

УДК 631.472.56:581.524.1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ

И.М. ЯШИН, И.С. КАУРИЧЕВ, В.А. ЧЕРНИКОВ

(Кафедры экологии и почвоведения)

Охарактеризованы экологические аспекты гумусообразования, касающиеся качественных и количественных особенностей сопряженных и динамических процессов формирования, трансформации и миграции водорастворимых органических веществ в подзолистых почвах таежных экосистем.

Отмечено, что в условиях таежных экосистем (подзоны южной и средней тайги) трансформация растительного опада на поверхности подзолистой почвы сопровождается активной мобилизацией в раствор водорастворимых органических веществ (ВОВ) с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами. Новообразованные продукты отличаются низкими молекулярными массами ($MM \leq 1000$), не насыщены ионами металлов, имеют высокую миграционную способность и слабо закрепляются (сорбируются) почвой. Гуминоподобные компоненты с высокими молекулярными массами в подзолистых почвах таежных экосистем не формируются. Это обусловлено своеобразием функционирования групп животных организмов и спецификой биогеохимического круговорота веществ, включающего и особенности почвенных процессов.

В познании гумусовых соединений (ГС) почв различных экосистем и ландшафтов Земли достигнуты заметные успехи. Особенно полно изучены их химические особенности: фракционный и групповой состав, структура, физико-химичес-

кие, коллоидные и другие свойства [1, 3, 4, 10, 12, 14, 19, 22]. Значительно меньше внимания уделялось процессам формирования и трансформации ГС с экологических позиций, что, очевидно, было связано с методическими трудностями. В

современный период возможности у исследователей существенно возросли, поэтому центр тяжести изысканий следует переместить из лабораторий в натурные условия, что позволит полнее понять, в частности, процесс гумусообразования, реализующийся в конкретных почвах и экосистемах.

В этой связи уместно обозначить основные различия, характерные для лабораторных и натуральных экспериментов. В лабораторных условиях реакции, как правило, проводятся в статике. В почвах экосистем наблюдается постоянный приток в сферу реакций не только энергии, но и веществ (например, в виде ВОВ). При этом продукты реакций в той или иной мере удаляются при инфильтрации атмосферных осадков в почву.

В лабораторных опытах (за исключением специальных наблюдений) не учитывается наличие в водных растворах лигандов, тонкодисперсных частиц, компонентов ВОВ и др., присутствие которых в экосистемах с гумидным климатом является весьма типичной особенностью. Коллоидные системы, как известно, обуславливают сорбционные параметры почв, а органические лиганды существенно активизируют процессы растворения, гидролиза, трансформации и внутрипочвенной миграции веществ. Наконец, в нативных экосистемах исключительно велика роль почвенной биоты (например, грибов-кислотообразователей), воспроизвести которую даже в специальных опытах не всегда удается. В лабораторных и натуральных опытах изучаются разные уровни организации химических соединений, по-разному реализованные в

пространстве и времени. Причем в почвах экосистем индивидуальные органические вещества (аминокислоты и др.) в той или иной мере поглощаются ГС и оказываются относительно мало доступными для утилизации. Эти и иные особенности проведения опытов необходимо учитывать при решении конкретных почвенно-экологических проблем, потому что результаты лабораторных и натуральных изысканий оказываются не всегда адекватными.

Совокупность явлений, охватывающих трансформационный пул веществ в экосистемах тайги, неразрывно связана с круговоротом органических продуктов — их фотосинтезом и последующими процессами утилизации и трансформации опада. Особое место здесь принадлежит формированию и абиогенной миграции водорастворимых органических веществ (ВОВ) как своеобразным и типичным звеньям в цепи превращений органических компонентов растительных остатков в новые своеобразные формы соединений, адекватно отражающие взаимосвязь и взаимовлияние групп живых организмов таежных экосистем со средой — почвами [5—7, 23, 29].

У истоков этого научного направления были В.Р. Вильямс в Тимирязевской академии и С.П. Кравков в Петербургском университете [1, 14, 19]. В.Р. Вильямс, в частности, обращал внимание на необходимость натурального изучения как водорастворимых органических соединений, так и гумусовых веществ вообще, отражающих, с одной стороны, специфику жизнедеятельности таежной растительности (их выделительную и поглотительную функции), а с другой — характер внутрипочвен-

ной (абиогенной) миграции веществ.

Гетерогенный молекулярно-массовый состав и наличие различных классов органических соединений в биогеохимическом цикле круговорота углерода (живые организмы — растительные остатки — почва — геохимический ландшафт) предопределяют системный подход при изучении функций гумусовых соединений и особенно ВОВ в многообразных и взаимосвязанных процессах, к которым относятся: гумификация и гумусообразование, минерализация, консервация опада в виде органогенных генетических горизонтов (A_0^r , T , $A_d^r...$) и, наконец, мобилизация ВОВ в раствор [1, 3, 5, 12, 20, 27]. При разработке последнего из указанных процессов целесообразно охарактеризовать следующие его аспекты: условия и масштабы формирования, состав и свойства новообразованных ВОВ, специфику их трансформации и абиогенную миграцию¹. Так или иначе отмеченные микро- и мезопроцессы определяют своеобразие такого макропроцесса, как *гумусообразование* в подзолистых почвах таежных экосистем. Известно, что этот и другие процессы почвообразования играют уникальную роль в биосфере Земли, поскольку они обуславливают не только наиболее радикальные и масштабные превращения химических соединений, но и отражают ха-

рактер взаимосвязи биоты со средой в различных ландшафтно-географических зонах.

Однако накопленная информация о ГС весьма разноречива. Ее отличительными чертами являются, во-первых, доминирование химического подхода к диагностике ГС, а во-вторых, попытки интерпретирования вышеуказанных процессов формирования и трансформации групп ГС на основе данных статичного изучения почвенных образцов, а также результатов модельных лабораторных опытов. Поэтому существующие теоретические концепции гумусообразования за редким исключением (например, [8, 21]) неадекватны реальным природным процессам функционирования почв и экосистем, поскольку затрагивают главным образом вопросы диагностики структурного состава и свойств ГС почв с помощью инструментальных методов анализа.

Поэтому целесообразно выделить следующие научные направления при рассмотрении проблемы гумусообразования²: химическое (и биохимическое), экологическое и, наконец, эколого-химическое (комплексное). Последнее охватывает как функциональный, так и структурный аспекты проблемы и является наиболее продуктивным. Оно базируется на сочетании методов и приемов натурального (стационарного) исследования ГС с выполнением модельных лабораторных экспериментов [6, 21, 23]. Использование нами эколого-химического подхода позволило установить ряд новых закономерностей, касающихся, с одной стороны, идентификации в натурной обстановке процессов трансформации растительных остатков

¹ Термин «абиогенная миграция» используется для оценки потока веществ, связанных с их перераспределением в почве в виде разноориентированных перемещений гравитационной влаги. При этом нами рассматриваются в основном ионно-молекулярные формы ВОВ.

и формирования групп ГС (в том числе и ВОВ), а с другой — диагностики экологических функций ВОВ в почвах таежных экосистем. Показана, например, своеобразная и уникальная роль ВОВ в химических и физико-химических реакциях трансформации коллоидов почвы, во влиянии на культурные растения и в гумусообразовании. Последняя особенность генезиса ВОВ, как известно, была предметом дискуссии еще во времена В.В. Докучаева, выразившейся в различии мнений по вопросу участия ВОВ в формировании гумусового горизонта и профилей черноземов [10].

Имеющиеся фактические данные позволяют заключить, что для лесных (особенно таежных) фитоценозов роль компонентов ВОВ в гумусообразовании является определяющей. При этом растительный опад и лесная подстилка служат главным источником мобильных органических

² Понятия «гумификация» и «гумусообразование» используются нами в соответствии с [1, 4, 5, 12, 14, 22 и 23]. *Гумификация* — это *мезопроцесс*, включающий многообразные реакции трансформации органических веществ растительных остатков в новые формы и состояния химических элементов и протекающий не только в почвах, но и в иных компонентах ландшафтов (донных осадках рек, илах озер и др.). *Гумусообразование* — это *почвенный макропроцесс* формирования, трансформации и миграции как специфических гумусовых соединений (в том числе и ВОВ), так и их производных с типоморфными (и иными) ионами металлов. В пространстве — времени гумусообразование находит отражение в виде органофилия, а также и в циклах миграции продуктов почвообразования и техногенеза.

ких веществ с ярко выраженными кислотными и комплексобразующими свойствами, которые не компенсируются в последующих сорбционно-десорбционных взаимодействиях и осадкообразовании из-за острого дефицита в подзолистых почвах и породах обменного кальция.

В то же время меньше изучено значение ВОВ в экологии почв агроландшафтов. На наш взгляд, экологический подход к проблеме гумусообразования помогает не только обосновать гумусовый баланс почв агроландшафтов, уточнить генетические особенности почв, но и познать поведение продуктов техногенеза, в частности различных токсикантов, в экосистемах (рассчитать их нормативную базу, критерии выделения ПДК и т.д.).

В настоящей статье анализируются и обобщаются фактические данные, полученные в многолетних стационарных опытах по изучению роли ВОВ в процессах гумусообразования применительно к подзолистым почвам подзон средней и южной тайги европейского Севера.

Методика

Натурные опыты проводили в подзоне южной тайги на стационарах кафедр экологии и почвоведения Тимирязевской академии, заложенных в учхозе «Михайловское» (юго-запад Подмосковья) в ельнике разнотравном, где распространены подзолистые среднесуглинистые почвы. В Архангельской области полевые наблюдения осуществляли на Вилегодском стационаре (на пашне и в лесу), где развиты глубокоподзолистые легкосуглинистые почвы, сфор-

мированные на покровных бескарбонатных сулгинках [23].

Для выявления количественных закономерностей трансформации растительных остатков и формирования групп ВОВ использовали тотально меченные по углероду органические вещества [6, 21, 23, 29]. Подобный растительный материал был получен на кафедре применения изотопов и радиации в сельском хозяйстве Тимирязевской академии. Одновременно добывались достаточно высокой удельной активности (порядка единиц микрокюри на 1 г углерода опада³) меченных радиоактивным изотопом ¹⁴C органических веществ растительной массы ячменя (*Hordeum distichon*).

После проведения ряда полевых опытов мы пришли к заключению, что качественный состав новообразованных продуктов (органических, органо-минеральных и др.) целесообразно изучать с помощью метода сорбционных лизиметров [5, 23], совместив его с изотопно-индикаторным методом [29]. В этом случае образующиеся массы ВОВ (и иных соединений) из растительного субстрата, локализованного в колонках над целевым сорбентом (активированным углем или Al_2O_3 , разделенных слоем очищенного кварцевого песка), мигрируют с гравитационной влагой, поглощая сорбентом. Часть компонентов ВОВ поступает в приемник лизиметрических вод колонок, не задерживаясь

сорбентом вследствие слабой сорбируемости (конкурентная сорбция — 16). При подобном подходе удается избежать известных методических трудностей, когда меченные изотопом ¹⁴C растительные остатки вносятся непосредственно в конкретный генетический горизонт почвы, а новообразованные компоненты ВОВ и нативные гумусовые соединения затем в лаборатории извлекаются из почвы водными растворами щелочей и кислот. Напомним, что мелкодисперсные сорбенты, в частности Al_2O_3 , в колонках самопроизвольно уплотняются, поэтому фильтрационную способность Al_2O_3 заранее регулировали путем добавления очищенного от ВОВ и Fe кварцевого песка. Каждую порцию сорбента (100—125 г) и песка (20—25 г) предварительно смешивали в фарфоровой чашке и в виде густой кашицы быстро вносили в сорбционную колонку, слегка встряхивая ее рукой для получения ровной горизонтальной поверхности слоя сорбента и лучшей упаковки его частиц. Таким образом добывались примерно равных скоростей фильтрации растворов в сорбционном лизиметре и почве, что особенно важно для аналогов, имеющих легкий гранулометрический состав. Эффективное функционирование сорбционных лизиметров обеспечивается благодаря вертикальному расположению колонок в почве и плотному контакту их рабочей поверхности с выровненным «потолком» ниш, под генетическими горизонтами, куда они полностью замуровывались. Почва вокруг сорбционных лизиметров, а также во всей траншее равномерно уплотнялась. Разрез маскировался, а в дневнике

³ Авторы выражают признательность за творческое сотрудничество и помощь профессорам А.Д. Фокину, А.И. Карпухину, доценту А.С. Пельцер, старшим научным сотрудникам И.Г. Платонову и Е.И. Шестакову.

указывались привязка и схема расположения колонок. Отдельные колонки устанавливали в зоне магистральных трещин горизонтов A_2 и A_2B , поскольку последние являются своеобразными внутрипрофильными «артериями», по которым в основном и происходит перенос продуктов почвообразования из верхних генетических горизонтов в глубь почвы (нередко и в грунтовые воды).!

Миграцию ВОВ изучали в сопряженных элементарных почвенных ареалах (ЭПА) стационаров. Предварительно были исследованы физико-химические свойства, состав гумуса, проведено также детальное картографирование почв стационаров.

Активность изотопа ^{14}C в элюатах с активированного угля (водно-ацетоновом и аммиачном) определяли жидкостно-сцинтилляционным методом на бета-спектрометре «Rack-beta» (модель 1219 фирмы «LKB» Wallac, Финляндия). Ошибка измерений 3—5% при доверительном интервале 99%. Степень радиоактивности твердых проб (растительности, сорбентов, кварцевого песка) измеряли на приборе ПП-8 («Волна») в гелевых сцинтилляторах ЖС-13 н. с газоразрядным счетчиком Т-25-БФЛ.

Сорбционные лизиметры (объемом 600 см^3 и площадью рабочей поверхности 66 см^2) по периметру опоясывали двумя параллельными слоями лейкопластыря как для маркировки колонок, так и для защиты корпуса от разрушения. Сорбционные лизиметры с растительной массой (меченной изотопом ^{14}C) располагали в профиле подзолистой почвы на глубине 2—3 см. Контролем

служили аналогичные лизиметры (с одинаковой массой активированного угля) без опада. Установленные на той же глубине. Активность исходного субстрата составляла 277 тыс. имп-мин $^{-1}$ на 10 мг массы. При этом изучали специфику трансформации растительных остатков массой 10, 20, 30 и 40 мг, которые располагали между двумя микропористыми капроновыми фильтрами диаметром 25 мм [29].

В другой серии опытов тотально меченую ^{14}C массу ячменя (*Hordeum distichon*) тщательно перемешивали с почвой, взятой в объеме 9 см^3 , и вносили на стационарные площадки Вилегодского стационара под лесную подстилку на глубину 3 см, а в пахотных почвах — на глубину 10—13 см в 2-кратной повторности. Активность исходного растительного материала составляла 69707 имп/мин на 10 мг субстрата. В течение 4-летнего цикла изучали скорость трансформации растительных остатков (по ^{14}C), с помощью координатного метода определяли пространственно-временное перераспределение ^{14}C в составе ВОВ: вертикальную нисходящую миграцию в почве, поступление в растения, сорбцию компонентами почвы, включение во фракции ГС и др.

Через заданные интервалы времени из мест внесения меченых растительных остатков послойно (через 1, 4 и 8 см) отбирали образцы почвы ($5 \times 1 \times 1\text{ см}$) до глубины 1 м. Из них тщательно удаляли неразложившийся органогенный материал и корни растений. После чего из средней микропробы извлекали фракции ГС водными растворами 0,1 н. H_2SO_4 и 0,1 н. $Na_4P_2O_7$ (4-кратная десорбция).

Результаты

Накопленная информация позволяет констатировать, что темп и характер трансформации растительных остатков, локализованных на поверхности подзолистых почв, заметно различаются по сезонам года, достигая максимума в мобилизации ВОВ в осенне-ранневесенний период в почвах как южной ($K_{\text{моб}} 0,12—0,18$), так и средней тайги ($K_{\text{моб}} 0,07—0,21$). В летний период значения $K_{\text{моб}}$ ⁴ варьировали от 0,01—0,05 для почв среднетаежного региона до 0,02—0,06 для почв южной тайги. При этом из свежего опада, например хвои ели, в раствор продуцировалось (в указанных регионах) 110 и 130 г углерода ВОВ на 1 м² в год, а из гумифицированных остатков растений — примерно в 4 раза меньше. В период вегетации растений наблюдается более активное формирование специфических групп ВОВ, особенно из растительного опада, уже подвергнувшегося гумификации [23—29].

Использование методов сорбционных лизиметров и радиоактивных индикаторов позволило установить количественные закономерности трансформации неразложившихся растительных остатков (меченных ¹⁴C), а также определить состав и молекулярные массы новообразованных ВОВ в почвах подзоны южной тайги. Отмечено, что в осенне-ранневесенний период убыль массы субстрата достигает 56—63%. При этом в составе ВОВ диагностирова-

ны преимущественно индивидуальные органические компоненты (57—80%) $C_{\text{общ}}$ ВОВ с низкими значениями молекулярных масс (ММ меньше 1000): в группе индивидуальных веществ их доля по углероду — 58%, в группе ФК — 85%. Рассматриваемые группы ВОВ генетически взаимосвязаны, а ФК формируются уже на начальном этапе трансформации опада растительности на поверхности подзолистых почв (табл. 1 и 2). Примечательно, что с увеличением исходной негумифицированной массы растительных остатков, локализованных в сорбционных лизиметрах (с 10 до 40 мг), закономерно возрастает и доля специфических компонентов (ФК) в составе новообразованных ВОВ: с 24 до 43% $C_{\text{общ}}$ ВОВ. Очевидно, имеет место так называемый масштабный эффект, заключающийся в том, что после преодоления порога известной массы ВОВ в растворе начинается активное формирование («сборка») молекулярных структур качественно новых соединений, в частности ФК. По всей видимости, подобный порог не преодолевается в химических реакциях подзолистых почв при образовании сложных структур типа гуминовых кислот (ГК). Иначе говоря, в почвах таежных экосистем для «сборки» молекул ГК явно не хватает подходящего сырья (компоненты ВОВ своеобразны по химическому составу, слабо закрепляются минералами и легко элюируются водой), да и сырье это оказывается несоответствующего качества: для ВОВ характерно низкое содержание N и Ca²⁺, избыток протонов, доминирование органических веществ с кислотными функциями и др. Среди

⁴ $K_{\text{моб}}$ — безразмерная величина, отражающая соотношение масс углерода ВОВ (жидкая фаза) и в исходном органогенном субстрате (г) (твердая фаза).

последних в индивидуальной группе ВОВ (переходящих при десорбции с активированного угля в водно-ацетоновый элюат), выделенных из горизонта A_0^+ , преобладают полифенольные компоненты, количество которых по углероду варьирует от 20 до 34% $C_{\text{общ}}$ данной группы ВОВ в свежем и от 12 до 24% — в гуми-

фицированном субстрате, а также уроновые и низкомолекулярные органические кислоты. Их относительное содержание в водных вытяжках колеблется соответственно от 16 до 30% и от 8 до 16% из свежего опада, а из гумифицированного — от 8 до 20% и от 2 до 10% от $C_{\text{общ}}$ данной группы ВОВ.

Т а б л и ц а 1

Распределение ^{14}C по фракциям новообразованных групп ВОВ при трансформации листьев ячменя (тотально меченных ^{14}C) в сорбционных лизиметрах (учхоз «Михайловское», 11.10.91—2.6.92)

Исходная масса растительных остатков, мг	Активность групп ВОВ по ^{14}C в элюатах с акт. угля, % к суммарной активности		Суммарная активность ВОВ* /%	Суммарная активность жидких новообразованных продуктов, % к исх. активности ^{14}C
	в водно-ацетоновом	в аммиачном		
10,0	75,8±0,4	24,2±1,2	5030/100	1,8±0,1
20,0	80,0±2,4	20,0±1,0	19558/100	3,5±0,2
30,0	65,7±2,0	34,3±1,0	27352/100	3,3±0,2
40,0	57,0±1,7	43,0±1,3	35150/100	3,2±0,3

* Активность материала, распад/мин.

Состав ВОВ отражает ритмы развития микробов-кислотообразователей (их сукцессии), влияющие на мобилизацию и изменение состояний химических элементов в растворах [3, 10, 15, 18].

В первом приближении были диагностированы масштаб поступления ВОВ и их компонентный состав в атмосферных осадках, стекающих с вегетативных органов вечнозеленой таежной растительности (табл. 3). Оказалось, что среди ВОВ заметно доминируют индивидуальные органические соединения с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами (таннины, низкомолекулярные органические

кислоты и уроновые кислоты), имеющие низкие значения молекулярных масс.

При этом в минеральные горизонты подзолистых почв ВОВ поступают в основном за счет абиогенной миграции, поскольку преобладающая масса корней, опада хвойной и мохово-кустарничковой растительности и биота сосредоточиваются на поверхности почвы. В биологический круговорот вовлекаются химические элементы самых верхних горизонтов подзолистых почв (A_0^+ , A_0A_1 , A_1A_2 и A_2), а превращение веществ в слоях A_2B , В и С происходит в основном под влиянием ВОВ, поступающих с гравитационной вла-

Молекулярно-массовое распределение ^{14}C по фракциям ВОВ*, выделенных при систематизированной гель-хроматографии (учхоз «Михайловское»)

№ фракции	V_e , мл	K_d	ММ	С во фракциях, %
<i>Индивидуальная группа ВОВ</i>				
<i>На геле сефадекс G-10</i>				
1	22	0,0	> 700	41,2±3,3
2	29	0,35	410	29,4±2,7
3	41	0,66	260	29,4±2,8
<i>На геле сефадекс G-50</i>				
4	20	0,06	8440	5,9±0,2
5	44	0,79	1060	35,3±2,8
<i>Специфическая группа ВОВ (ФК)</i>				
<i>На геле сефадекс G-10</i>				
1	22	0,0	> 700	44,1±4,0
2	32	0,50	320	25,7±3,5
3	36	0,70	240	30,2±3,7
<i>На геле сефадекс G-50</i>				
4	20	0,06	8440	15,3±1,4
5	46	0,85	910	28,8±2,4

* Средние значения по вариантам опыта (табл. 1).

гой. Следовательно, главная особенность абиотических потоков ВОВ — это осуществление пространственной взаимосвязи зон их формирования (A_0^+ , A_0^- , A_1) с зонами последующей миграции и трансформации. Другой характерной чертой данного процесса является трансформация групп ВОВ в направлении образования фульвосоединений, не насыщенных ионами металлов. В основе механизма нативного формирования ФК, на наш взгляд, лежат сорбционно-каталитические реакции и комплексообразование [5, 8, 23].

В известной мере генетические особенности ФК сопряжены с их молекулярно-массовым составом

(ММ), кислотными и комплексообразующими свойствами [1, 6, 8, 20, 21, 29]. Установлено, что значения ММ водных растворов ФК, выделенных препаративно из подзолистой почвы стационара «Михайловское» по методу W. Forsyth (1947), зависят как от степени очистки ФК, так и от значений pH (табл. 4). Так, фульвосоединения, не очищенные на катионите КУ-2 в H^+ -форме от катионов, при pH 2,5 и 5,5 имеют весьма низкие значения ММ (320 и 220). При подщелачивании раствора до pH 8,0 фульвосоединения были фракционированы на 2 фракции, причем одна имела ММ 6900. Насыщение функциональных групп ионами металлов (например, Ca^{2+} , Fe^{3+} и

Т а б л и ц а 3

Содержание, состав и масштаб поступления в подзолистые почвы ВОВ с атмосферными осадками, стекающими с крон и стволов деревьев (I декада июня — III декада сентября; лизиметры — в 1,5 м от ствола дерева)

Объект наблюдения	Профильтровано воды в лизиметры, л	С ВОВ*			Поступление С ВОВ в почву, г/м ²
		в приемнике вод	в водно-ацетоновом элюате	в аммиачном элюате с угля	
<i>Подзона южной тайги</i>					
<i>(учхоз «Михайловское» ТСХА)</i>					
Лес смешанные III бонитета, крона дуба	0,66	$\frac{70,6}{16,9}$	$\frac{264,5}{63,4}$	$\frac{72,3}{18,7}$	41,4
Лес смешанный, крона березы	0,39	$\frac{76,4}{45,2}$	$\frac{57,4}{33,9}$	$\frac{35,3}{20,9}$	9,9
<i>Подзона средней тайги</i>					
<i>(Няндомский стационар)</i>					
Лес хвойный (еловый) II бонитета, крона ели	1,00	$\frac{36,7}{5,7}$	$\frac{364,0}{57,1}$	$\frac{237,6}{37,2}$	96,1
<i>Каргопольский стационар</i>					
Лес смешанный II бонитета, крона ели	0,76	42,8	106,3	$\frac{17,9}{10,7}$	19,1
<i>Подзона северной тайги</i>					
<i>(Холмогорский стационар)</i>					
Лес хвойный (еловый) II бонитета, крона ели	1,00	$\frac{66,1}{16,8}$	$\frac{261,6}{66,4}$	$\frac{65,4}{16,6}$	59,2

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

т.д.) способствует заметному увеличению значений молекулярных масс ФК, ухудшению их миграционной и химической активности и появлению ассоциатов с новыми свойствами, характерными для коллоидных систем и высокомолекулярных соединений. В известной мере указанные особенности ФК приобретают при трансформации известных материалов, используемых для хи-

мической мелиорации почв подзолистого типа [23].

При диагностике ММ ВОВ нами применялся метод систематизированной гель-хроматографии, обстоятельно изложенный в работах [8, 21]. Произвольный выбор одной марки геля методически не обоснован, поскольку может привести к некорректной трактовке ММ ВОВ, равно как и подход, основанный на

Гель-хроматография водных растворов ФК и нативных железосульфатных комплексных соединений на колонках с гелями декстрана сефадекс G-10 и G-50 в динамике (концентрация $C_{\text{ФК}}$ — 25 мг/мл, объем — 2 мл)

Вариант опыта (рН среды)	Марка геля	№ фракции	K_d	lgMM	MM
Фульвосоединения (ФС), не очищенные на катионите КУ-2, в H^+-форме:					
рН 2,5	G-10	1	0,515	2,51	320
рН 5,5	»	1	0,800	2,30	200
рН 8,0	»	1	0,773	2,34	220
» »	G-50	2	0,200	3,84	6900
Собственно ФК (рН 2,5)	»	1	0,266	3,75	5600
Фульваты натрия (рН 8,0)	»	1	0,200	3,84	6900
» » »	»	2	0,900	2,89	780
Очищенная на угле и катионите G-10 КУ-2 водно-ацетоновая фракция ФК (рН _{исх} 2,9)	G-10	1	0,470	2,52	330
То же	»	2	0,100	3,95	8900
» »	G-50	3	1,100	2,60	500
Водорастворимые железосульфатные комплексы рН 2,8 (масса $C_{\text{ФК}}$ — 25,0 мг/мл; Fe^{3+} — 0,51 мг/мл)					
То же	G-50	1	0,330	3,66	4600
	»	2	0,566	3,34	2200

формальном расчете ММ с использованием вероятного числа атомов азота в молекуле ГС.

В последние годы сформулированы биогеохимические принципы и правила гумусообразования [12]. Таким образом, созданы необходимые предпосылки для понимания и экспериментальной оценки экологических функций гумусовых соединений в биосфере, в частности для эффективного решения новых жизненно важных проблем, возникших в последние десятилетия в результате агрессивного и масштабного воздействия химически активных продуктов техногенеза на ландшафты Земли — почву, воды, биоту, воздух и литосферу. Можно констати-

ровать: познание генезиса ГС превращается в один из актуальных источников экологических знаний. На этом пути первоочередной задачей почвоведов является разработка частной теории гумусообразования. В отличие от общих концепций и моделей частные положения касаются процесса гумусообразования в реально функционирующих экосистемах. Подобный подход позволяет решать как тактические, так и стратегические задачи, т.е. располагать более полной информацией эколого-химического характера. При этом почва, ГС и ВОВ таежных экосистем рассматриваются нами в неразрывном функциональном единстве как своеобразные продукты жизне-

деятельности различных групп живых организмов.

В этой связи уместно отметить некоторые экологические особенности изучаемых почв. Являясь открытой термодинамической системой, почва непрерывно обменивается веществами и энергией с окружающей средой. При этом и вещества, и энергия в известной мере накапливаются и в то же время радикально трансформируются в тканях живых организмов (преимущественно в высших растениях). После отмирания живых организмов (или поступления опада) процессы обмена в них существенно изменяются, а фотосинтетические органические вещества, например высших растений, превращаются в новую систему ГС. Трансформация органических веществ в такой динамичной системе направлена не только в сторону возрастания флуктуаций и энтропии (что типично для необратимых процессов), но и в сторону существенного упрощения их структур, а также доминирования хаоса (многообразия разрозненных групп веществ). Наличие почвенной биоты (например, различных классов живых организмов) является своеобразным и весьма мощным биогеохимическим барьером на пути полной утилизации и утраты структурной организации веществ, возникших при фотосинтезе. Именно благодаря микрофлоре происходит, с одной стороны, активная биodeградация органических веществ фотосинтетической природы в экосистемах, а с другой — формирование новых химических соединений — системы гумусовых веществ (своеобразного генетического и запасного депо). Принципиально важно, что

биохимическая стадия частичного сохранения и коренной реконструкции исходных органических веществ растительного опада в подзолистых почвах дополняется не менее своеобразными абиотическими микропроцессами: химическими и физико-химическими взаимодействиями, среди которых важную и активную роль играют реакции осаждения, сорбции-десорбции, ионного обмена, диффузии и комплексообразования, протекающие с участием компонентов ВОВ [4, 21, 23].

Множества молекул ВОВ, мобилизованные в растворимое состояние из опада растений, способны к флуктуациям и новой структурной организации, т.е. бифуркациям (формированию групп и фракций индивидуальных и специфических веществ в составе ВОВ). Такой процесс в определенной мере носит случайный характер, поскольку образование той или иной массы ВОВ в почвах таежных экосистем — процесс вероятностный и в каждом ЭПА он по-своему самобытен. Другой особенностью этого процесса является то, что в него не только постоянно поступают все новые порции веществ и энергии, в частности в виде ВОВ, но и часть из них отчуждается. Известно, что быстрее развиваются те подсистемы (в сложно взаимодействующих системах), в которых с самого начала их функционирования наблюдаются заметные флуктуации процессов, отражающие степень их развития и устойчивости. Последний параметр в таежных экосистемах определяется не столько статичностью структур ГС, сколько их динамичным характером: как следствие совокупности микропроцессов образования, об-

новления и трансформации (в т.ч. и миграции) молекул ГС. Разрастающиеся флуктуации новообразованных масс ВОВ, их состава и свойств могут подавлять развитие слабоорганизованной (и устойчивой) системы ГС. Со временем в подзолистых

почвах таежной зоны начинает доминировать наиболее полезно и активно функционирующая динамическая система ВОВ, адекватно отражающая приспособительные реакции групп живых организмов к суровым условиям таежных лан-

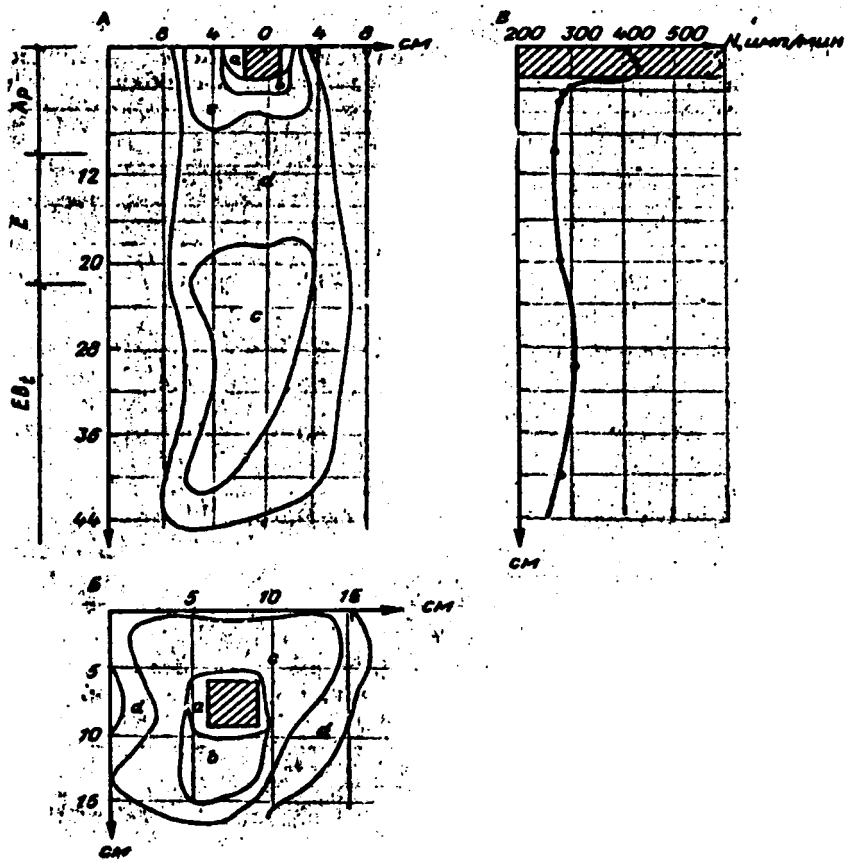


Рис. Миграционное распределение изотопа ^{14}C в составе ВОВ по слоям пахотной подзолистой почвы (через 2 года после внесения опада, меченного ^{14}C).

А — изолинии перераспределения органических продуктов разложения ячменной соломы (по ^{14}C) в вертикальной плоскости почвенного объема площадки; Б — изолинии перераспределения ^{14}C в составе ВОВ в горизонтальной плоскости почвенного объема площадки; В — распределение ^{14}C в составе ВОВ по профилю почвы (1-й год).

Изолинии активности: а — 150—50; б — 40—50; в — 30—40; д — 25—30 имп/мин. Точка внесения субстрата, меченного ^{14}C , заштрихована.

Баланс масс новообразованных ВОВ при трансформации тотально меченного ^{14}C растительного опада в глубоко подзолистых легкосуглинистых почвах средней тайги (Вилегодский стационар в Архангельской области)

Основные статьи баланса по ^{14}C , идентификация процесса	Лесные		Пахотная автономная
	автономная	полугидроморфная	
Остаток в исходном растительном субстрате (консервация)	16,1±0,3*	29,5±0,9	5,8±0,2
Поглощено корнями растений и мхами (включение в биологический поток миграции)	0,9±0,0	7,4±0,6	0,1±0,0
Включено в гумусовые соединения почвы в слое внесения (0—3 см) (обновление гумуса)	5,8±0,1	18,2±0,4	4,1±0,1
Минерализовано до конечных продуктов (CO_2 , H_2O и минеральных солей)	70,4±4,6	32,4±2,5	83,0±4,1
Абиогенная миграция с потоком гравитационной воды в глубь профиля (нижняя граница зоны — 39—44 см)	6,8±0,2	12,5±0,3	7,0±0,2

* Процент суммарной активности исходного органогенного субстрата через 2 года наблюдений.

дшафтов. Именно с помощью ВОВ, обладающих кислотными, аллелопатическими и комплексообразующими свойствами, живые организмы осуществляют эффективную мобилизацию в раствор и усвоение элементов питания, которые в подзолистых почвах находятся в труднодоступном и рассеянном состоянии. Следовательно, ВОВ отражают, с одной стороны, своеобразие почвенных процессов трансформации растительного опада и формирования новых продуктов, исключительно химически активных, а с другой — экологические особенности взаимосвязи живых организмов со средой их обитания.

В последующих натуральных опытах был изучен баланс масс ВОВ, образующихся при трансформации рас-

тительного опада, тотально меченого изотопом ^{14}C . Установлена зависимость его статей от степени гидроморфности почв подзолистого типа (табл. 5). Так, в автономных лесной и пахотной подзолистых почвах заметно преобладает процесс минерализации ВОВ. В полугидроморфных почвах количественные закономерности процессов трансформации и миграции ВОВ выражены менее контрастно. Причем доминируют закрепление компонентов ВОВ в исходном субстрате (консервация опада) и их минерализация. Примерно пятая часть массы ВОВ включается в гумусовые соединения почв (главным образом в фульвокислоты), а десятая доля ВОВ поступает как в биологический, так и в абиогенный циклы миграции. Характер

пространственной миграции ВОВ представлен на рисунке. Отмечено, что преобладает вертикальный нисходящий перенос ВОВ с гравитационной влагой. В меньшей мере (на относительно выровненной поверхности моренного увала) выражен горизонтальный поток. На основе параметров изолиний была оценена средняя линейная скорость внутрипочвенной миграции ВОВ (как первая производная пути по времени), составившая 20—22 см·год⁻¹. В то же время различные компоненты ВОВ мигрируют в глубь почвы из зоны образования с разными линейными скоростями, поскольку по-разному сорбируются почвенными минералами и коллоидами. Установлено, что миграционная зона «с» в составе ВОВ представлена преимущественно фульвосоединениями, а растянутая зона «d», мигрирующая без хроматографического разделения в почве, содержит и индивидуальные, и специфические органические компоненты (ФК), имеющие примерно равные линейные скорости миграции.

Близкое залегание карбонатных почвообразующих пород в подзоне средней тайги (стационар в пределах региона древнего землешествия на европейском Севере — «Каргопольская сушь») не влияет на общий масштаб мобилизации ВОВ из органогенных субстратов (он варьирует от 7 до 22 г С на 1 м² в год), но обуславливает преимущественное формирование в составе ВОВ органических продуктов специфической природы (51—75% С_{общ} ВОВ). Аналогичные закономерности формирования компонентного состава новообразованных ВОВ в годовом цикле миграции наблюдаются в почвах юго-запада Подмосквы (стационары учхоза «Михайловское»). Здесь

доля специфических органических компонентов достигает 65—77% С_{общ} ВОВ. В подзолистых и болотно-подзолистых почвах северной части Подмосквы (стационар «Белый Раст») на бескарбонатных породах формируются ВОВ, содержащие главным образом индивидуальные органические вещества (53—87% С_{общ} ВОВ). Количество последних в составе ВОВ также заметно возрастает при поверхностном оглеении почв.

В почвенном пространстве таежных биогеоценозов наблюдается заметная дифференциация масштаба миграции ВОВ и их состава в сезонных циклах абиогенной миграции. При этом элювиальный характер перераспределения масс ВОВ и других продуктов почвообразования в профилях почв подзолистого типа наблюдается особенно четко в условиях развитого микрорельефа и наличия латерального потока влаги. Например, в годовом цикле миграции (стационар в учхозе «Михайловское») среднестатистический вынос ВОВ, рассчитанный по данным 4 сопряженных элементарных почвенных ареалов (ЭПА) ельника разнотравного, в пределах «поля миграции» составил (г/м² в год) из горизонта А₀ (А₁) 46,3 (σ= 15,3), А₁ (А₂ А₃) — 18,3 (σ= 22,0), А₂ — 20,3 (σ= 11,6) [25], т.е. правило «трех сигм» соблюдается только для горизонта А₀.

Наряду с вертикальным нисходящим потоком ВОВ в почвах таежной зоны диагностированы восходящий, боковой и поверхностный потоки веществ [6, 9, 22, 23], которые совместно с биогенной миграцией (биологическим поглощением и выделением веществ) в значительной мере и обуславливают своеобразие современного подзолообразо-

вания и других (сопряженных) процессов в почвах водоразделов и склонов моренных гряд с различными таежными экосистемами, фациями и урочищами.

Характерно, что вертикальные нисходящие потоки гравитационной влаги, сосредоточенные в них ВОВ и другие продукты почвообразования в средне- и тяжелосуглинистых подзолистых почвах локализуются по магистральным трещинам, ходам стгнивших корней, а также и по «языкам» элювиального горизонта, что обуславливает не только заметное варьирование параметров выноса мобильных веществ внутри почвенного тела, но и методологию исследования абиогенных потоков химических соединений [5, 7].

Для оценки миграции водорастворимых веществ в почвах экосистем и геохимических ландшафтах используется ряд показателей: масштаб миграции, R_p , коэффициент миграции ($K_{\text{мigr}}$), граф квадратной матрицы, коэффициент мобилизации ($K_{\text{моб}}$) и, наконец, приемы математического моделирования. Каждый из этих параметров по-своему уникален.

Значения масштаба миграции веществ удобны в сравнительном плане, однако здесь не совсем ясен источник ВОВ [5]; показатель (R_p) часто используется как мера запаздывания мигрируемого вещества в горизонте и профиле в сравнении с потоком носителя — гравитационной воды [21]; граф квадратной матрицы применяется как модель перемещения в профиле почвы мигрантов с потоками гравитационной влаги [2]; $K_{\text{мigr}}$ удобен, в частности, при ландшафтно-геохимической оценке миграции веществ [13]; $K_{\text{моб}}$ позволяет стадийно изучить процесс миграции — выделить разные вре-

мя (t_1 и t_2) и скорости (V_1 и V_2), поскольку мигрант вначале мобилизуется в раствор, а затем мигрирует [23]. Подобные уточнения необходимы при балансовых расчетах. $K_{\text{моб}}$ того или иного химического элемента определяется в натуральных экспериментах при изучении процессов трансформации труднорастворимых химических соединений (органических субстратов, мелиорантов и др.).

Таким образом, комплексный эколого-химический подход при изучении гумусообразования позволяет получить новую информацию о количественных и качественных закономерностях трансформации растительного опада и формирования групп ГС. Отдельные аспекты рассматриваемой проблемы были сформулированы ранее [5, 6, 23, 29], где, в частности, отмечалось, что любые концепции и модели гумусообразования должны отражать реальные особенности ландшафта (и экосистемы), а также специфику макропроцессов почвообразования. Другими авторами [4] показано также, что компоненты ВОВ принимают непосредственное участие в формировании гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистых почв юго-запада Подмосковья. Наиболее интенсивно эти процессы протекают в тех фитоценозах, где хорошо развит наземный травянистый покров.

Собственные и литературные данные позволяют изложить ряд концептуальных положений, раскрывающих специфику гумусообразования в таежных экосистемах: 1) основная масса источников ГС — ВОВ, мобилизующихся в раствор из лигнина, клетчатки, гемицеллюлозы и других высокомолекулярных органических веществ растительно-

го опада, в лесных подзолистых почвах сосредоточены на поверхности, образуя слой подстилки (A_0^r), выполняющей роль защитного теплового экрана, аккумулятора биоты, резерв ВОВ и элементов питания, а также иные функции; 2) растительный опад таежной растительности заметно обеднен азотом и обменным кальцием; 3) в почве наблюдается избыток протонов; 4) промежуточные продукты трансформации хвойно-мохового опада и подстилки — ВОВ с ярко выраженными кислотными, аллелопатическими и комплексобразующими свойствами — имеют низкие молекулярные массы ($MM \leq 1000$), что чрезвычайно неблагоприятно для биохимических реакций конденсации молекул ВОВ в гуминовые вещества вследствие кислотного гидролиза; 5) наблюдается масштабный и непрерывный вынос ВОВ как с вертикальным, так и с латеральным потоками гравитационной влаги; 6) компонентный состав ВОВ весьма разнообразен, а многие из них являются полидентатными лигандами, что усиливает реакции комплексобразования и формирование самостоятельных мономеров типа ФК с низкими величинами MM ; 7) своеобразие макропроцесса гумусообразования в почвах подзолистого типа таежных экосистем в известной мере состоит в сопряженных и динамических процессах мобилизации, трансформации и миграции ВОВ; 8) минеральный профиль подзолистой почвы получает из опада и лесных подстилок как бы готовые (сформированные) молекулярные структуры ВОВ, часть которых поглощается (хотя и непрочно) генетическими горизоннтами, а часть выщелачивается, поступая в грунтовые, а затем и речные водные системы; 9) корне-

вые выделения высшей хвойной растительности и наземного мохово-кустарничкового покрова также вносят свой вклад в баланс ВОВ, выполняя биохимические и аллелопатические функции и оказывая, в частности, влияние на сукцессии организмов в экосистемах; 10) характер гумусообразования в подзолистых почвах таежных экосистем отражает не столько функцию депонирования веществ в форме гуминовых и иных высокомолекулярных соединений, сколько динамику взаимосвязанных циклов трансформации и миграции соединений, очевидно, в виде своеобразного звена биогеохимического круговорота углерода.

С эколого-химической точки зрения здесь нет необходимых условий для образования гуминовых веществ⁵ с высокими молекулярными массами, которые весьма важны и ценны для формирования полезных (в агрономическом отношении) свойств почв. В таежных экосистемах непрерывно циркулируют разнообразные ВОВ, переходящие из одних состояний и форм в другие. Поэтому в отличие от «чистых» (химических) представлений, сложившихся, в частности, в кинетике гетерогенных реакций, в почвах таежных экосистем, очевидно, не образуется конечного продукта, а резко преобладает цикличность частных взаимосвязанных процессов. При этом не исключено, что промежуточные

⁵ Гуминовые соединения, очевидно, все же частично образуются в зимний период при длительной низкотемпературной дегидратации молекулярных структур ВОВ, а также вследствие старения гелеобразных (сорбированных) осадков ВОВ, т.е. абиотическим путем. Поэтому эти продукты легко трансформируются биотой.

продукты минерализации ВОВ имеют низкую каталитическую способность, недостаточную для активизации реакций конденсации и образования высокомолекулярных структур типа гуминовых соединений [28, 29]. Диагностика нативного процесса гумусообразования с динамических позиций (в отличие от статичного подхода) расширяет традиционные представления о генезисе и экологических функциях органических и органо-минеральных соединений подзолистых почв, позволяя по-новому решать задачи, связанные с оценкой гумусового баланса почв, поведения продуктов техногенеза и т.д.

В принципе пространственно-временные особенности гумусообразования (наряду с кинетической оценкой данного процесса [28]) могут быть выражены с помощью подходящего параметрического уравнения кривой (или иных математических приемов) с нахождением на графике характерных стационарных точек — участков, обуславливающих мобилизацию, превращения и миграцию групп ГС в вертикальной и горизонтальной координатах трехмерного почвенного пространства.

Выводы

1. Изучены особенности процесса гумусообразования в подзолистых почвах подзон южной и средней тайги европейской территории страны.

2. Сформулированы основные положения концепции гумусообразования с эколого-химических позиций.

3. Современный этап гумусообразования характеризуется активной мобилизацией в растворимое состояние ВОВ с ярко выраженными кислотными и комплексобразующими

свойствами. Эти продукты отличаются низкими молекулярными массами ($MM \leq 1000$), не насыщены ионами металлов, имеют высокую миграционную способность и слабо закрепляются почвой. Гуминоподобные компоненты с высокими молекулярными массами в подзолистых почвах таежных экосистем на начальном этапе не формируются. Это связано как с генетическими особенностями почв, так и со своеобразием функционирования групп живых организмов в элювиальных и элювиально-аккумулятивных ландшафтах таежной зоны.

4. Определенные массы ВОВ поступают в почву в составе жидких атмосферных осадков, стекающих с вегетативных органов таежной растительности, кустарничков и наземного мохового покрова, а также при продуцировании корневых выделений. Точная диагностика этих статей баланса ВОВ пока невозможна из-за методических трудностей.

5. Формирование специфических групп ГС (в основном фульвосоединений) протекает как в лесных (оторфованных) подстилках — при насыщении компонентов ВОВ ионами металлов, прежде всего Ca^{2+} , так и при абиогенной миграции, обуславливающей также развитие характерного органо-профиля подзолистых почв.

6. В таежных ландшафтах экологические функции ВОВ отражают преимущественно миграционную направленность явлений, которые неразрывно связаны с процессами трансформации и аккумуляции веществ. Самобытность процесса гумусообразования в целом и обуславливает многообразие состояний и форм мигрирующих химических соединений. Эту особенность сле-

дует обязательно учитывать при оценке поведения продуктов техногенеза в экосистемах.

7. Нативные компоненты ВОВ являются универсальным индикатором таежных ландшафтов и антропогенных экосистем в современный период. Одновременно ВОВ выступают и как уникальный движущий фактор, обуславливающий развитие экосистем, поскольку с помощью ВОВ, их производных с металлами (а также с гравитационной влагой) в известной мере осуществляется непрерывное перераспределение веществ и энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. — 2. *Анохин В.Л.* Моделирование процессов миграции радионуклидов в ландшафтах. М.: Атомиздат, 1974. — 3. *Аристовская Т.В.* Разложение растительных остатков и процессы гумификации. — В кн.: Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980, с. 11—45. — 4. *Ганжара Н.Ф.* Водорастворимые органические вещества и их участие в формировании гумусового горизонта дерново-подзолистых почв. — Автореф. докт. дис. М.: МСХА, 1970. — 5. *Кауричев И.С., Яшин И.М.* Образование водорастворимых органических веществ как стадия превращения растительных остатков. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 1, с. 47—57. — 6. *Кауричев И.С., Яшин И.М., Карпунин А.И., Нмадзуру И.* Водорастворимые органические вещества как интеграционный индикатор экологической среды. — В сб.: Антропогенное изменение почв Севера в индустриально развитых регионах. Тез. докл. Российской конф. 25—27 июля 1995 г. Апатиты, 1995, с. 22—24. —

7. *Карпачевский Л.О.* Лизиметрические методы оценки выноса веществ из почвы. — В кн.: Лес и почва. М.: Лесная пром-сть, 1981, с. 69—75. — 8. *Карпунин А.И.* Комплексные соединения органических веществ почв с ионами металлов. — Автореф. докт. дис. МГУ, 1986. — 9. *Киришин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С. и др.* Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: МСХА, 1993. — 10. *Кононова М.М.* Биохимия процесса гумусообразования. — В кн.: Органическое вещество почвы (его природа, свойства и методы изучения). М.: АН СССР, 1963, с. 52—93. — 11. *Митин В.В.* О водорастворимых ингибиторах прорастания семян из осенних листьев бука лесного (*Fagus sylvatica* L.). — В кн.: Физиолого-биохимические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Киев: Наукова думка, 1971, вып. 2, с. 22—25. — 12. *Орлов Д.С.* Биогеохимические принципы и правила гумусообразования. — Почвоведение, 1988, № 7, с. 83—91. — 13. *Перельман А.И.* Геохимия биосферы. М.: Наука, 1973. — 14. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Химическое и экологическое понятие о почвенном гумусе. — В кн.: Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980, с. 75—77. — 15. *Райс Э.* Факторы, влияющие на количество ингибиторов, продуцируемых растениями. — В кн.: Аллелопатия. / Пер. с англ. М.: Мир, 1978, с. 326—342. — 16. *Рачинский В.В.* Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии. М.: Наука, 1964. — 17. *Самцевич С.А.* Гелеобразные корневые выделения растений и их действие на почву и корневую микрофлору. — В кн.: Методы изучения продуктивности корней

систем и организмов ризосферы. Л.: АН СССР, 1968, вып. 2, с. 200—204. — 18. *Тувев Н.А.* Микробиологические процессы разложения гумуса и его рациональное использование. — В кн.: Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989, с. 138—218. — 19. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. (Учение о почвенном гумусе). М.: Сельхозгиз, 1937. — 20. *Тюрин И.В.* К вопросу о природе фульвокислот почвенного гумуса. — Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 1940, т. 23, с. 25. — 21. *Фокин А.Д.* Образование, функционирование и баланс органического вещества. — В кн.: Почва, биосфера и жизнь на Земле. М.: Наука, 1986, с. 65—93. — 22. *Черников В. А.* Комплексная оценка гумусового состояния почв. — Сиб. вестн. с.-х. науки, 1987, № 5, с. 7—13. — 23. *Яшин И.М.* Водорастворимые органические вещества почв таежной зоны и их экологические функции. — Автореф. докт. дис. М.: МСХА, 1933. — 24. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Превращение растительных остатков и формирование групп гумусовых соединений в под-

золистых почвах. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 4, с. 42—53. — 25. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Педогенные функции водорастворимых органических веществ в таежных ландшафтах. — Почвоведение, 1992, № 10, с. 49—61. — 26. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Роль низкомолекулярных органических кислот в абиогенной трансформации гумусовых веществ почв таежно-лесной зоны. — Изв. ТСХА, 1992, вып. 5, с. 36—49. — 27. *Яшин И.М., Кащенко В.С.* Миграция водорастворимых органических соединений в супесчаных глееподзолистых почвах Севера европейской части СССР. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 6, с. 59—71. — 28. *Яшин И.М., Черников В.А., Кауричев И.С.* Кинетика трансформации растительных остатков в подзолистых почвах европейского Севера. — Изв. ТСХА, 1990, вып. 6, с. 56—65. — 29. *Яшин И.М., Нмадзуру И., Шестаков Е.И.* Особенности формирования водорастворимых органических веществ в подзолистых почвах и их роль в абиогенной миграции типоморфных элементов. — Изв. ТСХА, 1993, вып. 3, с. 126—142. — 30. *Flaig W.* Ztschr. Chem., 1964a, H. 7, S. 253.

Статья поступила 22 января 1996 г.

SUMMARY

The characteristic of ecological aspects of humus formation which are concerned with qualitative and quantitative specific features of integrated and dynamic processes of formation, transformation and migration of water soluble organic substances in podzolic soils of taiga ecosystems is given in the paper.

It is noted that in taiga ecosystems (subzones of southern and middle taiga) transformation of plant debris on podzolic soil surface is accompanied by active mobilization of water soluble organic substances (WSOS) with clear acid and complexforming properties into the solution. Newly formed products have low molecular weight ($MW \leq 1000$), are not saturated with metal ions, have high migration ability and are poorly fixed (sorbed) by soil. Humine-like components with high molecular weight are not formed in podzolic soils of taiga ecosystems. This is due to distinctive functioning of groups of living organisms and to specific biogeochemical rotation of substances which also includes specific features of soil processes.