

УДК 631.417:631.445.2

**ПОСТУПЛЕНИЕ В РАСТЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСНОГО ЦЕНОЗА
НА ПОЧВАХ ПОДЗОЛИСТОГО ТИПА**

К. Ш. ИБРАГИМОВ, А. Д. ФОКИН

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии и кафедра почвоведения)

В почвах подзолистого типа в составе почвенных растворов содержится много органических веществ индивидуальной и специфической природы: низкомолекулярные органические кислоты, аминокислоты, сахара, урсоловые кислоты, фенольные соединения, а также гумусовые вещества [4, 11]. Установлено, что в высшие растения через корни могут поступать витамины группы В, антибиотики, сахара, алифатические и фенольные кислоты, фосфорорганические соединения [7, 8, 9, 10]. Указывается на вероятность поступления в растения гумусовых веществ [5, 13], а также органических веществ из разлагающихся растительных остатков [9, 12, 14]. Все это свидетельствует о важности расширения подобных исследований. Они необходимы для разносторонней оценки физиологической роли комплекса органических веществ, присут-

ствующих в почвенных растворах, в функционировании естественных и сельскохозяйственных ценозов на почвах подзолистого типа и в минеральном питании растений, так как значительная часть макро- и микроэлементов в почвенных растворах гумидных почв входит в состав органо-минеральных соединений [1, 11].

Целью данной работы является оценка в натуральных условиях масштабов поступления в растения органических соединений индивидуальной природы.

Объекты и методика

В качестве объектов исследования были выбраны почвы подзолистого типа в районе с. Белый Раст Московской области, сформированные на покровных суглинках. Эти почвы подробно охарактеризованы ранее [11].

Ячмень сорта Московский 121 выращивали в лабораторных условиях в песчаных и почвенных культурах 14 сут. Для опытов использовали гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы, бескарбонатный суглинок и кварцевый песок. Вариант с безгумусной породой служил для оценки влияния гумусированности на поступление в растения органических веществ, вариант с песчаной культурой позволял оценить влияние сорбции доступных растениям органических веществ почвой и покровным суглинком. Указанными субстратами набивали сосуды из плексигласа, в конструкции которых предусматривался отвод и поглощение меченой двуокиси углерода, образующейся при частично разложении меченых органических веществ. Урацил, α -кетоглутаровую кислоту, глюкозу, лейцин, пролин, меченные ^{14}C , в виде водных растворов вводили в сосуды из расчета 0,5 г на сосуд. Использовали стерильные и нестерильные варианты. Антисептические условия создавали прогреванием песка, почвы и покровного суглинка в автоклаве, в процессе опыта в среду вводили смесь антибиотиков: пенициллин — 10 мг, стрептомицин — 20 мг, хлорамфеникол — 10 мг на 1 л воды [9]. Эти меры позволяют предотвратить микробиологическую трансформацию вводимых в сосуды органических веществ и получить однозначный ответ на вопрос о поступлении в растение именно вводимых в питательную среду органических веществ.

Радиометрические измерения проводили на радиометре Марк-II методом жидкостного сцинтилляционного счета меченой двуокиси углерода, образующейся при сжигании высушенных проб (эффективность счета 90 %). В работе использовали сцинтиллятор, поглощающий двуокись углерода.

На основе данных радиометрических измерений и взвешивания, ошибка которых составляла 5—10 %, вычисляли процентное отношение активности, обнаруженной в зе-

ленной фитомассе, к введенной активности, а также процентное отношение массы меченых органических веществ, поступивших в зеленые органы, к массе последних. Первый показатель по существу является коэффициентом использования, по которому можно судить о выносе органических веществ растениями из песка, почвы и покровного суглинка. Вторым параметром характеризует масштабы поступления в растения готовых органических веществ в сравнении с их количеством, образовавшимся в процессе фотосинтеза.

Во время экспериментов учитывали перенос и превращения вводимых в сосуды органических веществ. Баланс складывался из следующих звеньев:

1) прямая минерализация меченых органических веществ до двуокиси углерода на момент измерения;

2) биологическое окисление поступивших в растения органических веществ (определяли по выделяющейся меченой двуокиси углерода из растений в процессе дыхания и при прямом ее измерении);

3) количество меченых органических веществ в составе растений на момент времени, для которого рассчитывался баланс;

4) неминерализованный остаток органических веществ в питательной среде (песке, образцах гумусового горизонта дерново-подзолистой почвы и покровного суглинка).

В условиях стерильных культур минерализация вводимых органических соединений практически не была обнаружена.

В нестерильных опытах питательную среду отделяли от надземных органов слоем сваренного и охлажденного крахмала, чтобы предотвратить возможное поступление меченой двуокиси углерода к этим органам.

Наряду с лабораторными экспериментами проводили натурные наблюдения в естественном лесном ценозе на микроплощадках размером 10×10 см², которые выделяли по преобладанию того или иного вида мхов (сфагнум, кукушкин лен, ртидадельфус) или травянистых растений. Органические вещества вносили после снеготаяния в слой почвы 0—3 см под дернину и под моховой очес в количестве 0,5 г на микроплощадку.

Результаты и их обсуждение

В стерильных условиях содержание в субстрате неиспользованных меченых органических веществ составило 93—97 % от введенной активности, а в нестерильных — 45—57 %.

По данным прямых радиометрических определений, в субстратах (гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы, покровном суглинке, песке) минерализовалось 28—45 % введенных органических веществ.

Поступление в ячмень органических веществ в стерильных (числитель)
и нестерильных (знаменатель) условиях в лабораторном опыте

Субстрат	Урацил	α -кетоглутаровая кислота	Глюкоза	Лейцин	Пролин
Коэффициент использования, % от внесенного органического вещества					
Песок	$1,9 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$
	$2,5 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	$4,8 \pm 0,4$	$4,2 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$
Покровный суглинок	$4,3 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,1$	$4,5 \pm 0,4$	$1,7 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$
	$4,3 \pm 0,4$	$0,4 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,1$
Гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы	$5,3 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,1$
	$5,4 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,3$
Вклад в фитомассу, % от общего содержания сухого органического вещества:					
Песок	$1,3 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$
	$1,7 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$
Покровный суглинок	$2,5 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
	$2,7 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$
Гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы	$3,2 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
	$3,1 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$

При исследовании возможности биологического окисления поступивших в растения органических веществ было обнаружено, что количество выделяемой растениями меченой двуокиси углерода равняется 28—50 и 20—25 % от активности соответственно в зеленых органах и в целых растениях. В корнях растений содержалось в 1,5—2 раза больше меченых органических веществ, чем в зеленых органах.

В стерильных условиях в растения поступали вводимые органические вещества, а не продукты их микробиологической трансформации в субстратах; в нестерильных — те и другие.

В целом стерильные условия не оказывали существенного влияния на коэффициенты использования органических соединений (табл. 1). Вероятно, это обусловлено, помимо прочих причин, относительной краткосрочностью экспериментов. Подавляющая часть различий между стерильными и нестерильными вариантами проявилась лишь как тенденция.

В стерильных условиях индивидуальные органические соединения, содержащие азот (урацил, лейцин, пролин), и глюкоза поступали в растения несколько более интенсивно, чем α -кетоглутаровая кислота. В какой-то мере избирательное поглощение ячменем отдельных органических веществ в стерильных условиях можно объяснить различной их питательной и энергетической ценностью. Небольшое поглощение растениями α -кетоглутаровой кислоты связано с наличием у них развитого окислительного пула органических кислот, который препятствует поступлению подобных соединений извне.

В нестерильных условиях влияние микрофлоры сглаживало различия в поглощении растениями отдельных органических веществ, а в варианте с глюкозой наблюдалось снижение ее поступления в растения из почвы. В варианте с урацилом коэффициент использования органических веществ и вклад в фитомассу во всех случаях повышались при переходе от песка к почве. Причины обнаруженных различий пока не выяснены.

Определенное влияние на интенсивность поступления различных органических веществ в растения могут оказывать сорбционные процессы. Однако этот вопрос специально нами не исследовался. Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что в натуральных усло-

Поглощение растениями органических веществ (в числителе — коэффициент использования, % от внесенного органического вещества; в знаменателе — вклад в фитомассу, %)

Растения	Урацил	α -кетоглутаровая кислота	Глюкоза	Лейцин	Пролин
Сфагнум	$62,5 \pm 5,2$	$38,1 \pm 2,2$	$56,8 \pm 2,1$	$60,3 \pm 3,8$	$48,3 \pm 3,8$
	$8,8 \pm 1,3$	$7,2 \pm 0,9$	$8,9 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,3$	$7,8 \pm 0,3$
Кукушкин лен	$37,9 \pm 2,3$	$31,6 \pm 3,0$	$43,6 \pm 2,9$	$46,7 \pm 1,5$	$39,6 \pm 4,3$
	$6,1 \pm 0,7$	$6,1 \pm 0,4$	$7,3 \pm 0,2$	$8,8 \pm 0,3$	$6,6 \pm 0,4$
Ритидиладельфус	$38,2 \pm 1,7$	$31,4 \pm 3,4$	$42,5 \pm 4,2$	$43,8 \pm 1,4$	$37,4 \pm 4,3$
	$7,1 \pm 0,5$	$5,9 \pm 0,3$	$7,1 \pm 0,2$	$7,9 \pm 0,2$	$6,5 \pm 0,3$
Травянистые растения	$12,6 \pm 1,1$	$6,0 \pm 0,7$	$9,3 \pm 1,0$	$9,4 \pm 0,6$	$11,2 \pm 0,8$
	$1,4 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$

виях мхи, особенно сфагнум, поглощают из почвы в 4—5 раз больше меченых органических веществ, чем травянистые растения.

Коэффициент использования индивидуальных органических веществ мхами (сфагнум, кукушкин лен, ритидиладельфус) колеблется в пределах нескольких десятков процентов, этот показатель у травянистых растений составляет 6—12 %.

Результаты натуральных экспериментов дают основание полагать, что в почве под мхами и во мхах интенсивность окислительных процессов понижена. Очес из разных мхов на контрольных микроплощадках поглотил 31—62 % внесенных органических веществ, подавляющее количество которых сохранилось в фитомассе мхов и не было израсходовано на дыхание на протяжении более чем двухмесячного периода.

На микроплощадках с травянистыми растениями основное количество меченых органических веществ, вероятно, разлагалось и в растении поступало 6—12 % внесенных соединений.

Более высокие значения коэффициентов использования органических веществ в естественных условиях, чем в лабораторных, объясняются иным характером локализации введенных в почву органических веществ и большей длительностью опыта. Так, если в полевых экспериментах органические вещества вводили локально в горизонт A_0 , где сосредоточена подавляющая масса корней растений, то в лабораторных опытах их смешивали со всем объемом образца минеральной почвы, при этом, естественно, коэффициент поступления органических веществ снижался.

Заслуживает специального обсуждения вопрос о значительном поступлении органических веществ во мхи. Вероятно, приуроченность мохообразных к почвам, содержащим в почвенных растворах большое количество органических веществ, является определенной экологической и эволюционной закономерностью.

Моховый очес в таежных ценозах оптимально приспособлен к воздействию растворов с относительно повышенной концентрацией органических веществ. Как известно, мхи, особенно сфагнум, обладают повышенной водоудерживающей способностью [3]. При помощи ризоидов эти растения непосредственно контактируют с органогенными, насыщенными влагой горизонтами почв подзолистого типа. Биофилтрация почвенного раствора мхами приводит к включению в их фитомассу органических соединений индивидуальной природы. Мхи отличаются слабой интенсивностью фотосинтеза и дыхания, малым приростом [3, 6]. В связи с этим поглощаемые ими органические вещества, вероятно, непосредственно включаются в фитомассу и в незначительном количестве используются на энергетические процессы, что позволяет говорить о естественных ценозах, включающих мохообразные, как об аккумулято-

Масштабы возможного поступления в растения органических веществ из почв подзолистого типа (г/м² в год)

Группа веществ	Сфагнум	Кукушкин лен	Зеленые мхи	Травянистые растения
Моносахара	1,14±0,04	0,87±0,06	0,85±0,09	0,18±0,02
Аминокислоты	0,12±0,01	0,09±0,01	0,09±0,01	0,02±0,01
Низкомолекулярные органические кислоты	1,14±0,07	0,95±0,09	0,94±0,11	0,18±0,02

рах (т. е. накопителях) готовых органических веществ, поглощаемых из почвы.

Травянистые растения используют поступающие извне готовые органические вещества в меньшем количестве, чем мхи. В лабораторных опытах окисление меченых органических веществ, содержащихся в зеленых органах, составило 20—50 %. Вероятно, и в природных условиях значительная доля органических веществ, поступивших в зеленые органы, окисляется до двуокси углерода.

Как отмечается в литературе [1, 11 и др.], в почвенных растворах концентрация моносахаров составляет 20—30 мг/л, аминокислот — 0,5—2,0, органических кислот — 10—30 мг/л. Исходя из этих данных и полученных нами значений коэффициентов использования в природных условиях, можно оценить возможные размеры поступления отдельных групп органических веществ почвенного раствора в растения.

Как видно из табл. 3, наибольшими они были у сфагнового мха (табл. 3). Если в расчеты ввести также сведения о проективном покрытии почв мхами и травянистыми растениями и распределении корней по профилю почвы [2], то можно получить данные о возможном суммарном поступлении органических веществ почвы в растения таежных ценозов на 1 га. Полученные результаты (табл. 4) свидетельствуют, что в подзолистой почве, характеризующейся большим проективным покрытием мхами, оно несколько выше, чем в дерново-подзолистой (соответственно 12,20±1,0 и 9,98±0,92 кг/га в год).

Заключение

Экспериментально доказано, что в естественном лесном ценозе на почвах подзолистого типа существует фитотрофная связь в системе биогенной миграции органических соединений из почвенного раствора в растения.

Различные компоненты почвенного органического вещества поглощаются растениями естественного ценоза на почвах подзолистого типа с разной интенсивностью. Коэффициенты использования индивидуаль-

Таблица 4

Возможное суммарное поступление органических веществ в растения из почв подзолистого типа (кг/га в год)

Группа веществ	Сфагнум	Кукушкин лен	Зеленые мхи	Травянистые растения
Дерново-подзолистая почва				
Моносахара	1,14±0,04	1,74±0,11	0,85±0,09	0,90±0,17
Аминокислоты	0,12±0,01	0,19±0,01	0,08±0,01	0,09±0,01
Органические кислоты	1,14±0,07	1,90±0,18	0,94±0,11	0,90±0,11
Подзолистая почва				
Моносахара	2,28±0,08	0,87±0,06	4,25±0,44	0,18±0,02
Аминокислоты	0,24±0,02	0,09±0,01	0,42±0,02	0,02±0,01
Органические кислоты	2,28±0,13	0,95±0,09	0,47±0,06	0,18±0,02

ных органических веществ зелеными и сфагновыми мхами составляют 31—62 %, травянистыми растениями — 6—12 %. Различные органические вещества по уменьшению коэффициента их использования мхами и травянистыми растениями можно расположить в следующий ряд: растворимые гетероциклы (урацил) > аминокислоты (пролин, лейцин) > моносахара (глюкоза) > оксикислоты (α -кетоглутаровая кислота).

Поступившие в растения органические вещества частично используются в качестве энергетического материала, о чем свидетельствует окисление их до двуокиси углерода (количество окисленных веществ неспецифической природы составляет 20—25 %).

Как показала изотопноиндикаторная оценка, в растения лесного ценоза на подзолистой почве органические вещества почвенного раствора поступают более интенсивно, чем на дерново-подзолистой почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанова В. С., Вертель Е. Ф., Елпатьевский П. В. Микроэлементы и растворимое органическое вещество лизиметрических вод. — Почвоведение, 1981, № 11, с. 50—60. — 2. Вальтер Г. Растительность земного шара. Т. 2. Леса умеренной зоны. — М.: Прогресс, 1974. — 3. Жизнь растений. Т. 4. МХИ. Плауны. Хвоши. Папоротники. Голосеменные растения / Под общ. ред. А. А. Федорова. М.: Просвещение, 1978. — 4. Кауричев И. С., Карпухин А. И., Степанова Л. П. Качественный состав водорастворимых органических веществ природных почвенных вод. — Сб. науч. тр. М.: ТСХА, 1977, вып. 233, с. 53—65. — 5. Комиссаров И. Д., Климова А. А. Влияние гуминовых кислот на биокаталитические процессы. — В кн.: Гуминовые препараты. Тюмень: Тюменский с.-х. ин-т, 1971, т. 14, с. 225—242. — 6. Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. — 7. Либберт З. Физиология растений. М.: Мир, 1976. — 8. Меренова В. И., Кузин А. М., Доман Н. Т., Демина Е. 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. — 9. Меренова В. И., Кузин А. М. Исследование непосредственного усвоения растением углерода органических удобрений. — Докл. АН СССР, 1959, т. 94, № 3, с. 573—576. — 10. Механизм действия антибиотиков / Под ред. Г. Ф. Гаузе. М.: Мир, 1969. — 11. Фокин А. Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве. — Автореф. докт. дис. М., 1975. — 12. Фокин А. Д., Ибрагимов К. Ш. О поступлении органических веществ в растения из разлагающихся растительных остатков в условиях почв подзолистого типа. — 13. Prat S. — Biol. Plant., 1963, t. 5, N 4, p. 279—283. — 14. Sparling G. P., Cheshire M. V., Mundie C. M. — Soil Sci., 1982, vol. 33, N 1, p. 89—100.

Статья поступила 12 мая 1983 г.

SUMMARY

On podzolic and soddy podzolic soils under conditions of forest cenoses higher grass plants, green and sphagnum mosses take up from the soil individual organic substances. Utilization coefficient of the latter by green and sphagnum mosses is higher than that by grass plants, being 31—62 and 4—15 % respectively.

Various organic substances can be arranged according to their utilization coefficients by mosses and grasses as follows: soluble heterocycles (uracil) > amino acids (leucine, proline) > monosacchar (glucose) > oxyacids (α -ketoglutaric acid).

Organic substances absorbed by plants are shown to be often used as energy material.

Organic substances of soil solution are absorbed by forest cenosis plants on podzolic soil more intensively than on soddy podzolic one.