

УДК 631.872:581.132

**ПОСТУПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯ  
ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ,  
РАЗЛАГАЮЩИХСЯ В ПОДЗОЛИСТОЙ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
ПОЧВАХ**

**А. Д. ФОКИН, К. Ш. ИБРАГИМОВ**

(Кафедра почвоведения и кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

В почвах естественных и сельскохозяйственных ценозов всегда присутствуют органические остатки различной степени разложения. В таежных ценозах, например, в почву ежегодно может поступать 2—5 и 0,8—2,5 т/га соответственно наземного и корневого опада [14]. Биологические остатки подвергаются сложным микробиологическим превращениям, поэтому в почвенных растворах гумидных областей присутствуют различные органические вещества: низкомолекулярные органи-

ческие кислоты, фенольные соединения, аминокислоты, уроновые кислоты, сахара, а также гумусовые вещества [3, 4, 18].

Молекулярная масса органических соединений почвенного раствора колеблется в пределах  $10^2$ — $10^4$ . Таким образом, корневые системы растений в почвах подзолистого типа взаимодействуют с раствором, в котором органических веществ в некоторых случаях может содержаться больше, чем элементов минерального питания [15, 16].

В настоящее время установлено отсутствие абсолютной автотрофности у зеленых растений. В высшие растения из питательных растворов поступают через корни витамины группы В, антибиотики, простые сахара, алифатические и фенольные кислоты, аминокислоты, фосфорорганические соединения [6, 8, 10, 11]. Показана вероятность поступления в растения из растворов собственно гумусовых веществ [15]. Однако вопрос о поступлении в растения в естественных условиях растворимых органических и минерально-органических соединений комплексной и хелатной природы недостаточно изучен. Между тем известно, что в почвенных растворах, как в естественных ценозах, так и в агроценозах гумидных областей, значительная часть элементов минерального питания, преимущественно микроэлементов, связана с органическим веществом [16, 19].

Экспериментальное исследование возможности прямого поступления в растения из почвы растворимых органических и минерально-органических соединений имеет принципиальное научное и практическое значение, так как позволяет с новых позиций подойти к роли органического вещества почвы в питании растений и к вопросам регулирования минерального питания их в агроценозах.

Целью настоящей работы являлась оценка возможных масштабов поступления в растения органических веществ из разлагающихся в почве растительных остатков.

### Объекты и методика исследований

В качестве объектов исследования в районе Белого Раста Московской области были выбраны подзолистая и дерново-подзолистая почвы, сформированные на покровных суглинках. Эти объекты подробно охарактеризованы в [16]. В условиях экспериментальных площадок, на которых проводились полевые наблюдения, ежегодный наземный опад составлял  $2,8 \pm 0,8$  т/га, корневой —  $1,13 \pm 0,36$ , общая масса подстилки — около 6 т/га, мертвых корневых остатков — около 2,5 т/га [16].

В лабораторных и полевых опытах использовались общемеченные  $^{14}\text{C}$  растительные остатки (корни ячменя), полученные при выращивании ячменя в герметичной плексигласовой камере, заполненной  $^{14}\text{CO}_2$ . Удельная активность фитомассы равнялась  $\sim 3$  мКи/г.

В лабораторных опытах с мхами (сфагнум — *Sphagnum*, кукушкин лен — *Polytrichum commune*, ритидиадельфус — *Rhytidia delphus triquetra*) и ячменем сорта Московский 121 была смоделирована природная обстановка. В сосудах из плексигласа в массе песка и образца горизонта  $A_1$  дерново-подзолистой почвы создавалась прослойка из 1 г меченых растительных остатков. Были предусмотрены стерильные и нестерильные варианты. Стерильные условия создавались прогреванием песка и почвы в автоклаве, обработкой растительных остатков раствором, содержащим смесь антибиотиков (пенициллин — 10 мг, стрептомицин — 20 мг, хлорамфеникол — 10 мг на 1 л воды [7]), замачиванием семян в 5 %

бромной воде. В нестерильных вариантах производили отвод меченой двуокиси углерода, выделяющейся при разложении растительных остатков, для предотвращения возможного поглощения ее растениями фотосинтетическим путем.

Мхи в виде ненарушенного оцеса, привезенные из района полевых опытов, помещали на влажный песок, покрывающий сверху меченые растительные остатки.

В стерильных вариантах растительные остатки были свежими, в нестерильных они находились на начальных стадиях разложения, что могло влиять на интенсивность поглощения растениями продуктов разложения. Известно, что свежие растительные остатки выделяют при экстракции максимальное количество водорастворимых органических соединений [2].

Нами исследовалось поступление в растения органических веществ, образующихся в процессе микробиологического разложения растительного материала. Для этого 1 г меченых  $^{14}\text{C}$  корней ячменя разлагался в течение 0, 30, 60, 90 дней в плексигласовых сосудах с песком. По истечении того или иного срока разложения в сосуды высаживали семена ячменя. Были предусмотрены варианты с растениями и без них. В ходе эксперимента определяли общие потери разлагающейся биомассы за счет минерализации, а также групповой состав водорастворимых органических соединений по методу Форсита [9].

После двухнедельного выращивания растения отделяли от песка и почвы. Радио-

метрические измерения проводили методом жидкостного сцинтилляционного счета меченой  $^{14}\text{CO}_2$ , образующейся при сжигании высушенных проб. В работе использовали поглощающий  $\text{CO}_2$  сцинтиллятор следующего состава: толуол марки «Сч» — 400 мл, фенилэтиламин — 330, метанол перегнанный — 220 мл, бутан ПВД — 7 г, дистиллированная вода — 50 мл. Активность меченого углерода, поглощенного сцинтиллятором, определяли на радиометре Марк-II (эффективность счета 90 %).

На основе радиометрических измерений и данных о массе устанавливали процентное отношение активности, обнаруженной в зеленой биомассе, к введенной активности, а также процентное отношение массы меченых органических веществ в зеленых органах к массе этих органов. Первый показатель может быть назван коэффициентом использования надземной биомассой меченых органических веществ, второй — вкладом готовых органических веществ в биомассу, он характеризует масштабы поступления в растения через корни готовых органических веществ по сравнению с их образованием в процессе фотосинтеза.

Показатели определялись по следующим формулам:

$$K = A_p \cdot 100 / A_{об},$$

где  $K$  — коэффициент использования, %;  $A_p$  — активность  $^{14}\text{C}$ , поглощенного надземной биомассой, мкКи;  $A_{об}$  — активность  $^{14}\text{C}$ , введенного в корнеобитаемый слой, мкКи.

$$B = M_p \cdot 100 M_p,$$

где  $B$  — вклад меченых органических веществ в биомассу зеленых органов растений, %;  $M$  — масса меченых органических веществ, поступивших в надземную фитомассу, мг;  $M_p$  — надземная фитомасса, мг.

Массу меченых органических веществ (по меченому углероду), поступивших в зеленые органы растений, вычисляли по общепринятой методике [12] с использованием данных об удельной активности меченых растительных остатков.

В натуральных условиях опыты проводились на микроплощадках размером  $10 \times 10 \text{ см}^2$ , выделенных по преобладанию того или иного вида мхов (сфагнум, кукушкин лен, ритидиладельфус) или травянистых растений. Доза растительных остатков составляла 4 г и была соизмерима с массой ежегодного опада. Растительный материал вносили после снеготаяния в слой мощностью 0–3 см под дернину и моховой очес. В период наблюдений изучали динамику поступления в надземную фитомассу меченых органических веществ. В полевых условиях в отличие от модельных опытов выделяющаяся из почвы меченая двуокись углерода не учитывалась, однако, принимая во внимание постоянное естественное перемещение приземного воздуха, наличие большого количества окружающих растений, не содержащих меченого углерода, а также низкую эффективность фотосинтеза, поступлением меченой  $\text{CO}_2$  за счет фотосинтеза можно было пренебречь.

## Результаты и их обсуждение

Данные стерильных опытов (табл. 1) свидетельствуют о поступлении в растения из почвы и песка углерода в составе биоорганических соединений растительного происхождения. Не зафиксировано существенных различий в поглощении ячменем органических веществ из рас-

Т а б л и ц а 1

Поступление (%) в растения органических веществ из меченых  $^{14}\text{C}$  растительных остатков (стерильные и нестерильные опыты)

Показатель	Ячмень		Сфагнум	Кукушкин лен	Ритидиладель- фус
	гор. А, дер- ново-подзо- листой почвы	песок	песок		
Стерильные опыты					
Коэффициент исполь- зования	0,18—0,22	0,16—0,21	0,70—1,10	0,64—0,81	0,51—0,68
	0,19	0,18	0,84	0,76	0,56
Вклад в биомассу	0,18—0,22	0,16—0,21	0,35—0,41	0,27—0,31	0,65—0,74
	0,19	0,18	0,38	0,29	0,68
Нестерильные опыты					
Коэффициент исполь- зования	0,19—0,21	0,13—0,18	0,80—1,75	0,66—0,77	0,58—0,73
	0,20	0,16	0,96	0,69	0,67
Вклад в биомассу	0,19—0,21	0,13—0,17	0,31—0,46	0,29—0,35	0,70—0,81
	0,20	0,16	0,43	0,33	0,76

Примечание. Здесь и в других таблицах в числителе — разброс данных, в знаменателе — средние результаты из 3 повторностей.

Поступление в ячмень органических веществ  
из меченых растительных остатков различных сроков разложения

Показатель	Сроки разложения, дни			
	0	30	60	90
Коэффициент использования, %	0,13—0,18	0,11—0,13	0,08—0,10	0,05—0,07
	0,16	0,12	0,09	0,06
Вклад в биомассу, %	0,13—0,18	0,10—0,12	0,08—0,09	0,05—0,06
	0,16	0,11	0,08	0,05
Остаток растительного материала, % от внесенного количества	91—95	87—90	81—85	79—82
	93	89	83	81

тительных остатков, внесенных в почву и песок. Следовательно, влияние на этот процесс органического вещества почвы и ее сорбционных свойств не проявилось.

Возможно, полученный результат связан с эффектом локализации корней растений преимущественно около внесенных растительных остатков, из которых корни поглощали выделяющиеся органические соединения. Эти данные позволяют говорить о высоком коэффициенте использования ячменем органических веществ из растительных остатков, находящихся в почве. Ранее в условиях почвы был отмечен высокий коэффициент использования растениями фосфора из растительных остатков. Это также можно объяснить тем, что фосфор, выделяющийся из последних, поглощается корнями растений, ограниченно взаимодействуя с минеральными компонентами почвы. Весьма вероятно, что растения поглощали его в виде простых фосфорорганических соединений [17].

В обоих вариантах (стерильном и нестерильном) все виды мхов поглощали меченые органические вещества из растительных остатков в 4—6 раз интенсивнее, чем ячмень. Из испытанных мхов самый высокий коэффициент использования органических веществ имел сфагнум (табл. 1). Вопрос о повышенной способности мхов к поглощению органических веществ заслуживает специального рассмотрения и будет обсужден далее.

По мере увеличения степени разложения растительных остатков поступление в ячмень водорастворимых органических веществ существенно снижалось (табл. 2).

Анализ группового состава водорастворимых органических веществ, выделяющихся из растительных остатков различных сроков разложения, при отсутствии растений показал, что абсолютное количество водорастворимых органических веществ и доля неспецифических органических соединений индивидуальной природы в вытяжках уменьшались.

Проведенный после выращивания растений анализ группового состава водорастворимых органических веществ, выделяющихся из свежих растительных остатков и на начальных стадиях их разложения, показал, что доля неспецифических органических соединений индивидуальной природы в этом случае меньше, чем в варианте без растений. Следовательно, растения поглощали из растительных остатков преимущественно низкомолекулярные органические соединения индивидуальной природы, количество которых уменьшалось с увеличением сроков разложения, и поэтому снижались количественные показатели, характеризующие процесс поступления.

Для оценки масштабов поступления в растения органических веществ из растительных остатков в естественных ценозах были поставлены специальные опыты в натуральных условиях.

Из табл. 3 видно, что концентрация меченого органического вещества в растениях сначала возрастала, затем она стабилизировалась,

Динамика поступления в растения органических веществ из растительных остатков в естественном лесном ценозе (мг меченого органического вещества на 1 г фитомассы)

Время с момента внесения в почву меченых растительных остатков, дни	Сфагнум	Кукушкин лен	Ритидиадельфус	Травянистые растения
15	$\frac{2-5,1}{3,2}$	$\frac{0,9-1,5}{1,2}$	$\frac{0,6-1,2}{0,8}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$
33	$\frac{7,2-10,4}{9,1}$	$\frac{1,8-2,6}{2,2}$	$\frac{1,8-2,2}{1,9}$	$\frac{0,3-0,6}{0,4}$
67	$\frac{9,8-14,2}{12,7}$	$\frac{2,8-4,1}{3,8}$	$\frac{3,1-3,7}{3,4}$	$\frac{1,2-1,9}{1,5}$
84	$\frac{10,3-15,2}{12,9}$	$\frac{3,4-4,2}{3,9}$	$\frac{3,2-3,8}{3,5}$	$\frac{1,1-1,9}{1,6}$

но это не означает, что прекратилось поступление в растения органических веществ из растительных остатков, так как в рассматриваемый период интенсивно увеличивалась фитомасса (в особенности травянистых растений) и постоянство концентрации меченого органического вещества в ней свидетельствовало о поступлении его в растения из растительных остатков.

Результаты радиоиндикаторной оценки выноса фитомассой органических веществ из растительных остатков (табл. 4) свидетельствуют о том, что и в натуральных условиях разные виды мхов поглощают меченые органические вещества в 2—6 раз интенсивнее, чем травянистые растения.

Возможно, под мхами создаются более благоприятные условия для сохранения водорастворимых органических веществ.

Как уже отмечалось, самый высокий коэффициент использования органических веществ характерен для сфагнума, что, вероятно, связано с его большой поглотительной способностью. Мхи в отличие от высших растений не имеют развитой корневой системы, и повышенное поглощение органических веществ, по-видимому, объясняется тем, что они имеют менее совершенные механизмы селективного поглощения веществ из почвенных растворов, чем травянистые растения.

Размеры поглощения отдельными видами растений органических веществ из растительных остатков (табл. 4) получены путем умножения коэффициентов их использования на массу ежегодного опада — около 3 т/га, или 300 г/м<sup>2</sup> [14]. Овес из разных мхов поглощает 0,87—3,30 г органических веществ на 1 м<sup>2</sup> в год. Если принять, что биомасса мхов в таежных лесах составляет около 0,87 т/га, или 87 г/м<sup>2</sup> [13], то вклад в нее органических веществ из растительных остатков составит 1—4 %. Травянистые растения поглотили органических веществ около 0,45 г/м<sup>2</sup> в год. Поскольку их фитомасса в лесах таежной зоны дости-

Т а б л и ц а 4

Поглощение растениями органических веществ из растительных остатков в естественном ценозе

Показатель	Сфагнум	Кукушкин лен	Ритидиадельфус	Травянистые растения
Коэффициент использования	$\frac{1,09-1,17}{1,10}$	$\frac{0,21-0,41}{0,32}$	$\frac{0,19-0,31}{0,29}$	$\frac{0,09-0,21}{0,15}$
Вклад в биомассу, %	$\frac{0,85-1,80}{1,30}$	$\frac{0,26-0,67}{0,45}$	$\frac{0,32-0,43}{0,36}$	$\frac{0,08-0,20}{0,14}$
Размеры поступления, г/м <sup>2</sup> ·год	$\frac{3,27-3,51}{3,30}$	$\frac{0,63-1,32}{0,96}$	$\frac{0,57-0,93}{0,87}$	$\frac{0,27-0,63}{0,45}$

Суммарное поглощение растениями органических веществ из растительных остатков в лесном ценозе (кг/га·год)

Почва	Сфагнум	Кукушкин лен	Ритидиельфус и другие зеленые мхи	Травянистые растения
Дерново-подзолистая	3,3—3,5	1,3—2,6	0,6—0,9	1,4—3,2
	3,3	1,9	0,9	2,2
Подзолистая	6,6—7,0	0,6—1,3	2,9—4,6	0,3—0,6
	6,8	1,0	4,4	0,6

гает приблизительно 0,18 т/га [13], или 18 г/м<sup>2</sup>, то вклад в нее «готовых» органических веществ из растительных остатков составит около 2 %.

Древнейшие растительные организмы (водоросли) обитали в водной среде, изобиловавшей разнообразными органическими веществами, которые они использовали для своего питания из-за несовершенства фотосинтетического аппарата.

Первые растения (псилофиты), завоевавшие сушу, не имели настоящих корней и, вероятно, тоже использовали готовые органические соединения, выделяющиеся из биоорганических остатков.

Совершенствование фотосинтетического аппарата у наземных растений привело к увеличению содержания кислорода в земной атмосфере, в результате усилились процессы минерализации биоорганических остатков и изменилась сама среда обитания корней растений, в ней появилось достаточное количество необходимых растениям минеральных веществ. Поэтому происходило совершенствование механизмов селективного поглощения корнями органических и минеральных веществ.

Расчеты суммарного поступления органических веществ в растительные объекты лесного ценоза проводились с учетом покрытия 1 га почв подзолистого типа мхами и травянистыми растениями [1].

Полученные результаты (табл. 5) дают основание утверждать, что в подзолистой почве вынос растениями органических веществ из растительных остатков более интенсивный, чем в дерново-подзолистой почве. Это связано с более мощным развитием очеса из сфагновых и зеленых мхов в первом случае.

Экспериментальный учет поступления органических веществ из почвы в древесные растения весьма сложен. Однако полученные результаты дают основание предполагать, что и древесные растения не являются исключением и в какой-то степени способны поглощать органические соединения из почвенных растворов.

### Заключение

В серии лабораторных и натуральных экспериментов показано, что в природной обстановке углерод может поступать в растения не только в виде двуокиси в процессе фотосинтеза, но и вторично из растительных остатков в виде готовых органических соединений.

Из свежих растительных остатков растения могут поглощать сахара, аминокислоты, органические кислоты, растворимые гетероциклы и другие неспецифические органические соединения, а из органических остатков различной степени разложения, по-видимому, и различные низкомолекулярные продукты начальных стадий гумификации.

В лабораторных и полевых условиях мхи (в особенности сфагнум) поглощали органические вещества из продуктов разложения растительных остатков более интенсивно, чем ячмень.

На основании результатов изотопноиндикаторной оценки масштабов и суммарного поглощения растениями органических веществ из

растительных остатков в естественном лесном ценозе можно заключить, что на подзолистой почве этот процесс более интенсивный, чем на дерново-подзолистой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вальтер Г. Растительность земного шара. Т. 2. Леса умеренной зоны. М.: Прогресс, 1974. — 2. Гумусовые вещества почвы (их образование, состав, свойства и значение в почвообразовании и плодородии). — Записки ЛСХИ/Под ред. Суворова А. К. Л.; Пушкин, т. 142, 1970. — 3. Жигунов А. В. Динамика состава органических веществ лизиметрических растворов дерново-подзолистой почвы. — Вестн. ЛГУ, 1975, № 15, с. 85—91. сер. биол. — 4. Кауричев И. С., Карпухин А. И., Степанова Л. П. Качественный состав водорастворимых органических веществ природных почвенных вод. — В кн.: Сб. науч. тр. М., 1977, т. 233, с. 53—56. — 5. Комиссаров И. Д., Климова А. А. Влияние гуминовых кислот на биокаталитические процессы. — В кн.: Гуминовые препараты. Тр. Тюменского СХИ. Тюмень, 1971, т. 14, с. 225—242. — 6. Меренова В. И., Кузин А. М., Доман Н. Г., Демина С. Е. Об усвоении высшими растениями органических соединений фосфора (фосфорных эфиров сахаров). — В кн.: Меченые атомы в исследовании питания растений и применении удобрений. — М.: Изд-во АН СССР, 1955, с. 58—60. — 7. Механизм действия антибиотиков/Под ред. Гаузе Г. Ф., М., 1969. — 8. Овсянникова Н. М. Перемещение стрептомицина в высших растениях. — Микробиология, 1965, т. 34, вып. 1, с. 121—127. — 9. Орлов Д. С., Гришина Л. А., Ерошичева Н. Л. Практикум по биохимии гумуса. М.: МГУ, 1969. — 10. Ратнер Е. И., Доброхотова И. М. О возможной роли витаминов, продуцируемых почвенными микроорганизмами. — Физиол. раст., 1956, т. 3, вып. 2, с. 101—109. — 11. Ратнер Е. И., Ухина С. Ф. О некоторых особенностях обмена азотистых веществ в корнях различных растений на примере усвоения ими экзогенных аминокислот. — Физиол. раст., 1965, т. 12, вып. 5, с. 814—824. — 12. Рачинский В. В. Курс основ атомной техники в сельск. хоз-ве/2-е изд., перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1978. — 13. Ремезов Н. П., Быкова Л. Н., Смирнова К. М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. — 14. Родни Л. Е., Базилевич Н. И. Динамики органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Л.: Наука, 1965. — 15. Скрынникова И. Н. Почвенные растворы южной части лесной зоны и их роль в современных процессах почвообразования. — В кн.: Современ. почв. процессы в лесной зоне европейской части СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959, с. 56—69. — 16. Фокин А. Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ железа и фосфора в подзолистой почве. — Автореф. докт. дис. М., 1975. — 17. Фокин А. Д., Черникова И. Л., Ибрагимов К. Ш., Сюняев Х. Х. Роль растительных остатков в обеспечении растений зольными элементами на подзолистых почвах. — Почвоведение, 1979, № 6, с. 53—64. — 18. Hanrion M., Goutain F., Bruckert S., Jacquin F. — Oecol. plant., 1975, t. 10, N 2, p. 162—185. — 19. Bovard P., Crauby A., Sass A. — In: Isotopes and Radiat. in soil organic matter Studies. Vienna: IAEA, 1968, p. 471—494.

*Статья поступила 5 января 1983 г.*

#### SUMMARY

Under conditions of forest cenoses on podzolic and soddy-podzolic soils higher herbaceous plants and especially green and sphagnum mosses absorb water-soluble organic materials from plant residues of different grade of decomposition (0.45 and 0.87—3.27 g per 1 m<sup>2</sup> respectively). The part of absorbed organic materials in the total biomass of the plants is about 2 per cent, of mosses, 1—4 per cent.

Results of isotope-indicator evaluation allow to conclude that uptake by plants of organic materials from decomposing plant residues in podzolic soil of forest cenosis is more intensive than in soddy-podzolic soil.