

ПРЕВРАЩЕНИЯ УРАЦИЛА, ГЛИЦИНА И ГЛЮКОЗЫ, ПОСТУПАЮЩИХ В СОСТАВЕ ОПАДА В ЛЕСНУЮ ПОДСТИЛКУ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

О.С. ЖУРАВЛЕВА, С.П. ТОРШИН

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В модельных опытах в условиях лесной экосистемы были отобраны образцы частично разложившегося лесного опада и почвы слоя 0–10 см, содержащие органическое вещество, меченное ^{14}C . Метку вносили в виде низкомолекулярных водорастворимых органических веществ индивидуальной природы: глицина, урацила и глюкозы – совместно с немеченым растительным опадом в капроновых мешочках. Опыт был заложен в позднеосенний период на территории Малинского лесничества в 20 км на юго-запад от Москвы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Для исследования брали образцы двух сроков отбора: спустя 40 сут. после внесения метки и через 2 года. Отобранные образцы экстрагировали и разделили на фракции органического вещества почвы, включившего в свой состав ^{14}C с последующей радиометрией. Результаты показали различия в трансформации и включении радиоуглерода изучаемых продуктов: глицина, урацила и глюкозы – в разные фракции органического вещества почв углерода низкомолекулярных водорастворимых веществ в зависимости от их природы.

Ключевые слова: почва, гумус, гумусообразование, поведение глицина, урацила, глюкозы в почве, низкомолекулярные водорастворимые органические вещества почв

Почвенное звено круговорота углерода в биосфере включает в себя две главные составляющие. Первая из них – минерализация всех основных компонентов органического вещества, присутствующих в составе исходных органических веществ биологического происхождения и промежуточных продуктов их последующей трансформации и гумификации. Совокупность этих процессов определяет поступление диоксида углерода в атмосферу и оказывает решающее влияние на его концентрацию во всех слоях атмосферы и газовой фазы почвы [2, 15, 16]. В современных условиях на последние показатели влияют и топливные выбросы в атмосферу, а также миграция органических веществ, входящих в состав органических удобрений и различных органических загрязнений биосферы.

Вторая генеральная составляющая – это включение разнообразных промежуточных продуктов трансформации исходных органических остатков, как высоко-, так и низкомолекулярных, в состав специфических почвенных органических веществ, прежде всего – гумусовой природы. Важность исследований и знание масштабов этих процессов обусловлена следующими обстоятельствами.

Во-первых, эти процессы переводят относительно легкоминерализуемые вещества органических остатков в трудноминерализуемые соединения гумусовых веществ, время нахождения которых в почвах, по данным радиоуглеродного датирования, может достигать тысяч и десятков тысяч лет [1, 13]. Это своеобразный тип консервирования образующегося в биосфере органического вещества, направленный на уравнивание минерализационного потока углерода в биосферу [4–6, 9, 11, 12, 14].

Экспериментально задача изучения включения любых соединений органических остатков в натурных или близких к ним условиях в состав специфических почвенных

соединений в принципе решается только с использованием метода изотопных индикаторов (подобно расшифровке биохимических циклов превращения органических веществ в составе живых организмов). Однако уникальная сложность вещественного состава органического вещества почв заставляет пока ограничиваться исследованием отдельных представителей групп или классов органических соединений на примере отдельных конкретных веществ, что решалось нами в рамках данной работы.

Следующее важное обстоятельство обусловлено тем, что процессы включения свежих продуктов органических остатков и промежуточных продуктов их трансформации в состав специфических, более устойчивых к минерализации соединений почвы, обеспечивают стабильность или улучшение гумусового состояния почв. Однако данные, характеризующие масштабы и скорость включения углерода органических остатков и их отдельных компонентов в состав гумусовых соединений (например, коэффициенты гумификации), являются крайне противоречивыми. Не всегда представляются корректными и методы получения этих данных, что подробнее будет рассмотрено далее.

В работах А.Д. Фокина [7, 8] показано, что формирование и образование гумусовых веществ возможны за счет как разложения растительных остатков на месте разложения, так и поступления мигрирующих компонентов растительных остатков в почвенных горизонтах, ниже горизонтов их образования. Такими мигрирующими компонентами могут выступать низкомолекулярные вещества индивидуальной природы. Интенсивность и направленность процессов разложения, минерализации и трансформации свежего пула органического вещества неодинаковы и изменяются в течение года в зависимости от условий: температуры, влажности и микробиологической активности.

При внесении водорастворимых органических веществ индивидуальной природы в почву в составе лесного опада происходит их трансформация и включение в гумусовые вещества. В процессе предыдущих исследований были выявлены различия в поведении внесенных меченых веществ в зависимости от их индивидуальной природы и внесения в составе различных видов опада [3, 8]. Однако подобные исследования до настоящего времени остаются весьма фрагментарными. В связи с этим основная цель исследований состояла в количественной оценке масштабов включения углерода трех низкомолекулярных соединений, принадлежащих различным классам водорастворимых органических веществ, промежуточных продуктов их трансформации, в состав гумусовых соединений на месте их поступления в почву (*in situ*), а также при нисходящей миграции при вымывании меченных продуктов в слои почвы, непосредственно подстилающих место их внесения.

Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать и обосновать методику мечения углерода указанных соединений в составе свежего растительного опада;
- выбрать и обосновать метод фракционирования органических соединений гумусовой природы для оценки включения в их состав ^{14}C – меченных веществ и промежуточных продуктов их трансформации;
- провести натурные наблюдения для решения основной цели исследования в условиях лесной подстилки почв подзолистого типа за двухлетний период;
- изучить трансформацию и включение продуктов трансформации в гумусовые вещества почв водорастворимых низкомолекулярных органических веществ индивидуальной природы;
- оценить участие низкомолекулярных органических веществ индивидуальной природы в формировании гумусовых веществ на месте образования, а также при миграции в нижележащие горизонты почв;

- изучить масштабы включения меченных ^{14}C урацила, глицина и глюкозы в состав отдельных групп гумусовых соединений, формирующихся в подгоризонтах L и F лесной подстилки, образованной хвойным и листовым опадом;
- изучить устойчивость к деструкции структурных фрагментов гумусовых веществ, сформированных урацилом, глицином и глюкозой.

Материал и методы исследований

В качестве объектов исследований выбраны индивидуальные вещества, имеющиеся в составе любой живой клетки, которые могут образовываться в процессе разложения свежего опада. Представители трех классов органических веществ: аминокислота – глицин; гетероциклическое соединение – урацил; углевод-моносахарид – глюкоза. При этом изначально предполагалось неодинаковое поведение этих веществ. Урацил и глюкоза – нейтральные вещества. Глицин при различном значении pH может проявлять как основные, так и кислотные свойства. Изоэлектрическая точка этого соединения (ИЭТ) составляет 6,0. Глюкоза, обладая большей биодоступностью, активнее включается в состав микробной плазмы и минерализуется.

На рисунке 1 представлена схема, отражающая участие низкомолекулярных веществ в процессах трансформации органического вещества почвы, которым отведено центральное место в наших исследованиях. Данная схема не отражает всех процессов в почве, связанных с органическим веществом, звеньев, участвующих в преобразовании последнего, и формирования гумуса, однако она обозначает рамки наших исследований.

Опыт был заложен в позднесенний период на территории Малинского лесничества в 20 км на юго-запад от Москвы на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах 14 октября. Данный срок закладки был выбран неслучайно. Это позволило снизить минерализационные потери вносимых веществ, так как процессы поглощения веществ почвенными микроорганизмами еще происходят, а минерализация – уже нет. Кроме того, именно осенний период является периодом активной миграции веществ в почвах с просачиванием в грунт в отличие от миграции с весенним поверхностным стоком талых вод.

Глицин, урацил и глюкоза, тотально меченные изотопом ^{14}C активностью 200 кБк или $2 \cdot 10^5$ Бк, вносились на поверхность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в составе проб наземного опада и на глубину 2 см в составе проб корневого опада. В качестве наземного опада использовались органические остатки хвои ели (*Picea abies* L.) и смесь листьев березы (*Betula pendula* Roth.) и осины (*Populus tremula* L.). В качестве проб корневого опада использовались измельченные ножницами корни пырея ползучего (*Elytrigia repens* L.).

Воздушно-сухие навески органического материала (хвоя – 5 г, листья – 3 г, корни – 3 г) помещали в плоский пакет из жесткой капроновой сетки размером 10×10 см, доводили до влагонасыщенного состояния и в таком виде перевозили на пробные площадки. Меченные вещества вносились в виде водных растворов объемом 3 мл с помощью микропипетки равномерно по всей плоскости пакета с опадом. Хвоя и листья с мечеными веществами располагались непосредственно на поверхности почвы, закреплялись проволокой и слегка присыпались естественным опадом леса. Корни пырея ползучего вносились на глубину 2–3 см.

Отбор проб осуществлялся спустя 40 дней, а затем каждые 0,5 года. Всего было 6 сроков отбора проб. Пробы отбирались с помощью специального металлического пробоотборника в виде параллелепипеда площадью 10×12 см и высотой 10 см, который позволял отобрать пробу почвы ненарушенного сложения, включающую в себя

капроновый пакет с исходным веществом, горизонты А0 и А1. В лаборатории пробу разделяли на части: исходный материал из исходного пакета; А0 слои 0–1 и 1–2 см; А1 слои 2–3, 3–5, 5–7, 7–10 см.

Включение меченных веществ и продуктов их трансформации в состав гумусовых соединений изучалось в пробах за два срока наблюдений: 40 сут. и 2 года.

Методика исследования отображена на схеме рисунка 1.

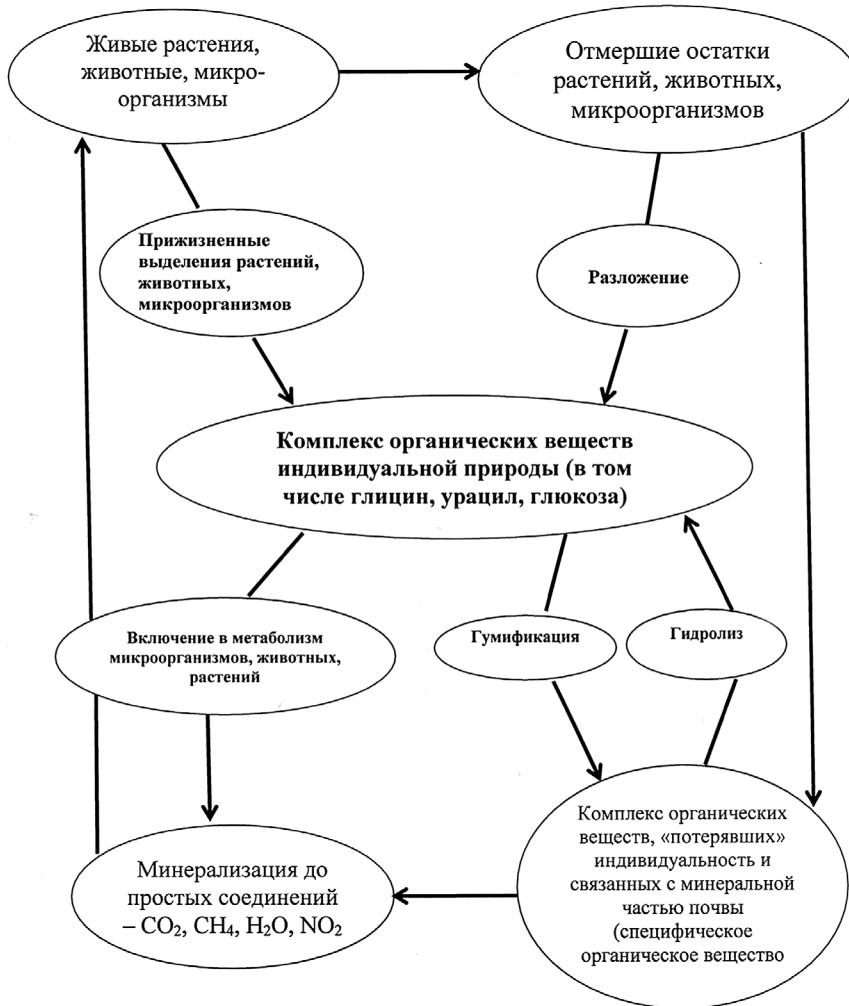


Рис. 1. Участие низкомолекулярных веществ в процессах трансформации органического вещества почвы

Гумусовые вещества препаративно отделялись от низкомолекулярных веществ индивидуальной природы. При этом разделение носило «мягкий» характер – с целью предотвращения вторичного перераспределения метки между выделяемыми фракциями за счет процессов гидролиза, соосаждения, сорбционных взаимодействий и т.д. С этой точки зрения традиционные методы фракционирования гумусовых веществ являются непригодными по причине наличия обработок материала растворами сильных кислот и оснований, а также ввиду предположения того, что все органические вещества, переходящие из почвы в экстракт, входят в ту или иную фракцию или группу гумусовых веществ.

Для решения поставленных задач использовалась экстракция гумусовых и негумусовых веществ из почвы раствором слабого основания: аммиака с последующим (на 1 этапе) разделением низкомолекулярных, меньше 700 атомных единиц массы (а.е.м.), и высокомолекулярных – больше 700 а.е.м. экстрагируемых веществ на геле Молселект G-10. На данном этапе исследований идентификация низкомолекулярных соединений не проводилась, хотя известно, что в отдельных случаях формируются окрашенные вещества гумусовой природы с молекулярной массой, приближающейся к нескольким сотням а.е.м. [10]. Принимаем, что все темно-окрашенные экстрагируемые органические вещества, имеющие молекулярную массу более 700 а.е.м., относятся к соединениям гумусовой природы.

Навеска в 6 г почвенного материала (органогенный горизонт с примесью минеральной части) обрабатывалась 30 мл 0,1н. раствора NH_4OH последовательно 4 раза. При каждой обработке суспензия взбалтывалась в течение 1 ч при комнатной температуре. Четырехкратная обработка почвы 0,1н. NH_4OH не обеспечивала исчерпывающей экстракции меченных ^{14}C веществ. В каждом случае величина экстракции оценивалась путем радиометрических измерений образцов почвы до экстрагирования и после него.

Отделение жидкой фазы от почвенного материала производилось на центрифуге дважды. В первый раз проводилось центрифугирование при числе оборотов 4000 об/мин в течение 10 мин. При этом в отдельных пробах раствор оставался слегка мутным от присутствия взвеси органоминеральных илистых частиц. Во время второго центрифугирования (10 мин при оборотах 8000 об/мин) удавалось получить прозрачный раствор. Илистые частицы собирались, и в них определялись общая сухая масса, содержание ^{14}C на радиометре «Эксперт-М» и содержание органического вещества путем прокаливания осадка.

Собранные пробы центрифугата концентрировались упариванием при температуре около 90 °С, затем разделялись на колонке с гелем G-10.

Как отмечалось, илистая фракция была выделена путем центрифугирования аммиачной вытяжки перед разделением экстрагируемых гумусовых веществ по молекулярным массам. В составе илистой фракции были определены ее масса, содержание в ней органического вещества в процентах весовым методом после озоления воздушно-сухих образцов осадков при температуре 800 °С. По результатам озоления была рассчитана зольность илистой фракции. Кроме того, было определено содержание ^{14}C в препаратах илистой фракции.

Экстрагируемые гумусовые вещества, освобожденные от илистой фракции, были подразделены на геле Молселект G-10 на две группы веществ: низкомолекулярные ($\text{мм} < 700$ а.е.м.) и высокомолекулярные ($\text{мм} > 700$ а.е.м.). Для выделенных групп были определены их массы путем прямого взвешивания препаратов (абсолютно сухая масса) и относительная активность в импульсах в 1 сек. для каждого препарата.

Поскольку выход групп гумусовых веществ, различающихся по молекулярным массам, по вариантам опыта также существенно различался, для сравнения образцов лучше использовать значения не абсолютной активности отдельных препаратов, а их относительную удельную активность: например, в импульсах в 1 сек. на 1 г выделенной фракции гумусового вещества. Эта величина характеризует относительное включение ^{14}C в состав данной фракции и изменение содержания ^{14}C во фракции во времени.

Результаты и их обсуждение

Измерения относительной активности образцов до экстракции и после нее позволили оценить экстрагируемость органических веществ из анализируемых образцов и ее изменение в зависимости от времени нахождения меченного органического вещества в почве и химической природы меченного соединения.

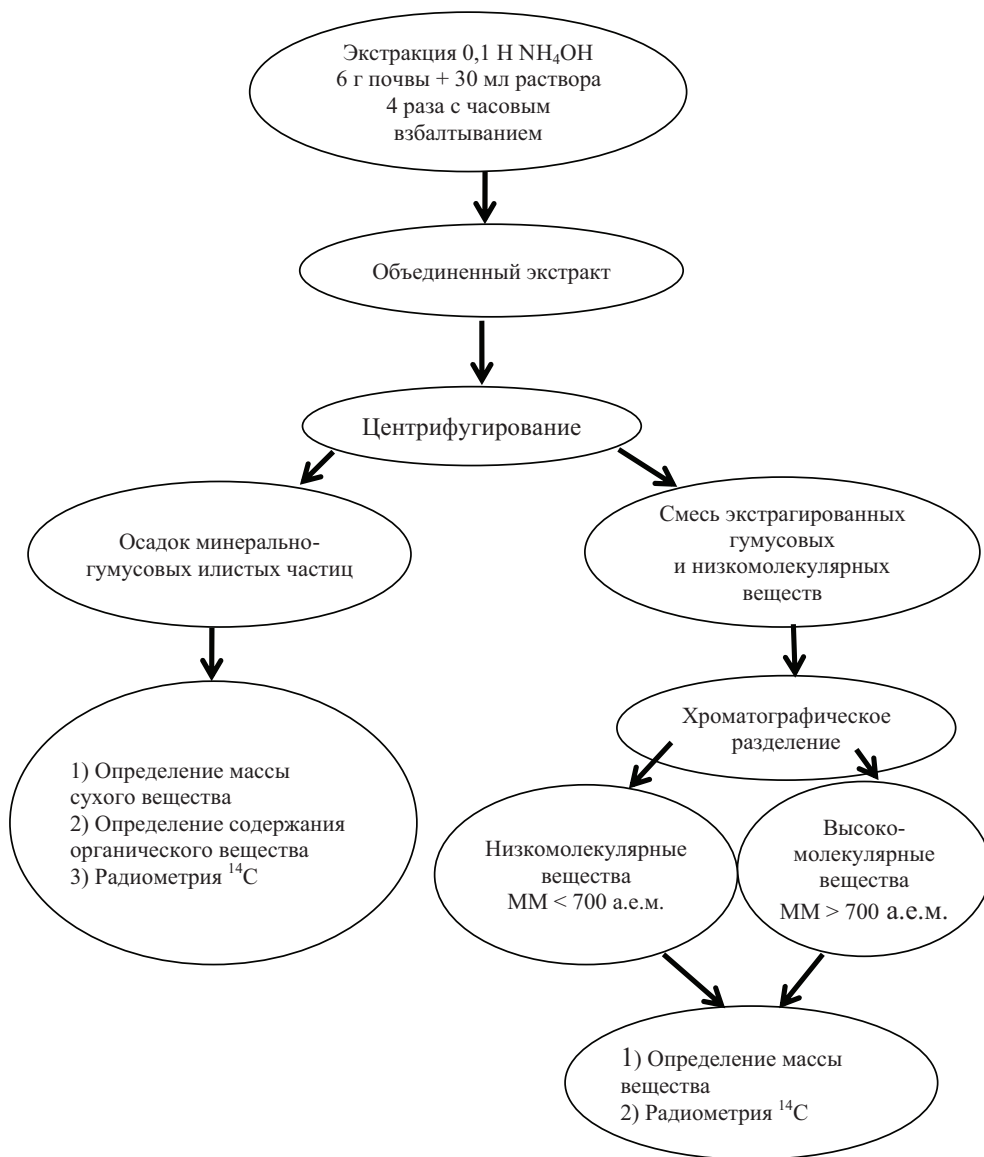


Рис. 2. Схема анализа

Данные, представленные в таблицах 1–3, показывают, что в большинстве случаев общая экстрагируемость веществ в первый срок наблюдения была высокой и составляла 55–90% от общего количества меченного органического вещества в образце, причем из хвои и листьев экстрагировалось из исходного материала меньше по сравнению с органо-минеральными слоями 0–1 и 1–2 см. Через два года этот показатель заметно снизился (до 0–40%). Исключение из данной закономерности было получено для ^{14}C -урацила, внесенного в состав листового опада. В этом случае экстрагируемость во времени практически не менялась и составляла чуть более 20%.

Снижение экстрагируемости свидетельствует о том, что с течением времени происходит постепенное включение меченных органических веществ в состав более стабильных и менее экстрагируемых веществ. При этом наблюдалась

более высокая экстрагируемость ^{14}C -меченных веществ, инкубированных с хвоей, по сравнению с ^{14}C -мечеными веществами, инкубированными с листьями, причем извлечение ^{14}C -меченных веществ, инкубированных с листьями, значительно возросло из проб исходного материала последнего срока отбора по сравнению с первым сроком. Это свидетельствует о том, что с течением времени меченные органические вещества, внесенные вместе с листьями при разложении исходного материала, включаются в более подвижные и экстрагируемые фракции органических веществ.

Таблица 1

Экстрагируемость меченных органических веществ и включение ^{14}C глицина в состав фракций гумусовых соединений

Глицин в составе	слой, см	Скорость счета образцов, имп/с		Осталось в пробе	Экстрагируемость	Удельная скорость счета образцов различных фракций, имп/г		
		исходная	после экстрагирования			%	> 700 а.е.м.	< 700 а.е.м.
Экспозиция 40 сут.								
ХВОИ	исх.	46,8±5,5	28,8±3,1	62	38	47,1	163	784
	0-1	7,05±0,82	2,37±0,27	34	66	30,7	10,9	356
	1-2	1,73±0,21	0,60±0,05	35	65	5,18	0,00	8,59
ЛИСТЬЕВ	исх.	195±21	183±19,5	94	6	598	805	1021
	0-1	1,62±0,11	0,69±0,08	43	57	3,08	7,73	4,31
	1-2	1,11±0,09	0,41±0,07	37	63	1,77	2,33	3,55
Экспозиция 2 года								
ХВОИ	исх.	19,9±2,3	23,4±2,9	100	0	49,26	43,06	71,56
	0-1	0,87±0,09	0,78±0,05	90	10	4,45	2,19	3,33
	1-2	0,47±0,09	0,71±0,06	100	0	3,9	5,28	11,86
ЛИСТЬЕВ	исх.	66,8±8,5	41,9±4,5	63	37	22,9	1,2	80,55
	0-1	1,36±0,14	0,89±0,11	65	35	3,1	4,48	1,92
	1-2	0,32±0,05	0,79±0,05	100	0	0,72	0,00	7,69

Рассмотрение данных о включении метки в различные фракции органического вещества позволило выявить следующие особенности.

Спустя 40 сут. после внесения меченных препаратов в почву минимальный уровень включения меченных веществ в состав молекулярных групп гумусовых веществ обнаруживался для глицина. Его содержание в составе молекулярных фракций было на порядок ниже, чем содержание урацила и глюкозы. Этот эффект проявлялся как при внесении глицина в составе хвои, так и в составе листьев, причем

в последнем случае он проявлялся более выразительно. Однако спустя 2 года содержание меченных фрагментов, источниками которых являлись глицин, урацил и глюкоза, в несколько раз или десятков раз снижалось и выравнивалось. Это означает, что включившиеся в гумусовые вещества меченные фрагменты, источником которых является глицин, медленнее поддавались процессам минерализации и деструкции по сравнению с фрагментами, образованными урацилом и глюкозой.

Таким образом, глицин менее интенсивно включался в состав гумусовых веществ по сравнению с другими низкомолекулярными соединениями, но включившись, формировал наиболее устойчивые структуры в их составе. Показателем этого является кратность снижения удельной активности препаратов за 2 года натуральных наблюдений, которая составляла для глицина единицы раз, тогда как для остальных веществ – десятки и даже сотни раз.

Урацил и глюкоза вначале включились в состав гумусовых веществ в 5–30 раз интенсивнее глицина, но и последующие потери меченных фрагментов из состава гумусовых веществ были существенно выше.

Таблица 2

Экстрагируемость меченных органических веществ и включение ¹⁴C урацила в состав фракций гумусовых соединений

Урацил в составе	Слой, см	Скорость счета образцов, имп/с		Осталось в пробе	Экстрагируемость	Удельная скорость счета образцов различных фракций, имп/г		
		исходная	после экстрагирования			%	> 700 а.е.м.	< 700 а.е.м.
Экспозиция 40 сут.								
ХВОИ	исх.	132±11,5	22,5±1,5	17	83	196	1760	1111
	0–1	27,7±3,3	12,6±1,3	45	55	178	311	3179
	1–2	6,9±0,51	0,85±0,07	12	88	1,55	45,3	14,0
ЛИСТЬЕВ	исх.	65,7±4,3	85,6±9,3	100	0	1012	3702	1077
	0–1	12,1±1,77	9,42±1,11	78	22	75,4	83,7	1514
	1–2	1,43±0,17	2,41±0,30	100	0	122	846	296
Экспозиция 2 года								
ХВОИ	исх.	65,7±7,7	55,8±5,9	85	15	15,5	99,1	75,5
	0–1	1,68±0,21	1,24±0,15	74	26	3,72	28,3	3,2
	1–2	1,38±0,25	0,39±0,05	28	72	2,08	9,70	61,0
ЛИСТЬЕВ	исх.	3,83±0,43	3,91±0,45	100	0	10,4	137	45,9
	0–1	0,90±0,09	0,69±0,05	77	23	0,59	4,80	3,50
	1–2	0,47±0,61	0,57±0,07	100	0	3,21	16,7	3,41

Таблица 3

Экстрагируемость меченных органических веществ и включение ^{14}C глюкозы в состав фракций гумусовых соединений

Глюкозав- составе	Слой, см	Скорость счета образцов, имп/с		Осталось в пробе	Экстраги- руемость	Удельная скорость счета образцов различных фракций, имп/г		
		исходная	после экстрагирования			%		> 700 а.е.м.
Экспозиция 40 сут.								
ХВОИ	исх.	52,1±0,7	47,0±5,1	90	10	627	380	512
	0–1	83,0±0,9	32,2±4,4	39	61	166	104	376
ЛИСТЬЕВ	исх.	201±23	196±21	98	2	888	326	13658
	0–1	25,5±3,0	12,4±1,3	49	51	110	120	247
	1–2	1,60±0,21	1,46±0,15	91	9	12,0	0,00	0,00
Экспозиция 2 года								
ХВОИ	исх.	27,5±3,1	31,7±4,0	100	0	42,3	2,5	177
	0–1	16,0±1,9	9,8±1,2	61	39	14,7	5,87	36,3
	1–2	0,85±0,09	0,87±0,09	100	0	4,81	16,5	75,0
ЛИСТЬЕВ	исх.	91,9±10,5	39,5±4,7	43	57	138	131	124
	0–1	1,18±0,11	0,70±0,09	59	41	1,24	10,8	3,23
	1–2	0,09±0,01	0,61±0,07	100	0	0,00	0,00	0,00

Данные таблиц 1–3 свидетельствуют также о том, что первичное включение меченных веществ в гумусовые вещества их состава хвои в большинстве вариантов было заметно выше, чем из листового опада. Как тенденцию, можно отметить то, что гумусовые вещества, включившие в свой состав меченные соединения из состава хвои, оказывались несколько более стабильными по сравнению с фрагментами, сформированными в условиях листового опада. Возможно, данное обстоятельство связано с более высоким уровнем биологической активности листового опада по сравнению с хвоей.

По вариантам обнаруживаются в ряде случаев существенные различия в устойчивости меченных фрагментов в составе низко- и высокомолекулярных групп гумусовых веществ. Однако какая-либо четкая закономерность здесь не прослеживалась.

Особо стоит отметить значительные различия во включении трех исследуемых веществ в состав органического вещества илистой фракции.

Спустя 40 сут. после начала эксперимента наименее интенсивно в состав органического вещества данной фракции включился ^{14}C -глицин. Его содержание в составе органического вещества на начальной стадии эксперимента в десятки и сотни раз было ниже, чем для урацила и глюкозы. Поведение глицина отличалось от поведения

урацила и глюкозы в данной фракции еще и тем, что его содержание за 2 года в составе органического вещества илистой фракции изменяется в гораздо меньшей степени, чем содержание ^{14}C -урацила и ^{14}C -глюкозы. Под хвойным опадом удельная активность ^{14}C -глицина за 2 года снизилась приблизительно в 13 раз, а под листовым опадом – всего в 2 раза. За это же время содержание урацила и глюкозы изменилось в несколько десятков, а в отдельных случаях – и сотен раз. Это означает, что глицин, хотя и менее интенсивно включался в состав органического вещества илистой фракции, но включившись, образует гораздо более стабильные структуры, не поддающиеся минерализации, по сравнению со структурами, которые формируют глюкоза, и особенно урацил, в составе минерально-гумусовых веществ илстых фракций.

Выводы

Включение метки ^{14}C из свежих органических остатков происходит во все фракции и формы гумуса, то есть в составе гумуса, разделяемого по принятой схеме, не обнаруживается каких-либо форм, которые вообще не обновляются. При этом в поведении меченных веществ можно отметить как общие закономерности, так и различия.

В первый срок отбора углерод глицина в случае внесения в составе хвои обнаруживался в основном в илистой фракции в исходном материале и практически не включался в высокомолекулярную фракцию. При этом при внесении с хвоей отмечалась миграция метки глицина в нижележащий слой, при внесении в составе с листьями остается в исходном материале и обнаруживается во всех фракциях. В последнем сроке отбора углерод глицина мигрировал и обнаруживался в слое 1–2 см в основном в составе илистой фракции.

В слое 2–10 см метка глицина в основном оказывалась в высокомолекулярной фракции. Углерод урацила сразу же включается в состав низкомолекулярной фракции, в меньших количествах – илистой фракции, и уже во второй срок отбора обнаруживается в слое 2–10 см. При этом можно отметить то же самое, что и в поведении углерода глицина. Углерод урацила в случае внесения с хвоей практически не обнаруживается в составе высокомолекулярной фракции и в нижележащем слое оказывается в составе илистой фракции; при внесении с листьями он обнаруживался и в составе высокомолекулярной фракции. Такое различие в распределении меченных веществ по фракциям выделяемых органических веществ из листьев и хвои можно также объяснить пониженной микробиологической активностью исходного образца хвои.

Углерод глюкозы оказывается в основном в составе высокомолекулярной и илистой фракций независимо от того, с каким исходным веществом вносилась метка, остается в исходном материале и практически не мигрирует. Такое поведение меченных веществ свидетельствует о наличии по крайней мере двух форм органического вещества: мигрирующей (в нашем случае это низкомолекулярная фракция) и формы накопления (высокомолекулярная фракция). При этом в высокомолекулярной фракции оказывается углерод вещества, биологически более доступного, то есть глюкозы. Эта форма практически не мигрирует, а остается на месте и участвует в формировании гумусового вещества почвы.

Углерод веществ, биологически менее доступных, мигрирует до тех пор, пока не трансформируется в биологически более доступную форму и не будет захвачен почвенными микроорганизмами. Данная форма углерода, по-видимому, участвует в формировании гумусовых веществ в слоях почвы, расположенных ниже подстилки. Из этого можно заключить, что включение углерода, образующегося при разложении

растительных остатков в состав плазмы почвенных микроорганизмов, является первичным механизмом включения углерода в состав высокомолекулярных веществ. При этом для закрепления углерода в составе высокомолекулярных веществ и последующего включения его в гумусовые вещества почвы необходимым условием является период консервации процессов жизнедеятельности микроорганизмов для предотвращения минерализации до простых веществ. В условиях таежно-лесной зоны таким периодом, по-видимому, является период низких положительных температур в позднеосеннее время, когда процессы поглощения веществ почвенными микроорганизмами еще происходят, а минерализация – уже нет. Это подтверждает гипотезу об участии микроорганизмов в процессе гумусообразования и определяет их место и роль в данном процессе.

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

Библиографический список

1. Александровский А.Л., Чичагова О.А. Радиоуглеродный возраст палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1414–1422.
2. Глинушкин А.П., Соколов М.С. Роль гумуса почвы в адаптации агроферы к изменению климата земли // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2, № 9. – С. 15–19.
3. Журавлева О.С., Торшин С.П., Смолина Г.А. Сезонные изменения скорости потерь органических веществ в почвах подзолистого типа // Радиоэкологические последствия радиационных аварий – к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Обнинск, 22–23 апреля 2021 г. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. – С. 258–261.
4. Коротков А.А., Новицкий М.В. Скорость разложения и характер превращения органических остатков в дерново-подзолистых почвах // Западный СХИ. – 1968. – Т. 117. – Вып. 1. – С. 127–140.
5. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // Почвоведение. – 2018. – № 6. – С. 43–658.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – Москва: Изд-во МГУ, 1990. – 324,[1] с.: ил.; 22 см.; ISBN5–211–00934–7 (В пер.): 4 р. 40 к.
7. Фокин А.Д. Динамическая характеристика гумусового профиля подзолистой почвы // Известия ТСХА. – 1975. – № 4. – С. 80–88.
8. Фокин А.Д., Журавлева О.С. Сезонные особенности превращения и транспорта урацила, глицина и глюкозы в почвах подзолистого типа // Почвоведение. – 2009. – № 4. – С. 412–418.
9. Фокин А.Д., Карпунин А.И. Включение продуктов разложения растительных остатков в гумусовые вещества // Почвоведение. – 1974. – № 11. – С. 72–78.
10. Фокин А.Д., Карпунин А.И. Применение гелевой хроматографии для изучения фульвокислот и железозульфатных соединений // Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв: Сборник докладов. – М.: ТСХА, 1977. – С. 131–136.
11. Batjes N.H. Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks // Geoderma. – 2016. – V. 269. – Pp. 61–68.

12. *Blet-Charaudeau C., Muller J., Laudelout H.* Kinetics of Carbon Dioxide Evolution in Relation to Microbial Biomass and Temperature // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* – 1990. – V. 54, № 5. – Pp. 1324–1329.
13. *Gerd Gleixner.* Soil organic matter dynamics: a biological perspective derived from the use of compound-specific isotopes studies // *Ecol. Res.* – 2013. – № 28. – Pp. 683–695.
14. *Lehmann J., Kleber M.* The contentious nature of soil organic matter // *Nature.* – 2015. – № 528. – Pp. 60–68.
15. *Pierrehumbert R.T.* Warming the world: Greenhouse effect: Fourier's concept of planetary energy balance is still relevant today // *Nature.* – 2004. – № 432. – P. 677.
16. *Post W.M., Emanuel W.R., King A.W.* Soil organic matter dynamics and the global carbon cycle // *World Inventory of Soil Emission Potentials.* – Wageningen, 1992. – Pp. 107–119.

CONVERSIONS OF URACIL, GLYCINE, AND GLUCOSE ARRIVING IN FOREST LITTER OF SOD-PODZOLIC SOIL AS LITTER COMPOUNDS

O.S. ZHURAVLEVA, S.P. TORSHIN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

In model experiments under forest ecosystem conditions, samples of partially decomposed forest litter and soil from a 0–10 cm layer containing ¹⁴C-labeled organic matter were selected. The label was introduced in the form of low molecular weight water-soluble organic substances of individual nature – glycine, uracil and glucose together with unlabelled plant litter in nylon bags. The experiment was carried out in the late autumn period on the territory of the Malinsky forestry, 20 km south-west of Moscow, on a medium loamy sod-podzolic soil. For the study, samples were taken from two selection periods – 40 days after labelling and after two years. The selected samples were extracted and separated into soil organic matter fractions containing ¹⁴C in their composition, followed by radiometry. The results showed differences in the transformation and incorporation of radiocarbon of the studied products – glycine, uracil, and glucose into different fractions of soil organic matter of low molecular weight water-soluble substances, depending on their nature.

Key words: soil, humus, humus formation, behavior of glycine, uracil, glucose in soil, low molecular weight water-soluble soil organic matter.

References

1. *Aleksandrovskiy A.L., Chichagova O.A.* Radiocarbon age of Holocene paleosols in the forest-steppe of Eastern Europe. *Pochvovedenie.* 1998; 12: 1414–1422. (In Rus.)
2. *Glinushkin A.P., Sokolov M.S.* Role of soil humus in the adaptation of the agrosphere to climate change of the Earth. *Uspekhi sovremennoy nauki.* 2017; 2; 9: 15–19. (In Rus.)
3. *Zhuravleva O.S., Torshin S.P., Smolina G.A.* Seasonal changes in the rate of loss of organic matter in podzolic soils. *Radioekologicheskie posledstviya radiatsionnykh avariyy – k 35-oy godovshchine avarii na CHAES: Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Obninsk, 22–23 aprelya 2021 g.* Obninsk: FGBNU VNIIRAE. 2021: 258–261. (In Rus.)
4. *Korotkov A.A., Novitskiy M.V.* The rate of decomposition and the nature of the transformation of organic residues in soddy-podzolic soils. *Zap. SKHI.* 1968; 117; 1: 127–140. (In Rus.)

5. *Kudeyarov V.N.* Soil respiration and biogenic carbon dioxide sink in Russia (analytical review). *Pochvovedenie*. 2018; 6: 43–658. (In Rus.)
6. *Orlov D.S.* Soil humic acids and the general theory of humification. M.: Izd-vo MGU, 1990: 325. (In Rus.)
7. *Fokin A.D.* Dynamic characteristics of the humus profile of podzolic soil. *Izvestiya TSKhA*. 1975; 4: 80–88. (In Rus.)
8. *Fokin A.D., Zhuravleva O.S.* Seasonal features of transformation and transport of uracil, glycine and glucose in podzolic soils. *Pochvovedenie*. 2009; 4: 412–418. (In Rus.)
9. *Fokin A.D., Karpukhin A.I.* Inclusion of decomposition products of plant residues into humic substances. *Pochvovedenie*. 1974; 11: 72–78. (In Rus.)
10. *Fokin A.D., Karpukhin A.I.* Application of gel chromatography for the study of fulvic acids and iron-fulvate compounds. *Osobennosti pochvennykh protsessov derno-vo-podzolistykh pochv: Sbornik dokladov*. M.: TSKhA. 1977: 131–136. (In Rus.)
11. *Batjes N.H.* Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE-30sec) with estimates of global soil carbon stocks. *Geoderma*. 2016; 269: 61–68.
12. *Blet-Charaudeau C., Muller J., Laudelout H.* Kinetics of Carbon Dioxide Evolution in Relation to Microbial Biomass and Temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1990; 54; 5: 1324–1329.
13. *Gerd Gleixner.* Soil organic matter dynamics: a biological perspective derived from the use of compound-specific isotopes studies. *Ecol. Res.* 2013; 28: 683–695.
14. *Lehmann J., Kleber M.* The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 2015; 528: 60–68.
15. *Pierrehumbert R.T.* Warming the world: Greenhouse effect: Fourier's concept of planetary energy balance is still relevant today. *Nature*. 2004; 432: 677.
16. *Post W.M., Emanuel W.R., King A.W.* Soil organic matter dynamics and the global carbon cycle. *World Inventory of Soil Emission Potentials*. Wageningen. 1992: 107–119.

Журавлёва Ольга Станиславовна, старший преподаватель кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–40–24; e-mail: vselgira@rambler.ru

Торшин Сергей Порфирьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–40–24; e-mail: sptorshin@rambler.ru

Olga S. Zhuravleva, senior teacher, Department of Agrochemistry, Biochemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–40–24; E-mail: vselgira@rambler.ru)

Sergey P. Torshin, DSc (Bio), Professor, of the Department of Agrochemistry, Biochemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–40–24; E-mail: sptorshin@rambler.ru)