

УДК 631.417.2:[502.7+669.054.8

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ НЕКОТОРЫМИ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

А. И. КАРПУХИН, В. Ф. ЛОМОВ, Е. И. ШЕСТАКОВ

(Кафедра почвоведения)

В связи с бурным развитием горнодобывающей промышленности резко увеличилось количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу. В промышленных регионах и вблизи крупных городов возрастает загрязненность атмосферы, водных бассейнов, почв и растений [1—5]. Большое количество отходов, поступающих в результате функционирования горнодобывающих комбинатов, может привести к нарушению устойчивых равновесий в природных экосистемах [3, 4].

Почва является важным звеном в техногенезе — концентрировании, перегруппировке и вторичном рассеивании химических элементов. В литературе отмечается [7], что ионы металлов активно взаимодействуют с почвами. В процессах их закрепления, миграции, трансформации решающая роль принадлежит гумусовым веществам, при этом особое значение имеют вновь образующиеся металлогумусовые соединения [7].

Нами изучалось загрязнение почв Zn, Cu, Mn, Co и некоторыми другими элементами в зоне горнодобывающего комбината, работающего на базе месторождения медного колчедана. Предпринята попытка определить роль гусусовых веществ в закреплении почвой некоторых микроэлементов из состава отходов и оценить с помощью систематизированной гелевой фильтрации распределение металлов по молекулярно-массовым фракциям гумуса.

Рельеф территории, на которой расположено месторождение, холмисто-грядовый; абсолютные отметки — 600—700 м, относительные — 50—100 м над ур. м. Климат континентальный, умеренно холодный, средняя месячная температура воздуха в январе -16° , в июле $+16$ — 18° , среднегодовое количество осадков — 350—400 мм.

Основными почвообразующими породами являются рыхлые осадочные отложения четвертичного возраста, подразделяющиеся на аллювиальные, делювиальные, элювиальные, озерные и болотные. Распространены также массивно-кристаллические породы, представленные диабазами, базальтами, порфиритами, альбитофирами и их туфами, и плотные осадочные породы, включающие кремнистые и глинистые сланцы, яшмы, песчаники, известняки.

Территория относится к зоне лесостепи. Почвенный покров отличается высокой степенью комплексности. Вершины и южные склоны холмов и гряд заняты лесостепной растительностью, почвы — выщелоченные неполноразвитые черноземы. На пологих южных склонах и подножиях холмов и гряд сформированы выщелоченные черноземы под луговостепной растительностью. На западных и северных склонах холмов распространены серые лесные почвы под березовыми, осиновыми и сосновыми лесами.

Месторождение разрабатывается открытым способом. Почвы загрязняются главным образом аэральным путем в результате пылегазовых выбросов обогатительной фабрики, взрывных работ в карьере и развешивания отвалов руды и рудовмещающих пород. Вместе с пылью в почву попадают в основном Cu, Zn, Pb, V, Cr, Ni, Ag, Mo.

В районе горнодобывающего комбината Проблемной лабораторией охраны геологической среды МГУ и кафедрой почвоведения ТСХА были проведены наблюдения за загрязнением почв по 4 профилям длиной 7—14 км, выбранным с учетом направлений преобладающих ветров. Почвенные образцы подвергали полуколичественному спектральному

анализу, определяли подвижные формы Cu, Zn, Mn, Co в вытяжке $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с рН 4,8 и в вытяжке 1 н. HCl , $\text{pH}_{\text{водн}}$ и $\text{pH}_{\text{сол}}$; гумус — по Тюрину; общий азот, емкость поглощения — по Захарчуку; легкогидролизуемый азот, обменный H^+ — по Гедройцу; Al и H — по Соколову; подвижный калий — по Масловой; гидролитическую кислотность.

В восточном и северном направлениях от источников загрязнения радиус зоны, в которой концентрация микроэлементов превышает фоновую, составляет более 10 км, в южном и западном — около 2—4 км. Глубина проникновения в почву загрязняющих микроэлементов не превышает 15 см. В основном они сосредоточиваются в почвенном слое мощностью 0—5 см. Содержание Cu в горизонте A_0 в среднем равно 400—1000, Zn — 600—200 мг/кг, что превышает фоновые значения соответственно в 4—12 и 8—25 раз. Отмечено снижение $\text{pH}_{\text{водн}}$ в горизонте A_0 . Содержание Cu и Zn в растениях по сравнению с фоновым возросло соответственно в 7 и 10 раз.

В загрязненном горизонте A_1 содержание подвижных форм Cu, Zn, Mn, Co выше, чем в незагрязненных почвах.

Для оценки распределения загрязняющих микроэлементов в изучаемых почвах был выбран фоновый (без заметных следов загрязнения) профиль — разрез 1, расположенный в 4,5 км к югу от карьера на вершине холма. Растительность представлена березовым лесом, в подлеске — шиповником и кизильником черноплодным. В составе травянистой растительности преобладает полынй шелковистая, полынй армянская, ковыль, типчак, земляника, крохохлебка лекарственная и василистник вонючий. Почва — выщелоченный чернозем неполноразвитый легкосуглинистый на элювии бескарбонатных плотных пород. Об агрохимических показателях почв, валовом содержании микроэлементов и их подвижных форм можно судить по данным табл. 1—3.

Т а б л и ц а 1

Некоторые агрохимические показатели почв

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Углерод по Тюрину, %	$\text{pH}_{\text{сол}}$	$\text{pH}_{\text{водн}}$	Емкость поглощения	Ca	Mg
Разр. 1						
A_0 , 0—5	—	5,80	6,70	—	—	—
A_1 , 19—29	6,73	5,60	6,75	58,90	44,0	7,0
Разр. 2						
A_0 , 0—6	—	5,50	6,75	—	—	—
A_1 , 11—21	4,03	5,10	6,35	53,0	39,0	14,0
Разр. 3						
A_0 , 0—2	—	6,70	7,30	—	—	—
A_1 , 14—24	3,04	6,35	7,50	55,7	40,0	13,0
Разр. 4						
A_0 , 0—1	10,9	3,15	4,10	—	—	—
A_1 , 5—15	2,18	4,75	5,80	28,8	20,0	8,00
Разр. 5						
A_0 , 0—3	7,77	4,40	5,30	—	—	—
A_1 , 8—18	5,66	5,60	6,60	45,5	35,0	10,0
Разр. 6						
A_0 , 0—5	—	5,90	6,80	—	—	—
A_1 , 25—35	—	5,90	7,0	34,0	23,0	10,0
Разр. 7						
A_0 , 0—1	—	4,80	5,50	—	—	—
A_1 , 3—13	2,44	5,10	6,35	33,9	25,0	9,0

Содержание микроэлементов в почвах (мг/кг)

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Cr	Co	V
Разр. 1								
A ₀ , 0—5	80	120	30	1100	40	60	30	60
A ₁ , 19—29	60	110	30	1200	30	60	30	100
Разр. 2								
A ₀ , 0—6	200	300	30	2000	60	60	20	100
A ₁ , 11—21	—	—	—	—	—	—	—	—
Разр. 3								
A ₀ , 0—2	3000	3000	100	1000	40	60	40	100
Разр. 4								
A ₀ , 0—1	2000	600	60	2000	30	60	40	100
A ₁ , 5—15	100	200	30	2000	60	60	30	300
Разр. 5								
A ₀ , 0—3	100	100	60	100	40	60	40	200
A ₁ , 8—18	100	200	10	2000	30	60	30	200
Разр. 6								
A ₀ , 0—6	—	—	—	—	—	—	—	—
A ₁ , 18—28	30	400	10	1000	30	50	20	80
Разр. 7								
A ₀ , 0—1	400	400	30	1000	30	60	20	100
A ₁ , 3—13	100	100	10	1000	30	30	40	200

Разрез 2 заложен на склоне холма восточной экспозиции крутизной 12° в 1,5 км к северо-западу от карьера. Растительность разнотравно-злаковая с участием кровохлебки лекарственной, лапчатки серебристой, тысячелистника, подорожника степного, полыни шелковистой, сурепки, земляники. Почва — выщелоченный чернозем легкосуглинистый среднемощный на элювиально-делювиальных отложениях. В горизонте A₀ почва загрязнена основными микроэлементами, присутствующими в выбросах комбината, и прежде всего Cu и Zn, валовое содержание которых возросло соответственно в 1,5 и 2 раза (табл. 1—3). Коэффициент накопления данных элементов составляет 2,5. Загрязнение почв V и Ni незначительное. Накопление Pb, Co и Cr не обнаружено. По сравнению с фоновым профилем (табл. 3) в выщелоченном черноземе разреза 2 содержится больше неподвижных форм Zn и Cu. Коэффициент активного загрязнения составляет 2,7, показатель защитных свойств почв — 1,0.

Разрез 3 расположен в 1,3 км к северу от карьера на пологом приозерном понижении. Растительность разнотравно-злаковая, преобладает овсяница, мятлик, подорожник средний, клевер ползучий, одуванчик. Почва — лугово-черноземная среднесуглинистая на делювиальных отложениях. Горизонт A₀ загрязнен Cu, Zn и Pb значительно сильнее, чем фоновый разрез (табл. 2). Коэффициент накопления Cu и Zn составляет соответственно 37 и 25. Накопление Pb и V небольшое. Уровень Mn, Ni, Cr и Co не возрос. В лугово-черноземной почве содержится больше подвижных форм Zn, Cu и Co, чем в разрезе 1. Коэффициент активного загрязнения Cu равен 2,5, а Zn — 1,7.

Разрез 4 заложен на нижней относительно пологой части склона северо-западной экспозиции в 700 м к северу от карьера. Крутизна не превышает 4°. Растительность: береза с примесью сосны и разнотравно-злаковая. Почва — неполноразвитая серая лесостепная среднесуглинистая на элювиально-делювиальных отложениях. В горизонте A₀ содержится значительно больше микроэлементов, чем в горизонте A₁: Cu — в 20 раз, Zn — в 3, а Pb — в 2 раза. Почва сильно загрязнена Cu и

Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг)

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	1 н. HCl				CH ₃ COONH ₄ (pH 4,8)				
	Zn	Cu	Mn	Co	Zn	Cu	Mn	Co	
Разр. 1									
A ₀ , 19—29	10,3	6,7	353,0	4,6	0,9	Сл.	43,9	1,1	
Разр. 2									
A ₁ , 11—21	12,4	18,0	236,0	5,5	1,0	»	54,3	0,6	
B ₁ , 36—46	11,8	17,2	117,0	5,3	1,2	»	32,9	1,1	
Разр. 3									
A ₁ , 11—21	16,1	16,5	254,0	11,7	1,5	0,1	30,1	1,7	
B, 52—62	15,9	7,9	189,0	7,5	0,4	Сл.	14,2	0,6	
Разр. 4									
A ₁ , 5—15	13,4	18,9	309,0	4,4	1,7	0,3	124,9	0,9	
A ₁ A ₂ , 18—28	25,2	15,4	292,0	10,1	0,8	0,7	71,4	0,1	
Разр. 5									
A ₁ , 8—18	102,8	115,8	368,0	8,2	1,9	2,2	62,8	0,8	
Разр. 6									
A ₁ , 18—28	10,1	11,1	154,0	3,7	1,3	1,7	63,9	1,1	
Разр. 7									
A ₁ , 3—13	16,3	13,2	20,2	5,3	1,1	0,2	77,6	0,2	
A ₂ B, 20—30	18,3	15,0	95,0	5,1	0,7	0,6	31,6	0,8	

Zn, что особенно четко прослеживается при сравнении с разрезом 1. Наблюдается небольшое накопление Co и V, загрязнения Ni и Cr не обнаружено. Коэффициент накопления Cu равен 25,0, Zn — 5,0, Pb — 1,9. Подвижных форм микроэлементов в этом профиле также больше, чем в фоновых образцах. Коэффициент активного загрязнения Cu — 2,8, Pb — 2,0; показатель защитных свойств почвы — соответственно 2,3 и 1,3.

Разрез 5 заложен в 120 м к северу от карьера на плоской вершине холма, покрытой луговой разнотравно-злаковой растительностью, в которой преобладают полынь шелковистая, полынь армянская, солнечник верхушечный и василистник вонючий. Почва — выщелоченный неполноразвитый легкосуглинистый чернозем на элювии диабазов. В горизонте A₀ содержится Cu в 10 раз больше, чем в горизонте A₁, Pb — в 6 раз, Zn — в 5 раз. Почва сильно загрязнена Cu и Zn, в меньшей степени — Pb, что четко прослеживается при сравнении с разрезом 1. Коэффициент накопления Cu составляет 12,5, Zn — 8,3, Pb — 1,9. Содержание подвижных форм микроэлементов в этом профиле также выше, чем в фоновых образцах. Коэффициент активного загрязнения Cu — 17,3, Zn — 9,9, показатель защитных свойств почвы — соответственно 10,1 и 5,5.

Разрез 6 заложен на очень пологом (1—2°) склоне северной экспозиции холма в 1 км к востоку от карьера рядом с отвалом горных пород. Растительность разнотравная с преобладанием овсяницы, тысячелистника, полыни, крапивы, лапчатки и некоторых других. Почва — чернозем сильновыщелоченный среднесуглинистый на делювиальных отложениях. В горизонте A₁ содержится больше Zn, чем в фоновом разрезе. Наиболее отчетливо тенденция загрязнения этого разреза проявляется при анализе данных о содержании подвижных форм микроэлементов, переходящих в уксусноаммонийную вытяжку. Резко возросло количество Zn, Mn и особенно Cu, переходящего в данную вытяжку по сравнению с их содержанием в фоновом разрезе.

Разрез 7 заложен в межхолмовом понижении в 1,5 км к югу от карьера. Растительность: береза и разнотравно-злаковая ассоциация,

в которой преобладает герань лесная, клевер луговой, овсяница, мятлик, подорожник степной, земляника и некоторые другие травянистые растения. Почва — светло-серая лесостепная среднесуглинистая на элювии коренных пород. В горизонте A_0 Си содержится в 4 раза больше, чем в горизонте A_1 , Pb и Сг — в 3 раза. Коэффициент накопления Си составляет 5,0, Zn — 2,5, накопление V незначительное. Загрязнения почвы Mn, Ni, Сг, Pb и Со не обнаружено.

Подвижных форм микроэлементов в этом профиле содержится больше, чем в фоновых образцах. В 1 н. HCl вытяжку переходит намного больше Си, Zn и Со. Коэффициент активного загрязнения Си составляет 1,9, Zn — 1,6, показатель защитных свойств почвы — соответственно 1,1 и 1,2.

Содержание тяжелых металлов в почвах коррелирует с содержанием гумуса [13]. При этом тяжелые металлы неравномерно распределяются по фракциям гумусовых веществ. Так, зольная часть хлороформной фракции более чем наполовину представлена микроэлементами, тогда как в эфирной фракции их всего 1,2 % [10].

Для изучения молекулярно-массового распределения загрязняющих элементов по фракциям гумусовых веществ последние извлекали из почвенных образцов путем многократной экстракции 0,1 н. NaOH. Выделение и очистку органических соединений проводили в строгом соответствии с методикой [7—9] на колонке, наполненной молселектом G-10, а молекулярно-массовое фракционирование гумусовых веществ — методом систематизированной гелевой хроматографии с использованием гелей молселектов G-10, G-50, G-100 фирмы Реапал (Венгрия). В работе использовали колонки с внутренним диаметром 1,8 см и высотой рабочего слоя 39 см. Заполняющей и элюирующей жидкостью служил 0,1 н. раствор NaOH. Из колонок отбирали 2-миллиметровые пробы на автоматическом коллекторе ХКОВ-1. В процессе фракционирования в них определяли оптическую плотность на фотоколориметре ФЭК-56 при длине волны 435 нм, содержание углерода — по Тюрину (микрометодом) окислением хромовой смесью. Содержание металлов во фракциях гумуса определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

Молекулярные массы (ММ) устанавливали по калибровочным графикам

$$K_d = f(\lg \text{ММ}), \quad (1)$$

построенным на основании элюиционных объемов веществ с известной ММ [8]. Коэффициент распределения вычисляли по формуле

$$K_d = \frac{V_e - V_0}{V_i}, \quad (2)$$

где V_e — элюиционный объем, обусловленный ММ хроматографируемого вещества; V_i — объем растворителя, связанного с гелевыми частицами; V_0 — свободный объем растворителя.

Молекулярно-массовый состав гумусовых соединений, переходящих в щелочную вытяжку, был неоднородный (табл. 4). Из горизонта A_0 всех исследуемых почв гумусовых веществ выделено по 2 фракции, а из горизонта A_1 — по 3, кроме образцов чернозема выщелоченного (разрез 6), из которого выделено 2 фракции. Из состава гумуса выделены фракции, характерные для большинства почв, например фракции с ММ 70 000—77 600 из горизонта A_0 и с ММ 91 200—97 700 из горизонта A_1 , а также фракции с ММ 8300—11 000, 15 700—25 800, свойственные нескольким типам почв, и фракции с ММ 83 200; 30 200; 39 800, характерные для одного-двух образцов.

Среднеэффективные значения ММ для гумусовых соединений из горизонта A_0 изменяются от 39 890 (лугово-черноземная почва) до 52 920 (выщелоченный чернозем). Этот показатель несколько выше для гумусовых соединений, выделенных из горизонта A_1 , он изменяется от 60 920 (серая и светло-серая лесостепная почва) до 53 130 (выщелоченный неполноразвитый чернозем).

Молекулярно-массовый состав гумусовых соединений, переходящих в щелочную вытяжку

Генетический горизонт и номер фракции	Объем фракции, мл	Содержание углерода		Молекулярная масса	Среднеэффективная молекулярная масса
		мг	% от общего		
Разр. 2					
A ₀ :					
1	16,0	0,67	33,5	77 600	43 150
2	53,0	1,33	66,5	25 800	
A ₁ :					
1	23,0	0,93	49,5	97 700	56 720
2	23,0	0,70	37,2	19 500	
3	26,0	0,25	13,5	8 320	
Разр. 3					
A ₀ :					
1	19,0	0,66	30,8	79 400	39 890
2	67,0	1,48	69,2	22 300	
Разр. 4					
A ₀ :					
1	20,0	1,30	39,1	74 100	43 890
2	58,0	2,03	60,9	24 500	
A ₁ :					
1	17,0	0,34	54,5	83 200	60 020
2	21,0	0,21	33,6	39 800	
3	30,0	0,07	11,9	11 000	
Разр. 5					
A ₀ :					
1	41,0	2,24	40,0	89 100	52 920
2	37,0	3,34	60,0	28 800	
A ₁ :					
1	24,0	0,83	51,9	93 300	53 130
2	52,0	0,77	48,1	9 780	
Разр. 6					
A ₀ :					
1	18,0	0,86	41,7	70 900	41 130
2	46,0	1,10	58,3	30 200	
A ₁ :					
1	40,0	0,36	52,6	97 700	56 560
2	40,0	0,32	47,4	10 900	
Разр. 7					
A ₀ :					
1	17,0	1,53	36,8	85 100	44 530
2	52,5	2,63	63,2	20 900	
A ₁ :					
1	17,5	0,36	55,7	91 200	60 920
2	16,0	0,24	34,3	25 100	
3	10,5	0,07	10,0	15 100	

Содержание металлов-загрязнителей на единицу углерода (табл. 5) находится в прямо пропорциональной зависимости от степени загрязнения почв и составляет 7,5 мг для гумусовых веществ, выделенных из горизонта A₀ неполноразвитого выщелоченного чернозема, и 72,9 мг на 1 г С для органических веществ, переходящих в щелочную вытяжку, из горизонта A₁ выщелоченного чернозема.

Загрязняющие компоненты неравномерно распределяются по молекулярно-массовым фракциям гумусовых веществ. Сумма металлов изменяется от 6,7 мг для фракции с ММ 28 800, выделенной из горизонта A₀ неполноразвитого выщелоченного чернозема, до 72,9 мг на 1 г С для фракции с ММ 11 000, выделенной из горизонта A₁ серой лесной почвы. Насыщенность металлами фракций, выделенных из наиболее загрязненных почв, несколько возрастала по мере увеличения их ММ. При этом относительно более насыщены металлами фракции с ММ, находящимися в пределах 8—15 тыс. Поскольку гумусовые вещества пе-

Молекулярно-массовое распределение загрязняющих металлов

Генетический горизонт и номер фракции	Молекулярная масса	Содержание углерода, % от общего	Общее содержание металлов-загрязнителей, мг на 1 г углерода	Zn + Cu	
				мг на 1 г углерода	% от общего количества металлов-загрязнителей
Разр. 2					
A ₀ :					
1	77 600	33,5	11,0	8,1	73,6
2	25 800	66,5	15,3	9,9	64,7
A ₁ :					
1	97 700	49,5	20,6	14,4	69,4
2	19 500	37,2	15,0	10,3	68,7
3	8 320	13,3	48,0	33,5	69,8
Разр. 3					
A ₀ :					
1	79 400	30,8	16,5	14,5	87,9
2	22 300	69,2	17,7	14,9	84,2
Разр. 4					
A ₀ :					
1	74 100	39,1	10,2	8,5	79,2
2	24 500	60,9	11,4	10,1	88,6
A ₁ :					
1	83 200	54,5	24,4	18,2	74,6
2	39 800	33,6	72,9	54,3	74,5
3	11 000	11,9	72,9	54,3	74,5
Разр. 5					
A ₀ :					
1	89 100	40,0	8,8	6,8	77,3
2	28 800	60,0	6,7	4,5	67,2
A ₁ :					
1	93 300	57,9	13,3	9,8	83,7
2	9 780	48,1	27,7	21,3	76,9
Разр. 6					
A ₀ :					
1	70 800	41,7	14,9	13,8	92,6
2	30 200	58,3	18,2	14,9	81,9
A ₁ :					
1	97 700	52,6	29,1	21,7	74,6
2	10 900	47,3	55,3	41,3	74,7
Разр. 7					
A ₀ :					
1	85 100	36,8	6,8	5,3	77,9
2	20 900	63,2	9,2	7,2	78,3
A ₁ :					
1	91 200	55,7	26,9	21,2	78,8
2	25 100	34,3	30,0	17,5	58,3
3	15 100	10,0	71,4	58,6	82,1

ред гель-фильтрацией не были разделены на группы гуминовых и фульвокислот, можно предположить, что относительно низкомолекулярные фракции представлены органическими веществами фульвокислотной природы. Поэтому отмеченную тенденцию можно объяснить тем, что фульвокислоты как наиболее активная часть гумусовых веществ в первую очередь реагируют на поступление металлов-загрязнителей и связывают их в молекулярные соединения. Затем, вероятно, происходят трансформация органо-минеральных соединений и перераспределение металлов между фракциями гумусовых веществ загрязненных почв.

Для мало загрязненных почв и отдельных горизонтов отмеченная тенденция либо слабо выражена (разрезы 6 и 7 горизонт A₀), либо она совсем не проявляется (разрез 5 горизонт A₀).

Основная масса металлов-загрязнителей представлена Zn и Cu и колеблется от 5,6 мг для выщелоченного неполноразвитого чернозема (горизонт A₀) до 31,0 мг на 1 г С для выщелоченного чернозема (горизонт A₁). Zn и Cu неравномерно распределяются по молекулярно-массовым фракциям (табл. 5). Их содержание изменяется от 58,3 % для фракции с ММ 25 100, выделенной из горизонта A₁ светло-серой лесостепной почвы, до 92,6 % для фракции с ММ 70 800, выделенной из горизонта A₀ выщелоченного чернозема. Для исследуемых почв распределение основных загрязнителей по молекулярно-массовым фракциям коррелирует с общим содержанием металлов-загрязнителей, переходящих в щелочную вытяжку.

Выводы

1. Поступление в почву микроэлементов, содержащихся в отходах горнодобывающего комбината, определяется расстоянием от карьера и преобладающим направлением ветров.

2. В исследуемых почвах по сравнению с фоном значительно возрастает содержание Cu и Zn. Коэффициент накопления Cu изменяется от 2,5 для выщелоченного чернозема до 37,0 для образцов лугово-черноземной почвы, Zn — соответственно от 2,5 до 25,0.

3. Накопление Pb в лугово-черноземной почве, неполноразвитой лесостепной и выщелоченном неполноразвитом черноземе незначительное.

4. Проявляется тенденция к накоплению V в выщелоченном черноземе, лугово-черноземной, серой лесостепной и светло-серой лесостепной почвах, Co — в серой лесостепной почве и выщелоченном неполноразвитом черноземе, Ni — в выщелоченном черноземе.

5. Исследуемые почвы сильно загрязнены подвижными формами Cu и Zn. Коэффициент активного загрязнения почв Cu изменяется от 1,7 до 17,3, Zn — от 1,3 до 9,9.

6. Загрязняющие компоненты неравномерно распределены по молекулярно-массовым фракциям гумусовых веществ. На долю Cu приходится 58,3—92,6 % общего содержания металлов-загрязнителей, что зависит от степени загрязнения почвы, ее типа, генетического горизонта и ММ фракций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. А., Тальпер Н. Я., Клименко Г. А. и др. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. — ВНИИЭИ-сельхоз ВАСХНИЛ. М., 1978. — 2. Бондарев Л. Г. Ландшафты, металлы и человек. — М.: Мысль, 1976. — 3. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. — М.: Мысль, 1983. — 4. Глазовская М. А. Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического прогноза. — Вестн. МГУ, сер. географ., 1968, № 1, с. 30—36. — 5. Глазовская М. А. Техногеомы — исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза. — Вестн. МГУ, сер. географ., 1972, № 6, с. 23—35. — 6. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Показатели для оценки загрязнения тяжелыми металлами системы почва—растение. — Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 1980, вып. XXIV, с. 3—17. — 7. Карпухин А. И., Фокин А. Д. Хроматографическое фракционирование фульвокислот. — Изв. ТСХА, 1969, вып. 6, с. 139—146. — 8. Карпухин А. И., Фокин А. Д. Применение гелевой хроматографии для определения молекулярной массы фульвокислот. — Изв. ТСХА, 1970, вып. 5, с. 131—136. — 9. Карпухин А. И., Платонов И. Г., Шестаков Е. И. Органо-минеральные соединения подзолистых почв на карбонатных легких суглинках. — Почвоведение, 1982, № 3, с. 37—45. — 10. Коротков М. Г., Фролов В. П. Исследование состава фракций органического вещества чернозема типичного методом последовательной экстракции органическими растворителями и водой. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 4, с. 67—72. — 11. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв. — М.: Изд-во МГУ, 1974. — 12. Орлов Д. С. Система показателей химического состояния почв. — Почвоведение, 1982, № 4, с. 5—22. — 13. Степанова М. Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. — Новосибирск: Наука, 1976.

Статья поступила 10 октября 1984 г.