

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

Ю.Ю. Войтюк¹, канд. геол. наук,
І.В. Кураєва¹, д-р геол. наук, старш. наук. співр.,
Г.А. Кроїк², д-р геол. наук, проф.,
А.В. Павличенко³, канд. біол. наук, доц.

1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м.Київ, Україна, e-mail: Voytyuk_Yuliya@mail.ru
2 – Дніпропетровський національний університет ім. О.Гончара, м.Дніпропетровськ, Україна
3 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м.Дніпропетровськ, Україна, e-mail: kafedra_ecology@ukr.net

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ У РАЙОНАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Yu.Yu. Voitiuk¹, Cand. Sci. (Geol.),
I.V. Kuraieva¹, Dr. Sci. (Geol.), Senior Research Fellow,
A.A. Kroik², Dr. Sci. (Geol.), Professor,
A.V. Pavlychenko³, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Professor

1 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: Voytyuk_Yuliya@mail.ru
2 – Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine
3 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kafedra_ecology@ukr.net

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE SOIL CONTAMINATION LEVELS IN THE AREAS OF METALLURGICAL ENTERPRISES OPERATION

Мета. Встановлення закономірностей накопичення та розподілу важких металів в об'єктах навколишнього середовища в зоні впливу металургійних підприємств.

Методика. Для відібраних проб ґрунтів визначено мінералогічний та гранулометричний склад. Для відібраних проб пилових викидів, ґрунтів та рослин виконано рентгенофазовий аналіз, визначено концентрації важких металів з використанням атомно-емісійного та атомно-абсорбційного спектральних методів. З використанням неселективних екстрагентів визначено іонообмінну, резервну та фіксовану форми знаходження важких металів у ґрунтах.

Результати. Встановлено рівні забруднення важкими металами ґрунтів та рослин на територіях прилеглих до металургійного підприємства. Виявлено, що в районах функціонування металургійних підприємств підвищуються рухомість важких металів порівняно з фоновими ділянками – Zn у 4,8, Ni – у 5,6, Cu – у 2,6 рази. На території металургійного підприємства вміст іонообмінних форм важких металів у порядку убунання утворює наступний ряд: Zn>Pb>Ni>Cu>Cr; для резервних форм: Pb>Cu>Zn>Ni>Cr.

Наукова новизна. Встановлено механізми трансформації та міграційну активність техногенних форм важких металів у системі „викиди підприємства – ґрунти – рослинність“. Збільшення вмісту важких металів у ґрунтах та зміна їх фізико-хімічних властивостей (рН, ємність катіонного обміну, вміст органічної речовини) активізує їх міграційну активність.

Практична значимість. Встановлена міграційна активність важких металів дає можливість оцінити їх здатність переходити із твердої фази ґрунту у ґрунтовий розчин, а після цього переміщуватися по профілю із ґрунтовим розчином і по трофічному ланцюгу потрапляти до організму людини. Визначені особливості поглинання деревними та трав'яними рослинами важких металів дозволяють використовувати їх для біоіндикації рівня забруднення ґрунтів.

Ключові слова: металургійні підприємства, важкі метали, ґрунти, рослинність

Постановка проблеми. В останні десятиліття провідним процесом, що визначає формування еко-

лого-геохімічного стану території, став техногенез. Високий рівень концентрації екологічно небезпечних виробництв, відсутність належних природоохоронних систем, а також застарілі технології виробництва

© Войтюк Ю.Ю., Кураєва І.В., Кроїк Г.А., Павличенко А.В., 2014

та обладнання призводять до різкого погіршення стану навколишнього середовища. Інтенсивне промислове використання природних ресурсів викликало істотні зміни розподілу деяких хімічних елементів у поверхневому шарі зони аерації. Передусім це стосується важких металів (ВМ), накопичення високих концентрацій яких у природному середовищі пов'язано з антропогенною діяльністю [1–3].

Важкі метали, як особлива група елементів, виділяються у зв'язку з токсичною дією на живі організми при їх високих концентраціях, що перевищують фонові або гранично допустимі величини. Викиди підприємств металургійної промисловості можуть бути джерелами забруднення об'єктів довкілля ВМ.

Україна належить до першої десятки країн-виробників чорних металів. Металургійна галузь є основним джерелом забруднення ВМ південно-східного регіону України. До нього належить місто Дніпродзержинськ, де з 1887 року працює ПАТ „Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Є. Дзержинського“ (ДМК ім. Дзержинського). Щорічно комбінат викидає до атмосфери понад 100 тис. т. шкідливих речовин, із них 14,7% твердих речовин, 3,8% оксидів азоту, 8,0% діоксиду сірки та 72,8% оксиду вуглецю [4, 5].

Дніпродзержинськ за даними Держкомстату входить до десятки найбільш забруднених міст України. Щорічно підприємства викидають до атмосферного повітря міста понад 120 тис. т. забруднюючих речовин (14% від загального обсягу викидів Дніпропетровської області). Щільність викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел становить 870–930 т. на 1 км², що у 120 та 25 разів більше, ніж у цілому по країні та області відповідно. На одного мешканця міста припадає близько 500 кг шкідливих речовин. Цей показник значно перевищує середній рівень по країні майже в 5 разів та по області майже в 1,5 рази [4, 5].

Пилові викиди є важливим джерелом емісії шкідливих речовин до навколишнього середовища, що призводять до формування техногенних геохімічних аномалій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процеси міграції ВМ у природно-техногенних системах вивчали Ладонін Д.В., Авесаломова І.А., Саєт Ю.Е., Ревіч Б.А., Янін Е.П., Петрова Л.О., Самчук А.І. та ін. Для встановлення закономірностей міграції та акумуляції ВМ в умовах техногенезу виникає потреба у вивченні форм їх знаходження у ґрунтах, особливо на території промислових агломерацій чорної металургії України. Асоціації ВМ, характерні для територій зон впливу підприємств чорної металургії, що приводяться різними авторами, істотно відрізняються. При геохімічних дослідженнях техногенних ландшафтів важливо також урахувати біохімічні показники, що є важливим індикатором розмежування природних і техногенних аномалій ВМ.

Виділення невирішеної проблеми. Для задач сучасної геохімії ґрунтів вивчення лише валового вмісту ВМ є недостатнім. Подібні дослідження можуть відображати лише направленість процесів, напри-

клад, міграції (винос або накопичення). Робити висновки щодо можливих механізмів трансформації техногенних форм ВМ у ґрунтах і їх міграційної активності в даному випадку складно. Наявність різних форм знаходження ВМ, що відрізняються як за рухомістю та біологічною доступністю, так і за механізмами їх закріплення у ґрунті, потребує проведення комплексних досліджень.

В умовах міських екосистем вивчення форм знаходження ВМ у компонентах довкілля заслуговує особливої уваги [6]. Головним чином, це стосується рухомих форм, так як їх дослідження дає можливість оцінити здатність різних хімічних елементів і їх сполук переходити із твердої фази ґрунту до ґрунтового розчину, а після цього переміщуватись по профілю з ґрунтовым розчином і по трофічному ланцюгу потрапляти до організму людини.

На теперішній час немає узагальненого науково-методичного підходу щодо вирішення проблеми достовірної оцінки впливу викидів промислових підприємств, у тому числі металургійного комплексу, на екологічний стан ґрунтів. Враховуючи те, що забруднюючі речовини в більшості випадків накопичуються у ґрунтах, виникає можливість використовувати їх як індикатор вторинного забруднення території та визначення ступеня погіршення екологічного стану довкілля.

Формулювання мети. Метою роботи є встановлення закономірностей розподілу та накопичення важких металів у ґрунтах у районах функціонування металургійних підприємств.

Викладення основного матеріалу. Дослідження проводили на території м.Дніпродзержинськ у зоні розташування ДМК ім. Дзержинського. В якості фонові ділянки з подібними ландшафтно-геохімічними властивостями було обрано територію Дніпровсько-Орільського заповідника. Оскільки вплив промислового комплексу на фонову ділянку не виключався, її розглядали як „умовно чисту зону“.

Відбір проб ґрунту проведено відповідно до вимог ГОСТу 17.4.4.02-84. Паралельно з відбором проб ґрунтів проведено відбір проб пилових викидів та різних видів рослинності в зоні розташування підприємства.

Гранулометричний склад ґрунту визначено відповідно до вимог ДСТУ БВ.2.1-19:2009. Рентгенофазовий аналіз досліджуваних зразків ґрунтів, пилу, рослин проведений на дифрактометрі ДРОН-2, автоматичному дифрактометрі ДРОН-3М, на мідному випромінюванні ($\text{CuK}\alpha=1,54178 \text{ \AA}$). Концентрації хімічних елементів у пробах визначені з використанням атомно-емісійного спектрального методу на спектрографі СТЕ-1. Вивчення форм знаходження ВМ у ґрунтах та пилових випадіннях виконане методом послідовних витяжок. Вміст ВМ у витяжках визначений методом атомно-абсорбційного аналізу на спектрометрі КАС-115. Еколого-геохімічну оцінку стану території проводили за величиною сумарного показника забруднення з використанням методики Ю.Е. Саєта. Для характеристики біогенної міграції

ВМ у ґрунтах під впливом викидів підприємства, а також біогеохімічних особливостей рослин на прилеглий території використана методика І.А. Авесаломової.

З використанням неселективних екстрагентів визначали іонообмінну (ацетатно-амонійний буфер (рН 4,8)), резервну (1 н НСІ) та фіксовану форми знаходження ВМ як і їх залишок після всіх екстракцій.

Результати досліджень. При вивченні мінералогічного складу ґрунтів встановлено, що у складі глинистої фракції переважають наступні мінерали: гідроліта, каолінит, монтморилоніт, хлорит. Легка фракція ґрунтів представлена кварцом, кварцитом, калієвим польовим шпатом, присутні також мусковіт, гідроліта, глауконіт, опал. У складі важкої фракції ґрунтів переважають гідроксиди заліза, лейкоксен, циркон, гранат, ставроліт, ільменіт, рутил. Особливістю досліджуваних ґрунтів є значний вміст залізовмісних мінералів, таких як гетит, гематит, магнетит, франклініт.

У результаті вивчення геохімічних показників ґрунтів встановлено, що на території міста, в основному, поширені чорноземи звичайні середньопотужні малогумусні на лесах.

Хімічний склад ґрунтів на досліджуваних територіях наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад ґрунтів

Показники	Територія санітарно-захисної зони ДМК ім. Держинського, %	Фонові території, %
SiO ₂	50,4	59,5
TiO ₂	0,1	0,6
Al ₂ O ₃	4,3	10,7
Fe _{заг}	17,9	4,2
MnO	0,4	0,1
MgO	1,5	1,6
CaO	7,9	3,9
Na ₂ O	0,4	0,8
K ₂ O	0,7	2,4
P ₂ O ₅	0,1	0,1
H ₂ O	1,9	4,5
в.п.п.	13,9	11,2
сума	99,5	99,6

Примітка: в.п.п. – втрата при прокалюванні

Аналіз даних табл. 1 виявив, що в зоні впливу ДМК ім. Держинського спостерігається підвищений вміст оксидів заліза (у 4,2 рази), марганцю (у 3,5 рази) та кальцію (у 2 рази) у порівнянні з ґрунтами фонових територій.

У результаті дослідження хімічного складу пилових випадів на території санітарно-захисної зони (СЗЗ) ДМК ім. Держинського встановлено, що вміст цинку досягає 10000 мг/кг, хрому – 2000 мг/кг, міді – 1000 мг/кг, свинцю 400 мг/кг, що значно перевищує значення на фонових територіях.

Для оцінки впливу викидів підприємства на стан прилеглих територій визначено валовий вміст ВМ у ґрунтах на досліджуваних ділянках (табл. 2).

Аналіз даних табл. 2 виявив, що максимальні значення вмісту ВМ спостерігаються на територіях, що

прилягають до металургійного комбінату. Встановлені техногенні аномалії вмісту ВМ у ґрунтах відповідають розі вітрів і припадають на густонаселені райони міста.

Таблиця 2

Вміст валових форм важких металів у ґрунтах (мг/кг)

Елемент	СЗЗ ДМК ім. Держинського		Фонові території	ГДК
	M _{ед} Min-Max	σ		
Mn	1984 100-6000	875	315	1500
Ni	36 5-50	7	20	20
Co	4 2-8	2	3	–
V	82 20-180	34	50	–
Cr	113 6-1000	85	55	100
Mo	4 1-10	2	2	–
Cu	60 8-400	58	20	33
Pb	119 5-300	47	12	32
Zn	373 30-2000	332	52	55
Sn	5 2-20	3	2	–

У табл. 2: M_{ед} – середнє значення елемента; Min – мінімальне значення елемента; Max – максимальне; „σ“ – стандартне відхилення; „–“ – ГДК не встановлено.

Для елементів першого класу небезпеки (Cr, Pb, Zn) найвищі максимальні значення відповідають вмісту цинку, який досягає 2000 мг/кг, що у 40 разів перевищує фонове значення. Високий показник перевищення фонових вмісту виявлено для свинцю (25 разів). Цей елемент за своїми токсичними та мутагенними властивостями представляє значну небезпеку у ґрунтах на території підприємства.

Для елементів другого класу небезпеки найбільше перевищення фонових значень відповідає олову – 200 разів, хрому – 18 разів, нікелю – 2,5 рази та кобальту – 2,7 рази.

Для виділення геохімічної асоціації ВМ за методикою Ю.Е. Саєта були розраховані коефіцієнти їх концентрування у ґрунтах. За величинами цих коефіцієнтів ВМ розташували в наступний ряд: Pb_(9,9)>Zn_(7,1)>Mn_(6,3)>Cu₍₃₎>Sn_(2,5)>Cr₍₂₎.

Сумарний показник забруднення ґрунтів (Z_c) на території промислової зони, розрахований за методикою Ю.Е. Саєта, змінюється в діапазоні від 0 до 36 при середньому значенні 28. Рівень забруднення ґрунтів на території СЗЗ ДМК ім. Держинського за середніми значеннями Z_c відноситься до „помірно небезпечної“ категорії.

Однією з найважливіших еколого-геохімічних характеристик є буферність ґрунтів, що залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунтового поглинального комплексу (ГПК) та складу ґрунтової органічної речовини. Коефіцієнт буферності (K_б) прямо пропор-

ційний сорбційній ємності (E) ГПК і зворотно пропорційній зміні рН. Для оцінки процесів міграції ВМ у ґрунтах досліджено склад ГПК (табл. 3).

Таблиця 3
Фізико-хімічна характеристика ґрунтів

Показники		Територія СЗЗ ДМК ім. Дзержинського	Фонові територія
Обмінні катіони, мг·екв/100 г	H ⁺	10,1	10,8
	Ca ²⁺	2,3	49,3
	Mg ²⁺	1,1	18,4
	K ⁺	0,2	0,8
	Na ⁺	1,2	0,6
	E _{сум}	14,9	79,9
K _б		4,5	87,7
C _{орг} , мг/кг		4,6	7,8
рН		6,2	6,4

У табл. 3: C_{орг} – кількість органічної речовини; E_{сум} – сума обмінних катіонів; K_б – коефіцієнт буферності.

Експериментальне визначення сорбційної ємності ГПК та буферності ґрунтів під впливом підприємств чорної металургії і на фонових ділянках було проведено за методикою А.І. Самчука. Виявлено, що на техногенно-забруднених ділянках, прилеглих до ДМК ім. Дзержинського, зменшується буферність ґрунтів та погіршується їх екологічний стан.

Оцінка валового вмісту ВМ у ґрунтах на території СЗЗ підприємства та за його межами дозволила встановити механізми міграції ВМ у системі „викиди підприємства – ґрунти“. Проте процеси забруднення довкілля ВМ, що представлені на досліджуваній території свинцем і цинком, які відносяться до I класу небезпеки, не обмежуються лише ґрунтами. Висока міграційна здатність цих металів та їх значний токсичний потенціал призводить до того, що вони приймають участь у міграційному ланцюгу „ґрунт – рослина“. Оцінка цього процесу проводилася за допомогою екстракції ВМ зі зразків досліджуваних ґрунтів спеціальними хімічними реагентами згідно з методикою екстракції. Розподіл ВМ за формами знаходження у ґрунтах представлено на рис. 1 та 2.

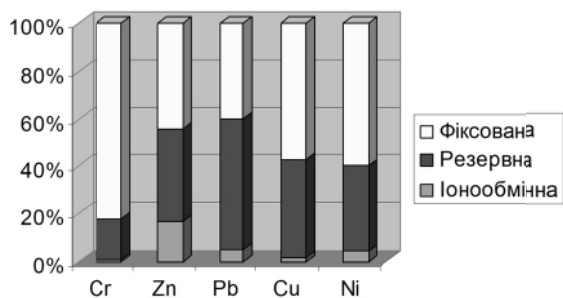


Рис. 1. Форми знаходження ВМ у ґрунтах (інтервал 0–5 см) на території СЗЗ ДМК ім. Дзержинського

Частка іонообмінних форм ВМ у ґрунтах Дніпродзержинської ділянки зменшується в ряду (%): Zn_(16,9)>Pb_(5,2)>Ni_(4,5)>Cu_(1,8)>Cr_(0,8). Частка резервних форм ВМ у ґрунтах дослідженої ділянки зменшується в ряду (%): Pb_(55,2)>Cu_(40,7)>Zn_(39,2)>Ni_(35,4)>Cr_(16,9). За зменшенням частки фіксованих форм ВМ отримано ряд (%): Cr_(82,3)>Ni_(60,1)>Cu_(57,5)>Zn_(43,9)>Pb_(39,6).

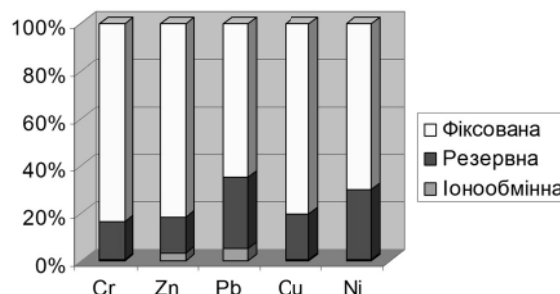


Рис. 2. Форми знаходження ВМ у ґрунтах (інтервал 0–5 см) фонові ділянки

На фоновій ділянці ВМ розподіляються наступним чином (%): у іонообмінній формі – Pb_(5,2)>Zn_(3,5)>Ni_(0,8) = Cu_(0,8)>Cr_(0,6); у резервній формі – Pb₍₃₀₎>Ni₍₂₉₎>Cu₍₁₉₎>Cr₍₁₆₎>Zn₍₁₅₎; у фіксованій формі – Cr_(83,4)>Zn_(81,5)>Cu_(80,2)>Ni_(70,2)>Pb_(64,8).

При дослідженні процесів формування ВМ у ґрунтах під тиском техногенного навантаження виявлено, що та їх частка, яка приймає участь у міграційному процесі, вища по відношенню до умовно чистих ґрунтів. Так рухомість іонів цинку зростає у 4,8, нікелю у 5,6 та міді у 2,6 рази.

Таким чином, у ґрунтах техногенно-забруднених територій кількість ВМ у рухомих формах зростає порівняно з фоновими ділянками.

Для оцінки впливу металургійного підприємства на розподіл вмісту свинцю та цинку на території м. Дніпродзержинськ побудовані моноелементні карти з використанням програми MapInfo 9 (рис. 3, 4).

Вміст свинцю у ґрунтах на фоновій території складає 12 мг/кг, а середній валовий вміст на території м. Дніпродзержинськ (горизонт 0–5 см) – 119 мг/кг, що вказує на перевищення фонових значень у 10 разів і ГДК у 4 рази.

Максимальне значення валового вмісту свинцю для досліджуваної території становить – 300 мг/кг, що перевищує значення на фоновій території у 25 разів і ГДК у 9 разів. Таким чином, виділено ряд техногенних аномалій свинцю у ґрунтах, характерних для селітебної частини міста. Локалізація техногенних аномалій вмісту свинцю знаходиться не тільки біля ДМК ім. Дзержинського, але й у центральній частині міста, що свідчить про внесок автотранспорту в забруднення ґрунтів (рис. 3).

Встановлено, що вміст цинку на фоновій території складає 52 мг/кг, а середній валовий вміст у ґрунтах м. Дніпродзержинськ (інтервал 0–5 см) – 373 мг/кг, що перевищує регіональне фонове значення і ГДК у

7 разів. Максимальний вміст цинку – 2000 мг/кг, що перевищує фонове значення у 38 разів і ГДК у 36 разів виявлено в західній частині ДМК ім. Дзержинського. Західна та південна частини міста менш забруднені, валовий вміст цинку відповідає рівню фонових ґрунтів (рис. 4).

Встановлено, що техногенні аномалії цих елементів мають, здебільшого, локальний характер.

У роботі досліджувалася наступна за ґрунтами ланка міграції ВМ – рослинність, що виступає проміжною ланкою між ґрунтами та організмом людини.



Рис. 3. Розподіл Pb у ґрунтах (інтервал 0–5 см) м. Дніпродзержинськ



Рис. 4. Розподіл Zn у ґрунтах (інтервал 0–5 см) м. Дніпродзержинськ

Інтенсивність накопичення ВМ рослинністю характеризується коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП) та визначається відношенням вмісту елементу в золі до його вмісту у ґрунті. За сумою цих коефіцієнтів розраховують коефіцієнт біогеохімічної активності виду (БХА).

У результаті геохімічного дослідження трав'янистої та деревної рослинності в зоні впливу

ДМК ім. Дзержинського встановлені закономірності біологічного поглинання рослинами ВМ із твердої фази ґрунту (табл. 4). Найбільш інтенсивно трав'янистою рослинністю (пирій повзучий) поглинаються *Ni*, *Mo*, *Co* і *Cu*, а менш інтенсивно – *Cr*, *V* та *Pb*. Коефіцієнт БХА виду, що характеризує інтенсивність поглинання елементів рослинами, за середнім значенням становить 12,7.

Таблиця 4

Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів рослинами в зоні впливу ДМК ім. Дзержинського

Листя та хвоя	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn	БХА
Пирій повзучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	0,4	4	1,7	0,2	0,2	3,8	0,9	0,2	0,5	0,8	12,7
Акація біла (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	0,3	2,2	2	0,2	0,1	5	0,6	0,1	0,3	0,8	11,6
Клен гостролистий (<i>Acer platanoides</i> L.)	0,4	1,1	1	0,2	0,1	0,8	0,7	0,2	0,2	0,8	5,5
Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)	0,2	0,3	0,8	0,1	0,1	2,5	0,1	0,3	0,3	0,6	5,3
Каштан їстівний (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	0,3	5,6	2	0,1	0,1	1	0,8	0,2	0,2	0,6	10,9
Береза бородавчата (<i>Betula pendula</i> Roth.)	0,3	1,4	1,3	0,2	0,1	1,5	0,3	0,3	1,6	0,8	7,8
Липа європейська (<i>Tilia europaea</i> L.)	0,3	0,6	1	0,1	0,1	1,3	1,3	0,3	0,2	0,8	6

Деревинна рослинність найбільш активно поглинає із ґрунту *Mo*, *Ni*, *Co*, ще менш інтенсивно *Cu*, *Sn*, найменш інтенсивно – *V* і *Cr*. Найбільший коефіцієнт біогеохімічної активності з досліджених видів мають акація біла та каштан їстівний, найменший – ялина європейська.

Високий КБП *Cu* пояснюється тим, що цей елемент має здатність утворювати міцні комплекси з органічною речовиною.

Висновки та перспективи розвитку напрямку. У результаті дослідження впливу діяльності металургійних підприємств на стан ґрунтів виявлено:

- зниження рН поверхневого шару ґрунту, їх катіонно-обмінної ємкості та буферної здатності;
- підвищення вмісту оксидів заліза, марганцю та кальцію в порівнянні з фоновими ділянками;
- формування техногенної асоціації наступних ВМ – свинцю, цинку, марганцю, міді, олова, хрому;
- перевищення над фоновими рівнями таких залізовмісних мінералів у ґрунтах, як гетит, гематит, магнетит, франклініт;
- рівень забруднення ґрунтів території СЗЗ ДМК ім. Дзержинського за середніми значеннями сумарного показника забруднення ґрунтів відноситься до „помірно небезпечної“ категорії;
- деревинна рослинність найбільш активно поглинає з ґрунту *Mo*, *Ni*, *Co*, менш інтенсивно *Cu*, *Sn*, найменш інтенсивно – *V* і *Cr*.

Для комплексної оцінки екологічної ситуації техногенно-забруднених територій рекомендується проводити геохімічні дослідження ґрунтів та рослинності з використанням кількісних показників техногенної міграції та акумуляції хімічних елементів.

Список літератури / References

1. Оцінка ступеню екологічного ризику територій промислово-гірських агломерацій забрудненням ва-

жкими металами / Е.Я. Жовинський, І.В. Кураєва, А.І. Радченко, В.Ж. Білик // Поисковая и экологическая геохимия. – 2003. – № 2/3. – С. 96–101.

Zhovynskiy, E.Ya., Kurayeva, I.V., Radchenko, A.I. and Bilyk, V.Zh. (2003), “Assessment of the environmental risk of industrial and mining agglomeration areas pollution by heavy metals”, *Poiskovaya i ekologicheskaya geokhimiya*, Kiev, no. 2/3, pp. 96–101.

2. Павличенко А.В. Геохимическая оценка роли пород зоны аэрации в процессе загрязнения подземных вод тяжелыми металлами / А.В. Павличенко, А.А. Кроик // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 5. – С. 93–99.

Pavlichenko, A.V. and Kroik, A.A. (2013), “Geochemical assessment of the role of aeration zone rocks in pollution of ground waters by heavy metals”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 5, pp. 93–99.

3. Крупская Л.Т. Влияние техногенных систем на окружающую среду в Приамурье и Приморье / Л.Т. Крупская, В.П. Зверева, А.В. Леоненко // Сибирский экологический журнал. – 2013. – № 2. – С. 283–289.

Krupskaya, L.T., Zvereva, V.P. and Leonenko, A.V., (2013), “Impact of technogenic systems on the environment and human health in the Priamurye and Primorye territories”, *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*, No. 2, pp. 283–289.

4. Экологический паспорт Днепропетровской области / Под ред. В.В. Антонова. – Днепропетровск: Днепропетровская областная государственная администрация, 2011. – 136 с.

Antonov, A.A. (2011), *Ekologicheskii passport Dnepropetrovskoy oblasti* [Ecological Passport of Dnepropetrovsk Oblast], Dnepropetrovsk Oblast State Administration, Dnepropetrovsk, Ukraine.

5. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. – Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K., 2012. – 258 с.

The National Report about the State of Environment in Ukraine in 2011, (2012), Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, LAT & K, Kyiv, Ukraine.

6. Сеньющенко И.М. Комплексные геоэкологические исследования городских территорий / И.М. Сеньющенко, Е.А. Гудкова, О.О. Новикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 9. – С. 41–42.

Senyuschenkova, I.M., Gudkov, Ye.A. and Novikova, O.O. (2012), “Integrated geo-environmental studies of urban areas”, *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, pp. 41–42.

Цель. Установление закономерностей накопления и распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды в зоне влияния металлургических предприятий.

Методика. Для отобранных проб почв определен минералогический и гранулометрический состав. Для отобранных проб пылевых выбросов, почв и растений выполнен рентгенофазовый анализ, определены концентрации тяжелых металлов с использованием атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного спектральных методов. С помощью неселективных экстрагентов определены ионообменную, резервную и фиксированную формы нахождения тяжелых металлов в почвах.

Результаты. Установлены уровни загрязнения тяжелыми металлами почв и растений на территориях, прилегающих к металлургическому предприятию. Выявлено, что в районах функционирования металлургических предприятий повышается подвижность тяжелых металлов по сравнению с фоновыми участками – Zn в 4,8, Ni – в 5,6, Cu – в 2,6 раза. На территории металлургического предприятия содержание ионообменных форм тяжелых металлов в порядке убывания образует следующий ряд: Zn>Pb>Ni>Cu>Cr; для резервных форм: Pb>Cu>Zn>Ni>Cr.

Научная новизна. Установлены механизмы трансформации и миграционная активность техногенных форм тяжелых металлов в системе „выбросы предприятия – почвы – растительность“. Увеличение содержания тяжелых металлов в почвах и изменение их физико-химических свойств (рН, емкость катионного обмена, содержание органического вещества) активизирует их миграционную активность.

Практическая значимость. Установленная миграционная активность тяжелых металлов дает возможность оценить их способность переходить из твердой фазы почвы в почвенный раствор, а затем перемещаться по профилю с грунтовым раствором и по трофической цепи попадать в организм человека.

Выявленные особенности поглощения древесными и травяными растениями тяжелых металлов позволяют использовать их для биоиндикации уровня загрязнения почв.

Ключевые слова: металлургические предприятия, тяжелые металлы, почвы, растительность

Purpose. Determination of regularities of accumulation and distribution of heavy metals in environmental objects in the zone influenced by metallurgical enterprises.

Methodology. Mineralogical composition and grain size has been defined for the soil samples selected. The X-ray analysis has been performed for the samples of dust emissions, soil and plants; the concentrations of heavy metals have been defined using atomic emission and atomic absorption spectral method. Ion exchange, back and fixed forms of the heavy metals in soils have been determined using nonselective extracting agents.

Findings. The levels of soil and plants contamination with heavy metals in areas adjacent to the metallurgical enterprise have been determined. We have detected that in the areas where metallurgical enterprises function the mobility of the heavy metals is higher compared to background areas: Zn by 4.8, Ni by 5.6, and Cu by 2.6 times. In the territory of metallurgical enterprises contents of ion exchange forms of heavy metals in the decreasing order create the following series: Zn> Pb> Ni> Cu> Cr; for backup forms: Pb> Cu> Zn> Ni> Cr.

Originality. The mechanism of transformation and migration activity of man-made forms of heavy metals in the system ‘emissions of the company - soil - vegetation’ has been determined. The increase of heavy metals in soils and change of their physicochemical properties (pH, cation exchange capacity, organic matter content) stimulates their migration activity.

Practical value. The knowledge about the migration activity of heavy metals makes it possible to assess their ability to move from the solid phase of the soil in the soil solution, and move along the profile with the soil solution and penetrate into human body by trophic chain. The features of the heavy metals absorption by woody and herbaceous plants allow using them as bioindicators of soil contamination.

Keywords: metallurgical enterprises, heavy metals, soil, vegetation

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.Є. Колесником. Дата надходження рукопису 16.07.13.