



## ВОЙТЮК

**Юлія Юрїївна** –

кандидат геологічних наук,  
науковий співробітник відділу  
геохімії техногенних металів  
та аналітичної хімії  
Інституту геохімії,  
мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України

УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

## ГЕОХІМІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОБ'ЄКТАХ ДОВКІЛЛЯ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

За матеріалами наукового повідомлення  
на засіданні Президії НАН України  
17 червня 2015 року

*Вивчено особливості геохімічного розподілу важких металів в об'єктах довкілля, що перебувають під впливом промислових підприємств. За геохімічними критеріями визначено техногенні асоціації важких металів у ґрунтах і донних відкладах. На основі власного експериментального матеріалу проведено еколого-геохімічне картування територій, що перебувають під впливом промислових підприємств чорної металургії та хімічної промисловості. Виявлено райони з максимальним поліелементним забрудненням ґрунтів. Визначено форми знаходження і показники рухомості важких металів у ґрунтах і донних відкладах, а також біогеохімічні показники ґрунтів. Запропоновано нові підходи до еколого-геохімічної оцінки зони впливу техногенного забруднення.*

**Ключові слова:** важкі метали, геохімічний розподіл, форми знаходження, біогеохімічні показники.

## Вступ

З прискоренням науково-технічного прогресу посилюються процеси геохімічного перетворення природи внаслідок діяльності людини, і нині забруднення навколишнього середовища стає ключовою екологічною проблемою сучасного людства. Інтенсивне промислове використання природних ресурсів спричинило істотні зміни в розподілі деяких хімічних елементів в об'єктах довкілля. Насамперед це стосується важких металів, високі концентрації яких у результаті техногенної діяльності людини накопичуються в природному середовищі. Важкі метали виділяють в особливу групу елементів у зв'язку з їх токсичною дією на живі організми за концентрацій, що значно перевищують фонові величини. Викиди і скиди техногенних об'єктів з високим вмістом важких металів акумулюються у ґрунтах, рослинності, донних відкладах тощо.



Рис. 1. Карта-схема сумарного показника забруднення ґрунтів м. Маріуполь [2]

Інформація щодо особливостей розподілу та міграції важких металів у біокосних системах промислових регіонів України — необхідний фундамент побудови комплексної системи еколого-геохімічних досліджень. Україна належить до територій зі значним техногенним навантаженням. Особливо високий рівень забруднення спостерігається у великих містах, де зазвичай сконцентровані промислові підприємства, що негативно позначається на загальному стані біосфери і відображується у високих показниках захворюваності населення.

Проведені дослідження, метою яких було визначення закономірностей розподілу важ-

ких металів в об'єктах довкілля техногенно забруднених територій України та їх еколого-геохімічна оцінка, належать до екологічної геохімії. За сучасними уявленнями, ця галузь науки входить до структури загальної екологічної геології [1]. Велику роль у створенні основ екологічної геохімії відіграли роботи В.І. Вернадського, який першим розкрив геохімічний зміст перетворення природи внаслідок діяльності людини і виявив його глобальний характер. Завдяки науковій діяльності В.І. Вернадського та його учнів О.Є. Ферсмана і О.П. Виноградова було закладено перші уявлення про міграцію хімічних елементів. Подальші ідеї та підходи до вивчення техногенної міграції були

окреслені провідними геохіміками і фахівцями з природничих наук — Б.Б. Полиновим, О.О. Беусом, О.І. Перельманом, В.А. Ковдою, М.О. Глазовською, К.І. Лукашевим, В.К. Лукашевим, В.В. Добровольським, Ю.А. Израелем, В.В. Ковальським, Ю.Ю. Саєтом, В.Б. Ільїним, Дж. Фортеск'ю та ін. Значний внесок у вивчення геохімії важких металів в об'єктах довкілля зробили українські вчені — Б.Ф. Міцкевич, Е.В. Соботович, В.М. Шестопапов, В.І. Лялько, Е.Я. Жовинський, О.Ю. Митропольський, Г.І. Рудько, В.О. Ємельянов, Р.Я. Белевцев, Г.В. Лисиченко, Г.М. Бондаренко, В.В. Долін, А.І. Самчук, Є.О. Яковлев, І.В. Кураєва, Н.О. Крюченко та ін.

Однак геохімічні особливості міграції та акумуляції важких металів у геологічному середовищі, що зазнає техногенного впливу, вивчено недостатньо. Зокрема, це стосується досліджень форм знаходження важких металів у ґрунтах промислових агломерацій України, а також форм міграції у ґрунтових розчинах. Дані, наведені в роботах різних авторів, істотно різняться між собою, що зумовлено особливостями різних видів техногенної діяльності та відмінностями їхнього геохімічного впливу. Отже, у процесі вивчення техногенних аномалій дослідження слід здійснювати на об'єктовому рівні. Тому ми провели еколого-геохімічне дослідження техногенно забруднених територій, що перебувають під впливом підприємств чорної металургії, хімічної промисловості, а також урбоєкосистем.

## Чорна металургія

Для еколого-геохімічного дослідження територій, що перебувають під впливом підприємств чорної металургії, було обрано комбінати, які характеризуються підвищеними обсягами повітряних викидів та скидів, такі як ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» (Приазов'я), ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Дзержинського» (Придніпров'я), ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» (Донбас).

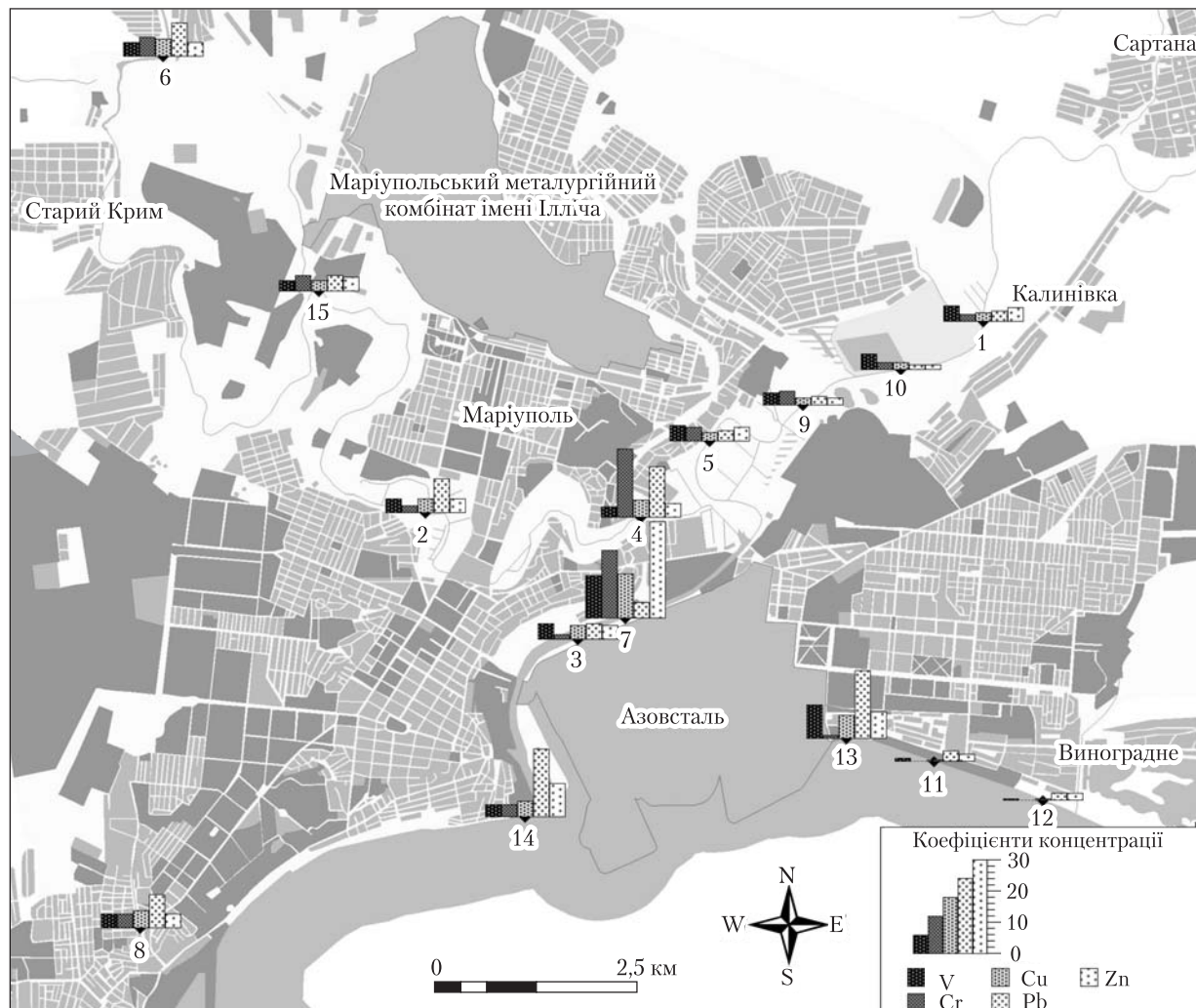
На основі даних щодо валового вмісту важких металів у ґрунтах санітарно-захисних зон підприємств чорної металургії і фонових значень розраховано коефіцієнти концентрації та визначено геохімічні асоціації: ММК ім. Ілліча —  $Pb_{41} > Cu_{11,3} > Zn_{6,4} > Cr_{5,4} > Mn_5$ ; МК «Азовсталь» —  $Cu_{15,4} > Pb_{10,2} > Zn_{7,4} > Mn_{4,2} > Cr_4$ ; Алчевський МК —  $Zn_{8,3} > Pb_{7,8} > Mn_{7,8} > Sn_4 > Cu_{3,5}$ ; ДМК ім. Дзержинського —  $Pb_{9,9} > Zn_{7,1} > Mn_{6,3} > Cu_3 > Sn_{2,5}$ .

Для санітарно-захисної зони ММК ім. Ілліча сумарний показник забруднення (СПЗ) змінюється від 13 до 581 при середньому значенні 73, МК «Азовсталь» — від 6 до 156 та 43, Алчевського МК — від 3 до 56 та 33, ДМК ім. Дзержинського — від 0 до 36 та 28 відповідно. Рівень забруднення територій санітарно-захисних зон усіх досліджених підприємств за середніми значеннями СПЗ належить до небезпечної та помірно небезпечної категорій забруднення.

У результаті виконаних геохімічних досліджень у м. Маріуполь виявлено дві техногенні аномалії з дуже високим рівнем забруднення (СПЗ > 128) — це поліелементне (Mn, Ni, Co, V, Cr, Mo, Cu, Pb, Zn, Sn) забруднення ґрунтів у зоні впливу підприємств чорної металургії (рис. 1). Перша розташована у центральній густонаселеній частині міста, друга — у північно-західній частині. На карті-схемі наведено ореоли розсіювання поліютантів, які відслідковано не лише в санітарно-захисних зонах підприємств чорної металургії, а й у селітебних зонах.

Вивчення радіальної міграції показало, що в результаті формування техногенних аномалій у ґрунтах зон впливу підприємств чорної металургії більша частина важких металів концентрується на киснево-кисло-сорбційному бар'єрі (0–10 см).

Для вивчення процесів розподілу важких металів у ґрунтах важливими є такі їх характеристики, як рухомість і міцність зв'язку з різними компонентами ґрунту, які визначають інтенсивність міграції елементів і ступінь їх токсичності. Для досліджених ґрунтів вміст важких металів в обмінній формі становить



**Рис. 2.** Схема розподілу коефіцієнтів концентрації важких металів у донних відкладах м. Маріуполь (1–15 – ділянки відбору зразків) [3]

8–10%, тоді як для ґрунтів фонових ділянок цей показник – 1,0–2,3%. У техногенно забруднених ґрунтах значна частина металів зв'язана з оксидами і гідроксидами заліза. Частка сполук у цій формі становить 38–44% від валового вмісту важких металів. У ґрунтах, що зазнають впливу підприємств чорної металургії, збільшується вміст важких металів у формі сполук, зв'язаних з органічною речовиною. Отримані дані свідчать про істотно підвищену міграційну здатність важких металів у техногенно забруднених ґрунтах порівняно з фоновими ділянками.

На основі математичного моделювання у програмному комплексі GEMS було показано, що у ґрунтових розчинах техногенно забруднених територій змінюються форми міграції хімічних елементів, підвищується частка вільних гідратованих іонів важких металів.

Техногенне навантаження внаслідок надходження важких металів у навколишнє природне середовище негативно впливає не лише на ґрунти, а й на рослинність. Аналіз коефіцієнтів біологічного переходу важких металів із ґрунту в рослинність дав змогу виявити низку закономірностей. Найінтенсивніше трав'яниста та деревна



рослинність поглинає Mo, Cu, Ni, Co (коефіцієнти біологічного поглинання — 3,5; 1,9; 1,7; 1,2 відповідно), найменше — V і Cr (коефіцієнти біологічного поглинання — 0,2 і 0,1 відповідно).

Особливу увагу було приділено мікробіологічним дослідженням. Техногенне надходження важких металів значною мірою впливає на природні біологічні комплекси, що спричинює зміни в угрупованнях живих організмів, у тому числі істотно впливає на мікроскопічні гриби. Мікроміцети виділено в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Наявність мікроорганізмів, не характерних для фонових ділянок у ґрунтах зони впливу підприємств чорної металургії (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Mucor plumbeus*), є одним з еколого-геохімічних критеріїв виділення техногенно забруднених територій.

Значна кількість важких металів депонуються донними відкладами водойм, тому їх можна розглядати як індикатор забруднення навколишнього природного середовища, зокрема як одну з характеристик якості води.

Місто Маріуполь — унікальний об'єкт для вивчення геохімічних особливостей донних відкладів під впливом техногенезу, оскільки там є можливість дослідження як річкових, так і морських донних відкладів.

Розраховано коефіцієнти концентрації важких металів у донних відкладах та виділено їх техногенні геохімічні асоціації: р. Кальміус —  $Mn_{7,7} > Zn_{7,5} > V_6 > Cr_{5,6} > Cu_{4,5}$ ; р. Кальчик —  $Pb_{10} > Cr_{8,3} > Mn_{4,8} > Cu_{4,5} > Zn_4$ ; прибережна частина Азовського моря —  $Pb_{11,3} > Zn_{5,5} > Mo_4 > V_{3,8} > Cu_{3,1}$ . СПЗ донних відкладів р. Кальміус змінюється від 14 до 115 при середньому значенні 42, СПЗ донних відкладів р. Кальчик — від 44 до 79 та 56, СПЗ морських донних відкладів — від 3 до 76 та 37 відповідно. За середнім значенням СПЗ рівень забруднення донних відкладів досліджених об'єктів оцінено як високий.

Результати дослідження просторового розподілу коефіцієнтів концентрації важких металів у донних відкладах (рис. 2) свідчать, що всі досліджені об'єкти характеризуються їх

підвищеними значеннями. Концентрації важких металів у донних відкладах р. Кальміус коливаються у широкому діапазоні. Найбільші їх значення спостерігаються в місцях скиду стічних вод МК «Азовсталь» у р. Кальміус. Наприклад, коефіцієнт концентрації Zn досягає 30, Cr — 20, Cu — 13.

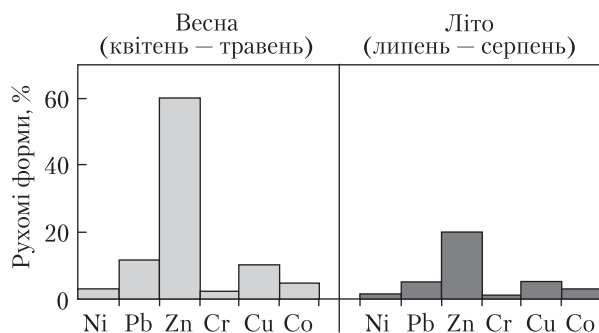
Донні відклади прибережної частини Азовського моря у південно-східній частині міста характеризуються найменшими коефіцієнтами концентрації важких металів. Просторова структура аномалій збігається з виділеними техногенними аномаліями у ґрунтах. Аналіз розподілу коефіцієнтів концентрації важких металів у донних відкладах показав, що вони концентруються здебільшого у місцях скиду стічних вод та акумуляції аеральних викидів промислових підприємств.

Отже, отримано нові, оригінальні геохімічні характеристики розподілу важких металів в об'єктах довкілля під впливом підприємств чорної металургії. Обґрунтовано доцільність використання біогеохімічних показників при проведенні комплексної оцінки та прогнозу стану об'єктів довкілля.

### Хімічна промисловість

За аналогічною методологією досліджували території, що перебувають під впливом хімічної промисловості. Найінформативнішими в еколого-геохімічних дослідженнях є ореоли розсіювання техногенних елементів у ґрунтових відкладах, що відображують надходження та накопичення хімічних елементів за значний період часу. Тому особливу увагу було приділено вивченню ґрунтового покриву.

Основний полігон досліджень для визначення впливу підприємств хімічної промисловості на об'єкти довкілля розміщувався на території м. Шостка Сумської області. Як показали результати досліджень, максимальних значень СПЗ досягає в районі промислових підприємств міста. Біля ВАТ «Акціонерна компанія «Свема» цей показник сягає 110, середнє значення СПЗ становить 55, що відповідає небезпечному рівню забруднення.



**Рис. 3.** Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах, що перебувають під впливом хімічної промисловості, залежно від сезону відбору проб

Геохімічна асоціація важких металів у ґрунтах м. Шостка представлена такими елементами (гумусовий горизонт):  $Pb_{53} > Ni_{16} > Cr_9 > Co_5 > Ag_4 > Cu_2$ . Слід зазначити, що в геохімічну асоціацію, на відміну від інших ділянок досліджень, входить  $Ag$ , валовий вміст якого у деяких місцях досягає 50 мг/кг за фонового значення 0,03 мг/кг. Картування території м. Шостка свідчить про приуроченість аномальних значень  $Ag$  до зон розміщення Акціонерної компанії «Свема» та Шосткинського казенного заводу «Зірка».

Крім того, було проведено низку експериментальних робіт з дослідження періодів нормування рухомих форм важких металів залежно від вологості й температури ґрунтового покриву.

Аналіз показав, що вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах змінюється із сезоном відбору проб (рис. 3). На цей показник значною мірою впливають погодні умови, передусім кількість опадів. На одних і тих самих ділянках зафіксовано значні коливання концентрацій рухомих форм важких металів. Так, весною температура ґрунту змінюється від 15 до 30 °С (коефіцієнт варіації – 40), вологість – 25–30 % (коефіцієнт варіації – 52); влітку температура ґрунту змінюється від 20 до 40 °С (коефіцієнт варіації – 125), вологість – 7–18 % (коефіцієнт варіації – 110).

Отже, можна зробити висновок, що відбирати проби доцільніше весною, коли вологість ґрунтів максимальна. Результати досліджень впли-

ву хімічної промисловості на об'єкти довкілля доповнюють базу еколого-геохімічних даних, потрібних для прогнозу екологічних ризиків.

### Урбоекосистеми (на прикладі м. Києва)

Важливою ознакою розвитку людства на сучасному етапі є пришвидшення процесу урбанізації. Постійно зростають площі міських агломерацій, збільшення кількості міського населення призводить до формування нових способів взаємодії у системі людина – навколишнє середовище. Урбанізація має глобальний характер і є фактором істотної трансформації геологічного середовища, в результаті чого розвиваються специфічні утворення – урбоекосистеми. Підвищення значущості міста в житті людини зумовлює концентрацію ресурсів та їх споживачів на відносно невеликих ділянках простору, що спричинює виникнення диспропорцій у балансі використання та відновлення природного середовища.

Просторовий розподіл СПЗ ґрунтів урбоекосистеми м. Києва дозволив виділити райони, найбільш забруднені важкими металами (рис. 4). Найвищі значення СПЗ (до 80–90) спостерігаються у північно-західній частині міста (Шевченківський і Оболонський райони). Відносно високими значенням СПЗ (50–70) характеризується східна частина Києва (Дніпровський район). Можливо, великі значення СПЗ в цих районах пов'язані з розміщенням на обмеженій площі одразу кількох промислових об'єктів.

Створення просторових баз даних геохімічних показників міських ґрунтів і моделювання засобами ГІС просторового розподілу забруднення є ефективним інструментом моніторингу і оцінки екологічного стану урбоекосистем.

### Висновки

На основі даних еколого-геохімічного картування територій зон впливу підприємств чорної металургії і хімічної промисловості встановлено, що ореоли розсіювання важких металів знаходяться не лише в санітарно-захисних,

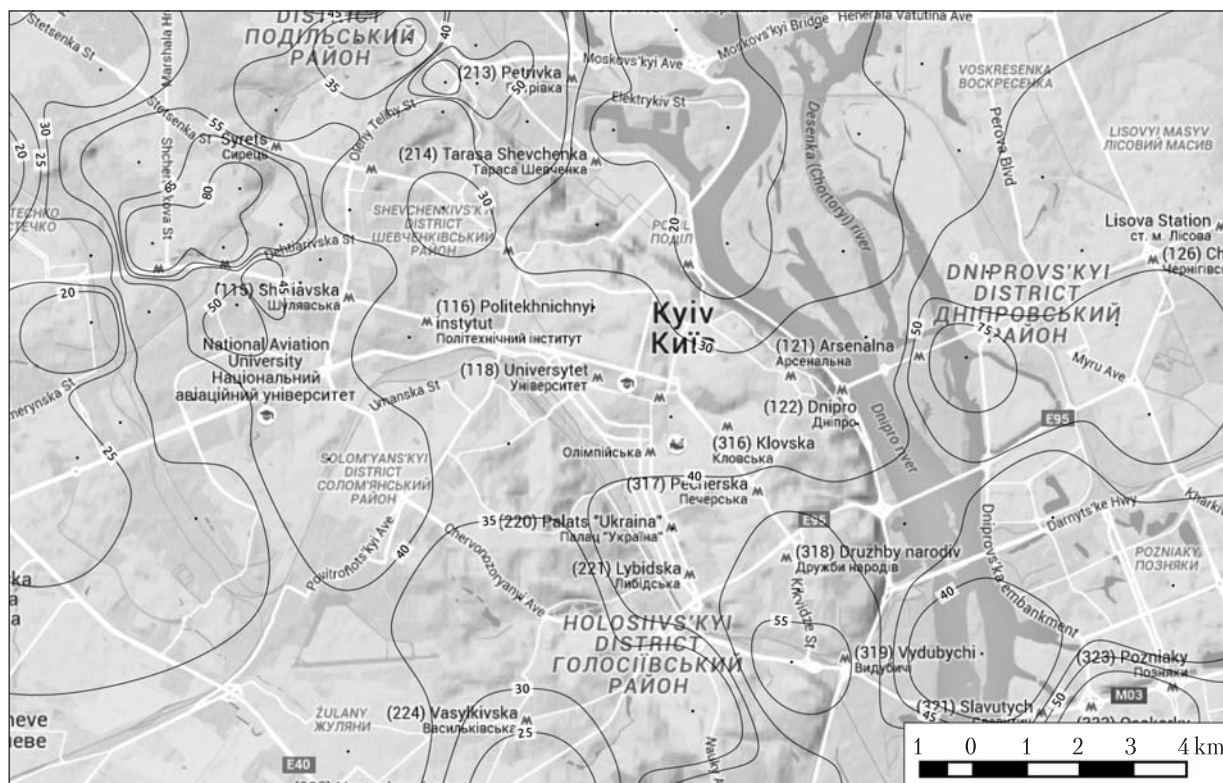


Рис. 4. Карта-схема сумарного показника забруднення ґрунтів м. Києва [4]; • — ділянки відбору зразків

а й у селітебних зонах. Кожен вид промислової діяльності характеризується специфічною асоціацією хімічних елементів, що накопичуються в об'єктах довкілля. Це важливо як для встановлення основних джерел важких металів, так і для проведення природоохоронних заходів і застосування санкцій до підприємств-забрудників.

Геохімічна оцінка стану довкілля дала змогу виявити типові структури забруднення для трьох основних груп міст: багатогалузевих типу «центр», спеціалізованих і фонових. Забруднення ґрунтів унаслідок роботи підприємств чорної металургії і хімічної промисловості призвело до порушення природного співвідношення форм знаходження важких металів та механізмів їх трансформації. Збільшення вмісту важких металів у ґрунтах зон впливу підприємств чорної металургії і хімічної промисловості спричинює більш активну міграцію важких металів із ґрунту в рослин-

ність і порушення видового складу ґрунтової мікобіоти.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- впроваджено геохімічні карти розподілу важких металів у ґрунтах території м. Дніпродзержинськ, на яких показано геохімічні аномалії вмісту важких металів у ґрунтах міста та ореоли розсіювання полутантів у різних ландшафтно-геохімічних та техногенно навантажених зонах. Карти використано для розроблення практичних рекомендацій щодо обґрунтування розміщення мережі комплексного екологічного моніторингу та санітарно-захисних зон підприємств міста. Ці карти дозволили провести екогеохімічну оцінку території, визначити зони екологічного ризику та оптимізувати систему моніторингу територій, що перебувають під впливом промислових підприємств. Розробка спрямована на вдосконалення системи екологічної безпеки в м. Дні-

продзержинськ (Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», акт впровадження від 19.01.2012);

- результати досліджень є основою для розроблення практичних рекомендацій щодо обґрунтування схем розвитку та розміщення виробничих потужностей;
- отримані результати необхідні для розроблення природоохоронних заходів;
- дослідження ґрунтової мікробіоти і рослинного покриву можуть бути використані для біоіндикаційного вивчення ступеня забруднення ґрунтів;
- результати роботи мають важливе значення для обґрунтування розміщення мережі

комплексного геохімічного моніторингу та вибору показників для його проведення.

#### **Перспективи подальших досліджень:**

- встановлення міждисциплінарних контактів — комплексне вивчення територій, що зазнають техногенного навантаження, із залученням фахівців у галузі біології, медицини, агрохімії тощо;
- проведення еколого-геохімічного картування територій, що зазнають техногенного впливу, для виділення зон екологічного ризику;
- створення баз еколого-геохімічних даних для моніторингу об'єктів довкілля та прогнозування стану навколишнього середовища.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куриленко В.В. К вопросу о структуре экологической геологии. В кн.: *Школа экологической геологии и рационального недропользования*: матер. XII межвуз. молодеж. науч. конф. (Санкт-Петербург, 2012). С. 28–59.
2. Кармазиненко С.П., Кураева І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. *Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти)*. К.: Інтерсервіс, 2014.
3. Войтюк Ю.Ю., Кураева І.В., Кроїк Г.А., Кармазиненко С.П., Мацібора О.В. Вміст та форми знаходження важких металів у донних відкладах в зоні впливу промислових джерел забруднення. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту*. 2014. Вип. 15. С. 2–8.
4. Мацібора А.В., Лисецкий Ф.Н., Кураева І.В., Войтюк Ю.Ю. Геоинформационное моделирование распределения тяжелых металлов в почвах города Киева. *Науч. вед. Белгород. гос. ун-та*. 2014. № 23. С. 156–162.

*Ю.Ю. Войтюк*

Інститут геохімії, мінералогії і рудообформування ім. Н.П. Семененко НАН України  
просп. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03680, Україна

#### ГЕОХІМІЯ ТЯЖЕЛИХ МЕТАЛЛОВ В ОБ'ЄКТАХ ОКРУЖАЮЩОЇ СРЕДИ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

По матеріалам наукового повідомлення на засіданні Президіума НАН України 17 червня 2015 року

Изучены особенности геохимического распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды, которые находятся под влиянием промышленных предприятий. По геохимическим критериям определены техногенные ассоциации тяжелых металлов в почвах и донных отложениях. На основе собственного экспериментального материала проведено эколого-геохимическое картирование территорий под влиянием промышленных предприятий черной металлургии и химической промышленности. Выделены районы с максимальным полиэлементным загрязнением почв. Определены формы нахождения и показатели подвижности тяжелых металлов в почвах и донных отложениях. Определены биогеохимические показатели почв техногенно загрязненных территорий (коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов, коэффициенты биогеохимической активности травянистой и древесной растительности, микробиологические показатели почв). Показана эффективность использования биогеохимических показателей для индикации загрязнения и мониторинга окружающей среды. Предложены новые подходы к эколого-геохимической оценке зоны воздействия техногенного загрязнения.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, геохимическое распределение, формы нахождения, биогеохимические показатели.



*Yu. Yu. Voitiuk*

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of National Academy of Sciences of Ukraine  
34 Academician Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

THE GEOCHEMISTRY OF HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT  
TECHNOGENIC CONTAMINATED TERRITORIES OF UKRAINE

Information from scientific report at the meeting of Presidium of NAS of Ukraine June 17, 2015

Peculiarities of geochemical distribution of heavy metals in environmental objects that experience influence of industrial enterprises are studied. Technogenically caused associations of heavy metals in soils and bottom deposits are established on the base of geochemical criterions. Eco-geochemical mapping of the areas influenced by ferrous metallurgy and chemical enterprises is carried out on the basis of own experimental data. Areas of maximum level of poly-elemental soil pollution are revealed. Forms of finding and indexes of mobility of heavy metals in soils and bottom deposits are established. Biogeochemical indexes of technogenically polluted areas, i.e. coefficients of biological absorption of heavy metals, coefficients of biogeochemical activity of grassy and wooden vegetation, microbiological indexes of soils, are determined. Proposed new approaches to ecological-geochemical assessment of the zone influence of anthropogenic pollution.

**Keywords:** heavy metals, geochemical distribution, forms of finding, biogeochemical indexes.