

УДК 631.417.2:631.421.3

ПРЕВРАЩЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРУПП ГУМУСОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

И. М. ЯШИН, И. С. КАУРИЧЕВ
(Кафедра почвоведения)

Представлены фактические данные по моделированию в натуральных условиях процессов сезонного превращения растительных остатков древесных пород, полученные с помощью модифицированного метода сорбционных лизиметров (сорбент — активированный уголь). Изучен масштаб поступления на поверхность почвы водорастворимых органических веществ (ВОВ) с жидкими атмосферными осадками, стекающими с вегетативных органов ели, дуба и березы в географическом аспекте.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, раскрывающий разностороннюю и уникальную роль мобильных гумусовых соединений в геохимических и почвообразовательных процессах, питании растений, индикации состояния компонентов окружающей среды [1, 3—5, 7, 10, 11, 16]. Вместе с тем остаются методически недостаточно разработанными и слабо изученными такие аспекты химии почв, как сопряженная характеристика процессов превращения растительного опада (с количественных позиций) и балансовая оценка начального этапа формирования, а также последующего превращения групп ВОВ в едином варианте натурального опыта. Отметим, что современные методики исследований позволяют решить названные задачи лишь в частном виде.

Поставленные выше вопросы мы попытались изучить с помощью модифицированного метода сорбционных лизиметров (сорбент — активированный уголь) [7].

Методика

Процессы трансформации растительных остатков изучали в серии модельных полевых экспериментов на стационарах кафедры почвоведения [8, 15]. Для этого в стеклянных фильтрах-воронках № 3 (объемом ~600 см³ и площадью поверхности 66,4 см²) последовательно располагали 40—50 г активированного угля, 2—3 слоя капроновой ткани и воздушно-сухие неизмельченные остатки растений, заключенные в капроновый мешочек. Растительные остатки были отобраны на соответствующих стационарах в I декаде июня с деревьев (свежий опад) и сразу же после таяния снега из горизонта А₀ (гумифицирующиеся листья дуба и осины в соотношении 4:1 по массе). Сверху колонки закрывали слоем капроновой ткани и закрепляли его снаружи лейкопластырем. При установке в профиль почвы сорбционные лизиметры с приемниками вод располагали на уровне залегания лесной подстилки, которую удаляли вокруг опытной площадки. В процессе превращения растительных остатков активно формировались ВОВ, которые вымывались водой, поступившей из

атмосферных осадков в сорбционные колонки, и сорбировались углем. Часть ВОВ (наиболее мобильная группа) проходила в приемник лизиметрических вод вследствие процессов сорбции и хроматографии. Опыты проводили в 2—3-кратной повторности, срок действия сорбционных лизиметров — летний и осенне-ранневесенний периоды. Детально методика полевых опытов изложена в работе [7].

ВОВ целинных подзолистых почв таежно-лесной зоны отличаются исключительно высокой миграционной активностью. Они не только постоянно циркулируют по профилю почв, но и являются характерным компонентом поверхностных, почвенно-грунтовых и природных вод.

С целью установления масштаба выноса и компонентного состава мигрирующих ВОВ в почвах подзолистого типа использовали метод сорбционных лизиметров, в которых обычно применяли 2—3 разнотипных поглотителя. Состав ВОВ природных вод исследовали в динамике путем их сорбции на активированном угле марки «карболон» (малозольный и исключительно эффектив-

ный для сорбции ВОВ из природных растворов). Пробы воды (в полевых условиях) предварительно фильтровали через воронки с беззольным бумажным фильтром и пропускали по 2—15 л воды через колонки с углем (масса 40—50 г). В лаборатории осуществляли фракционирование сорбированных групп ВОВ с угля по несколько измененной схеме Форсита [4].

Учет массы и компонентов ВОВ в составе атмосферных осадков, стекающих с крон и стволов древесной растительности, осуществляли также с помощью метода сорбционных лизиметров (сорбент — измель-

ченный активированный уголь марки «карболен»). Последние с приемниками вод устанавливали в почвенный профиль под кроной типичного дерева. Колонки с сорбентами располагали выше поверхности почвы на 3—5 см, предварительно удалив подстилку и слой грубого гумуса. Повторность закладки лизиметров 2—3-кратная. Время функционирования — I декада июня — III декада сентября 1988 г.

Углерод ВОВ определяли по методу Тюрина после предварительного выпаривания аликвота. Повторность анализов 2—4-кратная.¹

Результаты

ВОВ принадлежит характерная функциональная роль в общей цепи абиогенной и биохимической трансформации органических соединений растительной природы до специфических групп почвенного гумуса. Благодаря динамизму своего образования и состава, специфике свойств, устойчивой циркуляции в ландшафтах ВОВ выполняют важную экологическую функцию, значение которой до сих пор выяснено лишь в общих чертах [7].

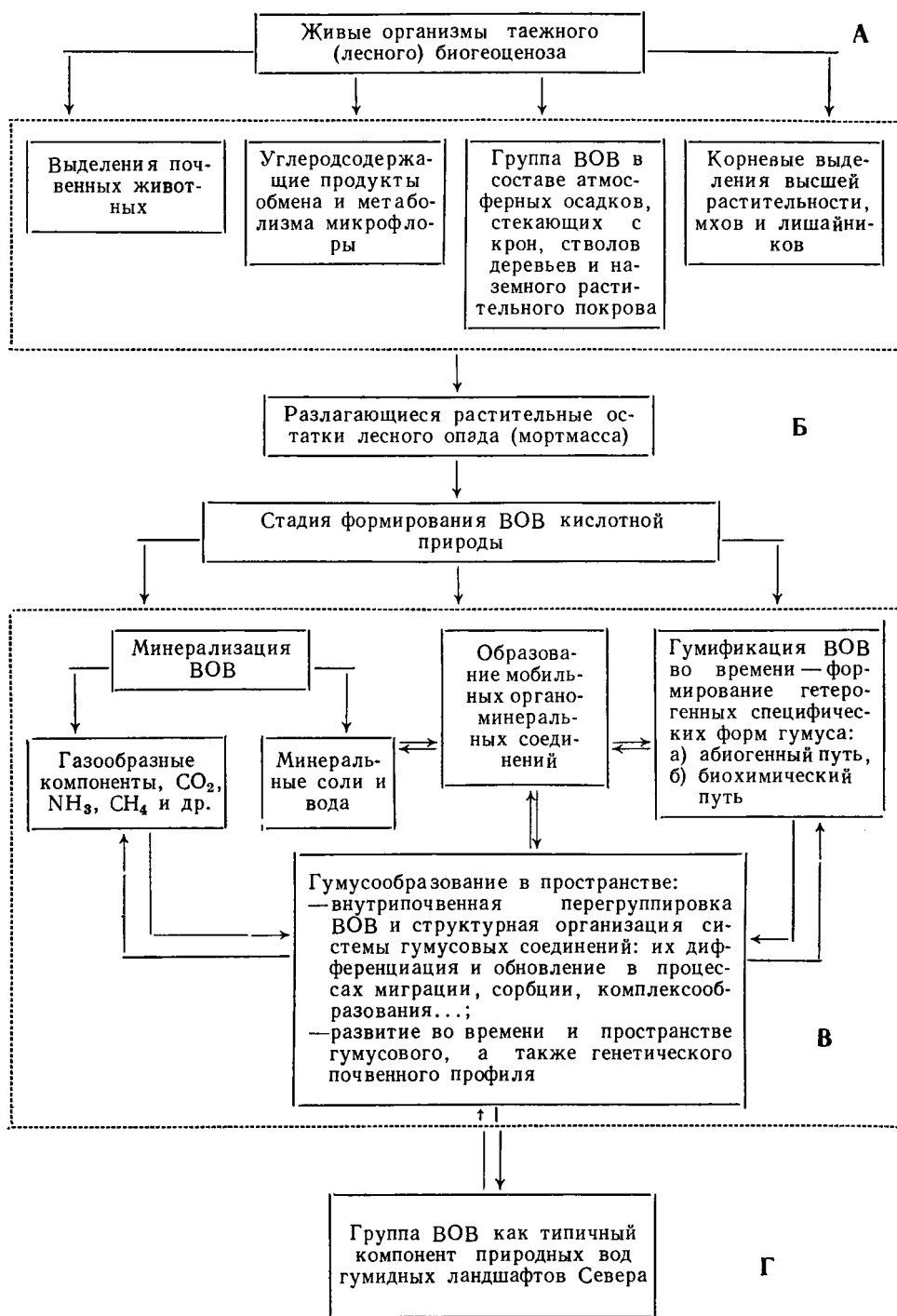
На основании собственного и литературного материала нами была разработана принципиальная блок-схема превращения растительных остатков и формирования групп ВОВ в почвах подзолистого типа таежных биоценозов европейского Севера страны (схема).

Экспериментально доказано, что на самом начальном этапе поверхностного превращения растительного опада в условиях таежно-лесной зоны происходит активная мобилизация ВОВ в растворимое состояние. Специфика данной стадии определяется, с одной стороны, общими биоклиматическими условиями местности, генезисом и спецификой использования почв, а с другой — частными особенностями: биохимическим составом опада, условиями его трансформации и т. д.

Образующиеся массы ВОВ претерпевают разнообразные по направленности и скорости превращения: глубокую минерализацию до конечных (элементарных) неорганических соединений (воды, минеральных солей и газов); формирование мобильных органо-минеральных продуктов; стадийные пространственно-временные циклы перегруппировки ВОВ биохимическим путем в летний период и абиогенным физико-химическим в холодный сезон года с постепенным образованием системы специфических высокомолекулярных гумусовых соединений почвы. Именно цикличность (обратимость) рассматриваемых процессов эволюции ВОВ и создает в целом высокую устойчивость организации почвенного гумуса. В реальных исследованиях, как правило, изучаются части циклов различной длительности. На последнем (и наиболее характерном) этапе внутрипочвенной трансформации новообразованных ВОВ своеобразную роль в их дифференциации и аккумуляции в пористой среде (породе и затем в почве) играют процессы сорбции, соосаждения и диффузии на минералах и гидроксидах. В результате формируются конкретный гумусовый профиль и система генетических почвенных горизонтов.

В рассматриваемой схеме разлагающийся органогенный субстрат (так называемая мортмасса) является характерным связующим звеном между функционирующими компонентами таежного (лесного) биоценоза и почвой. Указанные на схеме стадии превращения групп ВОВ в почвах подзолистого типа изучены в неодинаковой мере и не являются исчерпывающими. Однако предлагаемая схема дополняет современную информацию по химии почвенного гумуса.

¹ Аналитические исследования выполнены старшим лаборантом Е. И. Галушко и аспирантом С. Л. Блаженковой.



Принципиальная блок-схема формирования групп гумусовых соединений и превращение растительных остатков в почвах подзолистого типа европейского Севера СССР.

А — блок прижизненных выделений ВОВ живыми организмами; Б — блок зоны мобилизации ВОВ из опада; В — блок стадийных превращений ВОВ; Г — блок геохимической миграции ВОВ.

Минерализация растительного опада в почвах — стадийный биохимический процесс окислительного типа. Благодаря сорбции на активированном угле ВОВ из разлагающихся в лизиметре растительных остатков оказалось возможным уточнить как природу новообразованных продуктов, так и скорость процессов преобразования опада и групп

ВОВ. В принципе, без указанных прямых полевых опытов трудно было судить о механизме превращения остатков растений в тот или иной период года, опираясь лишь на сведения о конечных продуктах превращения опада растений или убыль их массы.

В таежных лесах Русской равнины вследствие неполной минерализации опада и мобилизуемых ВОВ наблюдается постепенная аккумуляция лесной подстилки различных мощности и степени разложения и, естественно, неоднородного состава (шишки, хвоя, веточки, листья, мхи, органогенный грубогумусовый материал и т. д.), а также накопление в ней различных форм гумусовых соединений. В общем виде подобная прогрессирующая аккумуляция органогенного субстрата (на конкретном годовом этапе или цикле лет) может быть представлена в виде ряда взаимосвязанных процессов — при условии постоянства их скоростей — убыли массы лесной подстилки в результате минерализации растительных остатков и формирования, с одной стороны, ВОВ и увеличения массы подстилки за счет ежегодного опада растительности того или иного биоценоза за конкретный интервал времени — с другой. В предыдущей работе [7] этот вопрос рассмотрен нами с количественных позиций.

Пространственно-временные изменения состава и запасов лесной подстилки существенным образом сказываются на направленности и темпах мобилизации, трансформации и миграции новообразованных ВОВ в таежных биоценозах с подзолистыми почвами. Динамизм и цикличность процессов гумусообразования, мобильность значительной части самого почвенного гумуса, а также групп ВОВ, участвующих в его структурной организации и обновлении, определяют основные генетические черты, а также специфику современного развития почв подзолистого типа. Высокая интенсивность и регулярная повторяемость названных выше процессов круговорота углеродсодержащих органических соединений в подзолистых почвах не позволяют однозначно рассматривать эволюцию данных почв с позиции их климакса. Напротив, лесным почвам элювиально-иллювиального ряда свойственна высокая активность обмена веществ и энергии, определяемая непрерывной и эффективной жизнедеятельностью комплекса живых организмов таежных биоценозов в условиях резкого дефицита элементов питания и ярко выраженного промывного типа водного режима.

Необходимо отметить, что, несмотря на систематическую потерю в биосфере Земли органогенного субстрата вследствие его минерализации и трансформации, здесь существует и через компоненты биогеоценозов (в том числе гумусовые соединения почв) не только поддерживается своеобразное соотношение органических и неорганических форм соединений углерода, но и происходит устойчивое воспроизводство во времени однотипных органических структур, характерные комбинации и функционирование которых и обуславливают одну из сторон развития почвенной материи. Через почвенный гумус, очевидно, осуществляется передача будущим живым организмам конкретной информации о специфике жизнедеятельности современных экосистем; в гумусе сохраняются и постепенно аккумулируются элементы питания и видоизмененная энергия Солнца, которые обеспечивают так или иначе возможность существования и взаимодействия живых форм материи. Характерно, что промежуточным звеном в системе живые организмы — почва (гумусовые соединения) выступают мобильные формы гумусовых соединений, активность которых реализуется в циркулирующей почвенной влаге.

На основании результатов исследований был рассчитан коэффициент мобилизации ВОВ из разлагающихся остатков древесной растительности по формуле

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

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

Трансформация растительных остатков в сорбционных лизиметрах
полевого модельного эксперимента в осенне-ранневесенний (числитель)
и летний (знаменатель) периоды

Вариант опыта	Средний объем воды, профильтровавшейся в лизиметры, л	Исходная масса растительных остатков, г	Убыль массы растительных остатков, г	β	$T_{1/2}$, год ⁻¹
Подзона южной тайги					
Свежие листья дуба	0,60	15,0	10,67	3,67	0,19
	0,21		9,50	6,91	0,10
Свежие листья березы	1,00	15,0	8,85	2,15	0,32
	0,62		9,70	7,32	0,09
Гумифицирующиеся листья дуба и осины из А ₀	0,45	15,0	2,70	0,33	2,10
	0,54		7,10	3,60	0,19
Свежая хвоя ели (осенне-весенний период разложения)	1,30	15,0	3,50	0,45	1,54
Хвоя ели после осенне-весеннего срока компостирования в лизиметре (летний период разложения)	0,34	15,0	2,70	0,88	0,79
Подзона средней тайги					
Няндомский стационар					
Свежая хвоя ели	1,10	23,5	2,20	0,13	5,33
	0,36	13,1	3,10	1,06	0,65
Свежие листья березы (летний период разложения)	1,00	12,0	5,0	2,45	0,28
Каргопольский стационар					
Хвоя ели и зеленые мхи из А ₀	0,80	23,0	2,50	0,16	4,33
	0,85	13,3	4,3	1,64	0,42
Свежие листья березы (летний период разложения)	0,83	12,0	4,9	2,37	0,29

A — масса углерода в исходном растительном материале, г.

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют о том, что степень сезонного поверхностного превращения свежего опада таежной древесной растительности заметно выше у лиственных пород (59—71 %) в сравнении с хвойными (9,4—23,3 %). Темп трансформации растительных остатков различен и в рассматриваемых регионах: в подзоне южной части тайги (юго-запад Подмосковья) наблюдается более высокая интенсивность процесса разложения, чем в среднетаежной подзоне, где, в свою очередь, в зависимости от типов почв также установлены разные темпы разложения опада (Каргопольский и Няндомский стационары). Однако провинциальные географические особенности оказывают меньшее влияние на данный показатель, чем зональные биоклиматические условия.

Гумифицирующийся растительный материал трансформируется наиболее медленно, по-видимому, вследствие своеобразия и устойчивости структур органических соединений, которые формируются в вегетативных органах растений в позднелетний и осенний периоды.

В различные сезоны года протекают неодинаковые как по скорости, так и по направленности процессы превращения опада. В летний период наблюдается более активная убыль массы органогенного субстрата в условиях поверхностного разложения, чем в осенне-ранневесенний (абиогенный) период. При этом количество мобилизуемых в растворимое состояние ВОВ в период вегетации оказывается значительно меньше, чем в абиогенный сезон, что обусловлено, очевидно,

Количество и компонентный состав ВОВ, мобилизованных в растворимое состояние из растительных остатков в модельном полевом опыте в осенне-ранневесенний и летний периоды 1988 г.

Вариант опыта	С, % от убыли массы растительных остатков	Идентифицированная масса ВОВ (по С), г	Количество и состав новообразованных ВОВ фракций (по С)			К _{моб} ВОВ из растительных остатков	Расчетный вынос ВОВ из А ₀ ^Т , г/м ²
			водо-ацето-новой	водо-аммиач-ной	в лизиметрических водах (прямнике)		
Осенне-ранневесенний период							
Подзона южной тайги							
Свежие листья дуба	66,0	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	$\frac{915,7}{67,7}$	$\frac{386,2}{28,6}$	$\frac{60,5}{4,4}$	0,18	190,5
Гумифицирующиеся листья дуба и осины из А ₀ ^Т	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 ^Т	60,8	0,76	$\frac{627,0}{66,1}$	$\frac{274,0}{28,9}$	$\frac{47,5}{5,0}$	0,07	107,3
Летний период							
Подзона южной тайги							
Свежие листья дуба	6,5	0,31	$\frac{353,0}{63,8}$	$\frac{124,1}{22,4}$	$\frac{76,4}{13,8}$	0,02	15,5
Свежие листья березы	5,4	0,26	$\frac{424,5}{63,8}$	$\frac{188,2}{28,3}$	$\frac{52,9}{8,0}$	0,06	57,9
Гумифицирующиеся листья дуба и осины из А ₀	3,1	0,11	$\frac{67,6}{27,1}$	$\frac{167,6}{67,1}$	$\frac{14,7}{5,9}$	0,02	19,1
Хвоя ели, бывшая в сорбционном лизиметре	17,8	0,24	$\frac{532,1}{82,9}$	$\frac{91,9}{14,3}$	$\frac{17,6}{2,7}$	0,03	30,8
Подзона средней тайги							
Няндомский стационар							
Свежая хвоя ели	5,2	0,08	$\frac{130,7}{54,8}$	$\frac{71,3}{29,9}$	$\frac{36,6}{15,3}$	0,01	11,3
Свежие листья березы	12,4	0,31	$\frac{184,2}{59,9}$	$\frac{77,2}{25,1}$	$\frac{45,9}{15,0}$	0,05	43,8
Каргопольский стационар							
Свежая хвоя ели и зеленые мхи из А ₀ ^Т	6,5	0,14	$\frac{80,2}{54,6}$	$\frac{23,8}{16,2}$	$\frac{42,8}{29,2}$	0,02	19,8
Свежие листья березы	9,4	0,23	$\frac{169,0}{60,4}$	$\frac{74,3}{26,5}$	$\frac{36,7}{13,1}$	0,04	32,5

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

Формирование и внутрипочвенное превращение групп ВОВ
в сильноподзолистой среднесуглинистой почве под 70—80-летней елью
(Подмосковье; наблюдения с июня 1987 г. по июнь 1988 г.)

Расстояние от ствола ели и глубина уста- новки лизиметров	Объем лизимет- рических вод, л	С ВОВ, мг/л			Фактический вы- нос С ВОВ, г/м ² ·год ⁻¹	Расчетный вынос* С под- стилки, г/м ² ·год ⁻¹	Условный масштаб корневых выделений и смываемых с крон ВОВ, г/м ² ·год ⁻¹
		в приемнике вод	в водо-щел- очном элю- ате с угля	в аммиачном элюате с уг- ля			
0,9 м, А ₀ —2 см	1,85	3,6	226,4	41,2	75,5	67,2	8,3
1,3 м, А ₀ —2 см	2,60	2,5	117,6	76,4	76,9	67,2	9,7
2,5 м, А ₀ —1,0 см	2,00	2,4	61,7	41,2	29,2	—	—
Среднее	2,15	2,8	135,2	52,9	60,5	—	9,0
1,4 м:							
А ₁ —7 см	1,40	1,8	152,9	182,3	71,1	—	—
А ₁ —9 см	1,30	4,5	26,5	52,3	16,3	—	—
Среднее	1,35	3,15	89,7	117,3	43,7	—	—
1,8 м:							
А ₂ —28 см	0,24	6,1	199,9	176,4	13,8	—	—
А ₂ —30 см	0,80	5,9	61,8	290,5	43,2	—	—
Среднее	0,52	6,0	130,9	233,5	28,5	—	—

* При запасе подстилки 1,4 кг/м², содержании в ней С ВОВ 0,56 кг/м² и $K_{\text{моб}} = 12\%$ ожидается формирование 67,2 г ВОВ на 1 м² в течение года.

активной минерализацией групп ВОВ, богатых энергией. Из свежего растительного материала и в теплый, и в холодный сезон года мобилизуются ВОВ, в составе которых доминируют неспецифические органические соединения. Из гумифицирующихся растительных остатков мобилизуются, в частности в летний период, преимущественно органические продукты специфической природы, вероятно фульвосоединения.

Следовательно, биохимический состав исходного растительного материала и характер опада (свежий, гумифицирующийся) заметно влияют как на специфику его трансформации, так и на качественный состав формирующихся мобильных групп почвенного гумуса.

К положительным статьям баланса ВОВ в подзолистых почвах относятся поступление в среду обитания живых организмов (почву) определенных масс органических веществ в составе жидких атмосферных осадков, стекающих с вегетативных органов древесно-кустарниковой и наземной растительности таежного биоценоза, а также продуцирование в подстилку корневых выделений. В спелых хвойных и смешанных лесах таежно-лесной зоны в период вегетации под полог леса проникает значительная масса ВОВ кислотной природы, в составе которых преобладают продукты фотосинтетической деятельности растительных организмов — индивидуальные (или неспецифические) органические соединения (табл. 3 и 4) [4, 6].

Покинув зону мобилизации (лесную подстилку), ВОВ с гравитационными потоками воды перемещаются в глубь подзолистой почвы. В результате контакта с гумусо-аккумулятивным горизонтом (мощностью 5—7 см) наблюдается радикальная перегруппировка органических компонентов в составе ВОВ; если из 2 см слоя елового опада водой выщелачиваются главным образом неспецифические органические продукты (70,8 % от $S_{\text{общ}}$ ВОВ, сорбированных углем), то на выходе горизонта А₁ в составе ВОВ уже доминируют фульвосоединения (57,3 % от $S_{\text{общ}}$ ВОВ), количество которых за пределами элювиального горизонта достигает 65 % в составе ВОВ. Таким образом, одним из возможных механизмов формирования системы фульвосоединений в гумидных ландшафтах европейского Севера является педогенный механизм абиогенной (водной) миграции групп ВОВ.

Содержание, состав и масштаб поступления в почву ВОВ с атмосферными осадками, стекающими с крон и стволов деревьев (I декада июня — III декада сентября 1988 г., лизиметры устанавливали в 1,5 м от ствола дерева)

Объект наблюдения	Профиль- ровано воды в лизиметры, л	С ВОВ*			Поступление С ВОВ в почву, г/м ²
		в прием- нике вод	в водо-аце- тоновом элюате	в амми- ачном элюате с угля	
Подзона южной тайги (учхоз «Михайловское» ТСХА)					
Лес смешанный III боните- та, крона дуба	0,66	70,6	264,5	72,3	41,4
		16,9	63,4	18,7	
Лес смешанный, крона бе- резы	0,39	76,4	57,4	35,3	9,9
		45,2	33,9	20,9	
Подзона средней тайги Няндомский стационар					
Лес хвойный (еловый) II бо- нитета, крона ели	1,00	36,7	364,0	237,6	96,1
		5,7	57,1	37,2	
Каргопольский стационар					
Лес смешанный II боните- та, крона ели	0,76	42,8	106,3	17,9	19,1
		25,6	63,7	10,7	
Подзона северной тайги (Холмогорский стационар)					
Лес хвойный (еловый) II бо- нитета, крона ели	1,00	66,1	261,6	65,4	59,2
		16,8	66,4	16,6	

* В числителе — концентрация С ВОВ, мг/л; в знаменателе — относительное со-
ержание С ВОВ по фракциям % от С_{общ} ВОВ.

Внутрипочвенная трансформация ВОВ сопровождается также образованием органо-минеральных соединений и среди них — водорастворимых компонентов. Начальное формирование комплексных соединений органических веществ с ионами металлов приурочено к этапу функционирования живого растительного организма и протекающим в нем реакциям обмена веществ. Мобильные формы органо-минеральных соединений, как известно, играют активную роль в питании растений, трансформации гумусовых соединений, в структурной организации почвенной массы [3, 5, 11, 13].

В биосфере ВОВ претерпевают разнообразные перегруппировки, что сказывается в конечном итоге на их составе и свойствах. Принципиально важными, на наш взгляд, представляются пространственно-временные стадии превращения ВОВ — гумификация, проявляющаяся в любых природных объектах — почвах, природных водах, илах, торфах и т. д., и гумусообразование — типично почвенный процесс. Первый реализуется нередко без прямого воздействия высшей растительности. Второй — типично педогенный этап биогеохимического круговорота углеродсодержащих органических соединений. Сезонные (временные) циклы преобразования ВОВ неоднозначны по направленности (природе) и скорости названных процессов (табл. 1 и 2). В теплый период, как правило, доминируют биохимические реакции перестройки ВОВ, а в умеренно холодные сезоны превалируют физико-химические взаимодействия компонентов ВОВ, допустим, с основными составляющими почвенного тела. Высшие растения приспособились к неблагоприятным условиям зимнего периода, в частности, путем накопления в тканях вегетативных органов высокомолеку-

Масштаб вертикальной нисходящей и восходящей миграции ВОВ и их состав
в почвах подзолистого типа таежно-лесной зоны
(экспозиция июнь 1986 — июнь 1987 гг.)

Горизонт, глубина закладки лизиметров, см	Объем вод, прошедших через лизиметры, л	С ВОВ в приемниках вод, мг/л	С ВОВ						Содержание С ВОВ в водо-ацетатном элюате, % от С _{обш}
			общие		Al ₂ O ₃ *		активный уголь**		
			концентрация, мг/л	вынос***, г/м ² ·год ⁻¹	в элюатах, мг/л	вынос, г/м ² ·год ⁻¹	в элюатах, мг/л	вынос, г/м ² ·год ⁻¹	

Няндомский стационар. Разрез 25, сильноподзолистая иллювиально-железистая песчаная почва на двучленных отложениях

A ₀ ^T —8 (10)	2,7	40,5	434,2	$\frac{11,2-23,8}{14,8}$	$\frac{14,4-21,0}{84,0-90,0}$	2,6	$\frac{200,2-240,6}{109,6}$	7,4	61,8
A ₂ —24 (17)	2,6	19,0	296,3	$\frac{26,7-29,5}{28,1}$	$\frac{6,0}{78,0-90,0}$	3,0	$\frac{73,2-114,0}{109,6-115,7}$	5,4	46,1
B _T —48 (55) (восходящая)	—	—	339,2	$\frac{14,2-19,1}{16,6}$	$\frac{17,6}{75,0}$	2,0	$\frac{111,8-114,9}{130,9-135,6}$	8,8	46,0

Каргопольский стационар. Разрез 30, дерново-карбонатная выщелоченная тяжелосуглинистая почва на элювии известняков

A ₀ ^T —7 (3)	2,3	Нет	440,3	$\frac{11,6-20,6}{15,4}$	$\frac{26,4}{84,0-87,0}$	3,1	$\frac{95,4-119,8}{219,2-222,3}$	6,7	39,6
A ₁ —24 (19)	2,1	17,8	439,2	$\frac{9,2-22,3}{16,6}$	$\frac{14,1}{252,0-255,0}$	6,0	$\frac{58,9}{118,8}$	3,2	47,5
B _K —27 (23) (восходящая)	—	—	254,9	$\frac{19,4-20,7}{20,0}$	$\frac{14,1}{87,0-93,0}$	2,0	$\frac{35,6-43,7}{109,6-118,8}$	10,0	25,5

Учхоз «Михайловское», лес смешанный. Разрез 6, дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая почва на покровных суглинках

A ₁ —13 (10)	2,7	4,9	249,3	$\frac{7,4-9,2}{8,3}$	$\frac{16,5-16,8}{60,0-62,4}$	3,9	$\frac{54,8-65,8}{109,6-112,7}$	4,4	35,3
A ₁ —17 (15)	2,1	6,6	399,5	$\frac{8,6-17,2}{12,9}$	$\frac{14,4}{111,0}$	3,4	$\frac{79,2}{191,8-197,9}$	9,5	28,9
A ₂ —31 (33) (восходящая)	—	—	108,9	$\frac{5,4-8,8}{7,1}$	$\frac{14,1-17,6}{90,0-96,0}$	2,5	$\frac{68,4}{119,7}$	4,6	23,4

* В числителе десорбция 1 н. H₂SO₄; в знаменателе—1 н. NaOH.

** В числителе десорбция 90 % водным ацетоном; в знаменателе—1 н. NaOH.

*** В числителе варьирование признака; в знаменателе—среднее его значение.

лярных структур в период вегетации, устойчивость их обеспечивается также и благодаря созданию в почве своеобразного и многоцелевого субстрата — системы гумусовых соединений. Именно комплекс живых организмов конкретных биоценозов поддерживает необходимую степень активности самого почвенного гумуса и циркулируемых в почвах групп ВОВ. Подобное явление в биоценозах на подзолистых почвах обусловлено очень активной биологической деятельностью различных групп живых организмов. Не исключено, что для возобновления активной жизнедеятельности после длительного зимнего периода, например, лиственной древесной растительности необходимы ВОВ, которые ранней весной поглощаются из почвы с водой, ускоряя тем самым начало фотосинтеза и последующее формирование листового аппарата.

На основании результатов исследований можно рассчитать вероятностные размеры мобилизации ВОВ из спада лесных подстилок за конкретный интервал времени (например, умеренно-холодный период года). Так, в спелых ельниках средней тайги Архангельской области

запасы подстилки в среднем составляют 4,5 кг/м²; 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 указанный период следует учесть и опад растительности, который здесь достигает 0,50 кг/м². Из этой массы органогенного субстрата (при $K_{\text{моб}} 7\%$) может быть дополнительно мобилизована часть ВОВ, равная 17,5 г углерода на 1 м². Сюда следует прибавить долю ВОВ в составе атмосферных осадков, стекающих с крон и стволов деревьев. В итоге получается 268,6 г углерода ВОВ на 1 м² (без массы корневых выделений). Причем эти ВОВ в лесной подстилке остаются сравнительно недолго. Фактические данные по миграции ВОВ из горизонта A_0^T , полученные с помощью метода сорбционных лизиметров (табл. 5), оказываются заметно меньше расчетных, что, на наш взгляд, связано как с минерализацией части ВОВ (взаимодействием и сорбцией гумусовыми соединениями почвы) [6], так и с их выносом различными путями из зоны образования при частичном вовлечении в биологический круговорот.

Следовательно, в гумидных ландшафтах европейского Севера ВОВ, вероятно, можно рассматривать как своеобразный биогенный индикатор, с помощью которого могут быть уточнены определенные функциональные связи между группами живых организмов таежного биоценоза.

В этой связи мы попытались изучить некоторые потоки ВОВ в пределах отдельного модельного дерева, а также рассмотреть особенности внутрипочвенного превращения ВОВ при их водной миграции. Благодаря использованию в сорбционных лизиметрах высокоактивного (по отношению к ВОВ природных растворов) и малозольного животного угля появилась возможность более полного учета значительных масс ВОВ, продуцируемых в подстилку корневой системы ели, смываемых водой с ее вегетативных органов, а также мобилизуемых в раствор из разлагающегося елового опада. Результаты исследований показали, что фактический вынос ВОВ из подстилки, локализованной под кроной ели, выше расчетных данных по мобилизации ВОВ из конкретного ее запаса на момент наблюдений. Исходя из этого в первом приближении был рассчитан условный суммарный масштаб поступления в подстилку ВОВ из корневых выделений, а также в составе вод атмосферных осадков, стекающих с кроны и ствола ели. Он оказался равным 9 г углерода ВОВ на 1 м² в год.

Вертикальный нисходящий вынос ВОВ в подзолистых почвах средней тайги значительно больше, чем в дерново-подзолистых почвах, занятых смешанными лесами в Подмосковье (табл. 5). При миграции ВОВ по профилю изучаемых почв происходит не только перераспределение веществ между жидкой и твердой фазами, но и изменение компонентного состава: с глубиной среди групп ВОВ заметно увеличивается доля фульвосоединений. Данный факт является косвенным подтверждением происходящего миграционного обновления гумуса. Мобильные гумусовые соединения в лесах Подмосковья участвуют в формировании гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистых почв, а также в элювиально-иллювиальном перераспределении продуктов почвообразования.

Характерно, что обратный гравитационному восходящий капиллярно-диффузионный поток ВОВ в рассматриваемых почвах достигает заметных размеров: он сопоставим по масштабу с их выносом. При этом в составе ВОВ также в основном преобладают фульвосоединения. По-видимому, сезонный восходящий поток ВОВ в подзолистых почвах, осуществляющийся за счет гидротермического градиента, является своеобразным физическим механизмом, благоприятно влияющим на гумусовое состояние целинных (лесных) почв.

Особенности мобилизации и интенсивность потоков миграции ВОВ определяют содержание и состав органических соединений при-

Содержание и состав ВОВ природных вод таежно-лесной зоны европейского Севера

Место отбора и типы природных вод	Цвет воды	Совщ ВОВ в исходном растворе, мг/л		Сухой остаток, г/л		Состав ВОВ природных вод, % от общ		Соотношение масс специфических и неспецифических групп ВОВ
		Совщ ВОВ в исходном растворе, мг/л	Сухой остаток, г/л	Неспецифические в-ва	Соединения специфической природы			
Северная тайга. Архангельская обл., Приморский район								
Дельта р. Сев. Двины у о. Пустошь:								
отлив	Желто-бурая, прозрачная	16,5	0,234	37,6	62,4	1,66		
		42,8	0,208	33,4	66,6	2,00		
прилив	Бурая, со взвесью	12,7	0,372	38,1	61,9	1,62		
		36,7	0,319	44,0	56,0	1,27		
Средняя тайга								
Каргопольский район, совхоз «Каргопольский»								
Озеро Лача, у истока р. Онеги	Светло-желтая	30,8	0,092	42,2	54,1	1,28		
Няндомский район, колхоз «Восход»								
Озеро Боровое, у д. Андреевское Р. Нименьга, у пос. Конда	Бесцветная	7,7	0,047	37,7	60,3	1,60		
	Слабо-желтоватая	34,0	0,100	39,7	46,8	1,18		
		14,9	0,081	11,3	67,8	6,00		
Грунтовые воды торфяников, мелиоративный массив Егрома	Желто-бурая	21,0	0,424	72,7	19,3	0,27		
Южная тайга, учхоз «Михайловское» ТСХА								
Грунтовые воды подзолистой почвы в смешанном лесу (отбор воды 15/V 1987)	Светло-желтая	22,3	0,031	25,4	59,1	2,33		

Примечание. В числителе — I — III декады июня 1987 г.; в знаменателе — III декада августа и II декада сентября 1987 и 1988 гг.

родных вод Русской равнины: поверхностных, грунтовых рек, ручьев, а также вод замкнутых бассейнов — озер, морей. Так, грунтовые воды дерново-подзолистых почв южной тайги (ранневесеннего отбора) обогащены фульвосоединениями, а грунтовые воды осваиваемых торфяников юга Архангельской области — преимущественно неспецифическими органическими компонентами. Природные воды рек и озер таежно-лесной зоны отличаются ярко выраженным фульватным составом и присутствием некоторого количества сопутствующих индивидуальных органических соединений (табл. 6). Воды малых рек болотного типа питания (р. Нименьга) отличаются высокой динамикой состава ВОВ: в начале июня среди компонентов ВОВ было идентифицировано примерно равное количество специфических и неспецифических органических продуктов, а в конце августа заметно преобладали соединения фульвокислотной природы.

Воды р. Северной Двины в зоне аллювиальной части островной дельты [8] характеризовались фульватным составом ВОВ и присутствием заметных количеств неспецифических органических веществ, что, очевидно, связано с влиянием морских солей на специфические формы гумуса во время приливов.

Выводы

1. Установлена сезонная трансформация растительных остатков в таежно-лесной зоне: в летний период наблюдается образование и преимущественно минерализация ВОВ до конечных продуктов (воды, газов и минеральных солей), а в осенне-ранневесенний — более интенсивное накопление ВОВ.

2. Наиболее интенсивно процессы превращения растительного опада (лиственного и елового) протекают в южной тайге в сравнении со среднетаежной подзоной.

3. Вертикальная нисходящая миграция ВОВ в профилях почв подзолистого типа сопровождается существенным изменением их состава, в результате чего в элювиальных и элювиально-иллювиальных почвенных горизонтах и почвенных лизиметрических водах доминируют фульвосоединения.

4. Вертикальная восходящая миграция ВОВ в почвах подзолистого типа достигает значительных размеров и в определенной мере компенсирует потери ВОВ в результате элювиального выноса.

5. Наибольшее поступление ВОВ в почву с атмосферными осадками, стекающими с крон деревьев, отмечено в подзонах средней и северной тайги, а в составе ВОВ, как правило, преобладают неспецифические органические соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришина Л. А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. — М.: Изд-во МГУ, 1986. — 2. Иванов В. П. Растительные выделения и их значение в жизни фитоценозов. — М.: Изд-во АН СССР, 1973. — 3. Карпунин А. И. Комплексные соединения органических веществ почв с ионами металлов. — Автореф. докт. дис. — М.: МГУ, 1986. — 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., Ганжара Н. Ф. Скорость и направленность процессов превращения органических веществ в дерново-подзолистых почвах. — Докл. ТСХА, 1971, вып. 162, с. 5—9. — 6. Кауричев И. С., Яшин И. М. Теоретическое обоснование метода лизиметрических хроматографических колонок. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 4, с. 89—98. — 7. Кауричев И. С., Яшин И. М. Образование водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 1, с. 47—57. — 8. Кашенко В. С., Яшин И. М., Бенидовский А. А. и др. Засоленные почвы дельты Северной Двины. — Изв. ТСХА, 1981, вып. 1, с. 85—92. — 9. Орлов Д. С., Савина О. М., Аммосова Я. М. и др. Изучение некоторых закономерностей сорбции и миграции веществ индивидуальной природы с помощью метода радиоактивных индикаторов. — Науч. докл. высш. школы. Биол. науки, 1987, № 6, с. 104—109. — 10. Пономарева В. В. Биогеохимическое значение леса. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1966, № 5, с. 30—39. — 11. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). — Л.: Наука, 1980. — 12. Соколов Д. Ф. О влиянии увлажнения почв на интенсивность выделения CO_2 при разложении лесного опада. — ДАН СССР, 1954, т. 95, № 6, с. 1317—1320. — 13. Фокин А. Д., Карпунин А. И. Включение продуктов разложения растительных остатков (меченных ^{14}C) в гумусовые вещества. — Почвоведение, 1974, № 11, с. 72—78. — 14. Черников В. А. Оценка гумусового состояния почв с термодинамических и кинетических позиций. — Изв. ТСХА, 1988, вып. 5, с. 49—58. — 15. Яшин И. М., Кашенко В. С., Платонов И. Г. и др. — К характеристике почвенного покрова Архангельской области. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 1, с. 101—109. — 16. Kleinhempel D. Theoretical aspects on the persistence of organic matter in soils. — Symp. Biol. Hung., II. Budapest, 1972, p. 209—213.

Статья поступила 10 марта 1989 г.

SUMMARY

Real material obtained by modified sorption lysimetry technique on transformation of woody residues and formation of groups of humus compounds in the surface layers of soils of the USSR European north areas is presented. Active formation of water soluble organic matter (WOM) has been determined at the initial stage of residue transformation. Later on deep mineralization of WOM into the final products (water, gases and mineral salts), interaction with minerals and soil humus, removal from the sphere of formation with gravitational water flows, radical changes in their composition, and ingress into natural waters with participation in geochemical processes of metal migration are observed.

An attempt is made to give quantitative characteristic of residue transformation based on balance calculation of weight losses in decomposing organogenic substrate and of formation of WOM groups in a common variant of model experiment.