

УДК 631.417:631.421.3

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ И ИХ РОЛЬ В АБИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ ТИПОМОРФНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. М. ЯШИН, И. НМАДЗУРУ, Е. И. ШЕСТАКОВ

(Кафедра экологии и почвоведения)

На основании результатов изучения трансформации растительных остатков (меченных изотопом ^{14}C) и формирования групп водорастворимых органических веществ обосновывается роль последних в абиогенной миграции Fe, Al и Si в почвах стационаров подзон южной и средней тайги европейского Севера.

Водорастворимым органическим веществам (ВОВ) присущи важные экологические функции в биосфере. В частности, они принимают активное участие в почвенных процессах и геохимической миграции продуктов выветривания и почвообразования [1, 3—8, 12—16, 19], что связано как с их составом, так и с уникальными коллоидными, кислотными и комплексобразующими свойствами.

Особенности формирования компонентного состава ВОВ рассмотрены в работах [1, 6, 7, 13, 16], освещающих также их участие в гумусообразовании и миграции некоторых новообразованных продуктов в почвах подзолистого типа.

Примечательно, что еще в начале XX в. В. Р. Вильямс [2] и С. П. Кравков [11] писали о важ-

ной роли ВОВ (в том числе и подвижных перегнойных кислот) в почвенных процессах и недостаточном внимании, уделяемом генетическим аспектам проблемы. Так, С. П. Кравков отмечал: «...большинство исследователей работало с уже сформировавшимся гумусовым веществом, так или иначе выделенным из почвы. ...Неудивительно, что данные, имеющиеся в этом направлении исследований, не укладываются до сих пор в какие-либо определенные систематические рамки и гумус все еще остается terra incognita» [11, с. 103—104].

По мнению Л. Н. Александровой, «точно установить наличие в почве тех или иных групп свободных индивидуальных соединений очень трудно. Исследователи обычно вынуждены прибегать к об-

щепринятым методам кислотного или щелочного гидролиза...» [1, с. 98]. По-видимому, методические трудности, связанные с прямой диагностикой компонентов ВОВ, и обусловили преимущественно химическое направление в изучении гумусовых веществ [15].

Внедрение в почвенные исследования методов хроматографии и радиоактивных индикаторов способствовало успешному решению ряда ключевых задач по проблеме ВОВ и выявлению их роли, например, в развитии элювиально-иллювиальных почв [3—9, 13—16]. Так, с помощью метода сорбционных лизиметров [7] и его модификации [16] в таежных биогеоценозах были изучены масштаб мобилизации ВОВ, их компонентный состав и некоторые кислотно-основные свойства, а также вертикальные нисходящие и восходящие потоки миграции ВОВ. Вместе с тем явно недостаточное внимание уделялось начальному этапу формирования ВОВ в процессе трансформации растительного опада в почвах таежных ландшафтов. Указанному вопросу, а также изучению роли групп ВОВ в почвенно-геохимической миграции некоторых типоморфных химических элементов в этих ландшафтах и посвящена настоящая работа.

Методика

Исследование процессов трансформации растительных остатков, формирования групп ВОВ и их участия в миграции Fe, Al и Si проводили на почвенно-экологических стационарах кафедры почвоведения Тимирязевской академии, расположенных в Мезенском, Няндономском, Каргопольском районах Архангельской области и в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области в 1981—1992 гг. Стационары были заложены

после крупномасштабной и детальной почвенной съемки водораздельных ареалов почв подзолистого типа [6, 9, 16].

Растительность пробных площадей представлена спелыми ельниками-черничниками зеленомошными разного бонитета, имеющими сплошной наземный покров из зеленых мхов *Polytrichum commune*.

Вертикальную нисходящую миграцию ВОВ и водорастворимых металлорганических соединений Fe и Al, а также Si по профилю почв исследовали с помощью метода сорбционных лизиметров (сорбенты — активированный уголь марки «Карболен», оксид алюминия и ионообменные синтетические смолы: КУ-2 H^+ -форма; АВ-17 и ЭДЭ-10п OH^- -форма). Повторность установки сорбционных лизиметров в однородных элементарных почвенных ареалах 2—3-кратная. Особенности подготовки сорбентов изложены ранее [6, 7, 16].

Тотально меченую изотопом ^{14}C вегетативную массу 2-недельных проростков ячменя (*Hordeum distichon*) помещали на слой чистого кварцевого песка, расположенного в сорбционном лизиметре (с приемником вод) над активированным углем (табл. 1). Колонки по периметру опоясывали лейкопластырем как для их маркировки, так и для защиты от разрушения. Лизиметры располагали на вырубке в профиле дерново-подзолистой почвы на глубине 2—3 см (стационар в учхозе «Михайловское»). Наблюдения проводили с 20 октября 1991 г. по 2 мая 1992 г. Контролем служили сорбционные лизиметры с активированным углем без растительного опада.

Активность исходного материала составляла 277 тыс. имп/мин на 10 мг субстрата. Исследовали трансформацию растительных остатков

Таблица 1
Трансформация растительного опада
(тотально меченного ^{14}C) в сорбционных
лизиметрах, установленных в горизонте
А₀А, дерново-подзолистой почвы
(20/X—91—2/V—92 гг.)

Колонка	Масса растительных остатков		
	исходная, мг	в конце опыта, мг	убыль, %
1	10,0	3,7	63,0
2	20,0	7,8	61,0
3	30,0	12,6	58,0
4	40,0	17,5	56,3

массой 10, 20, 30 и 40 мг, которые располагали между двумя микропористыми капроновыми фильтрами диаметром 25 мм. По завершении заданного срока траншею вскрывали, сорбционные установки извлекали, демонтировали и доставляли в лабораторию.

Десорбцию ВОВ, поглощенных низкокольным активированным углем, проводили в динамике по известной схеме В. Форсита [20], которая была несколько видоизменена [11]. Элюенты последовательно пропускали через колонку с углем при скорости 40—50 мл/ч: сначала 90 % водный ацетон и воду (их общий объем, как правило, составлял 500—650 мл), затем 2 % водный раствор NH_4OH (объем 300—400 мл и редко 510 мл) до полного обесцвечивания растворов. Следует отметить, что использование водного раствора 0,1 н. NaOH вызывает некоторую пептизацию частиц угля; применение образцов высокозольного активированного угля (в частности, БАУ) при фракционировании по схеме Форсита способствует смещению соотношений групп ВОВ в сторону преобладания специфических компонентов. Вследствие многообразия типов активированных углей и их марок [10] подбор сорбента для

сорбционных лизиметров целесообразно завершать постановкой лабораторных опытов по сорбции — десорбции групп ВОВ в статическом или динамическом режимах [7].

Содержание С ВОВ определяли по методу Тюрина в модификации Симакова, аликвоты предварительно упаривали и добавляли в них по 20—30 мл насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с целью предотвращения потерь органических кислот в результате теплового разрушения.

Активность изотопа ^{14}C в растворах и экстрактах диагностировали жидкостно-сцинтилляционным методом на бета-спектрометре «Rackbeta» (модель 1219 фирмы LKB и Wallac, Финляндия) в сцинтилляторе марки ЖС-8 с предварительным эталонированием¹. Ошибка измерений не превышала 3 % при доверительном интервале 99 %. Меченый С твердых проб (растительных остатков и сорбентов) определяли в гелевых сцинтилляторах марки ЖС-13н на приборе ПП-8 «Волна» с газоразрядным счетчиком Т-25-БФЛ. Ошибка измерений — менее 10 % при доверительном интервале 99 %.

Молекулярно-массовый (ММ) состав новообразованных ВОВ изучали с помощью метода систематизированной гель-хроматографии на гелях Сефадекс G-10 и G-50 (предел разделения соответственно 0—700 и 500—10 000) фирмы Uppsala (Швеция) с коллектором для отбора проб. Непосредственно перед фракционированием групп ВОВ, мобилизованных из растительных остатков, были определены свободные объемы (V_0) хроматографических колонок с исполь-

¹ Авторы выражают благодарность профессору А. Д. Фокину за предоставленную возможность работать с радиоактивными изотопами.

зованием голубого декстрана. Преимущество гелевой хроматографии заключается в одновременном фракционировании гумусовых веществ и определении их молекулярных масс. Для этого необходимо установить значения V_e применительно к стандартным веществам и ММ [4]. Значения V_e (элюиционный объем ВОВ) и V_0 для расчета коэффициента распределения (K_d) определяют экспериментально для каждой колонки, содержание Fe в почве — на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer-503, Al — с алюминомом, Si — с молибдатом аммония колориметрически, используя для сравнения шкалу стандартных растворов [7].

Масштаб выноса водорастворимых соединений выражали в одной единице измерения — массе вещества (г) на всю навеску поглопителя с последующим учетом соотношения площадей лизиметров и поверхности почвы (1 м^2) за конкретный период наблюдений (например, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$).

Результаты

Комплексные исследования процессов трансформации растительных остатков (меченных ^{14}C) в подзолистых почвах были выполнены А. Д. Фокиным [14, 15]. Автором, в частности, установлены количественные закономерности образования гумусовых веществ и выявлен механизм их фрагментарного обновления; получены новые данные о ММ составе и свойствах фракций фульвокислот (ФК); охарактеризована мобилизационная, комплексобразующая и миграционная активность данной группы гумусовых соединений.

Изучение педогенных гумусовых кислот с использованием современных методов физико-химического анализа проведено Д. С. Орловым [12]. Рассматривая группу

ФК, автор отмечает, что «...фульвокислотами называют все кислоторастворимые органические вещества, выделяемые в ходе анализа группового и фракционного состава гумуса по методу И. В. Тюрина... Тем же термином обозначают собственно фульвокислоты — специфические гумусовые кислоты, растворимые в водных, щелочных и кислых растворах и обычно выделяемые по методу У. Форсита из смеси кислоторастворимых органических веществ адсорбцией на активированном угле» [12, с. 50].

Установленные положения принципиально важны, так как существовала иная точка зрения [21], согласно которой ФК рассматривались как искусственные продукты гидролиза гумусовых веществ почвы. В то же время пока отсутствуют сведения об особенностях формирования ФК на начальном этапе трансформации растительного опада в поверхностных слоях почв подзолистого типа.

С помощью метода натурального моделирования трансформации растительных остатков (меченных изотопом ^{14}C) в сорбционных лизиметрах выявлена активная избыль массы неразложившихся растительных остатков в осенне-ранневесенний период — 56—63 % (табл. 1). При этом в составе новообразованных ВОВ диагностированы главным образом индивидуальные органические продукты (57—80 % $\text{C}_{\text{общ}}$ ВОВ). Среди них имеются компоненты, легко утилизируемые микроорганизмами (низкомолекулярные органические кислоты и аминокислоты, соединения углеводного характера и т. д.), — так называемый минерализационный фонд ВОВ. Одновременно происходят отбор, формирование и накопление термодинамически устойчивых органических соединений, в частности полифенольных компонентов

Таблица 2

Распределение изотопа ^{14}C по новообразованным группам ВОВ (числитель — активность материала, распад/мин; знаменатель — % суммарной активности ВОВ)

Колонка	Активность групп ВОВ в элюатах с активированного угля		Суммарная активность ВОВ	Активность жидких новообразованных продуктов (ВОВ), % исходной активности
	водацетоновый	водааммиачный		
1	3810 ± 191	1220 ± 61	5030	1,81
	75,8	24,2	100	
2	$15\ 636 \pm 469$	3922 ± 196	19\ 558	3,52
	80,0	20,0	100	
3	$17\ 966 \pm 539$	9386 ± 282	27\ 352	3,29
	65,7	34,3	100	
4	$20\ 018 \pm 601$	$15\ 132 \pm 451$	35\ 150	3,16
	57,0	43,0	100	

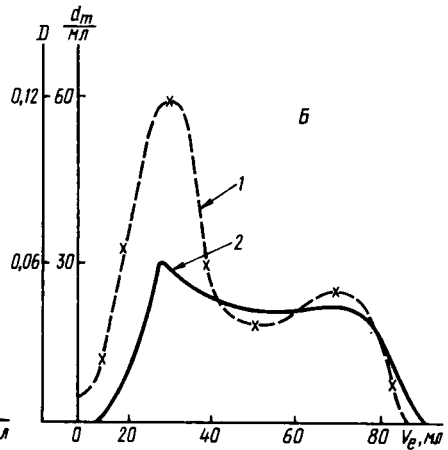
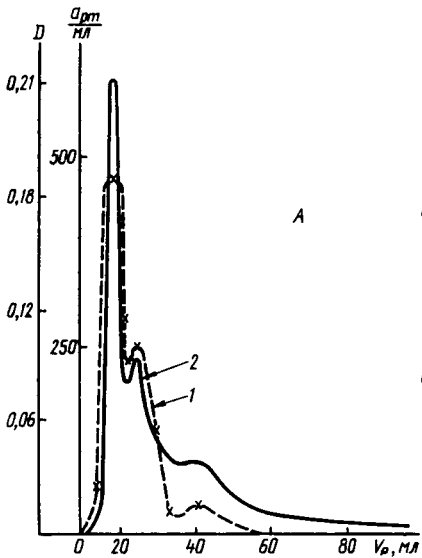
и ФК. Указанные группы органических веществ взаимосвязаны генетически. ФК образуются не только при абиогенной внутривисочечной миграции ВОВ [18], но и в процессе мобилизации ВОВ из растительных остатков при активном участии ионов металлов, а воз-

можно, и металлорганических комплексов (табл. 2).

Формирующиеся ВОВ отличаются гетерогенным ММ составом (рисунок). Среди ВОВ преобладают органические соединения с ММ < 1000 : в группе индивидуальных органических веществ их доля по-

Выходные кривые индивидуальной группы ВОВ на гелях декстрана Сефадекс G-10 (А) и G-50 (Б).

1 — распределение изотопа ^{14}C в составе новообразованных ВОВ; 2 — оптическая плотность данной группы ВОВ.



С составляет 58 %, а в группе специфических органических продуктов — 85 % (табл. 3).

Таким образом, совмещенное использование колоночной адсорбционной хроматографии на активированном угле и гелевой фильтрации обеспечивает, с одной стороны, концентрирование в сорбционном лизиметре новообразованных ВОВ, а с другой — последующее выделение групп ВОВ и установление их ММ состава. Разнообразие органических веществ и их производных, входящих в молекулярные структуры ВОВ, и обуславливает неоднородность ММ состава ВОВ, а также своеобразие коллоидных и кислотно-основных свойств [6, 7].

Формирующиеся в лесных (и нередко оторфованных) подстилках массы ВОВ претерпевают различные превращения: в частности, активно минерализуются, участвуют в

образовании водорастворимых и устойчивых органо-минеральных соединений; в них наблюдается перегруппировка молекулярных структур; наконец, компоненты ВОВ мигрируют из зон мобилизации в глубь почвы с разноориентированными потоками гравитационной влаги [4—7].

Примечательно, что зоны мобилизации и закрепления ВОВ в почвах подзолистого типа (в пределах элементарного почвенного объема) пространственно разобщены. В условиях промывного водного режима при вертикальной нисходящей миграции ВОВ достигается устойчивая связь между ними, а компонентный состав их в процессе миграции существенно изменяется [18]. С одной стороны, это обусловлено обратимым характером сорбции ВОВ, а с другой — тем, что миграция, строго говоря, представляет собой бесконечно повторяющийся в почвенном пространстве (и времени) процесс сорбционно-десорбционного взаимодействия органических веществ, находящихся в жидкой и твердой фазах почвы.

Перемещение и перераспределение продуктов почвообразования по почвенному профилю с вертикальным нисходящим и восходящим пленочно-капиллярным и диффузионным потоками влаги в значительной мере определяют особенности развития подзолистых почв на современном этапе. Важная роль в миграции веществ принадлежит воде. Ей присущи функции носителя (среды) и универсального растворителя. Химическая активность воды обусловлена ее составом, в частности наличием ВОВ. При взаимодействии воды с твердой фазой почвы формируются граничная, приграничная и объемная фазы, которые энергетически взаимосвязаны. Если мас-

Таблица 3

Молекулярно-массовое распределение ^{14}C по фракциям ВОВ, выделенных при гель-хроматографии на гелях декстрана Сефадекс G-10 (1—3-я фракции) и G-50 (4-я и 5-я фракции)

Фракция	V_e , мл	K_d	ММ	С, %
<i>Индивидуальная группа ВОВ*</i>				
1	22	0	>700	41,2
2	29	0,35	410	29,4
3	41	0,66	260	29,4
4	20	0,06	8440	5,9
5	44	0,79	1060	35,3
<i>Специфическая группа ВОВ (ФК)*</i>				
1	22	0	>700	44,1
2	32	0,50	320	25,7
3	36	0,70	240	30,2
4	20	0,06	8440	15,3
5	46	0,85	910	28,8

* Группы ВОВ выделены при использовании активированного угля.

са воды в объемной фазе достигает таких значений, когда сила тяжести больше силы межмолекулярного притяжения, то наблюдается ее фильтрация. В случае уравнивания указанных сил или преобладания межмолекулярных взаимодействий возможно движение воды к дневной поверхности [7, 15]. Зимой при промерзании почвы вода и компоненты раствора под действием градиента температуры подтягиваются из нижних горизонтов почвы к верхним — «холодному экрану» [7]. Здесь органические продукты почвенного раствора в дальнейшем трансформируются, при этом происходят фракционирование гумусовых веществ по ММ и частичная компенсация элюирования продуктов почвообразования. Нисходяще-восходящие перемещения растворов и веществ в почвах слабо изучены, но, вероятно, они принципиально важны для познания, в частности, процесса подзолообразования.

Абиогенные потоки ВОВ, как показали длительные стационарные опыты, в почвах подзон северной, средней и южной тайги европейского Севера весьма своеобразны (табл. 4). Так, в глееподзолистых почвах супесчаного гранулометрического состава при вертикальной нисходящей миграции ВОВ их компонентный состав практически не изменяется, очевидно, из-за низкой биокаталитической активности химических соединений почвы.

В типичных подзолистых почвах средней тайги, развитых на бескарбонатных породах, состав ВОВ достоверно трансформируется, при этом в горизонтах A_2 и B_f увеличивается содержание соединений фульвокислотного характера.

Более радикальная перегруппировка состава ВОВ наблюдается при их миграции в почвах Кар-

гопольского стационара, насыщенных щелочно-земельными катионами. В процессе абиогенной миграции ВОВ в дерново-подзолистых почвах юго-запада Подмосковья в их составе заметно возрастает содержание органических веществ специфической природы, а в подзолистых почвах северной части Подмосковья (стационар «Белый Раст») в составе мигрируемых ВОВ преобладают компоненты индивидуальной природы, в том числе кислотного характера — танинды, низкомолекулярные органические и уоновые кислоты [7].

Темп и масштаб сезонной мобилизации ВОВ, а также последующая их абиогенная миграция определяются комплексом факторов, в частности возрастом и парцеллярной структурой биогеоценозов, запасами и составом подстилок, генезисом почв, структурой почвенного покрова и типом ландшафтов [13]. Например, в подзоне средней тайги (Няндомский стационар) из горизонта $A_0^{тп}$ подзолистой почвы в «окне» между деревьями мигрирует $7-24 \text{ г/м}^2 \times \text{год}^{-1}$ С ВОВ, из-под развитой моховой кочки — 35 , а под кроной ели — 37 г/м^2 . В почвах подзоны южной тайги поток абиогенной миграции ВОВ несколько меньше, чем в аналогах средне- и северо-таежных регионов, что обусловлено более активной минерализацией новообразованных ВОВ [18].

Характерно, что в подзолистых почвах средней и северной тайги основная масса ВОВ участвует не в формировании гумусово-аккумулятивного горизонта, а в миграционном перераспределении продуктов почвообразования в сопряженных горизонтах A_2 , A_2B и B . Это связано не только с составом ВОВ, но и со спецификой их сорбции и массопереноса. Сорбция ВОВ химическими соединениями сопро-

Таблица 4

Масштаб миграции ВОВ и их состав в почвах подзолистого типа таежно-лесной зоны
(июнь 1986 г.— июнь 1987 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Объем воды в лизиметрах, л	С ВОВ				
		в присм-никах вод, мг/л	общий вынос (средний), $\frac{\text{г}}{\text{м}^2} \times \frac{\text{ч}}{\text{год}}$	Al_2O_3 в элюатах, мг/л*	активированный уголь в элюатах, мг/л**	в водо-ацетоновом элюате, % от С _{общ} ВОВ
Мезенский стационар; разр. 365 — глееподзолистая супесчаная на моренных бескарбонатных отложениях (июль 1981 г. — август 1982 г.)						
A ₀ ^н — 8	Не опр.	Не опр.	53,9	$\frac{132,3}{60,4}$	$\frac{70,6}{10,0}$	87,6
A _{2g} — 28	»	»	30,3	$\frac{37,8}{31,5}$	$\frac{68,4}{15,1}$	81,9
B _g — 85	»	»	7,8	$\frac{12,6}{2,5}$	$\frac{20,1}{2,5}$	88,9
BC _g — 100	»	»	17,4	$\frac{7,6}{5,0}$	$\frac{\text{Не обн.}}{70,6}$	Нет
Няндомский стационар; разр. 25 — сильноподзолистая иллювиально-железистая песчаная почва на двучленных отложениях						
A ₀ — 8 (10)	2,7	40,5	14,8	$\frac{14,4-21,0}{84,0-90,0}$	$\frac{200,2-240,6}{109,6}$	61,8
A ₂ — 24 (17)	2,6	19,0	28,1	$\frac{6,0}{78,0-90,0}$	$\frac{73,2-114,0}{109,6-115,7}$	46,1
B _f — 48 (55) (восходящая миграция)	—	—	16,6	$\frac{17,6}{75,0}$	$\frac{111,8-114,9}{130,9-135,6}$	46,0
Каргопольский стационар; разр. 30 — дерново-карбонатная выщелоченная тяжелосуглинистая почва на элювии известняков						
A ₀ — 7 (43)	2,3	Нет	15,4	$\frac{26,4}{84,0-87,0}$	$\frac{95,4-119,8}{219,2-222,3}$	39,6
A ₁ — 24 (19)	2,1	17,8	16,6	$\frac{14,1}{252,0-255,0}$	$\frac{58,9}{118,8}$	47,5
B _k — 27 (23) (восходящая миграция)	—	—	20,0	$\frac{14,1}{87,0-93,0}$	$\frac{35,6-43,7}{109,6-118,8}$	25,5
Учхоз «Михайловское», лес смешанный; разр. 6 — дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая почва на покровных суглинках						
A ₁ — 13 (10)	2,7	4,9	8,3	$\frac{16,5-16,8}{60-0-62,4}$	$\frac{54,8-65,8}{109,6-112,7}$	35,3
A ₁ — 17 (15)	2,1	6,6	12,9	$\frac{14,4}{111,0}$	$\frac{79,2}{191,8-197,9}$	28,9
A ₂ — 31 (33) (восходящая миграция)	—	—	7,1	$\frac{14,1-17,6}{90,0-96,0}$	$\frac{68,4}{119,7}$	23,4

* Числитель — десорбция 1 н. H₂SO₄; знаменатель — 1 н. NaOH.

** Числитель — десорбция 90 % водным ацетоном; знаменатель — 1 н. NaOH.

вождается некоторой мобилизацией в раствор ионов металлов, Si, а также элементов питания.

Выветривание минералов под действием органических кислот, кислотных полисахаридов, соединений полифенольного характера имеет, по-видимому, адаптивное значение как для высших растений, так и для микрофлоры почв северных регионов. В то же время этот процесс усиливается при устойчивом глубоком промачивании подзолистых почв по профилю, выносе тонких дисперсных частиц без разрушения и периодическом поверхностном оглеении. Оподзоливание почв таежно-лесной зоны зависит от развития элювиально-глеевого процесса, способствующего энергичной трансформации минеральных соединений и гумуса [8]. Одновременно происходит активное сезонное накопление низкомолекулярных недоокисленных органических компонентов, в определенной мере обуславливающих устойчивость и миграционную способность Fe, Mn, Ca, Al и, вероятно, Si.

Полученные данные по химии почв подзолистого типа позволяют раскрыть многообразные функции данной группы мобильных органических продуктов северных биоценозов в почвообразовании. Отметим основные из них. ВОВ постоянно поступают в почвенный раствор и играют определенную роль в питании высших растений, а возможно, и всех живых организмов таежной зоны; эти компоненты являются свежим питательным субстратом, периодически поступающим в почву с опадом и смываемым осадками с вегетативных органов растений. С энергией, заключенной в химических связях первичных (растительных) органических соединений, в определенной мере связаны активность

микрофлоры и химические реакции в почвах Севера. Важная экологическая роль неспецифических органических соединений состоит в постоянном обновлении гумусового комплекса почвы, в том числе и доминирующей группы веществ фульвокислотного характера. Органические продукты кислотной природы участвуют в перераспределении некоторых химических элементов в подзолистых почвах и геохимических циклах их водной миграции.

Внутрипрофильная абиогенная миграция, в частности, представляет собой направленное и в то же время разноориентированное в почвенном пространстве перемещение гравитационных и капиллярно-диффузионных потоков воды и сопутствующих соединений (растворенных и взвешенных). Вертикальная нисходящая миграция — это сложный динамический сорбционно-десорбционный перенос тех или иных продуктов почвообразования в полидисперсной среде (почве), при котором происходит перераспределение компонентов в системе жидкая фаза — твердая фаза. От направленности и интенсивности подобного перераспределения во многом зависит современное развитие почв подзолистого типа. Причем ВОВ, обуславливая постоянный приток веществ и энергии в почвенное пространство, сообщают почве характер открытой и неравновесной термодинамической системы. В то же время ВОВ определяют и динамичность развития подзолистых почв (непрерывное изменение в пространстве и времени их состава и свойств), препятствуя в той или иной мере установлению равновесного состояния в почве («климакса»). В этом смысле почвы таежной зоны целесообразно рассматривать как динамичные и постоянно об-

новляющиеся стационарные (устойчивые) системы.

Наличие в молекулярных структурах ВОВ разнообразных полидентатных лигандов определяет их активное участие в мобилизации и миграции химических элементов (табл. 5—9). При этом формируются разнообразные по составу и свойствам металлорганические комплексы с различными знаками заряда. Железоорганические комплексы с положительным знаком заряда сорбируются на катионите КУ-2 в H^+ -форме, а отрицательно заряженные — на анионите ЭДЭ-10п в OH^- -форме (табл. 5). В то же время значительное количество миграционных форм Fe не поглощается синтетическими ионообменными смолами, они весьма полно сорбируются оксидом алюминия. По-видимому, это электронейтральные формы Fe, в которых лигандами выступают не только органические, но и минеральные радикалы. Об-

щий масштаб миграции мобильных форм Fe в типичных подзолистых почвах подзоны средней тайги выше, чем, например, в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных. Карбонатный геохимический барьер (гор. V_k) в дерново-карбонатных почвах не задерживает полностью миграционные формы Fe, очевидно, вследствие грубоскелетности всего профиля почвы и интенсивного выноса ВОВ.

Анализ фактических данных показывает, что в дерново-карбонатных почвах Каргопольского стационара среди миграционных форм Fe доминируют органо-минеральные соединения в виде сложного катиона, а в типичных подзолистых и дерново-подзолистых остаточно-карбонатных — электронейтральные аналоги. Эти особенности обуславливают широкий спектр сорбционно-десорбционных взаимодействий при почвенно-геохимической миграции Fe и своеобразии его аккумуляции на геохимических

Таблица 5

Форма и масштаб миграции Fe в лесных почвах Каргопольского и Няндомского стационаров (июнь — сентябрь 1991 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Общий вынос С ВОВ, г/см ²	Fe в кислотно-щелочных элюатах из сорбентов, мг/м ²			Соотношение мигрируемых масс Fe/C
		КУ-2	ЭДЭ-10п	Al ₂ O ₃	

Каргопольский стационар. Лес смешанный разнотравный
разр. 84 — дерново-подзолистая остаточно-карбонатная среднесуглинистая почва

A ₀ ^п — 9	54,2	167,9	82,8	271,5	9,6 · 10 ⁻³
A ₁ — 20	11,1	171,7	He обн.	310,0	4,3 · 10 ⁻²
A ₂ B — 41	34,7	He опр.	72,3	297,0	1,0 · 10 ⁻²

разр. 30 — дерново-карбонатная выщелоченная среднесуглинистая почва

A ₀ ^п — 6	63,8	143,8	84,4	77,5	4,8 · 10 ⁻³
A ₁ — 23	22,5	152,9	60,7	51,5	1,2 · 10 ⁻²
V _k — 39	27,1	108,0	127,0	26,1	9,6 · 10 ⁻³

Няндомский стационар. Сосняк — брусничник беломошный; разр. 85 — сильноподзолистая иллювиально-железистая почва

A ₀ ^п — 8	82,0	218,4	79,8	253,0	6,7 · 10 ⁻³
A ₂ — 22	53,5	239,4	108,4	429,3	1,5 · 10 ⁻²
V _f — 38	28,3	245,5	64,8	77,3	1,4 · 10 ⁻²

Примечание. Сорбенты в колонках располагали последовательно сверху вниз — КУ-2 в H^+ -форме, ЭДЭ-10п и OH^- -форме и Al₂O₃, которые отделяли друг от друга 2—3 см слоями кварцевого песка.

Таблица 6

Параметры оценки годовой скорости абиогенной миграции Si (числитель) и Fe (знаменатель) в глееподзолистой супесчаной почве бассейна р. Мезени (данные табл. 8 и из работы [9])

Горизонт почвы и его мощность, см	Масса слоя почвы, кг/м ²	Запасы, кг/м ²	Валовое содержание, %	Масштаб миграции, кг/м ²	K
A _{2g} — 24	360,0	315,4	87,6	3,4 · 10 ⁻³	1,1 · 10 ⁻⁵
		1,94	0,54	0,3 · 10 ⁻³	1,6 · 10 ⁻⁴
A _{2Bg} — 23	382,0	340,4	89,1	3,1 · 10 ⁻³	9,1 · 10 ⁻⁶
		3,17	0,83	0,3 · 10 ⁻³	9,2 · 10 ⁻⁵
B _g — 30	504,0	444,5	88,2	3,1 · 10 ⁻³	7,0 · 10 ⁻⁶
		4,89	0,97	0,3 · 10 ⁻³	6,3 · 10 ⁻⁵

барьерах (сорбционном, окислительном и т. д.).

Существуют различные подходы к оценке и характеристике миграции веществ, в частности в почвах подзолистого типа [7, 13, 15]. При использовании R_f [15] можно достаточно точно установить меру запаздывания мигрирующего вещества по сравнению со скоростью перемещения растворителя (гравитационного потока воды) в конкретном горизонте и почве в целом.

А. И. Перельман считает [13], что скорость миграции того или иного химического элемента можно оценить по масштабу мобилизации в подвижное состояние (природные воды) в единицу времени с учетом его кларка. По мнению И. С. Кауричева [6], масштаб выноса водорастворимых соединений в известной мере отражает особенности мобилизации и миграции веществ в почвенном профиле на современном этапе.

Таким образом, в почвоведении пока нет универсальной величины, с помощью которой можно было бы охарактеризовать интенсивность выноса водорастворимых соединений. В самом деле, масштаб миграции является достаточно информативным и наглядным параметром.

Однако при его определении не учитываются исходные масса вещества (химического элемента) и его состояние (способность к трансформации) в том или ином генетическом горизонте. Между тем эти показатели весьма актуальны, нередко они определяют результаты оценки интенсивности водной миграции того или иного химического элемента.

Рассмотрим высказанные положения применительно к приведенному ниже примеру. Как видно из данных табл. 8, масштаб миграции Si по профилю супесчаной глееподзолистой почвы значительно больше, чем Fe, — соответственно 3108 и 326 мг/м². Следует ли из этого, что Si более энергичный мигрант, чем Fe? Судя по концентрации в растворе, Si мигрирует активнее, в то же время его кларк (86 %) в горизонтах почвы в среднем заметно выше, чем у Fe (1,4 %). С помощью выражения (1), предложенного А. И. Перельманом [13], можно рассчитать коэффициент водной миграции:

$$K = \frac{m \cdot 100}{an}, \quad (1)$$

где m — концентрация элемента в растворе (воде), г/л; a — сумма минеральных веществ, раство-

ренных в воде, г/л; \bar{n} — среднее валовое содержание элемента в генетических горизонтах (в почве), %; 100 — переводной коэффициент. Подставив экспериментальные данные ($a = 0,200$ г/л; $Si = 0,015$ г/л; $Fe = 0,003$ г/л), получим: $K_{Si} = 0,09$ и $K_{Fe} = 1,07$, т. е. интенсивность водной миграции Fe по профилю супесчаной глееподзолистой почвы на порядок выше, хотя содержание Si в водном растворе больше.

При расчетах значений K в компонентах таежных ландшафтов целесообразно сопоставлять не концентрации химических элементов, а их массы как в жидкой, так и в твердой фазах почвы. Для этого опытным путем определяют среднее значение m по сезонам года и умножают его на среднегодовой расход воды, исходя из объекта изысканий (генетический горизонт, ручей, река, поверхностный сток и т. д.). Искомый параметр есть не что иное, как ионный сток того или иного элемен-

та [19]. Преобразуют и показатель с учетом реальной массы изучаемого слоя породы, почвы и др. Полученная размерность n (кг/м²) удобна для дальнейших расчетов, в которых используются результаты лизиметрических наблюдений (табл. 6). После преобразований выражение (1) принимает вид

$$K = m_{\text{миг}} / A, \quad (2)$$

где $m_{\text{миг}}$ — мигрируемая масса элемента, г/м²; A — исходная масса элемента в горизонте (почве), г/м².

Рассчитанные нами реальные коэффициенты скорости водной миграции Si и Fe, находящихся в ионно-молекулярном состоянии, свидетельствуют, с одной стороны, о слабой растворимости веществ глееподзолистой почвы в условиях северной тайги, более высокой миграционной активности Fe, нежели Si, а с другой — о важной и своеобразной роли ВОВ во внутрипочвенном перераспределении продуктов почвообразования. Мигра-

Таблица 7

Форма и масштаб миграции водорастворимых Fe- и Al-органических соединений в почвах стационара «Белый Раст» (сорбент — активированный уголь; сентябрь — май 1972 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Fe				Al					
	масштаб миграции, мг/м ²	в водоацетонном элюате		в аммиачном элюате		масштаб миграции, мг/м ²	в водоацетонном элюате		в аммиачном элюате	
		мг/л	прочное связанное, % к общему	мг/л	прочное связанное, % к общему		мг/л	прочное связанное, % к общему	мг/л	прочное связанное, % к общему
А ₀ — 13	254	8,8	59,1	5,8	73,4	51	0,8	100	1,3	100
А ₂ — 14	116	4,6	65,2	2,2	72,8	Нет	Нет	—	Нет	—
А _{2В} — 32	263	6,8	67,7	8,2	80,5	34	»	—	1,4	100

Разр. 5 — подзол глееватый тяжелосуглинистый; лес — ельник мертвопокровный

А ₀ — 13	254	8,8	59,1	5,8	73,4	51	0,8	100	1,3	100
А ₂ — 14	116	4,6	65,2	2,2	72,8	Нет	Нет	—	Нет	—
А _{2В} — 32	263	6,8	67,7	8,2	80,5	34	»	—	1,4	100

Разр. 10 — торфянисто-подзолисто-глеевая тяжелосуглинистая почва; оторфованная западина

А ₀ ^{тп} — 6	179	4,4	75,0	5,8	58,4	41	Нет	—	1,7	100
А _{2г} — 15	203	6,8	53,8	4,8	77,1	27	»	—	1,1	100
В(С) — 35	91	3,6	38,9	1,6	62,5	2	»	—	0,1	100

ционная активность С ВОВ в сопряженных геохимических ландшафтах бассейна р. Мезени чрезвычайно высока по сравнению с таковой Si и Fe. Значение К для углерода составляет 12,9—43,9 (в зависимости от сезона). Значительная мобилизация ВОВ из опада и лесных подстилок, а также низкое значение кларка С в почве (и породах) позволяют отнести данный элемент к очень подвижным мигрантам. Вещества, находящиеся в растворенном и во взвешенном состоянии, при миграции взаимодействуют как между собой, так и с твердой фазой почвы. Процессы сорбции, сосаждения элементов, комплексообразования и другие способствуют переходу Fe и Si из одного состояния в другое [3, 5—8, 13, 19]. В то же время реакции взаимодействия компонентов различных фаз почвы протекают при активном участии продуктов жизнедеятельности живых организмов, в частности ВОВ.

Поэтому проводить оценку интенсивности миграции химических элементов в таежных экосистемах только с учетом абиотической составляющей недостаточно. Следует учитывать и биогенный цикл миграции веществ [15].

Сравнив коэффициенты интенсивности водной миграции K_{Fe} и K_{Al} в подзоле и болотно-подзолистой почвах стационара «Белый Раст», можно отметить, что Fe мигрирует примерно в 20 раз энергичнее, чем Al. Этому способствуют меньший масштаб мобилизации Al в раствор из алюмосиликатов и более высокий кларк его в почве.

Изучение миграции типоморфных химических элементов (Fe, Al и Si) в почвах подзолистого типа, как известно, связано с методическими трудностями [3, 5, 7, 8, 12, 15]. В определенной мере этот весьма актуальный для химии почв вопрос решается с помощью метода сорбционных лизиметров, в

Т а б л и ц а 8
Форма и масштаб миграции водорастворимых соединений Fe и Si в лесных глееподзолистых почвах низовья р. Мезени* (сорбент — окись алюминия; июль 1980 г.— июль 1981 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Общий вынос С ВОВ, $г/м^2 \times год^{-1}$	Fe				общий вынос, $мг/м^2$	Si		Соотношение мигрирующих масс Si/Fe
		в 1 н. H_2SO_4 вытяжке после разрушения ВОВ		в 1 н. NaOH вытяжке после разрушения ВОВ			в 1 н. NaOH вытяжке до разрушения ВОВ, $мг/л$	общий вынос SiO_2 , $мг/м^2$	
		$мг/л$	прочное связанное с ВОВ, %	$мг/л$	прочное связанное с ВОВ, %				
A_1^n — 8	55,4	3,0	21,7	0,59	23,5	394,7	12,5	2768	7
A_{2g} — 28	54,9	2,14	17,0	0,71	38,3	312,3	17,0	3379	11
A_2B_g — 42	39,4	1,94	24,2	0,70	51,4	288,6	12,8	3146	11
B_g — 85	29,8	1,95	26,2	0,86	67,4	307,1	16,2	3140	10

* В 1980 г. выпало 385,4 мм осадков, из них 48,3 % в июне — сентябре, в 1981 г. — соответственно 632,8 мм и 43,8 %, в 1982 г. — 513,5 мм и 36,9 %.

Форма и масштаб миграции Fe (в элюатах из сорбентов) в лесных глееподзолистых супесчаных почвах низовья р. Мезени (июль 1981 г.— июль 1982 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Общий вынос Fe, $\frac{\text{г}}{\text{м}^2} \times \frac{1}{\text{год}}$	Al ₂ O ₃ (нейтральная форма)*			Активированный уголь		
		1 н. H ₂ SO ₄	2 % NH ₄ OH	Fe, прочно связанное с ВОВ, %	90 % водный ацетон	2 % NH ₄ OH	Fe, прочно связанное с ВОВ, %
A _d — 8	530,9	0,2	0,3	58,3	1,0	1,3	25,8
	830,1	0,5	0,7		1,6	1,5	
A _{2g} — 33	424,2	0,3	0,3	33,4	0,9	0,8	22,7
	587,1	0,4	0,5		1,00	1,2	
B _g — 85	297,3	0,4	0,3	50,0	0,5	0,4	50,0
	617,8	0,6	0,8		0,9	0,9	
BC _g — 100	201,2	0,2	0,2	73,4	0,3	0,2	72,7
	722,7	0,5	1,0				

* Здесь и в табл. 10 числитель — до разрушения органического вещества, мг/л; знаменатель — после его сжигания, мг/л.

частности путем селективной сорбции тех или иных веществ целевыми сорбентами [7]. Перспективно использование и гель-хроматографии [3, 4].

Лизиметрические исследования показали, что в подзолистых почвах подзоны южной тайги среди миграционных форм Fe преобладают мобильные органо-минеральные соединения, которые не разрушаются в последующих опытах при гель-фильтрации и сорбции на ионитах [8]. В оглеенных горизонтах возрастает доля компонентов, слабосорбируемых активированным углем, но поглощаемых оксидом алюминия (табл. 8). Использование данных сорбентов в сочетании позволяет учитывать миграцию компонентов ВОВ и различных органо-минеральных соединений [6].

В глееподзолистых почвах северной тайги Fe и Si мигрируют как с индивидуальными органическими веществами, так и с гетерогенными фракциями ФК (табл. 9 и 10).

Al в подзолистых почвах мигрирует преимущественно с устойчивыми в термодинамическом отношении фракциями ФК, при этом он полностью связан с органическими лигандами.

Интенсивность водной миграции изучаемых элементов в таежных ландшафтах Архангельской области изменяется как в пространстве, так и во времени. Спектр значений K варьирует (табл. 11) от десятых долей и нескольких единиц (Fe) до десятков (Mn, Cu и Pb) и тысяч (Cd). Скорость миграции элементов во многом зависит от типа ландшафта, генезиса почв, химического состава почвообразующих и водовмещающих пород. На геохимических барьерах (сорбционном, карбонатном, серовом и др.) интенсивность миграции элементов заметно уменьшается, а в ландшафтах с доминированием болот, болотно-подзолистых и дерново-перегнойных глеевых

Таблица 10

Форма и масштаб миграции водорастворимых форм Si (в элюатах из сорбентов) в лесных глееподзолистых супесчаных почвах бассейна р. Мезени (верхний слой в сорбционной колонке — активированный уголь, нижний — Al_2O_3 ; июль 1981 г. — июль 1982 г.)

Горизонт почвы и глубина закладки лизиметров, см	Общий вынос Si, г/м ²	Al_2O_3 (нейтральная форма)				Активированный уголь			
		1 н H_2SO_4	2 % NH_4OH	Si, прочно связанный с ВОВ, %	вынос Si, г/м ² × год ⁻¹	90 % водный ацетон	2 % NH_4OH	Si, прочно связанный с ВОВ, %	вынос Si, г/м ² × год ⁻¹
$A_{0}^{тп}$ — 8	2,47	$\frac{2,6}{3,5}$	$\frac{2,2}{2,2}$	15,8	1,08	$\frac{0,8}{3,8}$	Не обн. $\frac{2,9}{2,9}$	88,1	1,39
A_{2g} — 28	2,43	$\frac{1,6}{3,4}$	$\frac{1,3}{2,7}$	52,5	1,16	$\frac{2,2}{3,3}$	$\frac{1,5}{2,9}$	40,3	1,27
B_g — 85	1,93	$\frac{1,3}{1,7}$	$\frac{0,8}{3,3}$	58,0	0,97	$\frac{1,1}{2,1}$	$\frac{1,5}{2,5}$	43,5	0,96
BC_g — 100	2,00	$\frac{1,4}{2,9}$	$\frac{0,9}{2,3}$	55,8	1,02	$\frac{0,8}{3,3}$	Не обн. $\frac{1,3}{1,3}$	82,6	0,98

почв существенно возрастает (воды р. Нименьги).

Отметим, что ненасыщенность ВОВ поверхностных природных вод как типоморфными, так и тя-

желыми металлами, очевидно, связана с формированием внешнесферных органико-минеральных продуктов [3, 8]. Проникновение металла во внутренние сферы при-

Таблица 11

Интенсивность водной миграции некоторых элементов в таежных ландшафтах Архангельской области (числитель — отбор проб в июне; знаменатель — в августе — сентябре)

Водный источник	Сухой остаток, г/л	$C_{\text{общ}}$ ВОВ в исходной воде, мг/л	К				
			Fe	Mn	Cu	Pb	Cd
Р. Онега (д. Андроновская; Каргопольский стационар)	0,228	19,5	0,6	18,0	5,5	12,1	$1,4 \cdot 10^3$
	0,164	18,2	0,3	11,6	5,8	12,8	$1,1 \cdot 10^3$
Р. Нименьга (д. Конда; Няндомский стационар)	0,100	34,0	1,7	42,0	25,8	36,4	$5 \cdot 10^3$
	0,081	14,9	1,2	21,6	96,8	26,4	$5,5 \cdot 10^3$
Оз. Боровое (д. Андреевское; Няндомский стационар)	0,047	7,7	2,5	80,4	26,3	62,5	$78 \cdot 10^3$
	0,234	16,5	1,0	29,6	8,0	11,4	$1,4 \cdot 10^3$
отлив	0,208	42,8	0,6	11,7	6,8	9,6	$1,5 \cdot 10^3$
	0,372	12,7	0,5	3,4	3,5	3,0	$6,4 \cdot 10^2$
прилив	0,319	36,7	0,4	2,0	3,0	2,0	$4,6 \cdot 10^2$

Примечание. Кларки элементов в литосфере: Fe — 4,65 %, Mn — 0,1, Cu — $4,7 \cdot 10^{-3}$, Pb — $1,6 \cdot 10^{-3}$ и Cd — $1,3 \cdot 10^{-5}$ % [13].

родных лигандов, вероятно, определяется прежде всего спецификой (стадийностью) комплексобразования, обусловленной составом ВОВ и состоянием металлов в растворе [1, 4, 5, 15, 22].

Выводы

1. С помощью модифицированного метода сорбционных лизиметров в натуральных опытах изучены процессы трансформации растительных остатков (меченных изотопом ^{14}C) и формирование групп ВОВ. Показано, что в осенне-ранневесенний период в составе новообразованных ВОВ преобладают индивидуальные органические вещества, одновременно образуются ФК.

2. Формирующиеся группы ВОВ отличаются преимущественно низкомолекулярным составом ($\text{MM} < 1000$).

3. В длительных стационарных опытах исследовались масштаб и форма вертикальной нисходящей миграции Fe-органических соединений в почвах таежной зоны. Наибольший вынос Fe характерен для типичных подзолистых почв Нядомского стационара, наименьший — для дерново-карбонатных почв Каргопольского стационара. Карбонатный геохимический барьер не полностью задерживает Fe-органические комплексы с различным знаком заряда.

4. В почвах подзолистого типа таежной зоны Fe, Al и Si мигрируют как с индивидуальными органическими веществами, так и с гетерогенными фракциями ФК.

5. На основании результатов натуральных опытов по диагностике форм Fe, Al и Si в почвенных растворах и в твердой фазе рассчитаны относительные коэффициенты интенсивности их абиогенной миграции. Показано, что в глееподзолистых почвах интенсивность водной миграции Fe на порядок больше,

чем Si. В типичных подзолистых почвах Fe является более активным мигрантом, чем Al.

6. В таежных ландшафтах низовья р. Мезени С ВОВ мигрирует весьма активно, при этом данный элемент активно влияет на трансформацию и вынос соединений Fe, Al и Si в почвах подзолистого типа.

7. Коэффициент водной миграции некоторых тяжелых металлов в таежных ландшафтах европейского Севера варьирует от нескольких единиц и десятков (Cu и Pb) до тысяч (Cd), что и обуславливает активную аккумуляцию и токсичность Cd.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Л. Н.* Органическое вещество и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980.— 2. *Вильямс В. Р., Саввинов Н. И.* Перегнойные вещества и теория питания растений в науке XVI—XIX столетий.— В кн.: История плодородия почв (учения о перегное почв в XIX в.). М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Ч. 1, с. 19—37.— 3. *Карпунин А. И., Фокин А. Д.* Применение гелевой хроматографии для изучения фульвокислот и железосульфатных соединений.— В сб.: Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв. М.: ТСХА, 1977, с. 102—114.— 4. *Карпунин А. И.* Применение гелевой хроматографии в почвенных исследованиях. М.: ТСХА, 1984.— 5. *Кауричев И. С., Базиллинская М. В., Заболотнова Л. А.* Влияние водорастворимых органических веществ на подвижность Fe, Al и SiO_2 некоторых минералов и пород.— Изв. ТСХА, 1974, вып. 3, с. 105—113.— 6. *Кауричев И. С., Кащенко В. С., Яшин И. М.* Некоторые аспекты подзолообразования в почвах средней тайги.— Изв. ТСХА, 1976, вып. 2, с. 81—90.— 7. *Кауричев И. С., Яшин И. М., Кашанский А. Д.* Применение метода лизиметрических хроматографических колонок в почвенных исследованиях.— В кн.: Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977, с. 167—

- 198.— 8. *Кауричев И. С., Карпухин А. И.* Водорастворимые железоорганические соединения в почвах таежно-лесной зоны.— *Почвоведение*, 1986, № 3, с. 66—72.— 9. *Кащенко В. С., Яшин И. М.* Особенности глееподзолистых почв северной тайги бассейна р. Мезени и их сельскохозяйственное использование.— *Изв. ТСХА*, 1983, вып. 6, с. 91.— 10. *Колышкин Д. А., Михайлова К. А.* Активированные угли (свойства и методы испытаний).— *Справочник. Л.: Химия*, 1972.— 11. *Кравков С. П.* Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании.— В кн.: *Биохимия и агрохимия почвенных процессов. Л.: Наука*, 1978, с. 103—127.— 12. *Орлов Д. С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990.— 13. *Перельман А. И.* Геохимия лесных ландшафтов.— В кн.: *Геохимия ландшафта. М.: МГУ*, 1975, с. 155—208.— 14. *Фокин А. Д., Карпухин А. И.* Исследование гумификации растительных остатков и превращений гумусовых веществ в почве с использованием изотопа ^{14}C .— *Почвоведение*, 1974, № 11, с. 72—78.— 15. *Фокин А. Д.* Почва, биосфера и жизнь на Земле. М.: Наука, 1986.— 16. *Черников В. А.* Диагностика гумусового состояния почв по показателям структурного состава и физико-химическим свойствам.— Автореф. докт. дис. М.: МСХА, 1983.— 17. *Яшин И. М.* Некоторые свойства соединений фульвокислотного характера дерново-подзолистых почв.— В сб.: *Органическое вещество и плодородие почв. М.: ТСХА*, 1983, с. 43—56.— 18. *Яшин И. М., Кауричев И. С.* Превращение растительных остатков и формирование групп гумусовых соединений в подзолистых почвах.— *Изв. ТСХА*, 1989, вып. 4, с. 42—53.— 19. *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.— 20. *Forsyth W.*— *Biochem. J.*, 1947, vol. 4, N 2, p. 176.— 21. *Flaig W.*— *Soil. Sci.*, 1971, vol. 111, N 1, p. 19.— 22. *Schnitzer M.*— *Soil. Organic Matter. Amsterdam*, 1978, p. 1.

Статья поступила 16 марта 1993 г.

SUMMARY

On the base of the results obtained after studying transformation of plant residues (labelled with isotope ^{14}C) and formation of groups of water-soluble organic substances, their role in abiogenous migration of Fe, Al and Si in soils of stationary subzones of southern and middle taiga of European North has been substantiated.