

УДК 631.417.2:631.421.3

ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ КАК СТАДИЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

И. С. КАУРИЧЕВ, И. М. ЯШИН

(Кафедра почвоведения)

Представлены данные о превращении растительных остатков в поверхностных слоях лесных почв подзолистого типа европейского Севера страны, полученные с помощью модифицированного метода сорбционных лизиметров (сорбент — активированный уголь). Оценка процессов превращения растительного опада дается как с химических позиций, так и путем количественной интерпретации: рассчитаны некоторые кинетические параметры, рассмотрен балансовый подход к природе веществ, обуславливающих убыль масс органогенного субстрата при разложении.

Интерес исследователей к применению метода сорбционных лизиметров в натурных опытах обусловлен его универсальностью, поскольку он может быть использован при решении спектра задач по генезису и плодородию почв, изучении состава природных вод и биоценозов, освещении почвенно-экологической обстановки конкретного ландшафта и т. д.

В предыдущих сообщениях рассматривались конструктивные особенности метода сорбционных лизиметров [5, 8]. Должное внимание уделялось подбору и оценке специфичных поглотителей (сорбентов) для тех или иных химических соединений почвенных растворов, а также режиму их вытеснения и последующей идентификации [3, 4, 16].

В модельных полевых опытах получены фактические данные о миграционных потоках водорастворимых органических веществ (ВОВ) в ландшафтах и почвах таежно-лесной зоны, проанализированы некоторые параметры водной миграции ВОВ и рассмотрена роль этой группы органических соединений в обновлении почвенного гумуса [8, 16]. Подобными сведениями необходимо располагать при изучении гумусового состояния почв различных биоценозов.

Критически оценивая информацию, получаемую с помощью метода сорбционных лизиметров, отметим, что результаты исследований могут быть уточнены при дальнейшей модификации самого метода. Его совершенствование позволит по-новому охарактеризовать процесс превращения растительных остатков в почвах, провести балансовый анализ убыли массы органогенного материала, рассчитать ряд кинетических параметров, а также осуществить учет количества и компонентного состава формирующихся ВОВ.

Методика

Трансформацию растительного опада в природной обстановке изучали на стационарах, заложенных в 1982—1986 гг. в подзонах средней и южной тайги в целинных (лесных) биоценозах [17]. Для опытов использовали сорбционные лизиметры в виде стеклянных фильтров-воронок № 3 диаметром и высотой 9,5 см. На рисунке приведена схема подобного лизиметра. Слой активированного угля (мощностью 2,5—3,3 см и массой 40—55 г) располагали в нижней части колонки и отделяли от растительных остатков, заключенных в капроновый ме-

шочек, двумя слоями капроновой ткани. Для исследований использовали свежие (отбор с деревьев в конце мая — июне) и гумифицирующиеся (отбор из лесной подстилки в середине апреля) растительные остатки. Колонки сверху закрывали капроном, который закрепляли лейкопластырем. Сорбционный лизиметр жестко монтировали с полиэтиленовой канистрой (приемником лизиметрических вод) и в таком виде в 2—3-кратной повторности устанавливали в профиль почвы (рис. 1). Лизиметр располагали на уровне лесной подстилки, не маскируясь ею, ими-

тируя поверхностный характер разложения растительного опада.

Через определенный период времени (в подзоне южной тайги — через 8 мес, а в среднетаежной подзоне — через 9 мес) сорбционные сосуды извлекали из почвы и доставляли в лабораторию. Здесь растительный опад высушивали до постоянной массы и в последующем анализировали. ВОВ с активированного угля сразу же десорбировали последовательно 90 % водным уксусом и водой, 2 % водным аммиаком и водой до полного осветления элюатов [4]. Параллельно были продолжены лабораторные модельные исследования сорбции и десорбции некоторых групп ВОВ на активированном угле. В частности, уточняли количество вытесненных с угля сорбированных групп ВОВ, зависящее от соотношения и концентрации ВОВ и десорбентов, а также скорость потоков адсорбата и элюента на стадиях сорбции и десорбции. Выявлена также одна из характерных особенностей сорбционного фракционирования ВОВ на угле: первая исчерпывающая десорбция ВОВ указанными выше вытеснителями оказалась неполной. Установлено, что удерживаемую часть сорбированных ранее ВОВ можно почти полностью вытеснить теми же элюентами, если сорбент тщательно отмыть от ионов Fe^{3+}

после 1-го десорбционного цикла 10 % водным раствором HCl и водой до отрицательной реакции на Cl^- ионы. В некоторых случаях подобные операции нуждаются в 3—4-кратном повторении. Указанный факт, очевидно, свидетельствует как о гетерогенной природе ВОВ, так и о неоднозначном механизме их сорбции на активированном угле, при этом не исключаются полимолекулярная сорбция и специфическая роль в данном процессе поливалентных металлов.

Углерод ВОВ в элюатах и приемниках лизиметрических вод определяли по методу Тюрина после предварительного выпаривания аликвота [9]. Повторность 2—4-кратная.

Превращения растительных остатков в природных условиях изучали в осенне-весенний период жизнедеятельности лесных биоценозов (конец сентября — конец мая) и в теплый (ярко биогенный) сезон (июнь — 2-я декада сентября). В Няндомском стационаре наблюдения проводили в ельнике-черничнике зеленомошном I бонитета, в Каргопольском стационаре — в смешанном лесу — елово-березово-зеленомошном II бонитета, в Подмосковье — в смешанном (вторичном) лесу — дубово-березо-еловом разнотравном I бонитета.

Результаты

В настоящее время накапливается все больше фактического материала о разносторонней и уникальной роли ВОВ как в природных геохимических и почвообразовательных процессах, так и в питании растений, эффективном плодородии почв, индикации экологической обстановки и т. д. [1, 2, 15].

Несмотря на определенные успехи в познании природы, компонентного состава и свойств фракций ВОВ почв — этой мобильной и сложной органогенной субстанции биосферы, — характер промежуточных продуктов, формирующихся при превращении растительного опада, до сих пор не выяснен. При этом о процессах минерализации и гумификации, как правило, судят по «конечному итогу» — убыли массы растительных остатков и количеству новообразованных форм гумуса, извлекаемых из образцов почв или породы в модельных экспериментах. Практически отсутствуют исследования, результаты которых позволили бы в природных условиях оценить превращения мобильных групп органических веществ и растительных остатков на промежуточных стадиях. В связи с этим явно не хватает фактических сведений о специфике и темпах мобилизации ВОВ из растительного опада и вегетативных органов растений в различных биоценозах с позиции балансовой направленности.

Недостаточно полно освещена природа стадийности процесса минерализации — гумификации растительного опада, который реализуется в биоценозе сопряженно с другими функциональными процессами развития почв.

Результаты модельных полевых опытов, в которых изучалось разложение растительных остатков в сорбционных лизиметрах, свидетельствуют о неоднозначности направленности и скорости превращения опада лесных биоценозов в пределах таежно-лесной зоны, что обусловлено спецификой почвообразования. Так, в подзоне южной тайги (юго-запад Подмосковья) в смешанных (вторичных) лесах на дерново-подзолистых почвах и карбонатных породах трансформация свежего растительного материала листовенных пород (дуба, березы) в осенне-весенний период протекает весьма интенсивно: степень их превращения составляет соответственно 0,71 и 0,59, если за единицу принять исход-

ные массы субстратов. Гумифицирующиеся листья дуба и осины (соотношение 0,8 : 0,2) и свежая хвоя ели разлагаются значительно медленнее, а степень их трансформации равна соответственно 0,18 и 0,23 (южная тайга) и 0,094 и 0,109 (среднетаежная подзона).

Отметим, что режим фильтрации атмосферных осадков через сорбционные лизиметры в вариантах опыта неодинаковый, что, по-видимому, связано не только с особенностями сорбции и хроматографии в поглотителях (стеночный эффект, формирование хроматографических зон, насыщение их компонентами ВОВ, динамический перенос и т. д.), но и с природой формирующихся групп ВОВ, характер которых (ионно-молекулярный, коллоидальный и гетерогенный) сказывается и на сорбции, и на скорости фильтрации природных растворов ВОВ через активированный уголь.

В спелых хвойных лесах подзоны средней тайги по сравнению со смешанными лесами юго-запада Подмосковья трансформация лесных растительных остатков на поверхности почвы протекает с меньшей интенсивностью, а главное, характер формирующихся продуктов более устойчив: их доля по отношению к убыли исходной массы органического субстрата небольшая — 60—70 %, для хвой ели — 52,0, для свежих листьев дуба в подзоне южной тайги — 66,1 %. В составе образующихся групп ВОВ (в обеих подзонах) в осенне-весенний период заметно преобладают органические вещества неспецифической природы, близкие по составу к исходным растительным компонентам.

Не исключено, что процессы минерализации и гумификации органических субстратов почв неразрывны в своем единстве, но они различаются конечными формируемыми продуктами. В то же время органические соединения промежуточных стадий превращения различного по степени гумификации растительного материала, взаимодействуя, могут образовать новые (абиогенной природы) ВОВ.

Минерализация растительных остатков представляет собой стадийный биохимический процесс окислительного характера. Именно поэтому он сопряжен с формированием на начальных этапах мобильных неспецифических компонентов, которые в последующий (теплый) период года весьма активно используются микрофлорой и другими живыми организмами, при этом выделяются углекислота, вода и минеральные соли [9, 14]. Благодаря сорбции на активированном угле ВОВ из разлагающихся в лизиметре растительных остатков появилась возможность уточнить природу новообразованных продуктов и скорость процессов преобразования опада. В принципе без результатов прямых полевых опытов на основании сведений о конечных продуктах превращения опада растений практически нельзя судить о механизме превращения остатков растений. По этому поводу И. В. Тюрин (1944) отмечал, что наиболее ценным является тот гумус, который трудно уловить из-за его мобильности и неустойчивости к воздействию микрофлоры [по 1].

ВОВ являются не единственной группой соединений, образующихся при разложении растительного опада. Кроме них, имеется еще неидентифицированная масса химических соединений, очевидно, газооб-

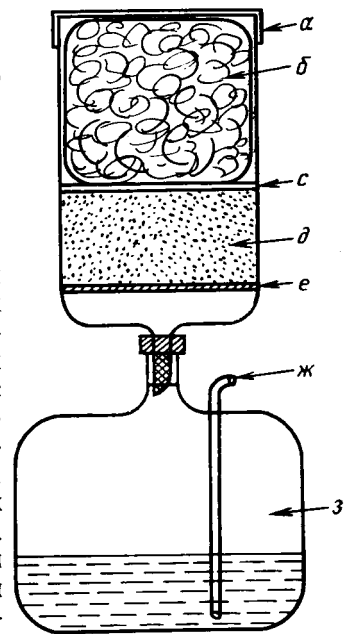


Рис. 1. Схема сорбционного лизиметра, использованного для изучения баланса ВОВ, мобилизующихся в раствор из растительных остатков. а — капроновая ткань, покрывающая стеклянный фильтр-воронку (удерживалась лейкопластырем); б — капроновый мешочек с растительными остатками; с — два слоя капроновой ткани, экранирующие сорбент; д — поглотитель ВОВ (активированный уголь); е — керамический фильтр № 3; з — приемник лизиметрических вод (полиэтиленовый сосуд емкостью 3—5 л); ж — вакуумный шланг.

разной природы. Диагностика и выделение подобных компонентов требуют проведения новых экспериментальных исследований.

Был рассчитан коэффициент мобилизации ВОВ из разлагающихся растительных остатков

$$K_{\text{моб}} = m_{\text{моб}}/A, \quad (1)$$

где $K_{\text{моб}}$ — коэффициент мобилизации ВОВ (безразмерная величина); $m_{\text{моб}}$ — масса углерода ВОВ (г), идентифицированная в опыте; A — масса углерода (г) в исходном растительном материале.

Направленность превращения растительных остатков на поверхности лесных почв подзолистого типа зависит как от характера растительного опада (листья, хвоя), так и от степени его гумификации (табл. 1). Так, свежие листья дуба в осенне-весенний период трансформировались наиболее активно, о чем свидетельствуют данные об общей идентифицированной концентрации ВОВ в лизиметрах (5,89 г углерода на 1 л). $K_{\text{моб}}$ в этом варианте полевого опыта равен 0,47 (или 47 %). Скорость превращения остатков хвойной древесной растительности значительно меньше. $K_{\text{моб}}$ ВОВ из свежей хвои ели в подзоне средней тайги (Няндомский стационар) составляет лишь 0,07, а в южнотаежной подзоне (учхоз Тимирязевской академии «Михайловское») — 0,12. На основании результатов исследований можно рассчитать вероятностные показатели мобилизации ВОВ из лесных подстилок за конкретный интервал времени. Так, в спелых ельниках средней тайги Архангельской области запасы подстилки равны 4,5 кг/м² [10]. При $K_{\text{моб}}$ 7 % за осенне-весенний период (8—9 мес) возможна мобилизация в растворимое состояние 157 г углерода ВОВ на 1 м². В этот период следует учитывать и опад растительности, который, в частности, в среднетаежной подзоне достигает 0,50 кг/м². Из указанной массы органогенного субстрата (при $K_{\text{моб}}$ 7 %) может быть дополнительно мобилизована часть ВОВ, которая составляет 17,5 г углерода на 1 м². В итоге получается 172,5 г углерода ВОВ на 1 м², причем эта масса ВОВ в опаде растений остается сравнительно недолго. Фактические показатели миграции ВОВ из лесной подстилки (A_0^T), полученные с помощью метода сорбционных лизиметров, заметно меньше, что, на наш взгляд, обусловлено как минерализацией части ВОВ, так и их выносом из зоны образования.

Отметим, что неполная минерализация растительного опада и новообразованных ВОВ способствует постепенной аккумуляции лесной подстилки различной степени разложения и, естественно, неоднородного состава (шишки, хвоя, веточки, листья, мхи и т. д.), при этом в ней накапливается некоторое количество мобильных гумусовых соединений. В общем виде подобное прогрессирующее накопление органогенного субстрата (на конкретном годовом этапе или цикле лет) можно представить в виде двух взаимосвязанных процессов при условии, что их скорость будет постоянной: 1) убыли массы лесной подстилки в результате минерализации растительных остатков и формирования ВОВ и 2) увеличения массы подстилки за счет ежегодного опада растительности того или иного биоценоза за конкретный интервал времени. В первом случае количественную оценку процесса приблизительно можно осуществить, используя известное биномиальное выражение

$$A = A_0(1 - P)^t, \quad (2)$$

где A — убыль во времени массы лесной подстилки (кг/м²) за определенный период; A_0 — исходный запас подстилки, для Няндомского стационара, например, 4,5 кг/м²; P — процент убыли массы растительных остатков подстилки за конкретный отрезок времени (показатель берется из прямых натурных опытов), в частности для Няндомского стационара 9,4 %; t — через (t) лет, допустим, через десятилетие.

Величины в формуле (2) изменяются непрерывно, поэтому необходимо их определять поэтапно — не один, а n раз, рассчитывая

Трансформация растительных остатков в сорбционных лизиметрах полевого модельного эксперимента

Вариант опыта	Средний объем воды, профильтрованной в лизиметры, л	Исходная масса растительных остатков, г	Убыль массы растительных остатков, г	β	$T_{1/2}$, год	$T_{0,95}$, год
Подзона южной тайги						
Свежие листья дуба (3-я декада мая)	0,60	15,0	10,67	3,67	0,19	0,82
Свежие листья березы (3-я декада мая)	1,00	15,0	8,85	2,15	0,32	1,40
Гумифицирующиеся листья дуба и осины из A_0 (14 апреля)	0,45	15,0	2,70	0,33	2,10	9,03
Свежая хвоя ели (3-я декада мая)	1,30	15,0	3,50	0,45	1,54	6,67
Подзона средней тайги						
Няндомский стационар						
Свежая хвоя ели (1-я декада июня)	1,10	23,5	2,20	0,13	5,33	23,1
Каргопольский стационар						
Хвоя ели и зеленые мхи из A_0^T (1-я декада июня)	0,80	23,0	2,50	0,16	4,33	18,75

значение P на конкретном этапе исследования. Преобразовав выражение (2), получим

$$A_t(n) = A_0 \left(1 - \frac{P}{n}\right)^{tn} \quad (3)$$

Следовательно, при непрерывном измерении величин рассматриваемой формулы нужно вычислить основание натуральных логарифмов (e)

$$e = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{t}\right)^t = 2,718...$$

При $t=1250$ лет $e=2,717$, а при $t=5000$ лет $e=2,718$. Формула (2) окончательно примет вид

$$A_t = A_0 \cdot \exp(-pt) \quad (4)$$

Выполнив логарифмирование и подставив в показательную функцию (4) прежние фактические данные, получим

$$\begin{aligned} \ln A_t &= \ln A_0 - pt, \\ \ln A_t &= \ln 4,5 - 0,094 \cdot 10, \\ \ln A_t &= 1,504 - 0,904, \\ A_t &= 1,82. \end{aligned}$$

Увеличение массы подстилки за счет ежегодного опада растительности того или иного биоценоза в конкретный интервал времени определяем по формуле

$$A_t = A_0 \cdot \exp pt, \quad (5)$$

где p — ежегодный прирост массы подстилки (%), который находится как соотношение трансформируемых масс опада и подстилки; для Няндомского стационара, в частности, он равен 11,1. После логарифмирования выражения (5) при $A_0=4,5$ кг/м² и $t=10$ лет получим значение A_t ,

Динамика запасов лесной подстилки целинной подзолистой почвы
Няндомского стационара Архангельской области (кг/м²)

Год наблюдений	Запас подстилки на начало года	Масса ежегодного опада	Ежегодная убыль массы растительных остатков подстилки	Аккумулируемая масса растительных остатков опада	Запас подстилки на конце года
1-й	4,500	0,500	0,423	0,077	4,577
2-й	4,577	0,500	0,430	0,070	4,647
3-й	4,647	0,500	0,437	0,063	4,710
4-й	4,710	0,500	0,443	0,057	4,767
5-й	4,767	0,500	0,448	0,052	4,819
52-й	5,32	0,500	0,500	—	5,32

равное 13,65 кг/м². Таким образом, за десятилетие прирост запасов лесной подстилки составит 7,33 кг/м².

По соотношению убыли и прироста запасов лесной подстилки можно судить об определенной пространственно-временной ее устойчивости, при этом оно отражает своеобразие жизнедеятельности компонентов биоценоза. В зависимости от биоклиматических параметров скорость проявления указанных процессов может заметно варьировать, что в конечном итоге отразится на формировании дифференцированных по составу и слоению торфяно-перегнойных и грубогумусных слоев оторфованной лесной подстилки.

Убыль и прирост массы лесной подстилки можно оценить следующим образом. Допустим, в 1-й год наблюдений запас подстилки составил 4,5 кг/м², а опад растительности — 0,5 кг/м². При 9,4 % ежегодной убыли массы подстилки (0,423 кг/м²) опад компенсирует потерю органогенного субстрата, но на прогрессирующее накопление подстилки (табл. 2) остается незначительная доля опада — 0,077 кг/м², или 15,4 %.

Из данных табл. 2 следует, что прогрессирующее накопление запасов лесной подстилки (при постоянстве коэффициентов убыли и прироста ее массы) способствует постепенному уменьшению аккумулирующей части опада и наступлению этапа стабилизации через 52 года. За этот период (с момента наблюдений) в циклах превращений будет участвовать 8,73 кг массы лесной подстилки на 1 м², о чем можно судить исходя из соотношения

$$A_t = b \frac{(1+P)^t + 1}{(1+P) + 1}, \quad (6)$$

где A_t — прогрессирующий прирост массы подстилки через t лет, в частности через 52 года; b — аккумулируемая часть массы опада в 1-й год наблюдений (0,077 кг/м²); P — ежегодный прирост массы подстилки (для Няндомского стационара 11,1 %); t — за t лет.

В природе рассматриваемые функциональные связи носят более сложный характер, однако полученные данные интересны в сравнительном плане, например при оценке мобилизации ВОВ в таежных биоценозах.

Накопление растительных остатков может сменяться их заметной минерализацией и гумификацией в результате усиления биологической активности почв, что особенно типично для теплых и влажных летних сезонов. Поэтому полученные нами закономерности реальны для сравнительно небольшого периода (Δt), и со временем они могут проявляться иначе и в качественном, и в количественном отношении.

Характер изменения состава и запасов подстилки существенным образом сказывается на мобилизации и миграции ВОВ в подзолистых почвах. Именно динамизм и мобильность почвенного гумуса, а также ВОВ, участвующих в его обновлении, и определяют особенности эволюции данного типа почв. В этой связи оценка целинных почв таежно-лесной зоны с позиции их зрелости, устойчивости в развитии, на наш взгляд, должна

«насыщаться» информацией генетического плана. Необходимо также полное осветить роль ВОВ в функционировании биоценозов.

Компонентный состав новообразованных групп ВОВ отражает одностороннюю направленность процессов трансформации как по вариантам опыта, так и в зональном аспекте (преобладание неспецифических органических веществ). В то же время химические особенности опада и различная степень его гумификации сказываются на соотношении групп неспецифических (водоацетоновая фракция А) и специфических (водоаммиачная фракция В) органических соединений, причем в мобильных продуктах разложения хвои ели и гумифицированного субстрата количество этих органических соединений больше, чем в свежий листьях дуба.

Определенный интерес представляет установление некоторых кинетических параметров превращения растительных остатков. В первом приближении нами были рассчитаны относительные скорости (в долях) разложения листьев, хвои ели и некоторых компонентов лесной подстилки по убыли массы веществ в сорбционных лизиметрах за осенне-весенний период по следующей формуле (при условии, что скорость процесса будет оставаться постоянной за период опыта, а за единицу принимается количество субстрата на начало опыта):

$$\beta = m_t / m_0 t, \quad (7)$$

где β — относительная скорость разложения органического субстрата в долях за 8 мес, т. е. 0,67 года — безразмерный параметр, по смыслу близок к кинетической константе; m_t — трансформированная масса растительных остатков; m_0 — остаточная масса субстрата в конце опыта; t — время опыта (8 и 9 мес соответственно в южной и средней тайге).

Из данных табл. 3 видно, что степень поверхностного превращения опада таежной растительности у листовых древесных пород значительно выше (71—59 %), чем у хвойных. У ели, например, в подзоне южной тайги этот показатель составляет 23,3 %, в средней подзоне тайги — 9,4—10,9 %. Среди продуктов превращения растительного опада с помощью сорбции на активированном угле удалось идентифицировать и выделить три группы органических соединений: неспецифические вещества растительной природы, специфические компоненты и несорбированные углем соединения. Соотношение указанных групп ВОВ (табл. 3) существенно варьирует по вариантам опыта. Скорость превращения опада растений тесно коррелирует с мобилизацией в растворимое состояние ВОВ, при этом ее относительные значения варьируют до 1,3 порядка, достигая максимума в эксперименте со свежими листьями дуба и березы.

Прирост массы ВОВ в небольшом интервале времени (сезон года) при увеличении запасов лесной подстилки за счет поступающего опада и прижизненных выделений низкомолекулярных органических соединений живыми организмами будет пропорционален идентифицированной в опыте массе углерода ВОВ. Если принять, что это свойство функции будет постоянным, получим дифференциальное выражение скорости мобилизации ВОВ в растворимое состояние

$$dN = \beta N dt, \quad (8)$$

где β — коэффициент пропорциональности, отражающий соотношение скорости прироста массы ВОВ к их первоначальной массе, который изменяется от 1 до 0.

Интегрируя выражение (8), получим хорошо известный экспоненциальный закон

$$N = N_0 \exp \beta (t - t_0). \quad (9)$$

При $\beta > 0$ масса новообразованных ВОВ увеличивается, при $\beta < 0$ — уменьшается (величина отрицательная) вследствие усиления минерализации и миграции ВОВ или снижения массы органического субстрата и прижизненных органических выделений растениями и т. д., при $\beta = 0$ мобилизация ВОВ в изучаемом интервале времени не изменяется. β мож-

Количество и компонентный состав ВОВ, мобилизованных в растворимое состояние из растительных остатков в модельном полевом опыте

Вариант опыта	Масса С ВОВ, % к убыли массы растительных остатков	Идентифицированная масса ВОВ (по С), г	Количество и состав новообразованных ВОВ (по С)*			К _{моб} ВОВ из растительных остатков	Вынос ВОВ из А ₀ ^г , г/м ²
			водоацетонная фракция (А)	водоаммиачная фракция (В)	С в лизиметрических водах (в приемнике)		
Подзона южной тайги							
Свежие листья дуба	66,1	3,53	$\frac{5011,0}{85,1}$	$\frac{583,4}{9,9}$	$\frac{291,1}{5,0}$	0,47	498,2
Свежие листья березы	30,5	1,35	$\frac{915,7}{67,7}$	$\frac{386,2}{28,6}$	$\frac{60,5}{3,7}$	0,18	190,5
Гумифицирующиеся листья дуба и осины из А ₀ ^г	16,3	0,22	$\frac{344,0}{70,0}$	$\frac{105,4}{21,5}$	$\frac{41,6}{8,5}$	0,03	31,1
Свежая хвоя ели	52,0	0,91	$\frac{486,1}{69,6}$	$\frac{194,2}{27,8}$	$\frac{17,8}{2,6}$	0,12	128,4
Подзона средней тайги							
Няндомский стационар							
Свежая хвоя ели	70,9	0,78	$\frac{478,6}{67,2}$	$\frac{191,5}{26,9}$	$\frac{42,0}{5,9}$	0,07	110,1
Каргопольский стационар							
Хвоя ели и зеленые мхи из А ₀ ^г	60,8	0,76	$\frac{627,0}{66,1}$	$\frac{274,0}{28,9}$	$\frac{47,5}{5,0}$	0,07	107,3

* В числителе — концентрация ВОВ в мг/л, в знаменателе — относительное содержание компонентов ВОВ в %.

но определить из выражения (9), приняв удвоение массы новообразованных ВОВ за время Т

$$e^{\beta T} = 2, \text{ то } \beta = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}. \quad (10)$$

Подставляя $0,693/T$ в формулу (9), получим

$$N = N_0 \exp \frac{0,693}{T} \Delta t. \quad (11)$$

Зная интервалы времени ($T_{1/2}$, $T_{0,95}$ и т. д.), найдем значение β . После логарифмирования линейное уравнение в логарифмических координатах примет вид

$$\ln N = \ln N_0 + \frac{0,693}{T} \Delta t. \quad (12)$$

$$\text{При } k = \ln \beta, z = \ln N \text{ и } b = \ln N_0 \text{ } z = kt + b. \quad (13)$$

Из соотношения (13) видно, что зависимость z от t линейная, график — прямая линия. Если $k=0$, то прямая проходит через начало координат. Величину коэффициента пропорциональности k определяет точка, в которой график функции пересекает ось y . k указывает параметры отношений между N и t , являясь угловым коэффициентом ($\operatorname{tg} \alpha$), при увеличении которого угол наклона прямой к оси x возрастает.

Исходя из значений относительных скоростей разложения растительных остатков, было рассчитано $T_{1/2}$ — время, в течение которого масса опада растений уменьшается наполовину (при условии постоянства

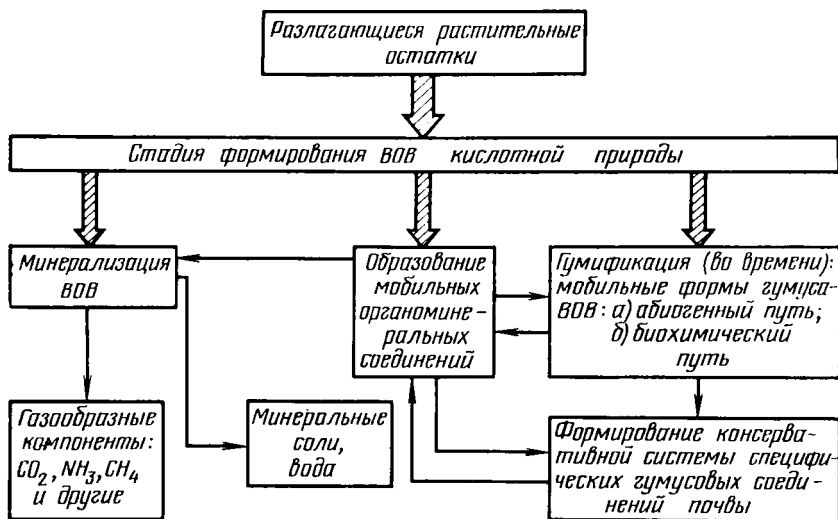


Рис. 2. Схема превращения растительных остатков в почве и формирования групп гумусовых соединений.

скорости процесса разложения). Как известно [13], $T_{1/2} = \ln 2/\beta$, а время разложения (на 95 %) остатков растений $T_{0,95} \approx 3/\beta$. Полученные расчетные данные, приведенные в табл. 1, согласуются с результатами исследований разложения остатков растений в течение года, полученными с помощью метода радиоактивных индикаторов [13].

Показатели трансформации растительных остатков (табл. 1 и 2) позволяют оценить этот процесс не только с химических позиций, но и в определенной мере количественно. Становится понятным, например, что слабо развитая лесная подстилка в смешанных лесах юго-запада Подмосковья — это результат активной трансформации наземного опада. Образующиеся при этом мобильные МОВ участвуют как в формировании гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистых почв, так и в элювиально-иллювиальном перераспределении в профиле продуктов почвообразования.

Таежные леса юга Архангельской области отличаются характерными особенностями разложения лесного опада. Относительная скорость разложения хвои ели в этих лесах в несколько раз меньше, чем в Подмосковье, наблюдаются аккумуляция неразложившегося хвойно-мохового опада и одновременно мобилизация МОВ, доля которых по отношению к убыли массы растительных остатков здесь заметно больше, чем в подзоне южной тайги.

В современных схемах, объясняющих механизм трансформации растительного опада в гумус, не уделяется должного внимания формированию и превращению групп МОВ в процессах минерализации — гумификации. Следует иметь в виду, что при минерализации гумуса почвы нередко происходит периодическое (вспышкообразное) формирование МОВ.

Представленная нами схема превращения растительных остатков в почвах (рис. 2) подтверждается фактическими материалами [5—7, 11—13]. Результаты лабораторных и натурных исследований [8, 16, 17], а также данные учета миграции МОВ из лесных подстилок и генетических горизонтов различных типов почв [5] свидетельствуют о том, что разлагающиеся органоминерные субстраты таежно-лесной зоны в определенные сезоны года (особенно при избыточном увлажнении) проходят стадию формирования МОВ, которые в последующие периоды или гумифицируются, или интенсивно минерализуются до газообразных, солевых соединений и воды. На наш взгляд, МОВ принадлежит характерная функциональная роль в общей цепи абиогенной и биохимической

трансформации органических соединений растительной природы до специфических групп почвенного гумуса. ВОВ благодаря динамизму образования и состава, специфике свойств, устойчивой циркуляции в ландшафтах выполняют важную экологическую функцию, значение которой до сих пор выяснено лишь в общих чертах.

Мы различаем абиогенный и биохимический пути эволюции новообразованных групп ВОВ. В осенне-весенний период развития биоценозов и почв из-за слабой биологической деятельности живых организмов стадия абиогенного превращения растительного опада реализуется более полно, при этом образуются преимущественно органические компоненты растительной природы. В период биологической активности почв и живых организмов процессы минерализации и гумификации растительного опада протекают более интенсивно, не задерживаясь на стадии формирования ВОВ, типичных для промежуточных этапов трансформации растительных остатков. Не исключена и своеобразная роль конечных и промежуточных продуктов минерализации растительных остатков как естественных биокатализаторов в генезисе системы гумусовых соединений почв. Именно поэтому биохимический путь эволюции ВОВ предопределяет образование качественно иных структур органических соединений, которым свойственна самоорганизация, благодаря которой поддерживаются процессы «достройки» и обновления фракций гумуса сообразно конкретным термодинамическим условиям окружающей среды и внутренним процессам развития почвенной массы.

Осенне-весенний этап превращения опада растений «растянут» во времени, в данный период в компонентах биоценоза почти полностью отсутствуют прижизненные органические выделения компонентами биоценозов, поэтому мобилизованные ВОВ в основном накапливаются в растительном опаде, медленно трансформируясь вследствие их минерализации и возможной гумификации. Именно в осенний (и реже в весенний) период из почв таежно-лесной зоны атмосферными осадками энергично выщелачиваются продукты почвообразования, в том числе и ВОВ, за пределы профиля почв — в природные воды.

В летне-раннеосенний период происходят многостадийные превращения ВОВ, причем данный процесс длится более короткий промежуток времени. Указанный период оказывается биологически более емким и продуктивным в смысле динамики скорости и общей направленности превращений органических соединений как в биоценозах, так и в почвах.

При оценке процессов разложения растительных остатков и природы формирующихся ВОВ, на наш взгляд, заслуживает внимания следующая особенность. Отделенные от живого организма органические вещества в форме растительных остатков (так называемая мортмасса) попадают в новые, качественно иные (с термодинамической точки зрения) условия среды. Если раньше органические вещества находились в стационарной равновесной системе клеточного живого организма и выполняли конкретную функцию, то теперь их судьба зависит уже не от живого организма, а от иных по характеру и интенсивности воздействия факторов окружающей среды, вследствие чего ВОВ и гумус почвы подчиняются законам самоорганизации в неравновесной термодинамической системе — почве. В этом плане можно говорить о полной «незащищенности» фотосинтетических органических соединений растительной природы от микрофлоры, почвенных животных и других живых организмов, стремящихся в полной мере и возможно быстрее использовать новые формы органогенного материала, богатые энергией и способные к гидратации, гидролизу и неосинтезу ВОВ.

Выводы

1. В лесных биоценозах подзон южной и средней тайги трансформация как свежего, так и гумифицирующегося растительного материала в осенне-весенний период на поверхности почвы сопровождается активной мобилизацией ВОВ, среди которых преобладают неспецифические органические компоненты.

2. В лесах средней тайги на поверхности почв ВОВ формируются более активно, чем в смешанных лесах юго-запада Подмосквья, при значительно меньшей интенсивности трансформации органогенного материала.

3. Из гумифицирующегося растительного материала в раствор мобилизуется значительно меньшее количество ВОВ, что свидетельствует о большей устойчивости и инертности данного субстрата к процессам превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. — Л.: Наука, 1980. — 2. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв / Пер. с франц. — М.: Прогресс, 1970. — 3. Кауричев И. С., Яшин И. М. Адсорбция некоторых соединений почвы различными сорбентами. — Докл. ТСХА, 1972, вып. 183, с. 11—15. — 4. Кауричев И. С., Яшин И. М. Фракционирование водорастворимых органических веществ растительных остатков методом адсорбционной хроматографии на угле. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 1, с. 122—128. — 5. Кауричев И. С., Яшин И. М. Теоретическое обоснование метода лизиметрических хроматографических колонок. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 3, с. 89—98. — 6. — Кауричев И. С., Кашенко В. С., Яшин И. М. Некоторые аспекты подзолообразования в почвах средней тайги. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 2, с. 81—90. — 7. Кауричев И. С., Карпунин А. И., Степанова Л. П. Водорастворимые железорганические соединения почв таежно-лесной зоны. — В кн.: Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978, с. 73—79. — 8. Кауричев И. С., Яшин И. М., Кашанский А. Д., Кашенко В. С. Опыт применения метода сорбционных лизиметров при изучении водной миграции веществ в подзолистых почвах европейского Севера. — Почвоведение, 1986, № 8, с. 29—41. — 9. Никитин Б. А. Методика определения содержания гумуса в почве. — Агрехимия, 1972, № 3, с. 123—125. — 10. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. — М.; Л.: Наука, 1965. — 11. Фатьянов А. С. О перегнойных кислотах, выделенных из природных почвенных растворов — Почвоведение, 1953, № 1, с. 17—25. — 12. Фатьянов А. С. Некоторые особенности реакций между почвами и раствором фульвокислот. — Почвоведение, 1958, № 8, с. 102—105. — 13. Фокин А. Д., Боничан Б. П. Определение коэффициентов гумификации органических веществ в почве изотопно-индикаторным методом. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 9, с. 20—22. — 14. Холодный Н. Г. О летучих органических соединениях почвы. — Докл. АН СССР, 1951, т. 80, № 3, с. 433—435. — 15. Черников В. А., Окорков В. В. Константы ионизации и молекулярные веса фульвокислот некоторых типов почв. — Сб. рефер. НИР, 1974, сер. 21, № 1, с. 11. — 16. Яшин И. М., Кашенко В. С. Миграция водорастворимых органических соединений в супесчаных глееподзолистых почвах севера европейской части СССР. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 6, с. 59—71. — 17. Яшин И. М. Элементы симметрии и асимметрии почвенного покрова таежно-лесной зоны. — Изв. ТСХА, 1988, вып. 2, с. 78—86.

Статья поступила 6 сентября 1988 г.

SUMMARY

The data on transformation of plant residues in surface podzolic forest soils of European North of the country obtained by sorption lysimeter (sorbet — activated charcoal) technique are presented. The processes of plant leaf fall transformation are estimated both in chemical aspect and by means of quantitative interpretation: certain kinetic parameters are calculated, the balance approach to the nature of substances stipulating decrease in organogenic substrate masses under decomposition is considered.