник "Хакасский", степной участок "Иткуль" (*Кутькина, Еремина, Кандалова, 2005*)

Чернозем обыкновенный среднемощный средне-суглинистый на лессовидных суглинках (зацелиненная залежь более 30 лет). Государственный природный заказник "Хакасский", участок "Оглахты" (охранная зона) (*Кутькина, Еремина, Кандалова, 2005*)

Каштановая среднемощная орошаемая легкосуглинистая почва на древнеаллювиальных отложениях, покрытых суглинистыми наносами. Левобережье Минусинской котловины. АОСТ Усть-Абаканское (*Градобоева, Игнатенко, Чирятьева, 2005*)

Калининградская область

Редкие целинные подзолистые почвы в комплексе с перегнойно-подзолистыми и перегнойно-глеевыми почвами участка Куршкой косы (Нерейский лес в районе пос. Лесное) (*Паракшин, Паракшина, Анциферова, Панасин, Рымаренко, 2005*)

Целинная эталонная бурая лесная почва на моренных суглинках. Лес "Длинный". Романовское лесничество (*Паракшин, Паракшина, Анциферова, Панасин, Рымаренко, 2005*)

Целинная эталонная бурая лесная глееватая почва на моренных валунных суглинках. Романовское лесничество Калининградского госмехлесхоза (*Паракшин, Паракшина, Анциферова, Панасин, Рымаренко, 2005*)

Верховое болото Целау. Балтийский Флот (Правдинский полигон) и Гвардейский военный лесхоз (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Верховое болото Большое Моховое. Славский лесхоз (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Верховое болото Козье. Славский лесхоз (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Верховое болото Кабанье. Краснознаменский лесхоз (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Верховое болото Большое. Черняховский лесхоз (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Верховое болото "Свиное". Зеленоградское лесничество (*Напреенко, Дедков, 2005*)

Аллювиальные болотные низинные перегнойно-торфяные осушенные почвы польдеров под сенокосом. ТОО "Гастелло" (*Калининградское отделение ДОП*)

Бурые лесные окультуренные почвы участка "Медведево", ТОО "Страж Балтики". Реперные почвы — объекты мониторинга (*Анциферова, Калининградское отделение ДОП*)

Дерново-глееватая почва на карбонатных водно-ледниковых суглинках. АОЗТ "Славянский" Багратионовского района. Реперная почва—объект мониторинга (*Рымаренко, Калининградское отделение ДОП*)

Агрозем песчаный осушаемый на древнеаллювиальных песках участка "Шиповка — 1". АОЗТ "Приморский" Светловского городского округа. Почвы—модели высокого плодородия (*Анциферова, Калининградское отделение ДОП*)

Горные территории Алтая

Государственный природный биосферный Заповедник "Катунский"; 300 га, территория между правыми притоками Катуни — рек Тюргень, Сакалсу, В. Кураган (1500—2000 м над ур.м.); луговые, горно-луговые и дерновые литогенные почвы; сохранение, музеефикация почвенного монолита (далее просто музеефикация) и исследование наиболее типичного для каждого типа почв морфогенетического профиля (далее — типичного объекта), музеефикация нарушенных перевыпасом вариантов луговых почв в качестве отправной точки для мониторинга за восстановлением естественной морфологии почв высокой поймы Катуни после прекращения в 1992 г. интенсивного выпаса овец, полигон для изучения и охраны почв археологических объектов (курганы) и ископаемых почв под террасами палеоледоемов, выяснение специфики морфологии и генезиса луговых горных почв (*Скрипникова, 2004*)

Государственный природный биосферный Заповедник "Катунский"; 1200 га, территория между левыми притоками Катуни — рек Ускучевка, Суетка, на междуречье, образуемом истоками Катуни и Белой Берели в окрестностях оз. Налимьего и Козлиного (1600—2500 м над ур.м.); луговые, лугово-болотные и торфяные болотные почвы, бурые лесные кислые грубогумусные почвы, мерзлотные горные лесные и тундровые торфянисто-перегнойные; сохранение биосферного объекта национального и всемирного значения (истоки Катуни), музеефикация и натурное исследование типичного объекта, сохранение почвозащитного массива вокруг болот и озер, сохранение горных болотных экосистем как полигона для изучения климата (по составу организмов торфов и сапропелей) верхнего плейстоцена и голоцена (*Скрипникова, 2003*)

Государственный природный биосферный Заповедник "Катунский", район Мультинских озер, проектируемая охранная зона южнее Среднего Мультинского озера, долины рек Мульта, Солоуха (1650—2100 м над ур. моря); 700 га; буроземы грубогумусные типичные и глееватые, органо-аккумулятивные

перегнойные почвы высокогорий, глееземы грубогумусные, мерзлотные горно-лесные и торфянисто-перегнойные почвы; сохранение и исследование типичного объекта, фиксация продуктивности почв разной степени смытости и мониторинг состояния, сохранение и изучение уникальных приозерных ландшафтов с ненарушенной растительностью и почвами, граничная с заповедником территория, изучение влияния туризма на экологическое состояние территории, полигон для прохождения научно-производственных практик студентами российских вузов, территория для изучения постветровальных, пирогенных сукцессий и влияния пирогенеза на почвы (*Яшина, Скрипникова, 2003*)

Государственный природный биосферный Заповедник "Катунский", долина р. Зайчихи, притока Катуни, территория между долинами рек Катуни и Зайчихи (1200 м над ур. м.); 350 га; сохранение и музеефикация редких вариантов окультуренных луговых почв в пределах залежей 200—50-летнего возраста, изучение злаковых фитоценозов и выявление культурных видов в их составе, выяснение специфики морфологии и генезиса горных агролуговых почв, мониторинг ренатурализации естественных фитоценозов, сохранение и изучение почв археологических (курганы) объектов (*Скрипникова, 2004*)

Почвы Уймонской степи, долина Катуни (950—1100 м над ур.м.); 1000 га; сочетания незасоленных и слабозасоленных лугово-черноземных почв межгорных котловин, засоленные почвы органо-аккумулятивного ряда приречно-старичных позиций, старопахотные лугово-черноземные, поливные агролуговые и аллювиальные почвы поймы и стариц Катуни; музеефикация и изучение лугово-черноземных почв, засоление которых естественно или спровоцировано орошением, сохранение целинных вариантов котловинной степи, сохранение и изучение почв археологических (курганы) объектов (*Скрипникова, 2004*)

Плато Укок, перевал Укок, водораздел рек Карабулак и Бухтармы (2300—2600 м над ур.м.);700 га; горно-луговые альпийские и субальпийские полнопрофильные почвы, органо-аккумулятивные перегнойные почвы высокогорий; изучение и сохранение почв историко-культурного комплекса (*Скрипникова, 2002*)

Чуйская степь, долина р. Юстыт (1785—2000 м над ур.м.); 50 га; горные криоаридные варианты каштановых и светло- каштановых почв, орошаемые криоаридные почвы, горные тундровые торфянисто-болотные почвы, погребенные почвы, каштановые почвы; сохранение редких типов почв, объект для ведения мониторинговых исследований изменения криоаридных почв под влиянием орошения (*Скрипникова, Воробьева, Еськов, 2004*)

Курайская степь, долина р. Чуя (1600—1800 м над ур.м.); 30 га; горные луговые черноземовидные почвы в естественном состоянии и в разной степени нарушенные пастбищной дегрессией, горные дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные под кедрово-лиственничными лесами в разной степени нарушенные вырубками; сохранение и изучение эталонных луговых типов почв и их антропогенно нарушенных аналогов, сохранение эталонных почв сокращающихся первичных полидоминантных лесов (*Скрипникова, Воробьева, 2004*)

Долина р. Ярлу-Айлы, приток р. Чуя (трасса Акташ Улаган, в 10 км от поворота с Чуйского тракта), туристический объект "Красные камни" (1200—1300 м над ур.м.); 15 га; северные склоны долины — контрастные сочетания в пределах одной высотной отметки горных тундровых перегнойно-торфянистых почв и влажнолуговых (переходных к лугово-болотным) почв, южные

склоны долины с многочисленными выходами на поверхность киновари — горно-лесные, горные луговые вторично-одернованные и горные лугово-степные; сохранение и изучение уникальных объектов горных ландшафтов, природный полигон для работ по уточнению классификационной принадлежности почв и изучения специфики почвообразования на киноварных породах, а также для изучения влияния повышенных концентраций ртути на растения (*Скрипникова, Пивоварова, 2004*)

Долина р. Б. Ильгульмень, приток р. Катунь (в 3,5 км на юг от пос. Купчегень Онгудайского р-на) (800—1000 м над ур.м.); 20 га; горные каштановые и светло-каштановые современные и погребенные почвы древнего террасового комплекса; сохранение и изучение уникальных по устойчивости природно-антропогенных террасовых комплексов в качестве эталона противоэрозионного сооружения, полигон для изучения скорости превращения рыхлого грунта в дифференцированный генетический профиль, изучение палеоклимата (1000 лет до н.э.) по характеру погребенных почв (*Скрипникова, Соёнов, 2004*)

Предгорные районы Алтая

Горно-Алтайск, пригородный парк в долине р. Майма (250—300 м над ур.м.); 25 га; горные серые лесные оподзоленные мало- и среднемощные почвы; изучение и сохранение эталонов горных почв, полигон для сравнительного изучения горных и равнинных вариантов одного почвенного типа (*Скрипникова, Яськов, 2004*)

Алтайский край, Белокурихинский район, в 1,5 км на юг от пос. Солонешное, долина р. Язевка (700—800 м над ур.м.); 15 га; горные черноземы типичные среднемощные и мощные на склонах 10—15°, сохранение и изучение эталонных высокопродуктивных почв под естественными массивами лиственных лесов паркового типа (*Скрипникова, 2004*)

Красноярский край

Койбальская степь, междуречье Енисея и Абакана (Южно-Минусинская котловина); 40 га; черноземы южные маломощные; сохранение почв уникальных сухих степей Сибири (*Щетников, 1991*)

Горные территории ЕТР

Кавказ

Плато Гуниб, внутренний Дагестан, высокогорный ботанический сад (1800—2000 м над ур.м.); 30 га; горные луговые субальпийские почвы и их обрабатываемые агроаналоги, современные и погребенные горные луговые почвы на древних террасовых комплексах; сохранение, музеефикация и изучение естественных и обрабатываемых горных луговых почв (из-за редкого включения горно-луговых почв в сельскохозяйственную обработку данные по их антропогенному изменению отсутствуют), создание коллекции монолитов естественных и обрабатываемых в разное время горных луговых почв в качестве базы данных для последующего слежения за изменением их морфологического и физико-химического состояния, сохранение уникальных природно-антропогенных древних террасовых комплексов в качестве базы для научных и производственных исследований причин их многовековой

устойчивости к разрушению и более высокой продуктивности по сравнению с нетеррасированными почвами склонов (*Скрипникова, 2004*)

Северный Кавказ, Ставропольский край, Кисловодская котловина, окрестности Кисловодска (пос. Луначарского), природно-археологические объекты вдоль течения р. Аликоновка (приток р. Подкумок) — балка Мокрая, Катыхинское городище, Медовые водопады (540—1100 м над ур.м.); 550 га; черноземы обыкновенные, лугово-черноземные почвы, горные луговые черноземовидные почвы, каштановые и темно-каштановые почвы, современные и погребенные почвы древних террас (построены 6—3 тыс. лет назад) и археологических памятников; сохранение эталонных участков древнего террасового земледелия, сохранение уникальных природно-антропогенных террасовых комплексов в качестве базы для научных и производственных исследований противоэрозионных конструкций этих сооружений, их уникального режима гидрологической саморегуляции, микроклиматических особенностей, а также для изучения погребенных при строительстве почв (*Скрипникова, 2000*)

Западный Кавказ, Краснодарский край, Хостинский район, пос. Воронцовка, окрестности Воронцовской пещеры (750 м над ур.м.); 40 га; бурые лесные слабоненасыщенные почвы залесенных в разной степени эродированных склонов и бурые лесные слабо ненасыщенные вторично-дерновые почвы на полотнах древних террасовых системах, дерново-карбонатные современные и погребенные почвы, современные и погребенные желтоземы слабоненасыщенные; сохранение и изучение почвенного покрова древних террасовых систем, мониторинг насыщенности почв основаниями на датированных (по радиоуглероду) 500-летнего возраста поверхностях, изучение скоростей профильной дифференциации в пределах насыпных рыхлых толщ террасовых полотен, исследование влияния широколиственных и вечнозеленых древесных пород на процессы дифференциации рыхлой толщи (*Скрипникова, 2003*)

Западный Кавказ, Краснодарский край, район Большого Сочи, пос. Ахун, участок Мацестинского лесничества, 500 м западнее тепличного хозяйства (350 м над ур.м.); 10 га; бурые лесные слабо ненасыщенные почвы естественных в разной степени эродированных склонов, бурые лесные слабоненасыщенные вторично-дерновые и бурые лесные слабоненасыщенные оподзоленные почвы древних (2,5 тыс. лет назад) антропогенно-террасовых систем; сохранение и исследование процессов почвообразования в пределах террасовой системы, полотна которой построены из насыпного грунта разного гранулометрического состава, сохранение, музеефикация и изучение современных и погребенных бурых лесных слабоненасыщенных почв, использование террасовых полотен в качестве датированных поверхностей для определения скоростей процессов оподзоливания (*Скрипникова, 2002*)

Западный Кавказ, Краснодарский край, Хостинский район, тиссо-самшитовая роща на окраине Хосты (470 м над ур.м.); 15 га; бурые лесные кислые почвы, дерново-карбонатные выщелоченные почвы, сочетания маломощных и неполноразвитых буроземовидных почв эродированных в разной степени склонов; сохранение, музеефикация и изучение почв под реликтовой растительностью третичного времени, полигон для изучения рекреационных нагрузок, мониторинг эрозионных процессов (*Скрипникова, Ковалева, 2002*)

Западный Кавказ, Краснодарский край, Адлерский район, пос. Красная поляна, Кавказский Государственный природный биосферный заповедник, кордон Лаура, лесистое плато от территории руин крепости "Рудник" (650 м

над ур.м.) до Хмелевских озер (1200 м над ур.м.); 80 га; бурые лесные кислые почвы, дерновые литогенные, погребенные под древними искусственными террасами и валами на крепости "Рудник", маломощные и неполнопрофильные буроземы эродированных склонов, горные лесные дерново-литогенные маломощные, горно-луговые, горные лугово-степные почвы; музеефикация и изучение основных почвенных типов плато, сохранение их биоразнообразия, сохранение реликтовых почвенных комплексов-сочетаний под постройками крепости "Рудник" с целью палеореконструкции климатических условий времени строительства, полигон для изучения влияния ветровальных нарушений (сукцессия 30-летнего возраста) на почвенный покров (*Скрипникова, Тунеев, 2004*)

Западный Кавказ, Краснодарский край, Туапсинский район, в 10 км на север от пос. Агуй-Шепсуг (300—400 м над ур.м.), территория Агуй-Шепсугского лесничества; 30 га; бурые лесные слабоненасыщенные почвы склонов на выходах хлоритовых и филлитовых сланцев, современные и погребенные почвы археологических памятников (руины поселений, дольменные комплексы); сохранение уникальных по возрасту природно-археологических объектов, изучение и музеефикация почв бронзового времени, полигон для опробации методики отбора гумусовых горизонтов погребенных почв без нарушения целостности археологических объектов (*Скрипникова, Сапелкин, 2003*)

Приморские низкогорные территории

Краснодарский край, Адлерский район, Имеретинская низменность; 20 га; уникальные для субтропического климата торфяные низинные сульфатно-кислые освоенные почвы; сохранение уникального природного объекта как в качестве генофонда для воспроизводства животных, в первую очередь перелетных птиц, так и в качестве базы для научных и производственных исследований скоростей минерализации торфяно-сапропелевых толщ под влиянием хозяйственной деятельности человека, единственный на российском побережье объект для определения палеоклиматических изменений в прошлом по составу сохранившегося торфяно-сапропелевого материала, сохранение остатков стремительно сокращающихся торфяных угодий (*Диденко, Торчевский, Скрипникова, 2004*)

Краснодарский край, Геленджикский район, пос. Дивноморское, роща пицундской сосны; 5 га; буроземы кислые, дерновые литогенные почвы; сохранение почв рощи, объявленной объектом Красной книги растений, полигон для изучения влияния на почвы высоких рекреационных нагрузок (парковая зона без строго обозначенных троп) (*Скрипникова, 2005*)

Республика Калмыкия

Почвы балки Годжур (с-з "Кировский"); 1000 га; почвы светло-каштановые супесчаные на лёссовидных суглинках, светло-каштановые песчаные на карбонатных и песчаных отложениях, лугово-аллювиально-болотные перегнойно-глеевые солончаковые; сохранение уникальных экосистем в Калмыкии (*Ташнинова, Богун, 1993*)

Оазисный участок естественной степи (с-з "Зултурганский"); 100 га; почвы светло-каштановые, лугово-каштановые, лугово-бурые супесчаные и легкосуглинистые на желто-бурых карбонатных суглинках; сохранение уникального природного участка естественной степи (*Ташнинова, 1993*)

Байрачные леса в балке Годжур; 10 га; лугово-каштановые почвы под байрачным лесом; сохранение байрачных лесов и уникальных почв под ними (*Ташнинова, Богун, 1994*)

Разнотравно-ковыльная степь (с-з "Кировский"); 50 га; темно-каштановые песчаные и супесчаные почвы; сохранение естественных разнотравно-ковыльных растительных ассоциаций и почв под ними (*Ташнинова, Богун, 1994*)

Бэровские бугры; автоморфные бурые полупустынные почвы; сохранение уникальных природных образований Прикаспия и Нижнего Поволжья (*Ташнинова, 1993*)

"**С**основая роща" Элистинского мехлесхоза; 26 га; пустынно-степные суглинистые и супесчаные почвы; сохранение уникального для полупустынной зоны лесного ландшафта, созданного на пресноводных Ергенинских песках посадками сосны крымской и обыкновенной (*Ташнинова, Богун, Богун, 1993*)

Заповедный участок "Хар-Булук" (с-з "Страна Советов"); 16 га; светло-каштановые несолонцеватые и темноцветные гидроморфные почвы; сохранение уникальных экосистем на Ергенях (*Ташнинова, Богун, Богун, 1993*)

Республика Башкортостан

Кирзинский лесхоз Караидельского ПЛХО; 300 га; мерзлотные горно-лесные перегнойно-карбонатные и торфянисто-перегнойные почвы; сохранение не имеющих аналогов в Башкортостане и Российской Федерации реликтовых (плейстоценового возраста) мерзлотных почв (*Мукатанов, 1992*)

Горный массив Иремель (Южный Урал); 30 тыс га; почвы горно-тундровые, горно-луговые субальпийские, горно-лесолуговые; сохранение редких типов почв и растительности в зоне интенсивного туризма (*Мукатанов, 1997*)

Хребет Ирендык в окрестностях водопада Гадельша (Баймакское лесничество); горно-луговые дерновые и горно-лесные дерновые почвы; сохранение редких типов почв, растений и животных (*Янтурин, Мулдашев, Мукатанов, 1991*)

Старовозрастные дубняки, орешники и липняки возле д.Усаклы; 10 га; горно-лесные бурые кислые тяжелосуглинистые почвы на элювии аргиллитов и песчано-глинистых сланцев; сохранение реликтовых буроземов под старовозрастными широколиственными лесами (*Мукатанов, 1986*)

Участок реликтовых солонцов-солончаков в Татлыбаевском отделении Сибайского совхоза Баймакского района; 10 га; комплексы—сочетания солонцов-солончаков и лугово-черноземных солончаковато-солонцеватых почв; сохранение реликтовых почвенных комплексов—сочетаний, чутко реагирующих на изменения гидротермического режима (*Мукатанов, 1997*)

Хребты Кракка и шарьяжные хребты Башкирского государственного заповедника (кварталы 63 и 124); 100—1000 га; почвенные комбинации горно-лесных почв: примитивных органогенно-щебнистых, светло-серых слаборазвитых слабодифференцированных, дерново-подзолистых слаборазвитых, обусловленные влиянием пирогенеза; объект для ведения мониторинговых исследований, изучения пирогенной и антропогенной эволюции горно-лесных почв (*Мукатанов, 1997*)

Республика Саха (Якутия)

Стационар "Спасская падь", Якутск; 406 га; мерзлотная палевая осолоделая на неоднородных супесчано-суглинистых карбонатных породах. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН, уникальный эталон

почв, не имеющий аналогов в мире (*Еловская, Десяткин, Оконешникова, Десяткин, 2004*)

Стационар "Спасская падь", Якутск; 84 га; мерзлотная палевая типичная на суглинистых карбонатных породах. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН, уникальный эталон почв, не имеющий аналогов в мире (*Еловская, Десяткин, Оконешникова, Десяткин, 2004*)

Стационар "Спасская падь", Якутск; 50 га; мерзлотная таежная оподзоленная на древнеаллювиальных песчаных отложениях. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН; локальный эталон для Красной книги почв России (*Еловская, Десяткин, Оконешникова, Десяткин, 2004*)

Аласный стационар ИБПК СО РАН "Тюнгюлю", Мегино-Кангаласский улус; 10 га; мерзлотная палевая слабоосолоделая на древнеаллювиальных отложениях. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН; уникальный эталон почв, не имеющий аналогов в мире (*Десяткин, Еловская, 2004*)

Аласный стационар ИБПК СО РАН "Тюнгюлю", Мегино-Кангаласский улус. Аласная остепненная (серая) на неоднородных озерно-аласных отложениях. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН; уникальный эталон почв, не имеющий аналогов в мире (*Десяткин, Еловская, 2004*)

Аласный стационар ИБПК СО РАН "Тюнгюлю", Мегино-Кангаласский улус. Аласная торфянисто-глеевая на озерных органогенных отложениях. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН; уникальный эталон почв, не имеющий аналогов в мире (*Десяткин, Еловская, 2004*)

Аласный стационар ИБПК СО РАН "Тюнгюлю", Мегино-Кангаласский улус. Аласная дерново-луговая на неоднородных аласных отложениях. Опорный пункт научных исследований ИБПК СО РАН; уникальный эталон почв, не имеющий аналогов в мире (*Десяткин, Еловская, 2004*)

Амурская область

Муравьевский парк устойчивого природопользования

Пойма Амура и более мелких рек (Аргузиха) и ручьев (периодически затопляемые территории); 157 га; сочетания аллювиальных лугово-болотных и болотных торфянисто-перегнойно-глеевых почв наиболее низких участков пойм с аллювиальными луговыми почвами повышенных участков пойм и межлиманных участков; изучение лугово-болотной пойменной экосистемы с целью сохранения ее средообразующей роли для устойчивого развития всей территории гнездовий японского и даурского журавлей, наблюдение за изменением интенсивности процессов минерализации торфяных толщ (резервуар для стока углекислого газа) от причин естественного (климатические тренды) и антропогенного (проведения мероприятий по регулированию стока рек) характера (*Смиренский, Шалагин, 2004*)

Высокие поймы Амура, участки пойменных повышений, склоны первой надпойменной террасы и отдельные участки собственно террас (урочище Бугровое); 37 га; комплексы аллювиальных луговых почв с луговыми черноземовидными (луговые темноцветные почвы прапрерий) в разной степени оглеенными почвами в понижениях рельефа, а также комплексы луговых черноземовидных почв с дерново-глеевыми и бурыми лесными почвами на повышенных элементах рельефа; сохранение уникальных контрастных структур почвенного покрова, позволяющих изучить историю формирования, развития и последующей трансформации степных ландшафтов (пре-

рии), изучение генезиса реликтовых темноцветных почв (*Смиренский, Скрипникова, 2005*)

Демонстрационная форма — первая надпойменная терраса Амура; 50 га; сочетания луговых темноцветных почв с перегнойно-глеевыми и болотными почвами; луговые темноцветные почвы мощные и среднемощные, осолоделые луговые почвы; полигон для изучения и сохранения редких целинных почв и их освоенных вариантов, развивающихся при применении специально разработанной органической системы земледелия без применения гербицидов и минеральных удобрений, демонстрационный объект рационального природопользования (*Смиренский, Шалагин, 2004*)

Дендрарий и лесопитомник — первая надпойменная терраса Амура; 23 га; луговые темноцветные средне- и маломощные почвы, бурые лесные почвы; объект для изучения пирогенной и антропогенной эволюции почв Зейско-Буреинской равнины и проведения почвенно-экологического мониторинга, база для проведения учебных и производственных практик студентов и школьников, испытательный полигон для размножения видов-интродуцентов, восстановления участков прерий (*Смиренский, 2004*)

ИЗ МАТЕРИАЛОВ К КРАСНЫМ КНИГАМ ПОЧВ СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН

УКРАИНА (Черкасская область)

Опытные поля Уманского сельскохозяйственного института; 123 га; черноземы оподзоленные и серые лесные оподзоленные почвы; сохранение опытных полей с характерными для данного региона почвами (*Карасюк, Хомчак, 1990*)

Херсонская область

Абсолютная заповедная степь заповедника "Аскания-Нова"; 520 га; темно-каштановые солонцеватые среднесуглинистые почвы на лёссовидном суглинке и глеесолодь; сохранение уникального почвенного покрова степной зоны (*Золотун, 1991*)

Одесская область

Территория, прилегающая к оз. Китай (Придунайская степная провинция) в пределах Васильевской оросительной системы, действующей с 1951 г., Червоноярской оросительной системы (ЧЯОС), действующей с 1975 г. и Знаменской оросительной системы (ЗОС), действующей с 1975 г.; южный мицеллярно-карбонатный чернозем; объект для введения мониторинговых исследований изменения почв под влиянием орошения, изучения специфики почвообразования в условиях орошения, сохранение и исследование наиболее характерных естественных морфогенетических и ненарушенных влиянием орошения почв (*Жигова, 2005*)

Грузия

Мцхетский район

Дидгорский лесной массив; 500 га; коричневые лесные почвы; сохранение уникального природного объекта, в 1904 г. С.А. Захаровым впервые были описаны коричневые лесные почвы, получившие в дальнейшем всемирное признание (*Лежава, Мачавариани, 1991*)

Киргизия

Ошская область

Орслан-боб-Кугартский массив орехово-плодовых лесов, урочище Хурмайдан; коричневые карбонатные почвы на склонах юго-западной экспозиции, не нарушенных террасированием, и на склонах с террасами, построенными в 1988 г. (1900 м над ур.м.): межтеррасное пространство — почвы, не затронутые террасированием, полотно террасы — "срезанные почвы", насыпной откос — "засыпные почвы"; объект для изучения эталонных почв под естественным массивом орехово-плодовых лесов, определения скорости и интенсивности первоначальных стадий почвообразования и сукцессии растительности (обработка почвы прекратилась после 15 лет) на полотне террасы, где в результате террасирования обнаружилась почвообразующая порода, изучения насыпного слоя и почв погребенных этой толщей при строительстве террас на насыпном откосе, исследование процессов почвообразования в пределах всех основных элементов террас (*Жигова, 2005*)

Орслан-боб-Кугартский массив орехово-плодовых лесов, урочище Ак-Терек; коричневые карбонатные почвы на склонах юго-западной экспозиции, не нарушенных террасированием, и на склонах с террасами, построенным в 1971 г. (1850 м над ур.м.) и 1982 г. (1900 м над ур.м.); межтеррасное пространство — почвы, не затронутые террасированием, полотно террасы — "срезанные почвы", насыпной откос — "засыпные почвы"; объект для изучения эталонных почв под естественным массивом орехово-плодовых лесов, определения скорости и интенсивности первоначальных стадий почвообразования и сукцессии растительности (обработка почвы прекратилась после 15 лет) на полотне террасы, где в результате террасирования обнаружилась почвообразующая порода, изучения насыпного слоя и почв погребенных этой толщей при строительстве террас на насыпном откосе, исследование процессов почвообразования в пределах всех основных элементов террас (*Жигова, 2005*)

Орслан-боб-Кугартский массив орехово-плодовых лесов, урочище Ак-Терек; коричневые типичные почвы на склонах юго-западной экспозиции, не нарушенных террасированием, и на склонах с террасами, построенными в 1977 г. (1850 м над ур.м.); межтеррасное пространство — почвы, не затронутые террасированием, полотно террасы — "срезанные почвы", насыпной откос — "засыпные почвы"; объект для изучения эталонных почв под естественными массивом орехово-плодовых лесов, определения скорости и интенсивности первоначальных стадий почвообразования и сукцессии растительности (обработка почвы прекратилась после 15 лет) на полотне террасы, где в результате террасирования обнаружилась почвообразующая порода, изучения насыпного слоя и почв, погребенных этой толщей при строительстве террас на насыпном откосе, исследования процессов почвообразования в пределах всех основных элементов (*Жигова, 2005*)

Примечание

ЦПО, занесенные в кадастр, рекомендуются для сохранения как особо ценные объекты. Решения: подкомиссии по Красной книге и особой охране почв Докучаевского общества почвоведов (председатель *Е.Д. Никитин*, секретарь *Н.Б. Скворцова*), секции "Экология и охрана почв" Центрального совета Всероссийского общества охраны природы, комиссии по красным книгам почв Совета по природному и культурному наследию РАН.

Оглавление

Предисловие (*В.А. Садовничий*) 5
Предисловие авторов 6

Часть I

СТРУКТУРА ЭКОЛОГИИ ПОЧВ

Глава 1. Соотношение экологии почв и учения о почвенных экологических функциях и их сохранении 7
Глава 2. Становление и сущность учения об экофункциях почв 17

Часть II

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Глава 3. Физические функции 31
Жизненное пространство 31
Жилище и убежище 47
Опорная функция 51
Функция сохранения и депо семян и других зачатков 52
Глава 4. Химические и биохимические функции 56
Почвенный источник питательных элементов и соединений 56
Функция депо элементов питания, энергии, влаги 70
Функция стимулятора и ингибитора биохимических и других процессов 71
Глава 5. Физико-химические функции 80
Сорбция тонкодисперсного вещества, поступающего из атмосферы, с боковым и грунтовым водным потоком и растительным опадом . . . 80
Сорбция почвенным мелкоземом микроорганизмов, обитающих в почве 86
Глава 6. Информационные функции 93
Функция сигнала для сезонных и других биологических процессов 93
Регуляция численности, состава и структуры биоценозов 96
Пусковой механизм некоторых сукцессий 97
"Память" биогеоценоза (ландшафта) 98
Глава 7. Целостные функции 100
Трансформация вещества и энергии, находящихся или поступающих в биогеоценоз 100
Санитарная функция почв 101
Функция защитного и буферного биогеоценотического экрана 106

Часть III
ГЛОБАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Глава 8. Литосферные функции 109
Почва — защитный слой и фактор развития литосферы 111
Биохимическое преобразование приповерхностной части литосферы . . 114
Почва — источник вещества для формирования пород и полезных ископаемых 122
Передача аккумулированной солнечной энергии и вещества атмосферы в недра Земли 136
Антропогенные нарушения литосферных функций почвы 138

Глава 9. Гидросферные функции 143
Особенности гидросферы как фактора почвообразования 143
Обобщенная оценка роли почв в круговороте воды 149
Участие почвы в формировании речного стока и водного баланса 152
Трансформация атмосферных осадков в почвенно-грунтовые и грунтовые воды 159
Почва как фактор биопродуктивности водоемов 164
Почвенный защитный барьер акваторий 168
Использование гидросферы и гидрологических функций почв 171

Глава 10. Влияние почв на атмосферу 187
Почва как фактор формирования и эволюции газового состава атмосферы 191
Почва — регулятор газового состава современной атмосферы 201
Почва — источник и приемник твердого вещества и микроорганизмов атмосферы 215
Влияние почвы на энергетический режим и влагооборот атмосферы . . . 220
Антропогенные изменения атмосферных функций почв 222

Глава 11. Общебиосферные и этносферные функции 243
Почва как среда обитания для организмов суши 243
Роль почвенного покрова в дифференциации географической оболочки и биосферы 253
Почва — связующее звено биологического и геологического круговоротов 258
Почва как фактор биологической эволюции 260
Антропогенные изменения общебиосферных функций почвенной оболочки 269
Этносферные и социосферные функции почв 271

Часть IV
СОХРАНЕНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВ НА ОСНОВЕ УЧЕНИЯ О ПОЧВЕННЫХ ЭКОФУНКЦИЯХ

Глава 12. Научные основы сохранения и рационального использования почв 273
Взаимосвязь и изменчивость экологических функций почв 273
Рациональное использование почв с учетом их основных свойств 284
Проблемы экологической оценки и мониторинга почв 294
Основные принципы сохранения почв и биосферы 303

Глава 13. Охрана почв и пути ее реализации 308
Уровни и виды охраны почв 309

Становление особой охраны почв 319
Создание Красной книги почв 321
Подготовка сводного кадастра ценных почвенных и других природных объектов 332
Правовые предпосылки сохранения почв и биосферы в целом 336
Роль экологических движений в сохранении почв и биосферы 339

Часть V

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ УЧЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ ПОЧВ И ГЕОСФЕР

Глава 14. Задачи дальнейшей разработки учений о функциях почв и геосфер 346
Глава 15. Гармонизирующее развитие в контексте экологических проблем . . 363
Глава 16. Экология почв и учение о почвенных экофункциях — актуальное направление развития почвоведения как фундаментальной науки 368

Литература 379

Приложение. Выдержки из Красной книги почв и Кадастра особо ценных почвенных объектов России и сопредельных стран 385

Учебное издание

ДОБРОВОЛЬСКИЙ ГЛЕБ ВСЕВОЛОДОВИЧ
НИКИТИН ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

УЧЕНИЕ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ ПОЧВ

2-е издание, уточненное и дополненное

Зав. редакцией *Г.С. Савельева*
Редактор *Г.С. Савельева*
Художники *В.А. Чернецов, Н.С. Шувалова*
Художественный редактор *Ю.М. Добрянская*
Технический редактор *З.С. Кондрашова*
Корректоры *В.В. Конкина, А.Я. Марьясис*
Компьютерная верстка *Ю.В. Одинцовой*

Художественное оформление выполнено
Издательством Московского университета
и издательством «Проспект»
по заказу Московского университета

Подписано в печать 30.01.2012 г. Формат 60×90 1/16.
Бумага офс. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л. 26,0. Уч.-изд. л. 23,5.
Тираж 1000 экз. Изд. № 9409. Заказ № 455.

Ордена «Знак Почета»
Издательство Московского университета.
125009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7.
Тел.: (495) 629-50-91. Факс: (495) 697-66-71
(495) 939-33-23 (*отдел реализации*)

E-mail: secretary-msu-press@yandex.ru
Сайт Издательства МГУ:
www.msu.ru/depts/MSUPubl2005
Интернет-магазин: www.msupublishing.ru

Отпечатанно в типографии МГУ
119991, ГСП-1, г. Москва,
Ленинские Горы, д.1, стр.15