

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ И ЛЕГКОРАЗЛАГАЕМОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ

Н. Ф. ГАНЖАРА, М. А. ФЛОРИНСКИЙ, М. С. ОЗЕРОВА

(Кафедра почвоведения)

Определяли содержание тяжелых металлов в легкоразлагаемом органическом веществе (ЛОВ) дерново-подзолистой, серой лесной и черноземной почв разной степени техногенного загрязнения. Установлена тесная корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в легкоразлагаемом органическом веществе и их валовым содержанием в почвах. Для оценки уровня загрязнения почв тяжелыми металлами предложены эталонные показатели — максимальные значения содержания элементов в органических удобрениях, взятых с экологически чистых территорий. Предложен также способ оценки степени техногенного загрязнения почв по элементному составу ЛОВ.

Легкоразлагаемое органическое вещество почв (ЛОВ) состоит из свежих и различной степени разложения и гумификации органических остатков растительного и животного происхождения. В гумусовых горизонтах целинных и пахотных почв его содержание составляет от 0,1 до 1,5–2 % к массе почвы [1].

ЛОВ принадлежит важная роль в формировании биологических, физико-химических и агрохимических свойств и режимов почв, в том числе в обеспечении сбалансированного питания растений. Содержание азота в ЛОВ составляет 1,5–3,5 %, калия — 0,9–1,2 и фосфора — 0,4–0,6 %, что сопоставимо с составом органических удобрений [4].

Микроэлементный состав ЛОВ изучен крайне недостаточно. В литературе имеются сведения о содержании тяжелых металлов в породах, почвах и растениях [6–8 и др.]. Для многих почв и элементов определены фоновые содержания, ПДК и токсичные коли-

чества. Установлено негативное воздействие повышенного содержания тяжелых металлов в составе ЛОВ на экологию ландшафтов. Накопление тяжелых металлов в ЛОВ почв загрязненных ландшафтов может происходить за счет их сорбции из этих почв, а также поступления при разложении и гумификации растительных остатков, содержащих данные металлы.

В настоящей статье представлены результаты изучения содержания тяжелых металлов в ЛОВ разной степени техногенно загрязненных почв.

Методика

Объектами исследований были почвы техногенно загрязненных территорий вблизи крупных химических комбинатов — Новгородского и Щекинского ПО "Азот", Харьковского ПО "Химпром".

Образцы почв для анализов отбирали по 8 румбам на расстоянии до 30 км от источника загряз-

нения. Пробные площадки размером 5 × 5 м закладывали с интервалом 200 и 500 м. На каждой площадке в 25 точках на глубину 20 см отбирали одну объединенную почвенную пробу с помощью тростьевого бура. Растительные образцы были взяты по тем же румбам, начиная от границы города. Растительную массу срезали на высоте 2–3 см от поверхности почвы.

Анализу были подвергнуты образцы почв с повышенным валовым содержанием некоторых элементов и их кислоторастворимых форм, превышающим ПДК; с концентрацией элементов, превышающей фон, но ниже ПДК и концентрацией ниже фона. В образцах было определено содержание ЛОВ и выделены препараты для установления концентрации тяжелых металлов по методике, разработанной на кафедре почвоведения Тимирязевской академии [2, 3]. Содержание тяжелых металлов в золе растений определяли на плазменно-эмиссионном спектрометре JCAP-9000.

Данные о валовом содержании тяжелых металлов, количество их

кислоторастворимых форм (1 н. HNO_3) в почве и концентрации металлов в растениях взяты из отчетов ЦИНАО (1991 г.).

Валовое содержание Zn, Ni, Cu и Вb в почве определяли методом рентгенофлюоресцентного анализа на приборе СРМ-25.

На основании достаточно обширного аналитического материала, исходя из данных о валовом содержании и кислоторастворимых форм элементов, извлекаемых азотнокислой вытяжкой, в ЦИНАО были установлены местные фоновые значения элементов – загрязнителей почв. Местный фон содержания элементов в почве рассчитывали отдельно по каждому элементу для конкретной территории.

В наших расчетах использовалась вся совокупность выборки, полученной по результатам анализа почвенных проб, отобранных на 8 румбах в зоне 6–30 км от источника загрязнения. Из этой выборки по каждому анализируемому показателю получали среднюю величину, которую принимали за региональный (местный) фон.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в органических удобрениях (мг на 1 кг сухого вещества)

Вид субстрата	Pb	Cd	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
Навоз (3 мес хранения):								
крупного рогатого скота								
(КРС)	9	5	18	285	5	26	85	168
свиной	8	4	20	198	6	20	82	150
Вермикомпост:								
лигнин + торф + куриный								
помет (1:1:1)	13	7	31	310	11	37	92	303
навоз КРС + лигнин (1:1)	10	4	20	148	6	23	91	150
куриный помет + торф + со-								
лома (1:1:1)	19	7	36	339	10	28	113	233
навоз КРС + торф (1:1)	18	8	33	317	11	40	128	318
Максимальные значения	19	8	36	339	11	40	128	318

Таблица 2

**Валовое содержание тяжелых металлов
в почвах (мг/кг)**

Номер площадки	Pb	Ni	Cu	Zn	Номер площадки	Pb	Ni	Cu	Zn
<i>Дерново-подзолистая почва у Новгородского ПО "Азот"</i>					5	25,0	42,0	26,0	69,0
					6	17,0	23,0	27,0	43,0
					7	15,0	30,0	11,0	35,0
1	85,6	21,2	26,7	119,5	Фон	19,2	20,0	19,4	50,0
2	33,0	19,1	20,8	111,6	<i>Чернозем типичный и выщелоченный у Первомайского ПО "Химпром"</i>				
3	47,0	269,0	119,0	311,0	1	104,3	112,4	50,8	58,6
4	46,0	22,4	100,4	293,8	2	62,5	126,8	68,9	29,8
5	411,5	11,8	9,5	39,1	3	28,7	96,4	144,4	66,7
6	16,0	37,9	21,9	65,3	4	54,8	68,8	63,3	71,7
7	20,7	41,7	29,7	86,4	5	26,7	86,3	42,3	59,6
8	22,0	26,0	27,0	56,0	6	74,3	92,0	77,6	64,3
9	14,0	17,6	11,6	21,8	7	34,6	130,8	52,4	32,7
Фон	20,0	20,0	18,0	50,0	8	72,8	101,8	87,2	83,5
<i>Серая лесная почва и чернозем выщелоченный у Щекинского ПО "Азот"</i>					9	86,6	90,6	58,9	82,1
1	56,0	36,0	93,0	155,0	Фон	22,0	22,4	19,8	45,5
2	35,0	39,0	23,0	221,0	ПДК				
3	165,0	37,0	11,0	85,0	[4]	30	85	55	100
4	24,0	34,0	35,0	72,0					

В качестве эталона, не загрязненного ЛОВ, были приняты максимальные уровни содержания тяжелых металлов в 6 видах органических удобрений, взятых в районах, где отсутствует как техногенное, так и агрогенное загрязнение (табл. 1).

В исследованиях, результаты которых представлены в отчетах ЦИНАО (1991 г.), сравнивали данные о содержании тяжелых металлов в ЛОВ (в мг/кг) и их валовое содержание в почве. Было отмечено, что концентрация тяжелых металлов в ЛОВ почв экологически чистых ландшафтов на порядок или даже несколько порядков меньше,

чем их валовое содержание в почвах.

Математическую обработку результатов исследований проводили методом множественной корреляции на ЭВМ "Искра-226".

Результаты

Валовое содержание Pb, Ni, Cu и Zn в гумусовых горизонтах почв, расположенных вокруг источников загрязнения, зачастую превышало как фоновые значения, так и ПДК (табл. 2). При этом каждая обследованная площадка характеризовалась повышенной концентрацией одного или двух элементов, реже – всех четырех. Площадки были про-

Таблица 3

Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах (мг/кг)

Номер площадки	Pb	Cd	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
<i>Дерново-подзолистая почва у Новгородского ПО "Азот"</i>								
1	12,7	0,4	2,5	250,0	2,6	3,5	22,5	26,2
2	5,3	0,8	3,7	130,3	2,0	7,8	20,3	24,8
3	8,6	0,6	5,4	100,7	1,5	9,3	15,7	12,5
4	15,7	0,6	2,1	120,7	1,4	7,5	10,2	28,3
5	2,2	0,2	1,4	102,5	2,6	5,8	15,3	15,8
6	11,3	0,9	1,5	112,3	1,8	8,3	12,7	19,7
7	9,8	0,8	1,2	168,8	1,3	4,5	5,6	10,1
8	7,3	0,5	1,1	140,7	1,4	5,3	7,3	8,5
9	10,1	0,7	1,5	92,5	1,2	5,2	6,8	9,2
Фон	3,5	1,0	2,5	150,1	3,1	8,0	7,8	10,4
<i>Серая лесная почва и чернозем выщелоченный у Щекинского ПО "Азот"</i>								
1	10,7	1,21	3,9	412,6	3,8	6,4	40,9	68,4
2	13,6	0,5	2,8	348,9	1,3	1,4	35,4	62,5
3	6,9	0,8	1,5	421,3	1,2	14,2	8,8	15,9
4	9,0	0,6	1,7	117,9	1,4	4,2	3,4	39,3
5	11,1	0,6	1,8	145,9	1,4	8,8	6,5	9,5
6	11,0	1,2	3,0	190,0	1,8	6,5	5,7	10,5
7	8,6	0,3	1,6	115,5	1,3	4,1	3,2	3,7
8	7,5	0,4	2,2	49,4	0,9	1,6	2,0	6,1
9	9,4	1,0	2,8	237,9	1,6	8,5	5,5	9,2
Фон	4,0	1,1	2,9	359,0	3,1	9,5	7,2	15,7
<i>Чернозем типичный и выщелоченный у Первомайского ПО "Химпром"</i>								
1	7,3	3,7	16,1	282,0	10,2	22,6	6,1	11,2
2	6,6	2,3	10,7	308,0	7,7	16,6	6,2	11,2
3	25,2	4,2	9,0	635,0	12,6	23,0	13,0	11,5
4	3,2	0,8	2,8	135,0	2,4	11,0	5,7	6,1
5	3,5	0,8	2,4	135,0	2,1	10,8	5,5	6,2
6	24,3	1,5	9,1	452,0	7,1	12,0	6,7	4,8
7	4,2	0,6	2,2	174,0	2,4	9,7	5,5	7,8
8	5,9	0,9	3,5	168,0	2,8	11,6	5,2	23,7
9	3,2	0,1	0,3	170,0	1,4	5,4	5,0	29,1
Фон	4,5	1,0	3,8	190,0	3,5	10,2	5,6	7,8

нумерованы таким образом, что с увеличением порядкового номера образца степень загрязнения снижалась. Наиболее высокое содержание указанных металлов свойственно почвам, прилегающим к Перво-

майскому ПО "Химпром". Содержание тяжелых металлов, растворимых в азотокислой вытяжке, значительно уступало валовому (табл. 3), а на многих площадках – превышало фон. Однако корреля-

Таблица 4

Концентрация металлов в растениях, отобранных на прилегающих к промышленным предприятиям территориях (мг на 1 кг сухой массы)

Номер площадки	Pb	Cd	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
<i>Новгородское ПО "Азот"</i>								
1	0,6	0,2	1,2	—	0,3	0,7	3,2	14,0
2	0,5	0,2	1,2	—	0,3	0,7	3,1	13,0
3	0,6	0,2	1,2	—	0,2	0,6	5,7	19,0
4	0,6	0,4	1,9	—	0,4	1,3	10,0	28,0
5	1,9	0,6	2,1	—	0,7	1,4	3,7	48,0
6	0,9	0,3	1,9	—	0,4	1,4	6,5	29,0
7	0,7	0,2	1,5	—	0,3	0,8	6,7	14,0
8	0,7	0,1	0,5	—	0,1	0,2	1,0	4,8
9	0,4	0,3	1,5	—	0,3	0,7	4,0	10,0
<i>Первомайское ПО "Химпром"</i>								
1	0,4	0,2	1,3	50,2	0,03	0,4	2,7	10,6
2	0,2	0,6	1,5	70,9	0,6	2,0	6,7	38,3
3	1,7	0,7	1,2	82,1	0,4	1,9	25,5	29,5
4	3,6	1,3	2,4	236,3	0,8	2,2	17,7	60,8
5	1,9	0,7	1,0	134,9	0,4	2,6	14,5	36,2
6	3,4	0,9	1,4	239,3	0,7	1,0	29,4	48,5
7	5,2	2,7	2,5	335,5	0,8	2,6	14,6	37,3
8	3,0	1,7	3,3	123,3	0,7	3,7	20,5	91,7
9	6,1	2,3	4,3	232,1	1,6	3,1	13,1	35,5
<i>Нормальная или достаточная концентрация*</i>								
5–10	0,05–0,2		0,1–0,5	20–300	0,02–1	0,1–5	5–30	27–150
<i>Избыточная или токсичная концентрация*</i>								
30–300	5–30		5–30	300–500	15–50	10–100	20–100	100–400

* Примерная концентрация тяжелых металлов в зрелых тканях листьев по обобщенным данным для многих видов [6].

ционная связь между валовым содержанием и кислоторастворимыми формами во всех объектах была слабой и четких тенденций к снижению загрязнения почв по мере увеличения порядкового номера площадки не наблюдалось.

Для двух объектов было опре-

делено содержание тяжелых металлов в растительных образцах, отобранных с тех же площадок (табл. 4). Избыточных или токсичных концентраций тяжелых металлов в растениях не установлено.

Корреляционная связь между валовым содержанием Pb, Cu, Ni,

Zn в почвах и растениях была слабой ($r < 0,3$). Не установлено тесной корреляционной связи между содержанием кислоторастворимых форм этих элементов в почве и растениях.

Содержание ЛОВ в гумусовом горизонте почв у Новгородского ПО

"Азот" составило 0,3–1,4 %, у Щекинского ПО "Азот" – 0,3–0,8, Первомайского ПО "Химпром" – 0,1–0,3 % к массе почвы.

Содержание тяжелых металлов в ЛОВ было значительно выше, чем в растениях. Наблюдалась очень тесная корреляционная связь меж-

Таблица 5
Валовое содержание тяжелых металлов в ЛОВ почв (мг/кг)

Номер плющадки	Pb	Cd	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
<i>Дерново-подзолистая почва у Новгородского ПО "Азот"</i>								
1	141,4	19,6	47,0	691,6	36,0	14,8	176,4	200,8
2	16,5	5,2	35,4	135,2	7,9	13,7	150,1	188,7
3	37,8	16,3	124,8	180,3	13,7	234,4	302,8	298,8
4	30,4	23,2	120,0	549,2	28,4	12,4	234,6	220,8
5	215,8	11,6	40,4	244,1	13,0	2,0	27,5	25,4
6	6,2	2,3	52,7	200,8	10,1	46,2	69,4	55,5
7	8,0	17,3	72,4	262,4	13,6	55,2	91,1	62,6
8	10,5	15,4	100,2	396,7	11,7	31,8	80,9	48,8
9	5,4	18,3	35,7	218,4	8,5	7,3	36,6	24,4
<i>Серая лесная почва и чернозем выщелоченный у Щекинского ПО "Азот"</i>								
1	78,5	20,4	61,7	648,8	30,9	47,7	240,2	180,6
2	22,7	11,7	50,6	328,8	12,8	58,3	88,2	260,8
3	102,3	17,8	50,1	412,3	18,3	59,1	38,4	93,8
4	11,4	22,0	45,3	212,4	26,7	46,6	128,8	90,4
5	12,2	17,3	32,2	312,5	31,2	84,3	82,3	90,1
6	6,8	18,4	52,1	418,7	18,6	17,4	95,4	52,5
7	5,9	17,3	34,7	293,7	31,4	25,4	26,6	76,5
8	7,2	15,2	37,3	275,8	30,8	29,4	25,2	60,0
9	6,3	13,1	50,9	435,2	25,4	26,3	89,8	47,6
<i>Чернозем типичный и выщелоченный у Первомайского ПО "Химпром"</i>								
1	62,8	16,2	133,4	550,4	23,6	140,6	219,2	291,2
2	31,4	18,2	72,6	426,5	28,7	156,2	326,6	105,3
3	26,3	24,3	112,3	318,3	36,5	108,6	520,3	340,3
4	36,5	18,3	72,6	428,7	25,4	124,3	252,0	300,8
5	18,7	19,3	68,8	328,7	20,1	98,7	98,3	285,3
6	68,5	20,8	101,3	397,7	22,8	109,3	490,1	300,3
7	26,7	20,7	86,3	412,6	29,3	160,3	185,3	200,7
8	42,6	18,3	90,0	215,3	24,7	200,4	526,3	371,3
9	53,8	17,9	84,3	318,8	25,8	117,4	328,7	368,8
Эталон (табл. 1)								
	19	8	36	339	11	40	128	318

ду валовым содержанием тяжелых металлов в почвах и их уровнем в ЛОВ ($r = 0,87 \div 0,97$) для всех обследованных объектов. Более слабая корреляционная связь отмечена между содержанием тяжелых металлов, растворенных в азотокислой вытяжке и в ЛОВ. Для Pb, Cd, Cr, Mn и Co она была слабой ($r < 0,3$), для Ni, Cu, Zn — средней ($r > 0,3$) и $r < 0,7$). Корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в ЛОВ и растениях была слабой и только для Zn высокой ($r > 0,7$).

Для оценки степени загрязнения ЛОВ тяжелыми металлами мы предлагаем использовать эталонные показатели, полученные на основе результатов анализа состава органических удобрений (табл. 1).

Сравнение содержания тяжелых металлов в ЛОВ с эталонами показало, что на тех площадках, где валовое содержание какого-либо элемента превышало ПДК или фоновые значения, как правило, содержание данного элемента в ЛОВ было выше эталонного показателя. Это дает возможность на основании данных о содержании тяжелых металлов в ЛОВ судить о степени загрязнения почв и объективно подойти к определению ПДК элементов в составе ЛОВ с использованием эталонных показателей.

Выходы

1. Анализ образцов дерново-подзолистой, серой лесной и черноземной почв разной степени загрязнения тяжелыми металлами показал наличие тесной корреляционной связи между содержанием последних в ЛОВ и их валовым содержанием в почвах.

2. Для оценки уровня загрязнения ЛОВ тяжелыми металлами предложены эталонные показатели, которыми являются максимальные значения содержания элементов в

органических удобрениях, взятых с экологически чистых территорий.

3. Сравнение содержания элементов в ЛОВ почв разного уровня загрязнения с эталонными показателями в целом отражает степень загрязнения почв, выявленную на основании данных о валовом содержании этих элементов и количестве их кислоторастворимых форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганжара Н. Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв европейской части СССР. — Автореф. докт. дис. М., 1988. — 2. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А. Способ определения элементов питания в легкоразлагаемых органических веществах почв. — Авт. св. № 1559292. — Госкомизобретений, 1989. — 3. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Шевченко А. В. Рекомендации по контролю и оптимизации режима органических веществ в пахотных почвах. М.: ТСХА, 1987. — 4. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Шевченко А. В., Хамиду Диаби. Содержание, состав и свойства лабильных форм органических веществ в почвах. — В сб. науч. тр.: Актуальные вопросы агрономического почвоведения. М.: ТСХА, 1988, с. 50—56. — 5. Государственный комитет СССР по охране природы. О выполнении работ по определению загрязнения почв от 10.12.1990 г. № 02-10/51-2333. — 6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. — 7. Покровская С. Ф. Загрязнение почв тяжелыми металлами и его влияние на сельскохозяйственное производство. М.: Изд-во МГУ, 1986. — 8. Степанова М. Д. Микроэлементы в органическом веществе почв (черноземных и дерново-подзолистых). — Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1976.

Статья поступила 21 апреля 1993 г.

SUMMARY

The content of heavy metals in readily decomposable organic matter of soddy-podzolic, gray forest and chernozem soils with different degree of technologic pollution was determined. A close correlation has been ascertained between the content of heavy metals in readily decomposable organic matter and their gross amount in the soils. For estimating the level of soil pollution with heavy metals, standard indices – maximum values of content of the elements in organic fertilizers taken from ecologically pure areas – are suggested. The method of estimating the extent of technogenic soil pollution by element composition of readily decomposable organic matter is suggested as well.