

## **ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕХНОГЕННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ ПРИ ПОЛИЭЛЕМЕНТНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

Изучены формы соединений тяжелых металлов при загрязнении предприятиями различного профиля: угледобывающая промышленность, черная и цветная металлургия, машиностроение и металлообработка. Установлено, что при загрязнении исходное соотношение форм элементов меняется.

*Ключевые слова:* валовое содержание, формы соединений тяжелых металлов, подвижные формы.

Вивчено форми сполук важких металів при забрудненні підприємствами різного профілю: вугледобувна промисловість, чорна та кольорова металургія, машинобудування і металообробка. Встановлено, що при забрудненні вихідне співвідношення форм елементів змінюється.

*Ключові слова:* валовий зміст, форми сполук важких металів, рухомі форми.

**The forms compounds with heavy metals pollution enterprises in various fields: coal, ferrous and nonferrous metallurgy, machine building and metalworking. Found that the initial ratio of elements forms varies with pollution.**

*Key words:* gross content, forms of heavy metal compounds, mobile forms.

**Введение.** Украина является промышленным регионом, здесь функционируют мощные предприятия горнодобывающей, горноперерабатывающей, металлургической, химической и других отраслей промышленности. Долгосрочная деятельность предприятий разного профиля привела к интенсивному загрязнению почв. Валовое содержание тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах превышает фоновое в десятки и сотни раз [2, 3, 6].

Исследования показали [3–5, 7], что степень токсичности почв, загрязненных тяжелыми металлами, определяется не столько валовым содержанием элементов, сколько подвижными формами, а также формами, связанными с органическими веществами, с окислами, гидроокислами *Fe*, *Al*, которые участвуют в биогенной миграции и поступлении элементов в сопредельные среды.

Оценку экологического состояния почвенных отложений невозможно сделать без изучения механизмов фиксации загрязнителей основными фракциями почв.

В настоящее время имеется большое количество работ по исследованию содержания тяжелых металлов в почвах [3–5, 7], однако многие вопросы формирования их почвенных соединений в условиях загрязнения являются нерешенными, что определяет актуальность данной статьи.

**Объекты и методы исследования.** Техногенно загрязненные почвы исследовались в городах Украины с различным типом производства и степенью техногенной нагрузки: Алчевск, Киев, Макеевка, Кривой Рог, Горловка, Черкассы и др. Исследовались почвы, находящиеся в непосредственной близости от промышленных предприятий различного профиля, а также почвы санитарных и рекреационных зон. Образцы отбирались с глубины 0–20 см.

**Методика досліджень.** Содержание гумуса, глинистой составляющей, емкость катионного обмена определяли общепринятыми методами [1]. Формы элементов в почвах определяли методом фракционного анализа [5], модифицируя их для каждого конкретного случая. Содержание элементов в экстрагентах определяли атомно-абсорбционным методом, валовое содержание элементов – с помощью эмиссионного спектрального анализа, а также атомно-абсорбционного метода с подготовкой проб по конкретной методике [8].

**Результаты исследований.** В результате проведенных анализов установлено, что в загрязненных почвах валовое содержание металлов выше фонового (табл. 1).

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах, мг/кг

Элемент	1	2	3	4
<i>Zn</i>	2500	320	1200	250
<i>Cu</i>	153	200	2500	87
<i>Co</i>	100	100	50	160
<i>Ni</i>	85	65	120	250
<i>Pb</i>	160	180	700	160
<i>Cr</i>	80	120	260	280

**Примечание.** 1 – машиностроение и металлообработка (Киев), 2 – угледобывающая промышленность (Макеевка), 3 – черная и цветная металлургия (Алчевск), 4 – химическая промышленность (Черкассы).

Для оценки загрязнения почв на территориях, находящихся в одинаковых ландшафтно-геохимических условиях, использовались значения фоновых содержаний тяжелых металлов в почвах которые составляют для предприятий машиностроения и металлообработки (мг/кг): *Zn* – 80, *Cu* – 30, *Co* – 40, *Ni* – 23, *Pb* – 20, *Cr* – 25; для угледобывающей промышленности: *Zn* – 50, *Cu* – 60, *Co* – 25, *Ni* – 20, *Pb* – 20, *Cr* – 60; для черной и цветной металлургии: *Zn* – 60, *Cu* – 52, *Co* – 16, *Ni* – 25, *Pb* – 15, *Cr* – 100; для химической промышленности: *Zn* – 40, *Cu* – 35, *Co* – 70, *Ni* – 40, *Pb* – 15, *Cr* – 92.

Содержание тяжелых металлов в почвах, расположенных вблизи обогатительной фабрики в Макеевке, почти во всех исследуемых образцах выше фонового, то же отмечается и в почвах частного сектора (садово-огородные участки). Наиболее загрязнены тяжелыми металлами почвы промышленных территорий и окрестности предприятий черной и цветной металлургии, районы жилых массивов и садово-огородных участков. Менее подвержены техногенному загрязнению тяжелыми металлами территории, расположенные вблизи производственного объединения «Азот».

Следует отметить, что фоновые содержания элементов в почвенных отложениях зависят от содержания их в подстилающих почвообразующих породах, от ландшафтно-геохимических факторов и от самих физико-химических свойств почв [3, 8].

Для исследования нахождения форм металлов по фракциям выбирались почвы с максимальным уровнем загрязнения. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Распределение металлов в почвах по фракциям, в зависимости от характера промышленности, %**

Машиностроение и металлообработка					
Фракция	Zn	Cu	Co	Ni	Pb
1	2,3 (0,6)	0,1 (-)	0,7 (-)	0,5 (-)	3,2 (-)
2	10,7 (2,3)	5,2 (3,2)	10,8 (7,2)	2,3 (1,3)	17,8 (1,8)
3	10,2 (5,2)	4,0 (1,2)	2,2 (0,2)	4,8 (2,2)	3,2 (1,0)
4	4,8 (2,3)	10,7 (5,2)	4,3 (3,2)	12,3 (7,0)	12,3 (0,5)
5	7,0 (2,3)	8,2 (3,2)	7,2 (-)	23,2 (2,6)	6,2 (2,3)
6	64,9 (87,3)	71,8 (87,2)	74,8 (89,4)	56,9 (86,8)	59,3 (94,4)
Черная и цветная металлургия					
Фракция	Zn	Cu	Co	Ni	Pb
1	10,2 (1,2)	5,2 (0,2)	2,3 (0,2)	0,8 (-)	3,5 (0,2)
2	42,3 (10,2)	52,3 (17,2)	20,3 (7,2)	2,3 (1,2)	27,2 (10,2)
3	7,2 (7,8)	3,2 (2,3)	4,2 (3,2)	3,0 (2,2)	8,2 (3,0)
4	8,9 (12,3)	8,3 (32,3)	17,2 (32,3)	41,5 (34,1)	32,3 (40,8)
5	3,2 (2,3)	7,8 (4,2)	14,5 (12,3)	28,2 (26,5)	7,2 (15,2)
6	28,2 (66,2)	23,2 (43,8)	41,5 (44,8)	24,2 (36,0)	21,6 (30,6)
Угледобывающая промышленность					
Фракция	Zn	Cu	Co	Ni	Pb
1	2,5 (-)	7,5 (-)	-	0,5 (-)	-
2	15,0 (3,5)	12,5 (3,8)	7,2 (0,6)	2,3 (2,5)	20,3 (3,2)
3	30,2 (17,2)	14,5 (10,3)	22,5 (12,3)	4,5 (3,2)	15,2 (7,2)
4	10,5 (8,9)	20,3 (7,3)	12,3 (6,3)	40,3 (9,5)	7,8 (4,5)
5	12,3 (17,8)	17,3 (5,4)	7,5 (25)	20,0 (16,5)	13,5 (2,3)
6	29,5 (52,6)	27,9 (73,2)	50,5 (55,8)	32,4 (68,3)	43,2 (82,8)
Химическая промышленность					
Фракция	Zn	Cu	Co	Ni	Pb
1	3,5 (0,2)	4,5 (0,2)	7,5 (0,2)	0,6 (-)	1,3 (-)
2	13,5 (3,2)	12,5 (2,2)	7,8 (3,2)	1,2 (0,8)	7,8 (5,2)
3	20,5 (10,2)	37,2 (12,3)	17,3 (10,2)	4,3 (2,3)	21,3 (7,8)
4	7,8 (2,3)	12,3 (8,2)	3,2 (1,2)	19,8 (24,7)	10,2 (8,7)
5	10,2 (7,2)	5,4 (7,2)	10,2 (8,2)	19,8 (15,8)	17,2 (13,3)
6	44,5 (76,9)	28,1 (70,0)	54,0 (77,0)	54,4 (51,4)	42,2 (65,0)

**Примечание.** Фракции: 1 – водорастворимая, 2 – легкообменных ионов, 3 – растворимых в слабокислой среде соединений, 4 – органического вещества, 5 – аморфных гидроксидов Fe, Mn, Al, 6 – устойчивая. В скобках указано фоновое значение. «-» – содержание элемента ниже чувствительности метода.

На территориях, подверженных техногенному воздействию предприятий машиностроения и металлообработки, содержание (%) подвижных форм Zn в почве составляет 23,2, Cu – 6,2; Co – 15,7; Pb – 24,2; Ni – 7,6, за их пределами оно снижается. Основное количество металлов в этих почвах связано с устойчивыми формами.

В почвах промышленных площадок химических предприятий содержание подвижных форм элементов высокое и составляет %: Zn – 37,5; Cu – 54,2; Co – 32,6; Ni – 1,2; Pb – 30,4, в менее загрязненных почвах на садово-огородных участках оно понижается. В почвах, подверженных влиянию выбросов угледобывающей промышленности, на долю подвижных форм приходится, %: Zn – 47,5; Cu – 34,5; Co – 29,7; Pb – 35,5; Ni – 7,3; на расстоянии 1,5 км от обогатительной фабрики количество подвижных форм понижается, а доля устойчивых форм повышается.

Наиболее подвержены загрязнению почвы в пределах предприятий черной и цветной металлургии. В них отмечена высокая концентрация тяжелых металлов, связанных с фракцией легкообменных ионов, и повышенное содержание водорастворимых форм. В почвах прилегающих территорий содержание подвижных форм тяжелых металлов уменьшается, наблюдается увеличение устойчивых форм.

**Выводы.** В «условно чистых» пробах преобладающая часть тяжелых металлов прочно закреплена почвенными составляющими. При слабом уровне полиэлементного загрязнения накапливаются формы, достаточно прочно связанные с почвенными фракциями. При увеличении нагрузки на почву происходит накопление менее прочно связанных соединений тяжелых металлов с почвенными компонентами.

### Бibliографические ссылки

1. **Аринушкина Е. В.** Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1970. – 487 с.
2. **Войтюк Ю. Ю.** Особливості геохімічного розподілу важких металів у зоні аерації під впливом викидів комбінатів чорної металургії (на прикладі м. Алчевськ) / Ю. Ю. Войтюк, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, С. П. Кармазиненко, В. Й. Манічев // Геолог України. – К., 2012. – № 1–2. – С. 51–57.
3. **Жовинский Э. Я.** Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К.: Наук. думка, 2002. – 213 с.  
Комбинированный прием фракционирования соединений металлов в почвах / [Минкина Т. М. [и др.]]. // Почвоведение. – М., 2008. – №11. – С. 1324–1333.
4. **Кузнецов В. А.** Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях / В. А. Кузнецов, Г. А. Шимко. – Минск: Наука и техника, 1990. – 65 с.
5. **Кураєва І. В.** Закономірності розподілу токсичних елементів у зоні аерації Горлівського хімічного заводу / І. В. Кураєва, А. І. Самчук, О. В. Яковенко, Ю. Ю. Войтюк, М. М. Кисельов, В. Ф. Філатов, Н. О. Дуброва // Мінералогічний журнал. – К., 2010. – № 2. – С. 85–93.
6. **Ладонин Д. В.** Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения / Д. В. Ладонин // Почвоведение. – М., 2002. – № 6. – С. 682–692.
7. **Туполев П. Е.** Использование кислотных вытяжек для округления валового содержания тяжелых металлов в почвах / П. Е. Туполев, Н. И. Журавлева // Загрязнение почв и сопредельных сред токсикантами промышленного и сельскохозяйственного происхождения. – М.: Гидрометиздат, 1987. – С. 89–98.

*Надійшла до редколегії 03.03.2014 р.*