

УДК 631.417.2

СОДЕРЖАНИЕ, ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
И СВЯЗЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ГРУППАМИ
И ФРАКЦИЯМИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ
ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ - МСХА

А.Ю. ГАЛАКТИОНОВ, к. с.-х. н.; А.И. КАРПУХИН, д.б.н.

(Кафедра почвоведения)

Применение метода гелевой хроматографии позволило установить как количественные показатели непосредственного накопления металлов в тех или иных группах и фракциях органического вещества, так и качественные закономерности их распределения по компонентам гумуса почвы.

Загрязнение окружающей среды является одной из наиболее значительных экологических проблем, требующей всестороннего и детального изучения. Увеличение автопарка, развитие сети автомобильных дорог привели к тому, что начиная с 50—70-х гг. транспорт стал одним из основных факторов техногенной нагрузки. Исследование почв придорожных полос показало наличие загрязнения выбросами автотранспорта на расстоянии 30-50 м (до 200 м) от полотна автодороги, где содержание тяжелых металлов может варьировать на 1-2 порядка, локально превышая ПДК в 85—100 раз [1]. Тяжелые металлы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвенного покрова, и их дальнейшее распределение зависит от химических и физических свойств конкретной почвы [7].

Наиболее реакционно-способными компонентами почвы являются почвенные коллоиды, органические и органоминеральные соединения. Гумусовые вещества, взаимодействуя с минеральными компонентами твердой фазы почвы, формируют в значительной степени ее сорбционные свойства. Любые соединения, поступающие в почву извне, взаимодействуют с орга-

ническим веществом как твердой фазы, так и почвенного раствора [11].

Практически все элементы группы тяжелых металлов проявляют координационные свойства, являясь комплексобразователями. Поэтому особое значение придается изучению процессов комплексообразования ионов тяжелых металлов и микроэлементов с гуминовыми и фульвокислотами почв. Интерес к реакции комплексообразования объясняется значительной ролью, которую играют комплексные соединения в процессе почвообразования, в частности, в перераспределении различных веществ в почвенном профиле. Возникновение прочных соединений металлов с органическими веществами во многом определяет условия миграции или накопления металлов и гумусовых веществ в почвенном профиле [17].

На основании приведенных фактов очевидна необходимость изучения процессов поступления, накопления, миграции и трансформации тяжелых металлов в почвах, расположенных вблизи автомагистралей с интенсивным движением, особенно это актуально для почв лесопарковых территорий города, так как интенсивность антропогенной нагрузки на них в большинстве случаев достигает критического уровня.

Объекты и методы исследований

Объектом наших исследований являются среднемошнородерновые, среднеподзолистые почвы Лесной опытной дачи МСХА. В VIII квартале ЛОД на типичных почвах был заложен разрез и серия прикопок с отбором образцов для лабораторного анализа. Прикопки и разрез находились на линии перпендикулярной проезжей части Тимирязевской улицы: 1-я и 2-я на расстоянии 10 и 20 м от шоссе соответственно, далее, на расстоянии 45 м был заложен разрез на полный профиль и в 65 м еще одна прикопка (рис. 1). Данное расположение точек отбора было выбрано исходя из того, что, по многим литературным данным, основное количество тяжелых металлов осаждается в среднем на 50 м от автомобильной дороги. Таким образом, можно изучить распределение тяжелых металлов как по профилю почвы разреза, так и на различных расстояниях от шоссе, предполагая, что основным источником токсикантов в данном районе является автотранспорт.

Все разнообразие почв Лесной опытной дачи можно объединить в 3 основные группы: 1 — дерново-среднеподзолистые почвы с разной мощностью дернового горизонта, сформировавшиеся на моренном суглинке; 2 — дерново-, слабо- и среднеподзолистые почвы с разной мощностью дернового горизонта, сформировавшиеся на пес-

ке и супеси; 3 — дерново-сильноподзолистые, преимущественно слабо- и среднедерновые глееватые почвы на суглинке [3].

По описанию разреза исследуемую почву можно классифицировать как дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке.

В работе использовали следующие методы исследований:

1. Анализ содержания валовых форм тяжелых металлов методом двойной вытяжки 6 н. раствором соляной кислоты и подвижных форм тяжелых металлов в вытяжке 1 н. соляной кислотой по методу ЦИНАО. Анализ вытяжек с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра Perkin Elmer 403.

2. Определение общего углерода методом И.В. Тюрина в модификации Д.С. Орлова и Н.М. Гриндель и анализ состава гумуса по методу М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой.

3. Метод систематизированной гелевой хроматографии. Применяли гели «Сефадекс» G-10, G-50, G-100. Оптическую плотность элюата определяли фотоколориметрическим способом при длине волны 215 нм (ФЭК-56).

Профильное распределение тяжелых металлов. Молекулярно-массовый состав гумусовых кислот

При сравнении полученных данных с ПДК [18] (табл. 1) нужно отметить, что содержание тяжелых металлов в

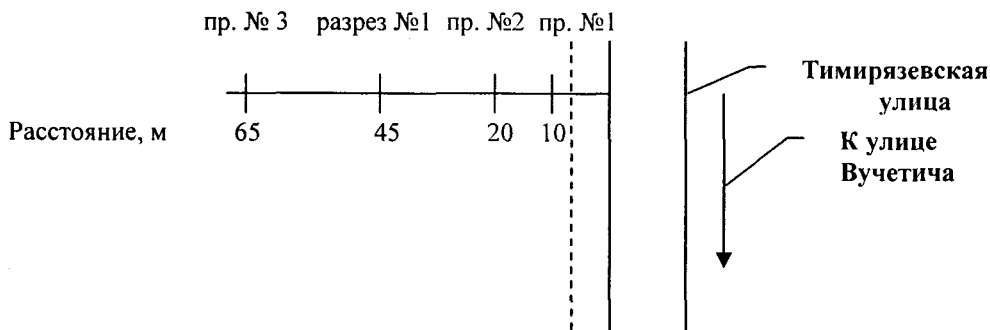


Рис. 1. Схема расположения прикопок и разреза

Таблица 1

Содержание подвижных и валовых форм тяжелых металлов (мг/кг) в почвах ЛОД МСХА

Образец	Горизонт	Cd		Zn	
		подвижные	валовые	подвижные	валовые
Пр. 1	A ₁	1,15	4,75	76,68	77,5
Пр. 2	A ₁	0,67	4,22	27,62	79,1
Пр. 3	A ₁	0,81	4,79	30,46	53,6
Разрез 1	A ₁	0,68	4,84	33,74	72,3
	A ₁ A ₂	0,58	4,53	14,51	57,5
	A ₂	0,62	4,57	10,26	72,5
	A ₂ B	0,68	4,88	8,64	63,0
	B	0,95	4,83	17,72	72,7
	BC	0,71	4,77	20,35	44,1
	C	1,24	4,59	11,26	99,8
НСП ₀₉₅		5,14	0,15	—	—
				Cu	
Пр. 1	A ₁	16,01	23,70	10,36	64,0
Пр. 2	A ₁	14,00	17,78	9,48	43,8
Пр. 3	A ₁	13,76	18,93	13,21	35,6
Разрез 1	A ₁	15,07	24,21	9,58	39,4
	A ₁ A ₂	4,58	7,34	7,97	49,3
	A ₂	4,44	6,17	6,77	36,2
	A ₂ B	3,51	7,52	6,07	28,2
	B	7,76	13,89	8,80	26,9
	BC	7,07	17,55	8,05	29,4
	C	6,74	14,81	8,00	37,8
НСП ₀₉₅		1,30	1,13	—	—

почвах Лесной опытной дачи не менее чем в 2 раза ниже соответствующих границ ПДК, за исключением кадмия, содержание которого зачастую превышает показатель ПДК.

С учетом pH почвенного раствора и механического состава почвы были определены ОДК по исследуемым металлам [16, 18]: медь (почвы суглинистые и глинистые, pH < 5,5) — 66 мг/кг; цинк — 110; кадмий — 1,0 мг/кг.

Все экспериментальные значения по цинку и меди в 1,5 — 3 раза ниже ОДК, однако содержание кадмия в исследуемых почвах более чем в 4 раза превосходят значения ОДК.

Распределение тяжелых металлов по профилю почвы неравномерно. Имеет место 2 максимума содержания исследуемых элементов: на уровне горизонта A₁ и горизонта B (рис. 2). Что мож-

но интерпретировать как результат процесса миграции ТМ по профилю почвы с последующим накоплением их в иллювиальном горизонте B. Следовательно, для данной почвы характерен иллювиально-элювиальный тип распределения рассматриваемых элементов.

Распределение валовых форм тяжелых металлов по поверхности имеет плавное нисходящее характер с максимумом около полотна автодороги. Этот факт свидетельствует о наличии аэротехногенного поступления таких тяжелых металлов, как кадмий, кобальт, молибден и цинк.

В табл. 2 представлены данные о содержании валовых и подвижных форм кадмия и цинка в подзолистой почве, расположенной на незагрязненной фоновой территории в Дмитровском районе Московской обл.

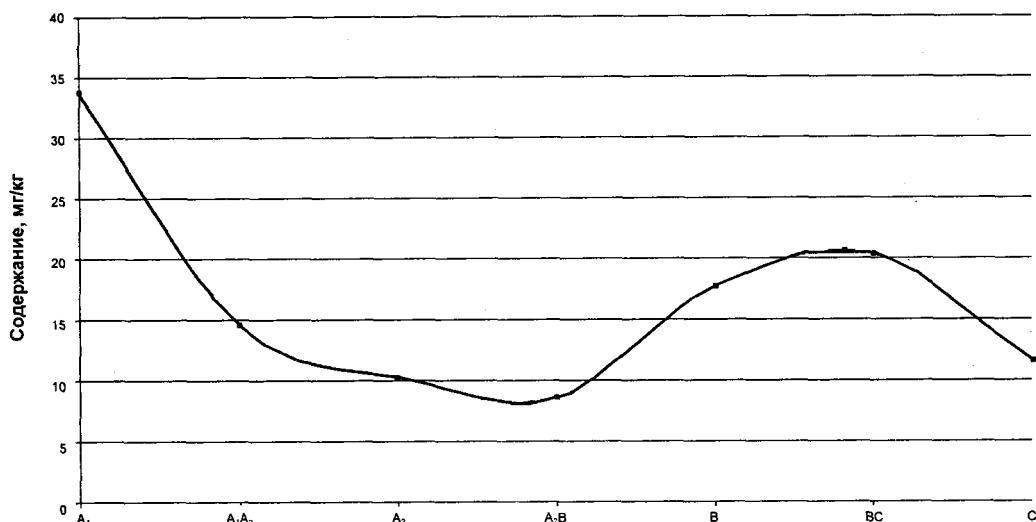


Рис. 2. Распределение валовых форм Zn по профилю исследуемой почвы

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в подзолистой почве фоновых территорий, мг/кг

Горизонт	Zn		Ca	
	валовые формы	подвижные формы	валовые формы	подвижные формы
A ₁ A ₂	41,27	17,67	0,69	0,27
A ₂	33,60	15,18	—	—
A ₂ B	27,02	17,13	—	—
B	30,36	17,89	—	—
BC	19,06	15,25	—	—
C	17,08	14,86	0,043	—

Сравнивая полученные данные с представленными в табл. 2, можно установить, что содержание валовых и подвижных форм цинка в исследуемых почвах в 1,5-2 раза, а валовое содержание кадмия — в 6-7 раз выше соответствующих значений для фоновых почв. Наиболее ярко эти различия проявляются в верхних горизонтах.

С учетом данных Н.М. Грачевой [2] о среднем содержании цинка в незагрязненных участках Лесной опытной дачи МСХА и исследуемой почве были рассчитаны:

— показатель общего накопления цинка (Zn вал. иссл. / Zn вал. фон) — 1,58;

— показатель активного загрязнения (Zn подв. иссл. / Zn подв. фон) — 4,37;

— показатель защитных возможностей почвы (соотношение вышеприведенных показателей) — 2,76.

Органическое вещество непосредственно участвует в процессах, связанных с состоянием и поведением тяжелых металлов в почве. Включение тяжелых металлов в состав органоминеральных соединений, с одной стороны, может являться фактором закрепления этих элементов в почве, с другой — образование комплексных соединений тяжелых металлов с водорастворимыми органическими веществами определяет процессы миграции

катионов тяжелых металлов в составе комплексных соединений. В связи с этим было проведено изучение распределения тяжелых металлов по группам и фракциям органического вещества исследуемых почв.

Для исследуемой почвы характерен гуматно-фульватный состав гумуса со средним соотношением СГК : СФК = 0,7-0,8.

На долю тяжелых металлов, входящих в состав органического вещества, в среднем приходится от 17 до 30% их валового содержания в почве. Распределение тяжелых металлов по группам органического вещества имеет закономерный характер. Органические вещества фульвокислотной природы (ФК) накапливают преобладающие количества тяжелых металлов, на их долю приходится от 52 до 99% связанных с органическим веществом тяжелых металлов. По литературным данным эта величина составляет у разных типов почв от 54 до 73% [19].

Учитывая содержание в вытяжке углерода гуминовых и фульвокислот, был произведен пересчет содержания тяжелых металлов в гумусовых кислотах в группах органических веществ, т.е. рассчитано удельное содержание тяжелых металлов (табл. 3). Этот показатель более информативен, так как показывает непосредственное накопление тяжелых металлов органическим веществом, зависящее в основном от особенностей взаимодействия его с катионами изучаемых металлов

Практически во всех горизонтах распределение тяжелых металлов по группам гумусовых веществ неравномерно, фульвокислоты накапливают в 2-10 раз больше тяжелых металлов, чем гуминовые кислоты.

Интересны для сравнения данные Е.Г. Журавлевой [5] о содержании цинка, меди и кобальта в органическом веществе различных типов почв (табл. 4). Содержание цинка, меди и кобальта преобладает в фульвокислотах прак-

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (мг/г углерода) в группах органических веществ

Образец	Горизонт	Cd			Zn		
		ГК+ФК	ГК	ФК	ГК+ФК	ГК	ФК
Пр. 1	A ₁	0,04	0,02	0,05	0,32	0,29	0,34
Пр. 2	A ₁	0,03	0,02	0,04	0,47	0,39	0,52
Пр. 3	A ₁	0,03	0,01	0,04	0,18	0,11	0,24
Разрез 1	A ₁	0,01	0,00	0,01	0,26	0,16	0,37
	A ₁ A ₂	0,04	0,03	0,05	0,11	0,06	0,13
	A ₂	0,13	0,10	0,15	0,00	0,00	0,00
	A ₂ B	0,19	0,10	0,28	0,38	0,20	0,55
	B	0,17	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00
	BC	0,38	0,15	0,56	0,11	0,10	0,12
	C	0,30	0,15	0,40	0,00	0,00	0,00
Средняя относительная ошибка, м%		9,3	12,0	11,4	10,5	13,8	9,4
		Co			Cu		
Пр. 1	A ₁	0,15	0,10	0,19	0,69	0,20	1,04
Пр. 2	A ₁	0,20	0,18	0,21	0,84	0,24	1,21
Пр. 3	A ₁	0,17	0,14	0,19	0,71	0,20	1,20
Разрез 1	A ₁	0,08	0,04	0,11	0,34	0,15	0,52
	A ₁ A ₂	0,19	0,18	0,20	0,50	0,30	0,59
	A ₂	0,49	0,34	0,60	0,75	0,62	0,83
	A ₂ B	0,76	0,23	1,30	0,88	0,60	1,15
	B	0,54	0,23	1,03	1,06	1,13	1,33
	BC	0,10	0,13	0,08	0,72	0,78	0,68
	C	0,04	0,10	0,00	0,70	0,10	1,10
Средняя относительная ошибка, м%		7,1	14,5	6,7	6,8	16,0	5,0

Содержание тяжелых металлов в группах гумусовых веществ различных типов почв, мг/г углерода [5]

Тип почвы	Глубина, см	Zn			Cu			Co		
		ГК+ФК	ГК	ФК	ГК+ФК	ГК	ФК	ГК+ФК	ГК	ФК
Дерново-подзол.	3-6	0,50	0,33	0,78	0,44	0,38	0,57	0,10	0,09	0,12
Чернозём оподзол.	0-10	0,39	0,45	0,23	0,67	0,58	1,46	0,03	0,03	0,08
Каштановая	0-5	0,85	0,68	1,50	1,29	0,73	3,88	0,06	0,05	0,13
ДПП ЛОД	2-14	0,26	0,16	0,37	0,34	0,15	0,52	0,08	0,04	0,11

тически во всех представленных типах почв.

Для более детального изучения распределения тяжелых металлов по компонентам органического вещества почвы был применен один из самых эффективных методов разделения сложных смесей — метод гелевой хроматографии, позволяющий препаративно выделять фракции органических веществ в лиофильных условиях.

Систематизированную гелевую фильтрацию проводили на гелях марки «Сефадекс» G-10 и G-50. Выходные хроматографические кривые строили по данным фотоколориметрического измерения оптической плотности об-

разцов элюата (рис. 3). Методом систематизированной гелевой хроматографии были получены молекулярно-массовые фракции гуминовых и фульвокислот выделенных из различных горизонтов исследуемой почвы. Был установлен неоднородный молекулярно-массовый состав выделенных групп органических веществ (табл. 5).

Установлено, что более низкомолекулярные фракции фульвокислот содержат в несколько раз большее абсолютное количество углерода, чем высокомолекулярные фракции ($MW > 700$ и > 10000 а.е.м.). Следовательно, вещества фульвокислотной природы, фракции с молекулярной массой в пре-

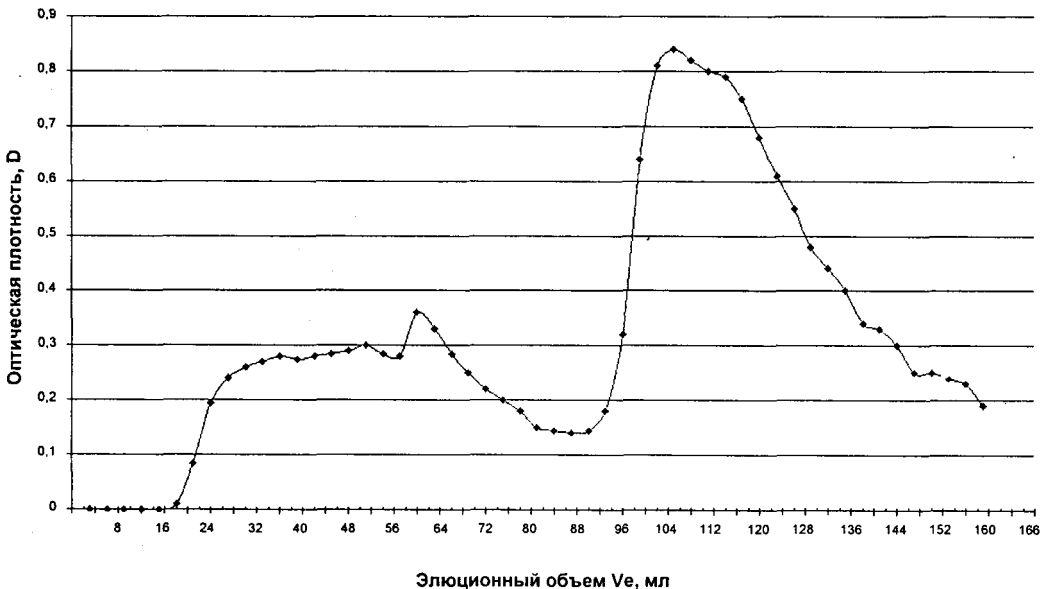


Рис. 3. Выходная кривая гелевой фильтрации фульвокислот горизонта А, на геле G-10

Таблица 5

**Характеристика молекулярно-массовых фракций гуминовых и фульвокислот,
полученных из различных горизонтов исследуемой почвы**

Образец	Горизонт	Фракция	Молекулярная масса, а.е.м.	Концентрация углерода фульвокислот, $1 \cdot 10^{-2}$ мг/мл	Абсолютное количество углерода в фракции, мг
<i>Фульвокислоты</i>					
Разрез 1	A ₁	I	>700	5,42	2,00
		II	504	6,45	1,61
		III	289	11,83	6,74
Разрез 1	A ₁ A ₂	I	>700	0,72	0,39
		II	290	3,75	1,24
Разрез 1	A ₂	I	>700	0,49	0,20
		II	252	2,33	1,17
Прикопка 1	A ₂	I	>700	4,65	2,02
		II	258	10,25	4,25
<i>Гуминовые кислоты</i>					
Разрез 1	A ₁	I	>10 000	—	—

делах 250-300 а.е.м., существенно преобладают в составе изучаемых фульвокислот. Именно эти вещества, обладающие высокой подвижностью в почвенном профиле, должны определять процесс миграции тяжелых металлов по профилю. Для выявления распределения по фракциям фульвокислот тяжелых металлов было определено их содержание в полученных препаративно фракциях и рассчитано содержание на 1 г углерода фракции (табл. 6).

Фракции фульвокислот с относительно большей молекулярной массой накапливают тяжелых металлов от 20 до 140 раз больше, чем низкомолекулярные. Причем различия между высоко-

и низкомолекулярной фракцией в накоплении металлов возрастают вниз по профилю и максимальны в горизонте A₂, где относительно более высокомолекулярная фракция (ММ>700) содержит цинка в 135 раз больше по сравнению с низкомолекулярной (ММ = 290) фракцией. Это объясняется снижением общего содержания тяжелых металлов вниз по профилю и более сильной конкуренцией комплексообразователей по сравнению с верхними горизонтами почвы (см. табл. 6).

Константа устойчивости — важный показатель, характеризующий физико-химические свойства комплексного соединения. Применение методов гелевой фильтрации позволяет с дос-

Таблица 6

**Распределение тяжелых металлов по молекулярно-массовым фракциям
фульвокислот, мг/г углерода фульвокислот**

Образец	Горизонт	Фракция	Молекулярная масса, а.е.м.	Cd	Zn	Cu	Co
Разрез 1	A ₁	II	504	0,78	39,65	16,86	0,29
		III	289	0,02	0,52	0,18	0,02
Разрез 1	A ₁ A ₂	I	>700	3,96	168,08	0,57	0,03
		II	290	0,03	1,40	0,34	0,02
Разрез 1	A ₂	I	>700	10,59	167,63	1,21	1,94
		II	252	0,24	1,23	0,75	0,09
Прикопка 1	A ₁	I	>700	12,90	93,44	4,23	0,63
		II	258	0,00	1,56	0,13	0,02

таточной точностью установить эту величину для комплексов тяжелых металлов с гумусовыми веществами почвы.

Как известно, комплексы тяжелых металлов с фульвокислотами обладают значительной прочностью и подвижностью и оказывают существенное влияние на процессы миграции и аккумуляции веществ, распределение их по почвенному профилю. В целях определения констант устойчивости были выбраны комплексы фульвокислот с цинком и медью.

Для решения поставленной задачи применяли метод изучения распределения иона металла между конкурирующими комплексообразователями. Были получены очищенные от тяжелых металлов беззольные препараты фульвокислот. Методом гелевой хроматографии производили выделение фракции фульвокислот с молекулярной массой более 700 а.е.м., на основе которой изучали процесс комплексообразования. В качестве 2-го комплексообразователя применяли ЭДТА (этилендиамин-тетрауксусная кислота). В смесь двух комплексообразователей (фульвокислота и ЭДТА) вносили известное количество меди или цинка, далее, после распределения ионов цинка между реагентами, смесь была подвергнута гелевой фильтрации. В процессе гелевой фильтрации комплексы металлов с ЭДТА (ММ = 400 а.е.м.) пространственно отделяли от фульвокислот и их комплексов, далее в них было определено содержание исследуемых металлов.

Расчет констант производили по формуле [9]

$$K_1 = K_2 \frac{L_2[MeL_1]}{L_1[MeL_2]},$$

где K_1 — искомая константа устойчивости комплексов фульвокислот; K_2 — константа устойчивости комплекса металла с ЭДТА; L_1 — концентрация фульвокислоты в растворе; L_2 — кон-

центрация ЭДТА в растворе; MeL_1 — концентрация металла в комплексе с фульвокислотой; MeL_2 — концентрация металла в комплексах с ЭДТА.

Таким образом, приняв по результатам систематизированной гелевой хроматографии и литературным источникам [9, 10, 12, 19] тип комплексов $Me_2L_{ФК}$ и среднюю эффективную молекулярную массу исследуемой фракции (ММ > 700 а.е.м) в $12 \cdot 10^3$ а.е.м., мы получаем возможность рассчитать по разности количество фульвокислоты, не вступившее во взаимодействие с медью или цинком.

Проведение гелевой хроматографии на геле G-10 позволило выделить 2 фракции: I — с молекулярной массой более 700 а.е.м., содержащая как свободные фульвокислоты, так и их комплексы с металлами (цинком или медью); II — с молекулярной массой около 400 а.е.м., содержащая свободный ЭДТА и его комплексы с металлом.

В обеих фракциях было произведено определение содержания цинка или меди методом атомно-абсорбционного спектрофотометрирования с дальнейшим пересчетом концентрации металла в абсолютное содержание во фракции. С учетом того, что 1 моль фульвокислоты вступает во взаимодействие с 2 моль меди или цинка определяли содержание фульватных комплексов и по разности количество несвязанной в комплексы фульвокислоты. По ЭДТА производили аналогичные расчеты (табл. 7).

Установлено, что фульватные комплексы меди более чем в 3 раза прочнее аналогичных комплексов цинка. Это позволяет объяснить различную устойчивость органоминеральных комплексов исследуемых металлов с фульвокислотами. По свидетельству В.Б. Ильина [6], устойчивость тяжелых металлов в комплексах с гумусовыми веществами имеет следующий вид: ...Cu>Ni>Co>Zn>>Cd>Fe..., что подтверждает приведенное предположение.

Расчет констант устойчивости комплексов фульвокислот
(фракция ММ>700 а.е.м.) с медью и цинком

Катион	Содержание ТМ в фракции с ММ >700 а.е.м.	Количество комплексов ТМ с фульвокислотой	Содержание ТМ в ЭДТА (равно количеству комплексов ТМ-ЭДТА)	Количество свободной фульвокислоты (по разности)	Количество свободного ЭДТА (по разности)	lg куст эталонного комплекса (ТМ-ЭДТА)	Константы устойчивости комплексов	
							pH	lg K
							×10 ⁻⁵ моль	
Cu	4,75	2,37	2,95	9,67	11,75	18,8	5,5–5,9	18,35
Zn	3,01	1,50	4,59	10,54	10,11	16,4	5,5–5,9	5,14

Выводы

1. В результате проведенных исследований установлено, что уровни содержания цинка, меди и кобальта в почвах Лесной опытной дачи не превышают ПДК, но примерно в 2-3 раза выше значений для фоновых территорий. Выявлено превышение ОДК по содержанию кадмия более чем в 4 раза.

2. Распределение тяжелых металлов по профилю почвы имеет выраженный аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характер.

3. Распределение тяжелых металлов по группам органического вещества имеет закономерный характер, фактически во всех генетических горизонтах фульвокислоты накапливают большие количества тяжелых металлов по сравнению с гуминовыми кислотами. На их долю приходится от 52 до 98% тяжелых металлов, связанных с органическим веществом почв.

4. Применение метода гелевой фильтрации позволило установить сложный молекулярно-массовый состав фульвокислот исследуемых почв. Распределение тяжелых металлов по фракциям фульвокислот неравномерно, более высокомолекулярные компоненты фульвокислот содержат значительно большие количества тяжелых металлов. Так, фракция с молекулярной массой более 700 а.е.м. накапливает в 30-35 раз больше меди и кобальта, в 40 раз больше кадмия и в 60 раз больше цинка, чем фракция с молекулярной массой 258 а.е.м.

5. Экспериментально установлены константы устойчивости комплексов

фульвокислот с катионами исследуемых металлов. Фульватные комплексы меди более чем в 3 раза прочнее аналогичных комплексов цинка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.А. и др. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. — 2. Грачева Н.М. Влияние антропогенного загрязнения на лесорастительные свойства дерново-подзолистых почв. Автореф. канд. дисс. М.: ТСХА, 1992. — 3. Гречин И.П. Почвы Лесной опытной дачи ТСХА // Изв. ТСХА, 1957. № 1 (14). С. 118-127. — 4. Гришина Л.А. Методика по изучению содержания и состава гумуса в почвах. М.: МГУ, 1968. — 5. Журавлева Е.Г. К вопросу о содержании микроэлементов в органическом веществе почв // Почвоведение, 1965. №12. С. 12-17. — 6. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение. Новосибирск: Наука, 1991. — 7. Кабата-Пендиас. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1991. — 8. Карпу осин А.И., Шуваева Л.В. Поглощение различных железофульватных комплексов растениями пшеницы // Сб. Молодые ученые сельскому хозяйству Нечерноземной зоны. М.: Госагропром РСФСР, ВНИПТИХИМ, МТО «Центр», 1990. С. 30-31. — 9. Карпунин А.И. Комплексные соединения гумусовых кислот с тяжелыми металлами // Почвоведение, 1998. № 7. С. 840-847. — 10. Карпунин А.И. Применение гелевой фильтрации в почвенных исследованиях. М., 1984. — 11. Кауричев И.С. Почвоведение. М.: ВО «Агропромиздат», 1989. — 12. Колесни-

- ков *М.П.* Молекулярно-весовое распределение гуминовых кислот по данным гелевой хроматографии на сефадексах // Почвоведение, 1978. № 4. С. 32-41. — **13.** *Кольцов А.С.* Сельскохозяйственная экология. Ижевск, 1995. — **14.** *Лесная опытная дача за 100 лет.* М.: Лесная промышленность, 1965. — **15.** *Овчаренко М.М. и др.* Тяжелые металлы в системе почва - растение - удобрение. М., 1997. — **16.** Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91: Гигиенические нормативы. М., 1995. — **17.** *Орлов Д.С., Ерошичева Н.Л.* К вопросу о взаимодействии гуминовых кислот с катионами некоторых металлов // Вестник московского университета, 1967. №1. МГУ. С. 98-105. — **18.** Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. М., 1993. — **19.** *Степанова М.Д.* Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск, 1976. — **20.** *Шуваева Л.В.* Закономерности сорбции железоорганических соединений подзолистыми почвами. Автореф. канд. дисс. М.: ТСХА, 1992.

SUMMARY

Application of helium chromatography method allowed to determine both quantitative indices of direct metal accumulation in groups and fractions of organic matter and qualitative laws of their distribution in humus soil components.