

УДК 631.442.2:631.421.3:631.416.7

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ИЗВЕСТКОВЫХ МЕЛИОРАНТОВ И МИГРАЦИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ ПОДЗОЛИСТОГО ТИПА

А. И. ПУНОНИН, И. М. ЯШИН, В. А. ЧЕРНИКОВ, И. Г. ПЛАТОНОВ,  
В. Н. МАЙМУСОВ

(Кафедры экологии, земледелия и методики опытного дела)

В длительных стационарных опытах, проводимых в учхозе «Михайловское» Московской области, изучали процессы мобилизации, трансформации и миграции водорастворимых органических веществ и влияние на них разных систем обработки почвы и удобрения.

Для функционирования живых организмов целинных (лесных) биогеоценозов европейского Севера характерно активное продуцирование в растворимое состояние разнообразных групп водорастворимых органических веществ (ВОВ), в том числе и компонентов кислотной природы [4, 6, 8, 9]. Биологический поток существенно пополняется за счет мобилизации ВОВ из лесных подстилок и почвенного гумуса, которому свойствен главным образом фульватный состав [19].

Освоение и распашка лесных почв подзолистого типа приводят к радикальному изменению функционального состояния почвенного покрова и процессов почвообразования. При окультуривании подзолистых почв изменяется и роль растительности в элементарных почвенных процессах. Воздействие культурной растительности проявляется импульсно, в течение короткого

периода вегетации. При этом с урожаем из почвы практически безвозвратно отчуждается значительная часть минеральных и органических соединений. В пахотных подзолистых почвах нет аналога лесной подстилке, что и определяет кардинальные изменения направленности и масштабов процессов мобилизации и миграции ВОВ. Из-за слабовыраженного у большинства культурных растений механизма биогенного кислотообразования их рост и развитие без применения средств мелиорации и удобрений оказываются явно заторможенными, а продуктивность — весьма низкой.

Высказанные положения в той или иной мере уже изучены. Однако особенности современных процессов почвообразования в агроценозах таежно-лесной зоны исследованы недостаточно полно. В частности, слабо освещены функцио-

нальная роль ВОВ в агроценозах, взаимодействие групп ВОВ с химическими мелиорантами. Этим вопросам и была посвящена данная работа.

### Методика

Лесные и пахотные почвы стационаров представлены подзолистыми и дерново-подзолистыми средне-суглинстыми подтипами, которые в той или иной мере оглеены по микропонижениям рельефа. В течение 1986—1991 гг. изучались морфологические, физико-химические и физические свойства почв, сезонная динамика фракционно-группового состава гумуса [9] и другие свойства. Стационары расположены в учхозе ТСХА «Михайловское» Московской области в смешанном (вторичном) и еловом лесах и на участках длительного полевого опыта № 7.

Процессы трансформации свежих и гумифицирующихся растительных остатков в натуральных условиях исследовали с помощью метода сорбционных лизиметров и его модификации [8]. Сорбционные колонки с целевыми поглотителями монтировали с приемниками лизиметрических вод и в 2—3-кратной повторности устанавливали в почвенную траншею.

Для изучения влияния систем обработки почвы и удобрения на процессы мобилизации и миграции в ней ВОВ сорбционные лизиметры располагали в пахотном горизонте следующих вариантов опыта № 7<sup>1</sup>: I (1) — отвальная интенсивная обработка (контроль), принятая в Нечерноземной зоне РСФСР, без удобрений; I (3) и I (5) — отвальная интенсивная об-

работка и соответственно 2N60P60K60 и 2N60P60K60 + 14,4 т навоза на 1 га; III (1) — минимальная фрезерная обработка, без удобрений; III (3) и III (5) — минимальная фрезерная обработка и соответственно 2N60P60K60 и 2N60P60K60 + 14,4 т навоза на 1 га; IX (1) — сочетание трехъярусной и отвальной обработок с фрезерованием, без удобрений; IX (3) и IX (5) — сочетание трехъярусной и отвальной обработок с фрезерованием и соответственно 2N60P60K60 и 2N60P60K60 + 14,4 т навоза на 1 га.

Исходя из задачи эксперимента, использовали следующие типы сорбентов: активированный уголь, размер частиц 0,25—0,1 мм, основную окись алюминия для хроматографии, ионообменные синтетические смолы (катионит КУ-2 в H<sup>+</sup> форме и аниониты-полифункциональный ЭДЭ-10п и монофункциональный АВ-17 и ОН<sup>-</sup> форме). Подготовка сорбентов к опытам, технология десорбции поглощенных соединений, анализ групп ВОВ в элюатах (низкомолекулярных органических кислот, полифенолов, фульвосоединений и других веществ) изложены в предыдущих публикациях [9, 18].

С целью изучения трансформации препаратов гидрогелей гуминовых кислот (ГК) и известкового мелиоранта (порошка доломита) под воздействием ВОВ кислотной природы модифицированные сорбционные лизиметры устанавливали в профиль лесной подзолистой почвы непосредственно под кроной зрелой ели [8, 18]. Гуматы натрия очищали на хроматографической колонке с катионитом КУ-2 в H<sup>+</sup> форме (диаметр колонки — 1,85 см, высота рабочего слоя ионита — 16,5 см, масса — 15,0 г). Гидрозоли гуматов натрия (530 мл) фильтровали через слой катионита со скоростью

<sup>1</sup> Подробная характеристика систем обработки почвы и удобрения представлена в работах [13, 19].

60 мл/ч. Значения pH растворов изменялись с 5,3 до 2,6. Концентрация углерода уменьшалась с 2133 до 1096 мг/л. Порции гидрозоля ГК (по 50 мл) подкисляли 3 мл 5 н.  $H_2SO_4$  до pH 1,5 и осторожно вносили на слой кварцевого песка в сорбционной колонке. Масса углерода ГК составляла 54,8 мг. Слой гидрогеля ГК располагали в колонках сверху — над активным углем, осторожно закрывали его влажным кварцевым песком вровень с краями колонок и вместе с приемниками вод помещали в почвенный профиль. При установке колонок необходимо, чтобы рабочая поверхность плотно контактировала с тщательно выровненной горизонтальной плоскостью ниши. Располагают лизиметры в траншее в виде уступа. Ниши и весь почвенный разрез аккуратно засыпают и уплотняют. Отличительной особенностью тонкодисперсных сорбентов в колонках является значительное сопротивление по отношению к фильтрующимся почвенным растворам, поэтому при соблюдении методики сорбционные лизиметры функционируют примерно в том же режиме, что и почва.

После заданного срока функционирования сорбционные лизиметры извлекали из почвенных разрезов, упаковывали в целлофановые мешочки и транспортировали в лабораторию, где слои кварцевого песка и изучаемые химические препараты извлекали из колонок, высушивали при температуре 35 °С, взвешивали и помещали в плотные пакеты. Проводили также анализ состава воды, поступившей в приемные сосуды лизиметров. Новообразованные группы ВОВ, сорбированные активированным углем, последовательно элюировали в динамических условиях 90 % водным ацетоном (400—500 мл), водой и

2 % водным  $NH_4OH$  (450—600 мл). В слоях песка определяли содержание органического углерода.

Препараты фульвокислот (ФК) выделяли из горизонта  $A_0A_1$  силеноподзолистой почвы (Белый Раст) по методу Форсита [9, 21]. Хроматографическое фракционирование фульвосоединений осуществляли на колонках с активированным углем марки «Карболен» (масса — 50 г, толщина слоя — 4—5 см). Собственно ФК элюировали с угля 500—600 мл 2 % водного раствора  $NH_4OH$  и затем водой. Объединенные элюаты упаривали в вакуум-испарителе при температуре ~40 °С досуха, растворяли в 100—150 мл воды и пропускали через хроматографическую колонку с катионитом КУ-2 в  $H^+$  форме [20]. Величина pH водных растворов ФК составляла 2,15—2,35.

В серии лабораторных опытов исследовали трансформацию порошка известняка под воздействием водных растворов ФК, находящихся в коллоидном<sup>2</sup> и ионно-молекулярном состояниях.

В сорбционные лизиметры порошок доломита вносили на слой влажного кварцевого песка массой 34,0 г (отдельный вариант) и 24,0 г (вариант опыта:  $CaCO_3 +$  гидрогель ГК).

Схема закладки полевого опыта в еловом лесу: 1-й вариант (контроль) — колонки с одним активированным углем для учета масштаба и состава мигрируемых масс ВОВ, 2-й — гидрогель ГК, 3-й — гидрогель ГК, внесенный на слой порошка  $CaCO_3$ .

Целевые химические препараты, нанесенные на слой кварцевого песка, осторожно закрывали влажным кварцевым песком слоем 3 см

<sup>2</sup> В форме ассоциатов из молекул и ионов ФК.

вровень с поверхностью сорбционного лизиметра и вместе с приемниками лизиметрических вод устанавливали в почвенный профиль на глубину 2—10 см. Почвенную траншею располагали непосредственно под кроной зрелой ели для улавливания максимально возможных масс ВОВ и определения их воздействия на исследуемые препараты в течение летне-осеннего периода.

Содержание углерода в растворе после предварительного упаривания аликваты определяли по методу Тюрина в модификации Симакова (повторность закладки лизиметров 2—4-кратная, аналитических проб — 2—3-кратная), железа в растворах — на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer-503, используя в качестве сравнения шкалу стандартных растворов.

Взаимодействие водных растворов ФК, находящихся в коллоидном и ионно-молекулярном состояниях, с порошком  $\text{CaCO}_3$

В проблеме химической мелиорации почвенного покрова агроценозов таежно-лесной зоны (известкования почв с кислой реакцией среды) не все аспекты изучены в равной мере. Это прежде всего относится к химизму реакций трансформации мелиорантов в почве, что, очевидно, обусловлено недооценкой специфики процессов современного почвообразования в условиях европейского Севера, в частности устойчивой мобилизации в раствор и миграции по профилю почв подзолистого типа значительных масс ВОВ кислотной природы [18—21]. Именно эти органические компоненты, придающие почвенным растворам и лизиметрическим водам уникальное природное своеобразие, в большинстве

случаев не учитываются при оценке трансформации в почвах известковых мелиорантов и миграции образующихся продуктов [6—9, 11].

Изучение природы ФК показало, что их константа диссоциации ( $\text{pK}_1$ ) по сравнению с  $\text{H}_2\text{CO}_3$  в тысячу и более раз больше [18], поэтому почвенные ВОВ более активно диссоциируют на ионы и участвуют в разнообразных химических реакциях вне конкуренции со стороны  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . В то же время органическая и неорганическая формы углерода тесно взаимосвязаны, что находит отражение как в своеобразии функционирования биоценозов, так и в специфике современных процессов почвообразования. Лиганды почвенных органических кислот отличаются универсальной комплексобразующей способностью, что позволяет удерживать в растворе различные катионы, при этом повышаются их доступность растениям и миграционная подвижность [4, 5].

Исходя из химической природы ВОВ, мы попытались выяснить влияние компонентов ВОВ подзолистой почвы на растворимость порошка  $\text{CaCO}_3$ , сорбцию ВОВ мелиорантом, а также уточнить характер воздействия мобилизованного в раствор кальция на наиболее активную в химическом отношении группу ВОВ — ФК, находящиеся в растворе в коллоидном и ионно-молекулярном состояниях.

Взаимодействие водных растворов ФК с порошком  $\text{CaCO}_3$  (частицы менее 0,1 мм) изучали методом переменных концентраций. В химические стаканы емкостью 250 мл помещали по 10 г мелиоранта и приливали по 50 мл водного раствора ФК с переменной концентрацией: от 0,14 до 2,25 мг ФК (по углероду) в 1 мл раствора. Взаимодействующие компоненты

периодически встряхивали в течение 6 сут до установления сорбционного равновесия. О межфазном распределении ФК в изучаемой системе  $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{ФК}$  судили по данным о содержании углерода в исходном и равновесном растворах.

Сорбция ФК порошком  $\text{CaCO}_3$  протекает при значительной конкуренции за сорбционные места со стороны молекул растворителя и в определенной мере зависит от состояния ФК в водном растворе. Изотерма сорбции заметно отличается от классического (Лэнгмюровского) типа, а уравнение Лэнгмюра применимо лишь для отдельных ее участков.

В связи с этим была проведена новая серия опытов. Исходные (маточные) растворы ФК пропускали через свечу Шамберлена. Данный ультрафильтр задерживал 95,1 % ФК (по углероду) к исходной концентрации. Следовательно, в области высоких концентраций ФК присутствуют в растворах преимущественно в коллоидном состоянии и в меньшем количестве в ионно-молекулярном. Концентрация углерода ФК в растворе уменьшилась с 2254,0 до 111,0 мг/л. Пропущенные через свечу Шамберлена растворы ФК разбавляли водой для получения рабочих концентраций (от 0,007 до 0,111 мг углерода ФК в 1 мл). В каждой серии опытов с 5 г порошка  $\text{CaCO}_3$  взаимодействовало 50 мл раствора в течение 5 сут.

Сорбция ФК, находящихся в растворе в ионно-молекулярном состоянии, как и в варианте с ассоциатами ФК, в целом отличается полимолекулярным характером и удовлетворительно описывается уравнением полимолекулярной сорбции БЭТ. Однако на отдельных стадиях сорбционного процесса наблюдаются различные по природе явления. Емкость поглощения  $\text{CaCO}_3$  оказа-

лась равной 2,5—2,9 мг ФК (по углероду) на 1 г. Исследования показали, что на начальной стадии сорбции (до концентраций 0,055 мг ФК на 1 мл) процесс достаточно четко подчиняется уравнению мономолекулярной сорбции. На последующих этапах происходят отклонения от теории, связанные, по-видимому, с активным межмолекулярным взаимодействием и осадкообразованием продуктов реакции, ионным обменом, диффузией и стабилизацией в растворе тонкодисперсных суспензий  $\text{CaCO}_3$  компонентами ФК.

Мобилизующая и комплексобразующая способность ФК зависит от их состояния в растворах: в ионно-молекулярном состоянии ФК более активно мобилизуют в раствор ионы кальция (от 27,7 до 68,0 мг/л), но комплексобразующая способность оказалась выше у ФК, находящихся в коллоидном состоянии. Формирование в изучаемой системе водорастворимых кальцийфульватных комплексных соединений в значительной мере зависит и от реакции среды (табл. 1).

Коллоидное состояние ФК благоприятствует осадочному механизму сорбции, при этом формируются новые продукты реакции, отличающиеся слабой миграционной способностью.

В области низких концентраций (6,9—13,9 мг ФК на 1 л) и значении pH в равновесном растворе, равном 8,3, не только активизировалась мобилизация в раствор ионов кальция, но и увеличивалась комплексобразующая способность ФК. Очевидно, в разбавленных растворах (практически визуально бесцветных) ФК находятся в сильно ионизированном состоянии, а их кислотные свойства, как слабых электролитов, подчиняются закону разбавления Оствальда.

Таблица 1

Трансформация порошкообразного известняка и мобилизация ионов кальция\* в водных растворах ФК

Вариант опыта	рН		ФК (по С) в исходном растворе, мг/л	Водорастворимый $\text{Ca}^{2+}$ в равновесном растворе, мг/л			$\text{Ca}^{2+}$ , прочно связан- ный с ФК, % $\text{Ca}_{\text{общ}}$
	раствор с исходным содержанием ФК	равновесный раствор		общий — после сжигания ФК 20 % $\text{H}_2\text{O}_2$	до разрушения ФК	связанный с ФК	

*Коллоидное состояние ФК в растворе\*\**

Контроль — $\text{CaCO}_3$ (10 г) + + $\text{H}_2\text{O}$ (50 мл)	9,34	8,83	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	3,05	8,02	2254,0	41,3	19,6	21,7	52,6
2	3,31	8,10	1127,0	33,7	15,2	18,5	54,9
3	3,58	8,16	563,5	23,9	12,0	11,9	49,8
4	3,90	8,30	281,8	21,8	7,6	14,2	65,2
5	4,52	8,27	140,9	17,7	—	—	—

*Ионно-молекулярное состояние ФК в растворе*

Контроль — $\text{CaCO}_3$ (5,0 г) + + $\text{H}_2\text{O}$ (50 мл)	9,29	8,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	3,25	8,07	111,0	68,0	56,4	11,6	17,1
7	3,65	8,05	55,5	47,7	40,0	7,7	16,1
8	3,96	8,22	27,8	33,5	22,4	11,1	33,2
9	4,32	8,25	13,9	27,7	14,2	13,5	48,7
10	4,52	8,30	6,9	28,8	14,0	14,8	51,4

\* Общее содержание  $\text{Ca}^{2+}$  в растворах после сжигания ФК определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer-503, в водных растворах — на иономере ЭВ-74 с помощью ионоселективного электрода марки ЭМ-Са-01.

\*\* Ассоциативное состояние, свойственное высокомолекулярным органическим веществам в растворах.

**Особенности трансформации гидрогеля ГК и порошка доломита в профиле лесной подзолистой почвы**

Как показали натурные лизиметрические опыты, порошок доломита под влиянием естественных ВОВ трансформируется весьма активно. За 102 сут из мелиоранта в раствор мобилизовалось почти 53 мг ионов кальция на 1 л. Из этого количества 14,7 % кальция было

диагностировано в форме комплексных кальцийфульватных соединений. В 4-м варианте отмечена более высокая мобилизация ионов кальция в раствор, причем в приемнике лизиметрических вод в составе водорастворимой формы кальция диагностировано 58,6 % кальцийорганических комплексных соединений (табл. 2). Этот факт, очевидно, обусловлен реакциями взаимодействия гидрогеля ГК с компонентами природных ВОВ, поступаю-

щими в подзолистую почву из вегетативных органов растений, лесной подстилки и гумусовых веществ. Продукты взаимодействия (преимущественно фульватные органические соединения) более активно, чем ВОВ лесных подстилок, комплексируют мобилизованные в раствор ионы кальция и при определенной реакции среды с гравитационным потоком воды мигрируют по профилю подзолистой почвы. Гравитационные потоки почвенной влаги являются, как известно, одним из основополагающих факторов, определяющих генезис и свойства почв подзолистого типа [3, 6, 7, 16]. Не исключено, что в пахотных подзолистых почвах реакции сорбционного комплексообразования ВОВ (и особенно ФК) с целевыми мелиорантами играют своеобразную функциональную роль в формировании химических свойств почвы.

Трансформация препаратов гидрогелей ГК в горизонтах  $A_0$  и  $A_1$  лесной подзолистой почвы весьма своеобразна (табл. 3). Препаратам гидрогелей ГК, локализованным в колонках над слоем активированного угля, свойственна значительная сорбционная способность по отношению к определенным группам ВОВ, о чем свидетельствует более высокая концентрация последних в контрольном варианте в приемниках лизиметрических вод. После контакта с изучаемыми химическими препаратами в слое сорбентов поступали, естественно, трансформированные группы ВОВ. После взаимодействия природных ВОВ с гидрогелем ГК в их составе незначительно (на 6—12 %) возросла доля индивидуальных органических компонентов, что косвенно указывает на обновление молекулярных структур ГК за счет низ-

Таблица 2

Мобилизация ионов кальция (числитель — после разрушения ВОВ, знаменатель — до разрушения) и железа в раствор при трансформации ряда химических препаратов по профилю лесной подзолистой почвы (стационар в учхозе «Михайловское»; лес хвойный мохово-травяной; гор.  $A_0$  — 3 см)

Вариант опыта	рН лизиметрических вод сорбционных колонок	Общее содержание ионов $Ca^{2+}$ и $Fe^{3+}$ после разрушения ВОВ 20 % $H_2O_2$ , мг/л*		$Ca^{2+}$ , прочно связанный ВОВ, % $Ca_{общ}$ в растворе
		Ca	Fe	
1. Контроль — колонки с активированным углем	4,35	3,10	0,54	Не опр.
2. Гидрогель ГК	5,10	Не опр.	2,41	Не опр.
3. Порошок $Ca(Mg)CO_3$	8,07	$\frac{52,5}{44,8}$	2,00	14,7
4. Гидрогель ГК + порошок $Ca(Mg)CO_3$	8,34	$\frac{136,2}{56,4}$	0,62	58,6
5. Почвенно-грунтовые воды, отобранные с ареалов залегания подзолистых почв (вблизи разр. 7. Отбор проб воды — 31/X — 89 г. с глубины 1,2 м)	5,24	$\frac{0,81}{0,74}$	3,62	8,6

\* В водах сорбционных лизиметров.

Таблица 3

Трансформация гидрогелей ГК и порошка доломита в сорбционных лизиметрах в лесных подзолистых почвах с 20 июля по 30 октября 1989 г. (стационар в учхозе «Михайловское»; разр. 7, горизонт  $A_0$  — 3 см в 1, 2, 4 и 5-м вариантах и  $A_1$  — 7 см — в 3-м)

Вариант опыта	Объем воды в лизиметрах, л	Сухой остаток в лизиметрических водах, мг/л	С ВОВ в лизиметрических водах, мг/л	С ВОВ, сорбированным углем*			С в препаратах** в конце опыта, %	Масштаб миграции ВОВ (по С), г/м <sup>2</sup>	
				в водонасыщенном элементе	в аммиачном элементе	все-го		общий: уголь + препараты	расчет по препаратам
1. Контроль — колонки с активированным углем	0,76	0,426	$\frac{53,9}{13,1}$	$\frac{228,6}{55,6}$	$\frac{128,8}{31,3}$	$\frac{411,3}{100,0}$	—	47,1	—
2. Колонки с гидрогелем ГК и активированным углем	0,64	0,290	$\frac{3,7}{1,5}$	$\frac{165,4}{67,4}$	$\frac{76,3}{31,1}$	$\frac{245,4}{100,0}$	0,23	67,0	43,3
3. То же	0,24	0,317	$\frac{8,6}{3,1}$	$\frac{171,4}{61,5}$	$\frac{98,6}{35,4}$	$\frac{278,6}{100,0}$	0,14	23,4	13,3
4. Порошок Ca (Mg)CO <sub>3</sub> и активированный уголь	0,60	0,384	$\frac{46,5}{13,8}$	$\frac{124,7}{37,1}$	$\frac{165,4}{49,1}$	$\frac{336,6}{100,0}$	0,17	56,0	25,6
5. Колонки с гидрогелем ГК + Ca (Mg)CO <sub>3</sub>	1,16	0,815	$\frac{30,6}{6,5}$	$\frac{249,8}{53,0}$	$\frac{190,8}{40,5}$	$\frac{471,2}{100,0}$	0,29	118,1	35,8

\* Числитель — мг·л<sup>-1</sup>, знаменатель — % C<sub>общ</sub>  
 \*\* Гидрогель ГК и порошок Ca (Mg)CO<sub>3</sub>.

комолекулярных органических соединений, причем скорость протекания подобных реакций по сравнению, например, с гумусообразованием относительно высокая (опыт длился 102 сут).

Способность гидрогелей ГК поглощать ВОВ была использована для уточнения масштаба вертикальной миграции ВОВ в подзолистой почве. В контроле вынос ВОВ из горизонта  $A_0$  (под кроной зрелой ели) составил 47,1 г/м<sup>2</sup>, а с учетом сорбции групп ВОВ

гидрогелем ГК — 67,0 г/м<sup>2</sup>. Таким образом, значительная масса ВОВ в летний период минерализовалась до конечных продуктов CO<sub>2</sub>, воды и солей. Примечательно, что в случае преобладания в составе ВОВ фульватных компонентов (при расположении колонок в горизонте  $A_1$ , 3-й вариант) гидрогель ГК в меньшем количестве сорбировал ВОВ. В 5-м варианте с учетом поглощения ВОВ активированным углем был установлен наибольший масштаб мобилизации ВОВ, а их вынос



из горизонта  $A_0$  составил 118,1 г/м<sup>2</sup>. Разница по сравнению с контролем (71,0 г/м<sup>2</sup>), очевидно, отражает массу ВОВ (60,2 %), минерализованную микроорганизмами. Следовательно, с помощью модификации метода сорбционных лизиметров появилась возможность проводить ориентировочную оценку статей баланса ВОВ: масштаба мобилизации, специфики их трансформации и характера миграции по профилю подзолистой почвы.

Натурные опыты позволили установить также влияние мобилизованных в раствор ионов кальция из порошка доломита на состав ВОВ, поступающих в генетические горизонты подзолистой почвы из лесной подстилки (табл. 3). По сравнению с контрольным вариантом, где в составе ВОВ доминировали индивидуальные органические вещества, в варианте с  $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$  в составе ВОВ преобладали специфические органические соединения, в том числе и гуминоподобные компоненты, на долю которых приходилось 49,1 % к  $\text{C}_{\text{общ}}$ .

Характерно, что ионы кальция слабо поглощались гидрогелем ГК, который не является для них сорбционным барьером; по-видимому, это связано с мобилизацией и устойчивым воздействием ВОВ кислотной природы на гуматы кальция в условиях промывного водного режима. Заметное влияние на указанные процессы оказывают концентрация, состав и свойства групп ВОВ, мобилизуемых в раствор из различных органогенных субстратов. В связи с этим сведения о трансформации растительного опада и формировании групп ВОВ весьма актуальны.

**Сезонная трансформация  
растительного опада  
и миграция водорастворимых**

**веществ в лесных и пахотных почвах  
подзолистого типа**

Информация о современных почвенных процессах, в отличие от статической характеристики почвенных образцов, позволяет реально оценить функциональное состояние почв. Важно располагать данными о мобилизации ВОВ из опада и вегетативных органов живой растительности, а также последующих этапах трансформации и миграции ВОВ по профилю почвы, позволяющими раскрыть генетическую функцию ВОВ и выяснить их участие в биогеохимических циклах миграции ряда химических элементов.

Механизм превращения растительного опада в специфические гумусовые соединения в условиях таежно-лесной зоны так или иначе связан со стадией мобилизации и трансформации групп ВОВ. Характерно, что им сопутствуют периодическое (сезонное) переувлажнение и промывной тип водного режима [8, 17, 21].

К сожалению, практически нет данных о сопряженных процессах мобилизации и миграции ВОВ как в элементарном объеме почвы, так и в отдельной почвенной комбинации.

Исследования показали, что масштаб мобилизации ВОВ в лесных биоценозах подзоны южной тайги, состав формирующихся ВОВ и их вынос определяются типом и состоянием растительного опада, а также гидротермическими условиями его трансформации [7, 8, 18—21].

В осенне-ранневесенний период свежий опад листьев дуба в смешанных лесах Подмосквы трансформировался весьма активно (убыль исходной массы составила 71,1 %), а в составе новообразованных химических соединений на

Таблица 4

Содержание и состав ВОВ, мобилизованных в раствор из растительных остатков в натурном опыте стационара учхоза «Михайловское»

Вариант опыта	Масса С ВОВ, % к массе растительных остатков	Идентифицированная масса ВОВ (по С), г	Состав ВОВ, % С <sub>общ</sub>			К <sub>моб</sub> ВОВ из растительных остатков	Расчетный вынос ВОВ по их мобилизованной массе, г/м <sup>2</sup>
			водо-ацето-новая фракция	водо-аммиачная фракция	С в лизи-мет-рических водах		
<i>Осенне-весенний период (разр. б; лес смешанный с травяным покровом)</i>							
Свежие листья дуба	66,2	3,53	$\frac{5011,0}{85,1}$	$\frac{583,4}{9,9}$	$\frac{291,1}{5,0}$	$4,7 \cdot 10^{-1}$	498,2
Гумифицирующиеся листья дуба	16,3	0,22	$\frac{344,0}{70,0}$	$\frac{105,4}{21,5}$	$\frac{41,6}{8,5}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	31,1
Свежая хвоя ели	52,0	0,91	$\frac{486,1}{69,6}$	$\frac{194,2}{27,8}$	$\frac{17,8}{2,6}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	128,4
<i>Летний период</i>							
Свежие листья дуба	6,5	0,31	$\frac{353,0}{63,8}$	$\frac{124,1}{22,4}$	$\frac{76,4}{13,8}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	45,5
Гумифицирующиеся листья дуба	3,1	0,11	$\frac{67,6}{27,1}$	$\frac{167,6}{67,1}$	$\frac{14,7}{5,9}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	19,1
Измельченные растительные остатки клевера	3,2	0,20	$\frac{320,8}{61,1}$	$\frac{134,0}{25,5}$	$\frac{70,0}{13,4}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	30,3
Измельченные растительные остатки овсяной соломы	5,8	0,13	$\frac{140,1}{55,4}$	$\frac{73,0}{28,9}$	$\frac{39,6}{15,7}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	20,1

Примечание. Числитель — концентрация ВОВ (по С) в мг/л; знаменатель — относительное содержание компонентов ВОВ в % С<sub>общ</sub>; К<sub>моб</sub> — отношение массы С ВОВ, идентифицированной в опыте, к массе С в исходном растительном материале в г.

долю жидких ВОВ приходилось 66,1 % углерода. Свежая хвоя ели трансформировалась менее активно (23,3 % убыли исходной массы), но доля углерода ВОВ в составе промежуточных органических продуктов составляла 52,0 %. Гумифицирующиеся листья дуба оказались наиболее устойчивыми к разложению: убыль исходной массы достигала лишь 18,0 %. Из данного орга-

ногенного субстрата в растворимое состояние мобилизовалось 16,3 % ВОВ кислотной природы.

В летний период процессы минерализации и гумификации наземного растительного опада отличались как более высокой скоростью, так и меньшим масштабом мобилизации ВОВ в раствор. При этом не исключена возможность активной минерализации ВОВ микроорганизмами

до конечных продуктов —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и воды.

Из свежего растительного субстрата в рассматриваемые сезоны года мобилизовались ВОВ, в составе которых преобладали индивидуальные органические соединения. Наибольший масштаб мобилизации этих компонентов был идентифицирован в опыте с листьями дуба. Максимальный масштаб мобилизации в раствор специфических органических соединений установлен в опыте при трансформации гумифицирующихся листьев дуба в летний период. Свежий растительный опад травянистой растительности (измельченные стебли и листья клевера красного и овсяной соломы) в летний период трансформировался весьма своеобразно. Так, в вариантах опыта с опадом клевера значение рН лизиметрических вод в сорбционных лизиметрах составило 7,8, а растительной массой овсяной соломы — 3,5 (табл. 4). Не исключено, что летом трансформация опада клевера сопровождается чрезвычайно интенсивной минерализацией новообразованных групп ВОВ (в течение первых десятков суток), при этом формируются конечные продукты, в частности аммиак.

Полученные данные позволяют полнее оценить роль пожнивных остатков и зеленой массы многолетних бобовых трав 2-го года пользования, заключающейся не только в улучшении азотного питания, гумусового состояния, повышении биологической активности, но и в благоприятном изменении газового режима и реакции среды в микрозонах пахотного горизонта дерново-подзолистого почвы.

Неоднозначные по масштабу, скорости и природе процессы трансформации растительного опада в летний и осенне-весенний сезоны, при которых формируются разно-

качественные органические продукты, обуславливают принципиально различные последующие этапы закрепления, миграции и перераспределения групп ВОВ в почвенном профиле и ландшафтах таежно-лесной зоны.

Рассмотрим фактический материал по миграции ВОВ в почвах стационаров. Наибольший масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ характерен для подзолистого поверхностно-глеватой среднесуглинистой почвы, испытывающей временное сезонное переувлажнение. Миграция ВОВ, как показали натурные исследования, тесно связана с процессами их мобилизации и гравитационным потоком воды. Она представляет собой сложный, сорбционно-десорбционный процесс перераспределения (адсорбционного хроматографирования и комплексообразования) групп ВОВ в конкретном трехмерном объеме подзолистого почвы. При этом в каждом генетическом горизонте протекает своеобразная и неповторимая трансформация ВОВ. Вертикальный нисходящий поток ВОВ и других химических соединений из-за особенности морфологии и химического состава почв подзолистого типа, а также ярко выраженного микро-рельефа и пестроты почвенного покрова может видоизменяться в боковой (латеральный) поток, локализующийся и изменяющийся, как правило, в горизонтах  $A_2$  и  $A_2'$  (в профилях с двучленным сложением).

Нисходящая миграция ВОВ в элювиальных горизонтах подзолистых почв средне- и тяжелосуглинистого состава резко дифференцирована в пространстве и приурочена к различным по форме и протяженности трещинам (в том числе и магистральным, доходящим до горизонта ВС), поэтому расположение сорбционных лизиметров, осо-

Содержание, состав и масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ в почвах подзолистого типа на стационарах учхоза «Михайловское» с 23 мая 1987 г. по 20 мая 1988 г.

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	Объем воды, профильтровавшийся через сорбционные лизиметры, л	Концентрация С ВОВ, мг/л (в скобках — вынос, г/м <sup>3</sup> )				С неспецифических органических веществ в составе ВОВ, %	
		из сорбентов и приемников вод	в элюатах из сорбентов		в водах из приемников сорбционных лизиметров		
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	активированного угля**			
A <sub>0</sub> — 2 см	—	509,5(30,1)	—	274,5 235,0	(30,1)	—	53,9
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> — 5 см	—	118,0(6,8)	—	47,0 71,0	(6,8)	—	39,8
A <sub>2</sub> — 24 см	—	213,0(12,1)	—	70,6 142,4	(12,1)	—	33,1

Разр. 8. Молодой ельник мохово-травяной; почва — сильнопodzолистая среднесуглинистая

Разр. 9. Зрелый ельник мохово-травяной (осоково-моховая запылина); почва — среднеpodзолистая поверхностно-глееватая среднесуглинистая (в 10 м от разр. 8)

A <sub>I</sub> <sup>+</sup> — 3 см	0,55	312,9(19,8)	—	185,2 90,6	(19,8)	37,1	67,2
»	—	280,1(49,3)	—	196,6 83,5	(49,3)	—	70,2
»	—	510,4(51,1)	—	427,4 83,0	(51,1)	—	83,7

»	—	267,9(44,8)	—	$\frac{149,8}{118,1}$ (44,8)	—	55,9
<i>Разр. 4, опыт 7; минимальная фрезерная обработка, без удобрений; почва — освоенная дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на покровных суглинках (посев ячменя сорта Заозерский 85)</i>						
A <sub>пах</sub> — 15 см	1,1	618,3(13,6)	$\frac{7,2-21,0}{87,0-189,0}$	$\frac{42,6-64,9}{396,0-478,0}$ (7,0)	7,1	12,3
A <sub>2</sub> — 21 см	0,8	273,2(5,3)	$\frac{9,0-27,0}{96,0}$	$\frac{48,0}{91,4-130,9}$ (2,7)	4,7	43,2

\* Числитель — 90 % водный ацетон, знаменатель — 2 % водный NH<sub>4</sub>OH.

\*\* Числитель — 1 н. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> элюат, знаменатель — 1 н. NaOH.

бенно в горизонтах A<sub>2</sub> и A<sub>2</sub>B, заметно сказывается на величине горизонтной миграции и общем балансе ВОВ в элювиальной части профиля (табл. 5 и 6). В частности, в элювиальных горизонтах почв стационаров был установлен отрицательный баланс ВОВ, что согласуется с данными о содержании и составе гумусовых соединений, а также особенностями морфологии профиля подзолистых почв. В горизонтах A<sub>0</sub> и A<sub>д</sub> расчет баланса ВОВ проводили с учетом результатов натурных опытов, в которых изучалась мобилизация ВОВ из опада летом, осенью и весной [18, 19]. Подобный подход позволяет оценить не только вклад групп ВОВ в формирование гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистых почв, но и их участие в поддержании характерного газового и водно-солевого режимов почвы.

Компонентный состав ВОВ почвенных растворов при их фильтрации в верхних генетических горизонтах лесной и пахотной почв существенно дифференцируется и на выходе из этих горизонтов (A<sub>пах</sub> и A<sub>1</sub>) становится преимущественно фульватным. Подобная перегруппировка состава ВОВ как следствие их адсорбционного хроматографирования, очевидно, связана с изменениями молекулярно-массового состава, пространственной структуры их молекул, степени диссоциации и формированием комплексных соединений. Одним из специфичных результатов перегруппировки состава ВОВ и радикального изменения состояния и свойств ВОВ в почвенных растворах является оподзоливание подпахотного горизонта дерново-подзолистых почв. Этот процесс, вероятно, сопряжен как с резким уменьшением концентрации ВОВ в растворах при их нисходящей миграции (переходом компо-

нентов ВОВ в ионно-молекулярное состояние), так и с заметным повышением (по нашим расчетам в среднем в 8 раз) степени электролитической диссоциации молекулы ВОВ, что способствует увеличению их химической активности [20].

Разноориентированные миграционные потоки ВОВ в подзолистых почвах взаимосвязаны. Так, восходящие капиллярно-диффузионные потоки воды и находящихся в ней ВОВ по масштабу весьма значительны ( $5,3-7,1 \text{ г/м}^2$ ), при этом в составе ВОВ заметно преобладают фульвосоединения. Вертикальный восходящий поток ВОВ в

почвах таежно-лесной зоны целесообразно рассматривать как важный компенсационный механизм физической природы, ослабляющий элювиальный вынос продуктов выветривания и почвообразования из генетических горизонтов подзолистых почв в грунтовые и поверхностные природные воды [11, 21].

Фактические сведения о вертикальной нисходящей миграции ВОВ в годовом цикле были дополнены наблюдениями в стационарном опыте 7 по двум контрастным сезонам: осенне-ранневесеннему (без растительности) и летнему при возделывании озимой пшеницы сорта Миро-

Таблица 6

Миграционный баланс ВОВ (по С,  $\text{г/м}^2$ ) в элювиальной части почвенного профиля лесной и пахотной почв подзолистого типа стационаров в учхозе «Михайловское» с 23 мая 1987 г. по 20 мая 1988 г.

Глубина установки сорбционных лизиметров, см	Привнос ВОВ из залегающего выше горизонта (+МП)	Вынос ВОВ в результате нисходящей вертикальной миграции с потоком влаги (-МВ)	Масштаб мобилизации ВОВ в гор. $A_0$ и $A_{\text{пах}}$	Миграционный баланс ВОВ по горизонтам (МВ+МП)
--	---	---	---	---

*Разр. 8. Лесная сильноподзолистая почва*

$A_0$ — 2 см	—	—30,1	159,2*	—30,1
$A_0A_1$ — 5 см	+30,1	—6,8	Не опр.	+23,3
$A_2$ — 24 см	+6,8	—12,1	»	—5,3
На выходе из элювиальной части профиля	+36,9	—49,0		—12,1

*Разр. 4. Пахотная дерново-подзолистая почва; минимальная обработка*

$A_{\text{пах}}$ — 15 см	—	—13,6	86,7**	—13,6
$A_2$ — 21 см	+13,6	—5,3(—22,2***)	—	+8,3(—8,6)
На выходе из элювиальной части профиля	+13,6	—18,9(—35,8)		—5,3(—22,2)

\* С учетом полученных данных рассчитан погоризонтный баланс ВОВ. Например, для лесной подстилки: 60 % мобилизованной в раствор массы ВОВ минерализуется до воды, газов и солей ( $95,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ), 21,1 % или  $21,1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ , закрепляется на месте и 18,9 %, или  $30,1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ , мигрирует в глубину почвы с потоком гравитационной влаги.

\*\* Баланс ВОВ в пахотном горизонте: 79 % мобилизованной в раствор массы ВОВ минерализуется ( $68,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ); 15,7 %, или  $13,6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ , элюируется в глубину почвы и 5,3 %, или  $4,6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ , закрепляется — сорбируется компонентами почвы.

\*\*\* Сорбционные лизиметры устанавливали непосредственно в зоне гор.  $A_2$  одной из магистральных трещин, опускающихся до гор. ВС.

новская 808. В летний период сорбционные лизиметры во всех вариантах опыта устанавливали на глубину 10 см, учитывая, с одной стороны, неравномерное и неглубокое промачивание горизонтов  $A_{\text{пах}}$  и  $A_2$  в этот сезон и размещая, с другой, колонки в зоне основного сосредоточения корневых систем растений с целью оценки масштаба корневых выделений. Отметим, что за летний сезон 1988 г. выпало 205 мм осадков (или 41,4 % годового количества), из них только за июль — 95 мм.

Масштаб мобилизации и миграции ВОВ в горизонте  $A_{\text{пах}}$  летом в целом сопоставим с осенне-ранневесенним (условно названным абиеогенным). Получены данные, подтверждающие своеобразную роль разнообразных органических веществ в составе корневых выделений как в питании культурных растений, так и в наличии функциональной связи между высшими растениями и почвенной биотой [1, 13, 14].

Состав ВОВ, продуцируемых в почву биологическим путем, в пери-

Таблица 7

Содержание, состав и масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ и железоорганических соединений в пахотном горизонте дерново-подзолистых почв опыта № 7 в период вегетации (с 3 мая по 7 августа 1988 г.)

Вариант опыта (глубина установки сорбционных лизиметров 10 см)	С ВОВ, г/м <sup>2</sup> (в скобках — мг/л)						Внос железа (до сжигания ВОВ) } мг/м <sup>2</sup>	
	общий вынос	вынос* по сорбции на $Al_2O_3$	в т. ч. в элюатах с $Al_2O_3$		в кислотно-щелочных элюатах с ионитов		общий с ионитов	в элюатах с КУ-2
			в 1 н. $H_2SO_4$	в 1 н. $NaOH$	КУ-2 Н+ форма	ЭДЭ-10п ОН форма		
<i>Контроль — отвальная интенсивная обработка</i>								
I(1) — без удобрений	9,1	6,5	1,0	2,7	0,3(21,4)	2,3(163,9)	103,2	54,2
I(3) — 2NPK	8,4	7,4	1,3	3,0	0,2(14,3)	0,8(57,0)	56,9	27,9
I(5) — 2NPK + навоз	12,7	11,6	1,0	2,5	0,6(42,8)	0,5(35,6)	78,7	59,5
<i>Минимальная фрезерная обработка</i>								
III(1) — без удобрений	8,3	7,1	0,3	2,5	0,4(28,6)	0,8(57,0)	106,5	60,2
III(3) — 2NPK	8,2	5,9	0,9	2,4	0,2(14,3)	2,1(149,7)	59,9	45,6
III(5) — 2NPK + навоз	9,8	9,0	0,1	2,4	0,2(14,3)	0,6(42,8)	57,6	27,9
<i>Сочетание 3-ярусной и отвальной обработок с фрезерованием</i>								
IX(1) — без удобрений	13,0	9,2	1,2	2,4	0,5(35,6)	3,3(235,2)	102,8	64,4
IX(3) — 2NPK	9,0	7,7	0,6	2,8	0,5(35,6)	0,8(57,0)	58,0	41,4
IX(5) — 2NPK + навоз	14,9	10,2	1,3	3,2	0,8(57,2)	3,9(278,0)	43,3	29,4

\* Содержание С определяли по методу Тюрина непосредственно в  $Al_2O_3$ .

од вегетации в различных вариантах опыта неоднозначен. Наиболее активная мобилизация ВОВ, в частности, низкомолекулярных органических кислот, корнями озимой пшеницы отмечена при отвальной обработке без удобрений, минимальной фрезерной и внесении по 120 кг д. в. азота, фосфора и калия, а также сочетании 3-ярусной и отвальной с фрезерованием без удобрений.

Характерно, что оксид алюминия в сорбционных лизиметрах поглощал основную массу ВОВ — 68,5 и 91,8 % к общему количеству соответственно в вариантах IX (5) и в III (5). Поглощенные  $Al_2O_3$  компоненты ВОВ в лаборатории не полностью десорбировались даже такими эффективными элюентами, как водные растворы 1 н.  $H_2SO_4$  и 1 н. NaOH. Наибольшее количество необратимо сорбированных  $Al_2O_3$  органических веществ — 55,9 % в варианте IX (5) и 69,8 % — в III (5) — отмечено при использовании органо-минеральных удобрений. Продукты десорбции с сорбентов по свойствам оказались близкими к соединениям полифенольной природы (табл. 7).

В осенне-ранневесенний период наблюдалась также интенсивная мобилизация ВОВ в растворимое состояние. Источником ВОВ служили пожнивные остатки, органические удобрения и гумусовые соединения самой почвы. Наименьшая величина мобилизации и миграции ВОВ ( $7,2—8,3$  г/м<sup>2</sup>) отмечена при использовании одних минеральных удобрений. Не исключено, что в данном случае в раствор мобилизовались наиболее доступные для живых организмов и миграционно способные компоненты ВОВ, минерализация которых и обусловила весьма небольшой масштаб их миграции. В этом направлении целесообразны дальнейшие изыскания.

Оценивая миграционный баланс ВОВ в почвах опыта 7, можно заключить, что мобилизация ВОВ в раствор, их трансформация и последующая миграция зависят главным образом от системы обработки почвы и применения удобрений. Вертикальный нисходящий вынос ВОВ наиболее интенсивен при возделывании озимой пшеницы в варианте с комплексным использованием 3-ярусной и отвальной обработок почвы и фрезерования. В этом варианте опыта внесение одних минеральных удобрений ослабляет вынос ВОВ, очевидно, за счет периодической активизации почвенных микроорганизмов и минерализации ВОВ. В вариантах без удобрений происходили активная мобилизация и миграция ВОВ в элювиальной части почвенного профиля.

Таким образом, химические мелиоранты и удобрения, трансформируясь в пахотном горизонте, оказывают быстрое и радикальное воздействие прежде всего на компонентный состав и свойства ВОВ, мобилизующихся в раствор из растительных остатков и гумуса. Новообразованные продукты в последующем участвуют в различных физико-химических реакциях: сорбционно-десорбционных процессах, коагуляции коллоидов, ионном обмене, мобилизации и трансформации типоморфных химических элементов и элементов питания растений.

Исключительно важная роль ВОВ в современных почвенных процессах, несмотря на динамичный состав, полимолекулярную природу, высокие мобильность и доступность различным группам организмов, определяется рядом коллоидно-химических свойств, в частности их способностью заметно активизировать реакции взаимодействия в почве путем сорбции, сосаждения и



уменьшения поверхностного натяжения водных растворов и как следствие — улучшения смачиваемости гидрофобных структур гумусовых соединений и разлагающихся растительных остатков. ВОВ выполняют также важную мобилизационную функцию — способствуют переводу в раствор различных химических элементов из труднорастворимых почвенных соединений и последующему формированию металлоорганических комплексов, в том числе и хелатных соединений [1, 5, 7]. Последние характеризуются значи-

тельной миграционной активностью и доступностью живым организмам.

Результаты лизиметрических наблюдений показывают, что в пахотных дерново-подзолистых почвах опытного участка процессы мобилизации и миграции, например, железозоанических комплексных соединений в летний период выражены слабо. Это связано с отсутствием процессов переувлажнения и наличием слабовыраженного вертикального нисходящего потока почвенной влаги. В летний период почвенные процессы локализуются

Таблица 8

Содержание, состав и масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ в дерново-подзолистых почвах опыта 7 в абиогенный период — с 5 сентября 1988 г. по 4 мая 1989 г. (в сорбционных лизиметрах использовали по 2 слоя  $Al_2O_3$  для хроматографии)

Вариант опыта, горизонт и глубина установки сорбционных лизиметров, см	Объем воды, прошедшей через лизиметры, л	рН лизиметрических вод колонок*	С ВОВ				
			общие за абиогенный сезон		в приемных сосудах сорбционных лизиметров, мг/л	элюировано с сорбентов и водным NaOH, % сорбированного С <sub>общ</sub>	общий вынос за год, $г/м^2 \times год^{-1}$
			вынос, $г/м^2$	концентрация, мг/л			
<i>Контроль — отвальная интенсивная обработка</i>							
<i>A<sub>пах</sub> — 24 см:</i>							
I(1) — без удобрений	0,33	8,9	9,0	93,0	47,8	76,6	18,1
I(3) — 2NPK	0,36	8,5	7,2	73,2	31,6	86,3	15,6
I(5) — 2NPK + навоз	0,37	8,2	10,4	89,6	36,6	65,1	23,1
<i>Минимальная фрезерная обработка</i>							
<i>A<sub>пах</sub> — 16 см:</i>							
III(1) — без удобрений	0,29	9,0	12,9	140,6	103,4	56,6	21,2
III(3) — 2NPK	0,18	8,6	7,7	76,0	44,0	93,5	15,9
III(5) — 2NPK + навоз	0,49	8,2	10,8	74,6	26,3	72,2	20,6
<i>Сочетание 3-ярусной и отвальной обработок с фрезерованием</i>							
<i>A<sub>пах</sub> — 24 см:</i>							
IX(1) — без удобрений	0,65	8,0	11,7	75,0	32,3	64,1	24,7
IX(3) — 2NPK	0,46	8,1	8,3	112,4	33,0	96,4	17,1
IX(5) — 2NPK + навоз	0,48	7,9	11,8	67,4	30,2	71,2	26,7

\* Существенное подщелачивание лизиметрических вод обусловлено спецификой сорбента: рН водной суспензии  $Al_2O_3$  составляет 9,3—9,5.

в большей мере по горизонтам со слабовыраженным единым миграционным циклом в профиле почвы.

В опыте 7 наблюдалась тенденция к активизации образования и выноса железоорганических соединений на участках, где удобрения не вносили. Отсутствие доступного резерва питания способствует развитию у растений механизма кислотообразования, с помощью которого и осуществляется мобилизация элементов питания из почвенных минералов. Установлено, что в вариантах опыта I(1), I(2) и III(5) в составе водорастворимых железоорганических комплексных соединений, мобилизованных в раствор, диагностированы примерно равные количества положительно и отрицательно заряженных комплексов. В вариантах I(5), III(3), IX(3), IX(5) и в меньшей мере в вариантах III(1), IX(1) среди железоорганических комплексных соединений преобладали компоненты с положительным знаком заряда, активно сорбируемые сильноосновным катионитом КУ-2 в  $H^+$  форме (табл. 8).

Водорастворимые железоорганические соединения, мигрирующие в толще пахотного горизонта дерново-подзолистой почвы с гравитационной влагой, являются сильноненасыщенными и отличаются весьма широким отношением масс ВОВ и железа.

### Выводы

1. В лабораторных и натурных стационарных опытах исследован механизм трансформации известных мелиорантов под воздействием природных компонентов ВОВ. В основе данного механизма лежат реакции сорбционного комплексно- и осадкообразования, усиливающиеся в щелочном интервале рН.

2. Под воздействием компонентов

ВОВ из труднорастворимых  $CaCO_3$  и  $Ca(Mg)CO_3$  в раствор активно мобилизуются ионы кальция, которые, в свою очередь, способствуют перегруппировке молекулярных структур ВОВ, при этом изменяются их состав, свойства и миграционная способность.

3. Использование в одном сорбционном лизиметре как целевого сорбента (активированного угля), так и гидрогеля ГК (природного биополимера) позволило уточнить масштаб мобилизации ВОВ из растительного опада и установить характер трансформации гидрогеля ГК в лесной подзолистой почве.

4. Гидрогель ГК не является устойчивым сорбционным барьером для мобилизованных в раствор ионов кальция, очевидно, из-за своеобразного и систематического влияния ВОВ кислотной природы, способствующих элюированию ионов кальция из сорбированного ГК состояния.

5. Модификация метода сорбционных лизиметров позволила ориентировочно оценить миграционный баланс ВОВ в лесных и пахотных почвах подзолистого типа.

6. В пахотных дерново-позволистных почвах, используемых в интенсивных системах земледелия, мобилизация ВОВ в летний период связана главным образом с корневыми выделениями культурных растений. В осенне-ранневесенний период продуцирование компонентов ВОВ в раствор происходит за счет трансформации растительных остатков, органических удобрений и гумусовых соединений почвы.

7. Трансформация растительных остатков клевера в летний период сопровождается заметным доминированием процессов минерализации над гумусообразованием. При этом формируются преимущественно газообразные продукты, изменяющие

реакцию среды в слабощелочной интервал, что благоприятно сказывается на биологической активности почв и питании растений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин Н. С. Повышение плодородия кислых почв.— М.: Колос, 1969.—
2. Асаров Х. К. Повышение эффективности известкования кислых почв.— Изв. ТСХА, 1968, вып. 3, с. 57—69.— 3. Бобрицкая М. А. Водная миграция азота и других элементов в профиле дерново-подзолистой почвы как расходные статьи при балансовых расчетах.— В кн.: Роль азота в земледелии дерново-подзолистых почв. М., Колос, 1974, с. 146—187.—
4. Масленников Б. И., Шульман Ю. А. Изучение взаимодействия гуминовых кислот с катионами щелочно-земельных металлов.— Научн. докл. высш. шк. Биол. науки, 1988, № 9, с. 93—96.—
5. Корнилов М. Ф., Небольсин А. Н., Семенов В. А. и др. Известкование кислых почв Нечерноземной полосы СССР.— Л.: Колос, 1971.—
6. Кауричев И. С., Ганжара Н. Ф., Комаревцев Л. Г. Роль водорастворимых органических веществ в формировании гумусового горизонта дерново-подзолистых почв.— В сб.: Современные почвенные процессы. М.: ТСХА, 1974, с. 7—84.—
7. Кауричев И. С., Яшин И. М., Карпунин А. И., Платонов И. Г. Особенности мобилизации и трансформации водорастворимых органических веществ в подзолистых почвах Архангельской области.— Изв. ТСХА, 1991, вып. 3, с. 71—83.—
8. Кауричев И. С., Яшин И. М. Образование водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков.— Изв. ТСХА, 1989, вып. 1, с. 47—57.—
9. Кауричев И. С., Яшин И. М. Теоретическое обоснование метода лизиметрических хроматографических колонок.— Изв. ТСХА, 1973, вып. 3, с. 89—98.—
10. Коротков А. А., Новицкий М. В. О методике учета количества корней в дерново-подзолистых почвах.— В сб.: Зап. ЛСХИ, 1970, т. 137, вып. 4, с. 39—
- 42.—
11. Небольсин А. И. Теоретическое обоснование известкования почв северо-запада Нечерноземной зоны РСФСР.— Автореф. докт. дис. Л., 1983.—
12. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации.— М.: МГУ, 1990.—
13. Пупонин А. И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны.— М.: Колос, 1984.—
14. Самцевич С. А. Гелеобразные корневые выделения растений и их действие на почву и корневую микрофлору.— В кн.: Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. Матер. Междунар. симпоз. 28 августа—12 сентября 1968. Л.: Наука, 1968, с. 206—209.—
15. Шильников И. А., Лебедева Л. А. Известкование почв.— М.: Агропромиздат, 1987.—
16. Фокин А. Д. Методы оценки миграционных составляющих гумусового баланса почвы.— В сб.: Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при с.-х. использовании и интенсивном окультуривании почв. М.: ВАСХНИЛ и Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1984, с. 45—51.—
17. Черников В. А. Оценка гумусового состояния почв с термодинамических и кинетических позиций.— Изв. ТСХА, 1988, вып. 5, с. 49—58.—
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., Маймусов В. Н., Байбекова Л. И. и др. Динамика качественного состава гумуса дерново-подзолистых почв стационарных опытов учхоза «Михайловское» ТСХА.— М.: МСХА, 1990, с. 7—18.—
20. Яшин И. М. Некоторые свойства соединений фульвокислотного характера дерново-подзолистых почв.— М.: МСХА, 1983, с. 43—56.—
21. Яшин И. М., Черников В. А., Карпунин А. И., Раджабова П. А. Содержание и состав водорастворимых органических веществ в поверхностных природных водах европейского Севера.— Изв. ТСХА, 1990, вып. 3, с. 68—83.

Статья поступила 20 июня 1991 г.