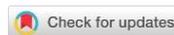


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-208-225



Ссылки для цитирования:

Соколова Т.А. Роль биоты в создании почвенного профиля и функционировании почвы: новые материалы и интерпретация известных фактов и существующих концепций // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 105. С. 208-225. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-208-225

Cite this article as:

Sokolova T.A., The role of biota in soil profile formation and soil functioning: new materials and interpretation of well-known facts and existing concepts, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 105, pp. 208-225, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-105-208-225

Роль биоты в создании почвенного профиля и функционировании почвы: новые материалы и интерпретация известных фактов и существующих концепций*

© 2020 г. Т. А. Соколова

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,
e-mail: sokolt65@mail.ru.*

Поступила в редакцию 12.12.2020, принята к публикации 17.12.2020

Резюме: Рецензия на монографию А.Д. Фокина и С.П. Торшина “Растения в жизни почв и наземных экосистем. Нетрадиционные подходы и решения в поведении биологически значимых элементов”, опубликованную в 2020 г. издательством Lap Lambert Academic Publishing, ISBN 978-620-2-53005-7. В монографии А.Д. Фокина и С.П. Торшина читатель находит оригинальные и не всегда традиционные для почвоведов постановку и

**Фокин А.Д., Торшин С.П.* Растения в жизни почв и наземных экосистем. Нетрадиционные подходы и решения в поведении биологически значимых элементов. Lap Lambert Academic Publishing, 2020. 192 с. ISBN 978-620-2-53005-7. Рецензия на монографию.

обсуждение ряда фундаментальных проблем образования почвенного профиля и современного функционирования почвы и роли растений и микроорганизмов в этих процессах. Авторы монографии заставляют задумываться над справедливостью некоторых общепринятых концепций и представлений, особенно касающихся транспортных потоков вещества в почвах и их моделирования. Обращено внимание на обычно недооцениваемую роль восходящих потоков вещества по проводящим системам растений и на локализацию в почвах живых корней и органических остатков. Последний фактор играет большую роль в появлении внутригоризонтной дифференциации вещества и в корневом питании растений. Большим достоинством книги является ее насыщенность экспериментальным материалом, полученным с использованием разработанных авторами уникальных методик, простых и эффективных, не имеющих аналогов в мировой литературе. С использованием этих методик удалось, в частности, определить время жизни агрегата в дерново-подзолистых почвах и установить закономерности корневого поглощения радионуклидов с поверхности и из внутренней части структурных отдельностей. В заключении сформулирован общий вывод о том, что в процессе современного функционирования почвы почвенно-профильное перераспределение вещества осуществляется преимущественно в рамках биологического круговорота. Многие из обсуждаемых в монографии проблем далеко выходят за рамки почвоведения, поэтому книга будет интересна для широкого круга специалистов, работающих в различных областях знаний – экологии, наук о Земле, физиологии растений, сельского и лесного хозяйства.

Ключевые слова: переагрегирование почвы, время жизни агрегата, подзолообразовательный процесс, дерново-подзолистые почвы, серые лесные почвы, радиоактивное загрязнение, изотопно-индикаторный метод, биологический круговорот, внутригоризонтная дифференциация вещества, корневое питание растений, листовое поглощение радионуклидов, радиография, восходящий поток веществ по проводящим системам растений.

The role of biota in soil profile formation and soil functioning: new materials and interpretation of well-known facts and existing concepts*

T. A. Sokolova

*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
e-mail: sokolt65@mail.ru.*

Received 12.12.2020, Accepted 17.12.2020

Abstract: Review of the monograph by A.D. Fokin and S.P. Torshin “Plants in the Life of Soils and Terrestrial Ecosystems. Nontraditional Approaches and Solutions on the Behavior of Biologically Significant Elements” published in 2020 by Lap Lambert Academic Publishing, ISBN 978-620-2-53005-7. In the monograph by A.D. Fokin and S.P. Torshin, the reader finds an original and not always traditional for soil scientists, consideration and discussion of a number of fundamental problems of the development of a soil profile and modern soil functioning and of the role of plants and microorganisms in these processes. The authors of the monograph make us think about the validity of some generally accepted concepts and hypothesis, especially those concerning transport flows of matter in soils and their modeling. Attention is drawn to the usually underestimated role of the uplifting – ascending fluxes of matter along the conductive systems of plants, and to the localization of living roots and organic residues in soils. The latter factor plays an important role in the development of intrahorizontal differentiation of the soil material and in the root nutrition of plants. The great advantage of the book is the availability of abundant experimental material obtained by unique methods developed by the authors, simple and effective, which have no analogues in the world literature. Application of these methods, allows, in particular, determining the lifetime of the aggregate in soddy-podzolic soils and establishing the trends in the root uptake of radionuclides from the surface and from the inner part of peds. In the end a general conclusion is formulated that in the course of modern soil functioning, the soil-profile redistribution of matter is performed mainly within the limits of the biological cycle of elements. Many of the problems and ideas discussed

*Fokin A.D., Torshin S.P., Plants in the Life of Soils and Terrestrial Ecosystems. Nontraditional Approaches and Solutions on the Behavior of Biologically Significant Elements, Lap Lambert Academic Publishing, 2020, 192 p., ISBN 978-620-2-53005-7. Review of the monograph.

in the monograph go far beyond the soil science, therefore the book is of great interest for a wide range of specialists in environmental and plant sciences, in agricultural chemistry, forestry and in various branches of geosciences.

Keywords: soil reaggregation, ped lifetime, podzolization, soddy-podzolic soils, gray forest soils, radioactive pollution, isotope indicator method, biological cycle, intrahorizontal differentiation of matter, root nutrition of plants, leaf absorption of radionuclides, radiography, uplifting.

В работах основателей генетического почвоведения всегда отмечалась первостепенная роль биологического фактора в формировании почвенного профиля и в функционировании почвы. Докучаев рассматривал живое вещество как один из факторов почвообразования (1949, 1950a, 1950b). Роде (1958) писал о том, что участие высших растений в процессе почвообразования осуществляется через взаимодействие почвы с корневыми системами растений и через отдачу на поверхность почвы и в ее толщу отмирающих остатков. Глазовская и Геннадиев (1995) рассматривали биологический фактор как единственный из всех факторов почвообразования, который играет ключевую роль во всех трех главных аспектах почвообразования – энергетическом, материальном и функциональном. Таргульян (1989, 1996) в качестве важнейшей отличительной особенности педосферы как биокосной системы называет ее способность накапливать твердофазные продукты функционирования – результат воздействия биоты на минеральные компоненты породы. По мнению Аристовской (1980), процесс разложения минералов в почвах под влиянием микроорганизмов по своему значению для биосферы может быть поставлен в ряд с такими важнейшими процессами, как ассимиляция CO₂ зелеными растениями и фиксация атмосферного N представителями почвенной микрофлоры. По словам В.И. Вернадского “...на земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а поэтому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы...” (1990).

В рецензируемой монографии А.Д. Фокина и С.П. Торшина читатель находит не только развитие и дополнение этих фундаментальных идей, но и принципиально новый взгляд на ряд про-

цессов, которые осуществляются в почвах при непосредственном участии высших растений и микробного сообщества.

Во введении справедливо отмечено, что достаточно полное и глубокое понимание роли биоты в процессах почвообразования может быть достигнуто только в рамках междисциплинарных исследований, осуществляемых редко.

Первая глава монографии, основанная на обобщении литературных данных и на оригинальном экспериментальном материале авторов, называется “Растения и формирование транспортных потоков вещества в почвах и наземных экосистемах”. Сама по себе такая постановка проблемы не совсем традиционна. Существуют фундаментальные работы по потокам влаги и миграции отдельных соединений в почвах и ландшафтах, но в большинстве работ отсутствует количественная оценка роли именно растений в перераспределении вещества, как по почвенному профилю, так и в экосистемах в целом. Содержание первой главы в какой-то мере восполняет этот пробел. При этом главная мысль формулируется следующим образом. *“Основные транспортные потоки доступных для поглощения растениями веществ, приводящие к их вертикальному перемещению и перераспределению по почвенному профилю, происходят в рамках биологического круговорота по проводящим системам живых растений. Абиотические транспортные потоки перемещения растворенных веществ через поровое пространство почвы имеет подчиненное значение”*.

В пользу этой точки зрения приведены следующие доводы: (1) транспортные проводящие системы растений охватывают по вертикали значительно большее пространство, чем почвенный профиль; (2) скорости перемещения веществ по проводящим системам растений на порядки превосходят скорости перемещения через поровое пространство почв, причем вещества могут одновременно передвигаться по растению в разных направлениях и независимо от общего транспортного потока влаги; (3) преимущество перемещения вещества в составе живых растений подтверждается сравнением масштабов ежегодного вовлечения отдельных элементов в биологический круговорот с масштабами перемещения вещества с абиотическими потоками.

Справедливость первых двух положений сомнений не вы-

зывают, хотя почвоведомы и не всегда осознается. В пользу третьего положения приведена таблица 1.2, в которой сопоставляется количество N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Zn и Ni, рассчитанное в кг/га/год, ежегодно вовлекаемых в биологический круговорот и необратимо выносимых из профиля с током почвенных растворов. Таблица составлена на основании анализа многочисленных литературных источников и убедительно показывает, что первая величина превосходит вторую в разы или даже на порядок величин и более. Вместе с тем сравнение этих данных может быть не вполне однозначным.

Абиотический вынос – это скорость необратимой потери элементов, которую можно умножить на время существования почвы и приблизительно рассчитать, какое количество данного элемента должно было потеряться из почвенного профиля за этот период (см. ниже по тексту). Для биотического выноса такой расчет имеет несколько иной смысл (хотя формально размерности те же самые – кг/га/год), т. к. значительная часть элементов, вовлекаемых в биологический круговорот, уже в нем участвовала, а не “заново” усваивалась из почвы. Для того, чтобы сделать эти величины более сравнимыми, вероятно, нужно было бы рассматривать не поглощение элемента растениями, а количество элемента в чистом приросте. Оно, как показывают данные Родина и Базилевич (1965), для большинства элементов, кроме N, меньше в разы, на порядок или на несколько порядков. С этой точки зрения таблица 1.2 полезна и информативна для оценки миграции и потоков химических элементов в почве в настоящий момент, т. е. для понимания текущего функционирования экосистемы, но не для оценки “биотической” и “абиотической” потери элементов из элювиальных горизонтов.

В первой главе внимание читателя привлекается также к некоторым несоответствиям существующих теорий образования текстурно-дифференцированных подзолистых почв экспериментальным данным. В частности, масштабы абсолютной потери большинства химических элементов из элювиальной толщи не соответствуют их накоплению в иллювиальных горизонтах. Приводятся также данные авторов о выносе Fe из разных горизонтов подзолистой почвы, который в разные годы снижается от 35–70

мг/м² в год из подстилки до 10–20 мг/м² из горизонта А2В. Это значит, что из каждого горизонта в нижележащий вымывается все меньше и меньше Fe. Авторы считают, что такая закономерность проявляется и в отношении других химических элементов.

Полностью разделяя мнение авторов о том, что имеются противоречия между существующими теориями образования подзолистых почв и рядом экспериментальных данных, следует отметить и ряд веских аргументов в пользу теории подзолообразования, в ходе которого осуществляется разрушение и глинистых, и неглинистых минералов с последующим выносом продуктов разрушения (Роде, 1937). Так, Тонконогов (1999) и Тонконогов и Беркгаут (1984) сопоставили величину абсолютной потери Si из профиля подзолистой почвы, полученную по результатам балансовых расчетов, с величиной выноса Si, полученной с учетом его средней современной концентрации в лизиметрических водах, количеством влаги, просачивающейся через единицу площади, и временем существования почвы. Оказалось, что в обоих случаях потери Si из почвенного профиля вполне соизмеримы. Вывод авторов монографии о постепенном снижении с глубиной концентрации химических элементов в почвенных растворах из подзолистых почв не всегда подтверждается в отношении Si, Ca, Mn и Na.

Во второй главе дается сравнительный анализ корневого поглощения элементов питания из растительных остатков и из других источников, таких как содержащиеся в почве минералы, органоминеральные соединения, минеральные удобрения. Получение информации об использовании растениями элементов питания из разных источников стало возможным благодаря применению изотопно-индикаторного метода. Применение разработанной авторами изотопно-обменной методики в условиях модельных опытов позволило установить, что P, Ca, Zn, Sr и Cs поглощаются различными культурами из растительных остатков в значительно большей степени, чем из природных изотопно-обменных форм и из модельных продуктов взаимодействия водорастворимых соединений этих элементов с почвой.

Преимущественное поглощение элементов питания из растительных остатков находит во второй главе убедительное объяснение и экспериментальное подтверждение. Это явление связано с

локализацией в почве живых корней именно в растительных остатках, которые, как правило, образуют скопления в виде микророзн, не образуя с остальной частью почвы гомогенную смесь. Локализация живых корней в растительных остатках подтверждается очень наглядным модельным вегетационным опытом. В микроразонах скопления растительных остатков создаются наиболее благоприятные условия функционирования корней живых растений в отношении водно-воздушного режима и доступности, а также более полного набора элементов питания. Повышенная доступность элементов питания определяется меньшей прочностью их сорбции по сравнению с сорбцией на минеральной фазе.

Таким образом, обосновывается и экспериментально подтверждается не всегда осознаваемая почвоведомы мысль о том, что роль растений очень велика в создании гетерогенности почвенного пространства с дифференциацией как на горизонтном уровне, так и внутри горизонтов. При этом дифференциация отчетливо проявляется не только морфологически, но и функционально – в отношении корневого питания растений.

Сделан оригинальный, хотя и не вполне бесспорный вывод о том, что в биологическом круговороте *“...трофическое звено “почва-растение” почти не выходит за рамки живого растения и разновозрастных растительных остатков, распределенных в почвенном профиле”*, и что *“...минеральная основа почвы, а также система минерально-гумусовых соединений, в зрелых сформированных естественных почвах лишь незначительно участвует в процессах, составляющих биологический круговорот”*. Неоднозначность этого вывода может проявляться, в частности, в отношении калия. Доступность этого элемента из растительных остатков действительно выше, чем из минеральных источников, но в то же время процессы мобилизации, миграции и иммобилизации калия контролируются содержанием и составом глинистых минералов.

Известно, что при превышении определенной концентрации калия в растворе начинается процесс необменного поглощения (фиксации) калия лабильными 2 : 1 минералами, и этот процесс сопровождается иллитизацией – образованием иллитоподобных минералов в составе тонких фракций. При снижении концентра-

ции калия в растворе происходит потеря не только обменного, но и необменного калия, и трансформационные изменения идут по пути смектитизации и вермикулитизации слюдов и иллитоподобных структур. Эти противоположно направленные процессы могут сменять друг друга в годовом цикле, что подтверждают прямые наблюдения Турпо с соавторами за составом почвенных растворов и глинистых минералов в лесных почвах ([Turpault et al., 2008](#)).

А.Д. Фокин и С.П. Торшин справедливо отмечают, что в агроценозах природная внутригоризонтная дифференциация почвы нарушается, а условия корневого питания растений ухудшаются при использовании традиционных технологий, приводящих к гомогенизации пахотного горизонта. В модельном эксперименте с ^{32}P наглядно показано, что эффективность использования фосфора ячменем из растительных остатков в 1.5 раза выше, чем из минеральных удобрений. Эти данные соответствуют хорошо известному положению о роли органических удобрений в повышении плодородия почв.

Вместе с тем в условиях химических и радиоактивных загрязнений повышенное потребление элементов питания из органических остатков может приводить к негативному эффекту, увеличивая поступление токсикантов в биологический круговорот, и к загрязнению сельскохозяйственной продукции, что не всегда учитывается при решении экологических проблем.

Рассматривая роль растительного покрова на территориях, загрязненных радионуклидами, авторы привлекают внимание к недостаточно оцененной возможности поступления радионуклидов в растения за счет листового поглощения, чему способствуют следующие факторы. (1) Высокий уровень проективного покрытия, достигающий практически 100% в тундровой, таежной и степной зонах в природных условиях и почти 100% в агроценозах на определенных стадиях развития. (2) Высокая растворимость в воде многих исходных соединений радионуклидов. (3) Ничтожные концентрации радионуклидов в атмосферных осадках. В случае выпадения растворимых радионуклидов два последних фактора приводят к их быстрой и полной сорбции на листовой поверхности. (4) Быстрое проникновение радионуклидов с поверхности

листьев с последующим перераспределением по органам растений. Эти закономерности относятся к ^{137}Cs и в меньшей степени к ^{90}Sr .

Поступление поглощенных листовой поверхностью радионуклидов в корни приводит к их перераспределению в почве и увеличивает таким образом количество радионуклидов, вовлекаемых в биологический круговорот и в трофические цепи. Анализ существующей информации показывает, что это количество и, соответственно, уровень радиоактивного загрязнения биологической продукции значительно выше в природных экосистемах по сравнению с агроценозами.

В третьей главе, которая называется “Роль растений в микробиологической мобилизации элементов минерального питания”, сама постановка проблемы является не вполне традиционной для почвоведения и требует междисциплинарных исследований совместно со специалистами в области почвоведения, физиологии растений и почвенной микробиологии. Известно, что необходимым условием устойчивого функционирования почв и наземных экосистем является тесное трофическое взаимодействие зеленых растений, продуцирующих первичную биомассу, и микроорганизмов, использующих эту биомассу и способных переводить элементы питания из малодоступных минеральных соединений в формы, которые могут усваиваться и самими микроорганизмами, и растениями.

Исходя из этих представлений, А.Д. Фокин и С.П. Торшин предлагают следующее функциональное определение почвы: *“...это поверхностный слой земной коры, в котором реализуется устойчивое длительное функционирование и биопродуцирование, как функция совмещенной жизнедеятельности высших растений и автотрофных микроорганизмов”*. Это определение не противоречит классическому определению почвы В.В. Докучаева, но отражает только один из аспектов этой сложной природной системы, а именно аспект функциональный.

Авторы отмечают большие достижения последних десятилетий в изучении способности определенных бактерий фиксировать молекулярный азот из воздуха и недостаточную изученность механизмов микробиологической мобилизации элементов пита-

ния из литологических источников. С последним утверждением трудно согласиться. За последние 30–40 лет в мировой литературе опубликовано много экспериментальных работ, в которых рассматривалось изменение разных минералов под влиянием функционирования отдельных родов грибов, бактерий и высших растений и под совместным воздействием высших растений и представителей микробного сообщества.

Приведены результаты проведенного авторами модельного опыта по динамике освобождения из гранита и базальта К, Са, Fe и Mn в процессе инкубирования с добавлением глюкозы и целлолигнина как источников органического вещества. Установлено, что в присутствии медленно разлагающегося целлолигнина освобождение этих металлов происходило в течение более длительного времени, чем в вариантах опыта с быстро разлагающейся глюкозой.

В третьей главе приведены результаты оригинального динамического эксперимента авторов, в котором сопоставлялись скорость образования подвижных фосфатов и микробиологического превращения добавленного органического вещества (глюкозы) на образцах дерново-подзолистой почвы под клевером и под паром. Установлено, что оба процесса происходят сопряженно, и что содержание мобильных фосфатов, накопленных в результате разложения органического вещества, остается относительно устойчивым только в почвах с высоким уровнем гумусированности.

Четвертая глава “Дифференциация почвенной массы на агрегатном уровне и корневое поглощение биологически значимых элементов” построена на результатах оригинальных и в ряде случаев – уникальных экспериментов авторов, проведенных по разработанным им методикам. Сама по себе постановка проблемы дифференциации почвы на агрегатном уровне не является новой – различия в составе между поверхностью и внутренней частью агрегата отмечали Геммерлинг (1922), Вильямс (1935), Таргульян (1974), Brewer (1964) и многие другие исследователи. Но в последние десятилетия изучение этого вопроса стало особенно актуальным в связи с усиливающимся загрязнением биосферы аэральными поллютантами, поскольку их первичное взаимодействие с

почвой происходит преимущественно именно с поверхностями агрегатов. Продолжительность этого взаимодействия зависит от химического сродства загрязняющего вещества с компонентами твердой фазы и с временем жизни агрегата, которое авторы называют “временем переагрегирования”. Дифференциация распределения токсикантов на агрегатном уровне не может не влиять на их корневое поглощение.

При изучении дифференциации ^{137}Cs на агрегатном уровне авторы разработали несколько уникальных методик, достаточно эффективных и вместе с тем простых и незатратных.

Результаты одного из экспериментов с промывкой монолитов наглядно показывают, что глубина проникновения ^{137}Cs в дезагрегированной почве в разы меньше, чем в почве с естественным сложением, где миграция осуществляется по трещинам и в межагрегатном пространстве. Использование метода радиографии полностью подтвердило аккумуляцию радионуклида в поверхностном слое крупных агрегатов, а также на поверхности более мелких структурных отдельностей, слагающих крупные агрегаты. При этом удельная активность в поверхностных слоях снижается от поверхности вглубь агрегата. Толщина слоя с повышенной активностью составляет ~ 1 мм, но с учетом неправильной формы поверхности эта величина может быть на порядок меньше. По результатам другого опыта установлено увеличение активности по мере уменьшения размера агрегата.

Изучение образцов дерново-подзолистой почвы и оподзоленного чернозема, взятых через 14 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, показало почти полное отсутствие дифференциации ^{137}Cs на агрегатном уровне за счет переагрегирования и диффузии.

Предложены понятие и термин “коэффициент концентрирования”, как отношение активности в данном компоненте (агрегаты определенного размера, корневые остатки, поверхность агрегата и др.) к средневзвешенной удельной активности почвенного слоя или горизонта, содержащего этот компонент.

Авторами разработан не имеющий аналогов способ количественной оценки корневого поглощения ^{90}Sr и ^{137}Cs отдельно с поверхности и из внутренней части педов с использованием изо-

топно-индикаторного метода. Для этого готовили агрегаты разного размера с однородным распределением радионуклида, с его локализацией на поверхности агрегата в его внутренней части. Агрегаты смешивали примерно в тех пропорциях, в которых они присутствовали в исходных почвах (темно-серой и дерново-подзолистой), и на этом материале выращивали горох, фасоль и бобы. Установлено, что растения потребляли в разы больше ^{137}Cs при его внесении на поверхность агрегата, чем при его равномерном распределении в пределах педа. Для ^{90}Sr различия были меньше, но закономерность сохранялась.

При повторном выращивании культур на том же материале с течением времени поступление ^{137}Cs в растения при его внесении на поверхность агрегатов сильно уменьшалось, что можно объяснить процессами переагрегации почвы и сорбцией радионуклида на твердой фазе. При равномерном исходном распределении ^{137}Cs в пределах агрегата это уменьшение тоже наблюдалось, но в значительно меньшей степени, поскольку оно было связано только с процессами сорбции.

Авторы разработали также не имеющий аналогов методический подход к определению скорости переагрегации и времени жизни агрегата, основанный на изменении самопоглощения мягкого β -излучения ^{137}Cs с энергией <0.6 МэВ и пробегом <1 мм. Этот метод, детально описанный в главе 4, позволяет регистрировать уменьшение количества ^{137}Cs в поверхностном слое за счет переагрегирования почвенной массы. Этот метод был опробован в условиях полевого опыта, в котором контейнеры с агрегатами с поверхностным внесением ^{137}Cs помещались в почву под паром и под естественной растительностью на разные глубины, причем конструкция контейнеров обеспечивала возможность развития корней и свободное передвижение влаги.

По результатам эксперимента был сделан расчет среднестатистического времени жизни агрегатов, которое в почве под естественной растительностью оказалось равным 1.4–2 годам и 2.5–9 годам на глубинах 10 и 30 см соответственно. В почве под паром эти величины варьируют в пределах 1.4–3 года и 2–12 лет. Достоверность и статистическая обоснованность экспериментально полученного авторами времени жизни агрегатов, которое укладыва-

ется в первое десятилетие, сомнения не вызывают, но при этом может возникнуть вопрос о продолжительности жизни агрегатов в более глубоких горизонтах. Известно, что в подзолистых почвах на покровных суглинках, начиная с горизонта BEL, в трещинах и порах формируется хорошо выраженный морфологически достаточно сложный кутанный комплекс, часто многослойный (Бронникова, Таргульян, 2005), который едва ли подвергается переагрегированию каждые несколько лет или даже десятилетий.

Метод, основанный на использовании β -излучения ^{137}Cs , был применен также для изучения переагрегирования почвенной массы и деструкции поверхностно меченых агрегатов в условиях вегетационного опыта. Для этого в одних и тех же сосудах последовательно в 4 цикла выращивали фасоль и горох, причем в одной серии опытов после каждой стадии почву извлекали из сосудов и заново помещали в сосуд, а во второй – сохраняли исходное сложение. В первом случае разрушение исходных агрегатов достигло 100% уже на третьем цикле, а во втором – только на четвертом и не во всех повторностях опыта. В отдельном эксперименте, где деструкция агрегатов обеспечивалась процессами промерзания-оттаивания без участия корней растений, процент неразрушенных агрегатов был больше, и они сохранялись в течение более продолжительного времени.

В целом рассмотренный в четвертой главе материал, посвященный проблемам переагрегации почвенной массы, времени жизни агрегатов и преимущественному корневому поглощению радионуклидов с поверхности агрегатов полностью основан на методиках, разработанных авторами, и не имеет аналогов в мировой литературе.

В заключении монографии сформулирован общий вывод о том, что в процессе современного функционирования почвы почвенно-профильное перераспределение вещества осуществляется преимущественно в рамках биологического круговорота.

Намечены основные направления дальнейших исследований, необходимых для получения полной картины транспортных потоков вещества в почвах и ландшафтах. Они должны включать количественную оценку следующих показателей: корневого поглощения из отдельных генетических горизонтов почвы; поступ-

ления веществ с наземным и корневым опадом в отдельные горизонты почв; поступления вещества с прижизненными выделениями корнями и наземными органами растений; объемов и скоростей восходящих и нисходящих потоков веществ по проводящим корням растений; доли участия различных компонентов почвы в корневом питании растений. Необходимо также глубокое изучение поглощения растениями элементов питания из растительных остатков и из минеральных компонентов почвы.

Монография А.Д. Фокина и С.П. Торшина безусловно интересна. Читатель находит в ней оригинальную и не всегда традиционную для почвоведов постановку и обсуждение ряда фундаментальных проблем образования почвенного профиля и современного функционирования почвы. Авторы монографии заставляют задумываться над справедливостью некоторых общепринятых концепций и представлений, особенно касающихся транспортных потоков вещества в почвах и их моделирования.

Большим достоинством книги является ее насыщенность экспериментальным материалом авторов, полученным с использованием разработанных авторами уникальных методик. Этот материал и эти эффективные методики не имеют аналогов в мировой литературе.

Многие из обсуждаемых в монографии проблем далеко выходят за рамки почвоведения, поэтому книга будет интересна для широкого круга специалистов – физиологов растений, агрохимиков, экологов, геохимиков, лесоводов и представителей других специальностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука. 1980. 187 с.
2. *Бронникова М.А., Таргульян В.О.* Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв. М.: Академкнига, 2005. 197 с.
3. *Вильямс В.Р.* Прочность и связность структуры почвы // Почвоведение. 1935. № 5–6. С. 23–35.
4. *Геммерлинг В.В.* Некоторые данные для характеристики подзолистых почв // Русский почвовед. 1922. № 4–5. С. 20–27.
5. *Глазовская М.А., Геннадиев А.Н.* География почв с основами почвоведения. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 1995. С. 24–91.

6. *Докучаев В.В.* Происхождение растительно-наземных почв вообще и русского чернозема в частности // Русский чернозем. Сочинения. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. III. С. 404–439.
7. *Докучаев В.В.* Главные моменты в истории оценок земель Европейской России // Сочинения. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950а. Т. IV. С. 13–254.
8. *Докучаев В.В.* Естественноисторическая классификация русских почв // Сочинения. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950б. Т. IV. С. 255–286.
9. *Роде А.А.* Подзолообразовательный процесс. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 454 с.
10. *Роде А.А.* Факторы почвообразования и почвообразовательный процесс // Почвоведение. 1958. № 9. С. 29–38.
11. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.–Л.: Наука, 1965. 253 с.
12. *Таргульян В.О., Соколова Т.А., Куликов А.В.* Организация, состав и генезис дерново-палево-подзолистой почвы на покровном суглинке. Аналитическое исследование. М., 1974. 110 с.
13. *Таргульян В.О., Соколова Т.А.* Почва как биокосная природная система: “реактор”, “память”, и регулятор биосферных взаимодействий // Почвоведение. 1996. № 1. С. 34–47.
14. *Таргульян В.О., Фокин А.Д., Соколова Т.А., Шоба С.А.* Экспериментальные исследования педогенеза: возможности, ограничения, перспективы // Почвоведение. 1989. № 1. С. 15–23.
15. *Тонконогов В.Д.* Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России. М., 1999. 156 с.
16. *Тонконогов В.Д., Беркгаут В.В.* Опыт применения массовых аналитических данных в изучении генезиса текстурно-дифференцированных почв европейской части СССР // Почвоведение. 1984. № 9. С. 108–116.
17. *Brewer R.* Fabric and Mineral Analysis of Soils / Robert. E. Krieger (Ed.). New York, 1975. 482 p.
18. *Turpault M.P., Righi D., Ute'rano C.* Clay minerals: precise markers of the spatial and temporal variability of the biogeochemical soil environment // Geoderma. 2008. Vol. 147. Iss. 3–4. P. 108–115.

REFERENCES

1. Aristovskaya T.V., *Mikrobiologiya protsessov pochvoobrazovaniya* (Microbiology of soil formation processes), Leningrad: Nauka, 1980, 187 p.
2. Bronnikova M.A., Targul'yan V.O., *Kutannyi kompleks teksturno-differentsirovannykh pochv* (Kutan complex of texturally differentiated soils), Moscow: Akademkniga, 2005, 197 p.
3. Vil'yams V.R., Prochnost' i svyaznost' struktury pochvy (Strength and cohesion of soil structure), *Pochvovedenie*, 1935, No. 5–6, pp. 23–35.
4. Gemmerling V.V., Nekotorye dannye dlya kharakteristiki podzolistykh pochv (Some data for characteristic of podzol soils), *Russkii pochvoved*, 1922, No. 4–5, pp. 20–27.
5. Glazovskaya M.A., Gennadiev A.N., *Geografiya pochv s osnovami pochvovedeniya* (Geography of soils with basics of soil science), Moscow: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1995, pp. 24–91.
6. Dokuchaev V.V., Proiskhozhdenie rastitel'no-nazemnykh pochv voobshche i russkogo chernozema v chastnosti (Origin of plant-soils in general and Russian chernozem in particular), In: *Russkii chernozem. Sochineniya* (Russian chernozem. Works), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1949, Vol. III, pp. 404–439.
7. Dokuchaev V.V., Glavnye momenty v istorii otsenok zemel' Evropeiskoi Rossii (The main moments in the history of assessments of the lands of European Russia), In: *Sochineniya* (Works), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1950a, Vol. IV, pp. 13–254.
8. Dokuchaev V.V., Estestvennoistoricheskaya klassifikatsiya russkikh pochv (Natural-historical classification of Russian soils), In: *Sochineniya* (Works), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1950b, Vol. IV, pp. 255–286.
9. Rode A.A., *Podzoloobrazovatel'nyi protsess* (Podzol formation process), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1937, 454 p.
10. Rode A.A., Faktory pochvoobrazovaniya i pochvoobrazovatel'nyi protsess (Factors of soil formation and soil formation process), *Pochvovedenie*, 1958, No. 9, pp. 29–38.
11. Rodin L.E., Bazilevich N.I., *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskii krugovorot v osnovnykh tipakh rastitel'nosti* (Dynamics of organic matter and biological circulation in the main types of vegetation), Moscow–Leningrad: Nauka, 1965, 253 p.
12. Targul'yan V.O., Sokolova T.A., Kulikov A.V., *Organizatsiya, sostav i genezis dernovo-palevo-podzolistoi pochvy na pokrovnom suglinke. Analiticheskoe issledovanie* (Organization, composition and genesis of soddy-pale-podzolic soil on cover loam. Analytical research), Moscow, 1974, 110 p.

13. Targul'yan V.O., Sokolova T.A., *Pochva kak biokosnaya prirodnyaya sistema: "reaktor", "pamyat'", i regulyator biosfernykh vzaimodeistvii* (Soil as a bioinert natural system: "reactor", "memory", and the regulator of biospheric interactions), *Pochvovedenie*, 1996, No. 1, pp. 34–47.
14. Targul'yan V.O., Fokin A.D., Sokolova T.A., Shoba S.A., Eksperimental'nye issledovaniya pedogeneza: vozmozhnosti, ogranicheniya, perspektivy (Experimental studies of pedogenesis: possibilities, limitations, prospects), *Pochvovedenie*, 1989, No. 1, pp. 15–23.
15. Tonkonogov V.D., *Glinisto-differentsirovannye pochvy Evropeiskoi Rossii* (Clay-differentiated soils of European Russia), Moscow, 1999, 156 p.
16. Tonkonogov V.D., Berggaut V.V., Opyt primeneniya massovykh analiticheskikh dannykh v izuchenii genezisa teksturno-differentsirovannykh pochv evropeiskoi chasti SSSR (Experience in the use of mass analytical data in the study of the genesis of texture-differentiated soils of the European part of the USSR), *Pochvovedenie*, 1984, No. 9, pp. 108–116.
17. Brewer R. Robert. E. Krieger (Ed.), *Fabric and Mineral Analysis of Soils*, New York, 1975, 482 p.
18. Turpault M.P., Righi D., Ute'rano C., Clay minerals: precise markers of the spatial and temporal variability of the biogeochemical soil environment, *Geoderma*, 2008, Vol. 147, Iss. 3–4, pp. 108–115.