



УДК 504.5:546.48

## Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я

Н.М. Цветкова<sup>1</sup>, С.О. Гунько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, Україна

<sup>2</sup>Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна

Проведено теоретичне узагальнення особливостей розподілу елемента першого класу небезпеки кадмію в ґрунтах. Надано екологічну оцінку ґрунтам за вмістом і розповсюдженням кадмію в м. Дніпродзержинськ – промислового центрі степового Придніпров'я. З'ясовано, що за ступенем виразності антропогенного впливу досліджувані ґрунти належать до таких типів: власне урбаноземи, плантоземи, природно-антропогенні поверхнево перетворені та ристоземи. Отримано інформацію щодо геохімії кадмію у валовій та рухомій формах в едафотобах урбоєкосистем. Виявлено розподіл кадмію по ґрунтового профілю глибиною 150 см усіх досліджуваних екологічних профілів насипних та природних ґрунтів. В урбаноземах, плантоземах, природних порушених ґрунтах і ристоземах міста вміст валової форми кадмію варіює в межах 0,6–7,5 мг/кг, рухомої – 0,1–3,4 мг/кг ґрунту. Коефіцієнт варіації вмісту кадмію валової форми перебуває в межах 2–18%, рухомої – 5–20%. Установлено поведінку кадмію в едафотобах обраних екологічних профілів, мінімальний вміст відмічено у верхніх точках міста, що вказує на вплив рельєфу місцевості. Досліджено фізико-хімічні властивості ґрунтів у міських едафотобах, установлено кореляційний зв'язок між вмістом кадмію та загальною лужністю, органічно-мінеральною частиною ґрунту та кислотністю.

*Ключові слова:* ґрунт; важкі метали; антропогенний вплив; забруднення; екологічний профіль

## Correlative characteristic of cadmium in soils of steppe Dnieper region

N.M. Tsvetkova<sup>1</sup>, S.O. Gunko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

<sup>2</sup>Dniprodzerzhinsk State Technical University, Dniprodzerzhinsk, Ukraine

Much attention is paid to searching for methods of establishing environmental standards for objective assessment of admissibility of anthropogenic load on the biosphere. The main pollutants of the environment are xenobiotics; heavy metals such as cadmium occupy hold a special place among them. Cadmium is one of the most dangerous environmental toxic agents, belonging to the 1<sup>st</sup> class of hazard. Due to insufficient and fragmented information available on the distribution of cadmium in the city edaphotopes, it's necessary to conduct additional research, taking into account the properties of soils and the biological characteristics of every element. The paper shows the ratio of cadmium in soils and soil-forming rocks of steppe Dnieper region. Environmental assessment of cadmium content in Dniprodzerzhinsk city soils is made, and the problem of topsoil contamination of the city as a territory of high anthropogenic load is considered. It is found that the content of cadmium down the profile in natural soil increases. Enrichment of the topsoil with cadmium occurs due to contamination. The value of movable forms content, expressed as a percentage of the total content, varies from 12% to 70%, providing the evidence of the technogenic origin of cadmium in Dniprodzerzhinsk city topsoil. General and proximate correlation analyses of interrelation of soil cadmium and specifically selected characteristics of soil (pH, humus, sulfate ions, dry solid, chloride ions, total alkalinity, hygroscopic moisture) were made. It is established that cadmium concentration in the movable forms of natural soils of the steppe Dnieper region depends primarily on pH value. With the increase in pH value, concentration of movable cadmium in soil increases.

*Keywords:* soil; heavy metals; anthropogenic effect; contamination; ecological profile

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, 49010, Україна  
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Ave., 72, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Дніпродзержинський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська, 2, Дніпродзержинськ, 51918, Україна  
Dniprodzerzhinsk State Technical University, Dniprobudivska Str., 2, Dniprodzerzhinsk, 51918, Ukraine  
Tel.: +38-067-259-66-79. E-mail: goonko@mail.ru

## Вступ

Важкі метали належать до пріоритетних забруднювачів, спостереження за якими обов'язкові в усіх компонентах середовища. Термін «важкі метали» характеризує широку групу речовин, останнім часом він отримав значне поширення. У різних наукових і прикладних роботах автори по-різному трактують значення цього поняття (Fersman, 1934–1937; Jakushevskaja, 1973). Як критерії приналежності використовують численні характеристики: атомна маса, густина, токсичність, поширеність у природному середовищі, ступінь залученості до природних і техногенних циклів. У роботах, присвячених проблемам забруднення навколишнього середовища та екологічного моніторингу, до важких металів відносять понад 40 мікроелементів атомною масою понад 40 атомних одиниць. При цьому важливу роль у категоризуванні важких металів відіграють умови: їх висока токсичність для живих організмів у відносно низьких концентраціях, здатність до біоаккумуляції та біомагніфікації (Adriano, 2001; Bulakhov et al., 2007; Kulbachko et al., 2011; Brygadyrenko and Ivanyshyn, 2015).

За класифікацією Fersman (1934–1937), важкими слід вважати метали зі щільністю понад 8 г/см<sup>3</sup>. Формально визначенню відповідає велика кількість елементів, однак, на думку дослідників, зайнятих практичною діяльністю, пов'язаною з організацією спостережень за станом і забрудненням навколишнього середовища, поєднання цих елементів далеко не рівнозначні як забруднювальні речовини. Тому у багатьох працях (Gol'dshmidt, 1938; Perelman, 2000) відбувається звуження рамок групи важких металів, відповідно до критеріїв пріоритетності, зумовлене напрямом і специфікою досліджень.

Відмінності термінології в основному пов'язані з концентрацією металів у природному середовищі. З одного боку, концентрація металу може бути збитковою та навіть токсичною, тоді цей метал «важкий», з іншого боку, за нормальної концентрації або його дефіциту відносять до мікроелементів. Таким чином, терміни «мікроелементи» та «важкі метали» – категорії скоріше якісні, а не кількісні, прив'язані до крайніх варіантів екологічної обстановки (Fatieiev and Pashchenko, 2003).

Функції живого організму неподільно пов'язані з хімізмом земної кори та повинні вивчатися в тісному зв'язку (P'in, 1995). Кількісний вміст того чи іншого елемента в організмі визначається його вмістом у навколишньому середовищі, а також властивостями самого елемента, з урахуванням розчинності його сполук.

Нині з 92 елементів, що зустрічаються у природі, 81 виявлено в організмі людини. При цьому 15 (Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Ni, V, Se, Mn, As, F, Si, Li) визнані життєво необхідними. Однак вони можуть здійснювати негативний вплив на рослини, тварин і людину, якщо концентрація їх доступних форм перевищує визначені межі. Cd, Pb, Sn, Rb вважаються умовно необхідними, тому що, скоріше за все, не надто важливі для рослин і тварин і небезпечні для здоров'я людини елементи, навіть за відносно низьких концентрацій (Lu et al., 2013).

Тривалий час у біогеохімічних дослідженнях мікроелементів превалював інтерес до геохімічних аномалій та ендемій природного походження, виклика-

ких цими аномаліями. Однак у наступні роки, у зв'язку з бурхливим розвитком промисловості та глобальним техногенним забрудненням навколишнього середовища, найбільшу увагу стали привертати аномалії елементів, значнішою мірою важкі метали, які мають індустріальне походження. Вже зараз у багатьох регіонах світу навколишнє середовище стає все більше хімічно «агресивним» (Autier and White, 2004; Fifi et al., 2013). Останніми десятиліттями основними об'єктами екологічних досліджень стали території промислових міст та прилегли до них землі (Plehanova, 2010; Li et al., 2013). Численні дослідники встановили, що вплив металів досить різноманітний, залежить від умісту в навколишньому середовищі та ступеня необхідності в них мікроорганізмів, рослин, тварин і людини.

Кадмій широко відомий як токсичний елемент. Основні проблеми, пов'язані у людства з цим елементом, зумовлені техногенним забрудненням навколишнього середовища та його токсичністю для живих організмів уже за низьких концентрацій (Van Den Brink et al., 2011; Wyszowska et al., 2013; Li et al., 2013). Токсичність кадмію для рослин виявляється у порушенні активності ферментів, гальмуванні фотосинтезу, порушенні транспірації, а також інгібуванні відновлення NO<sub>2</sub> до NO. Крім того, у метаболізмі рослин він є антагоністом ряду елементів живлення (Zn, Cu, Mn, Ni, Se, Ca, Mg, P). За токсичної дії металу в рослинах спостерігається затримання росту, пошкодження кореневої системи та хлороз листя. Кадмій достатньо легко надходить із ґрунту та атмосфери до рослин. За фітотоксичністю та здатністю накопичуватись у рослинах у ряду важких металів він посідає перше місце: Cd > Cu > Zn > Pb (Rafati et al., 2011).

Кадмій здатний накопичуватися в організмі людини та тварин, оскільки порівняно легко засвоюється з їжі та води, проникає до різних органів і тканин. Токсична дія металу виявляється вже за дуже низьких концентрацій. Його надлишок інгібує синтез ДНК, білків і нуклеїнових кислот, впливає на активність ферментів, порушує засвоєння та обмін інших елементів (Zn, Cu, Se, Fe), що може викликати їх дефіцит. Обмін кадмію в організмі характеризується такими основними особливостями (Fersman, 1934–1937; Adriano, 2001): відсутністю ефективного механізму гомеостатичного контролю; інтенсивною кумуляцією в організмі із дуже тривалим періодом напіввиведення (у середньому 25 років); переважним накопиченням у печінці та нирках; інтенсивною взаємодією з іншими двовалентними металами як у процесі всмоктування, так і на тканинному рівні.

Уміст важких металів у ґрунтах залежить, як встановлено багатьма дослідниками, від складу вихідних гірських порід, значне різноманіття яких пов'язане зі складною геологічною історією розвитку територій. Хімічний склад ґрунтоутвірних порід зумовлений хімічним складом вихідних гірських порід і залежить від умов гіпергенного перетворення.

Нині у процесі міграції важких металів у природному середовищі інтенсивно залучається людська діяльність. Кількості хімічних елементів, що надходять до навколишнього середовища в результаті техногенезу, у ряді випадків значно перевищують рівень їх природного надходження. У процесі надходження до природних

циклів міграції антропогенні потоки спричиняють швидке розповсюдження забруднювальних речовин у природних компонентах міського ландшафту, де немичуче відбувається взаємодія з людиною. Обсяги поллютантів, що містять важкі метали, щорічно зростають і завдають шкоди природному середовищу, порушують існуючу екологічну рівновагу та негативно позначаються на здоров'ї людей (Kabata-Pendias and Pendias, 1989; Navari-Izzo and Rascio, 2010; Rafati et al., 2011; Grobelak et al., 2013).

Основними джерелами антропогенного надходження важких металів у навколишнє середовище є теплові електростанції, металургійні підприємства, кар'єри та шахти з видобутку поліметалічних руд, транспорт, хімічні засоби захисту сільськогосподарських культур від хвороб і шкідників, спалювання нафти та різних відходів, виробництво скла, добрив, цементу тощо. Найпотужніші ореоли важких металів утворюються навколо підприємств чорної та особливо кольорової металургії в результаті атмосферних викидів (Grobelak et

al., 2011). Дія забруднювальних речовин поширюється на десятки кілометрів від джерела надходження елементів до атмосфери. Метали в кількості 10–30% загального викиду до атмосфери розповсюджуються на відстань 10 км і більше від промислового підприємства. При цьому спостерігається комбіноване забруднення рослин, що складається з безпосереднього осідання аерозолів і пилу на поверхню листя та кореневого засвоєння важких металів, які накопичувались у ґрунтах протягом тривалого часу надходження забруднень з атмосфери (Karachevskij, 1993; Violante et al., 2010; Shahriari and Higashi, 2014; Zu et al., 2014).

За наведеними нижче даними можна судити про розміри антропогенної діяльності людства: внесок техногенного кадмію складає 84–89% (інше – природні джерела). Рівень техногенного випадіння кадмію з атмосфери в різних регіонах світу неоднаковий (табл. 1). Головним чином він залежить від ступеня розвитку горничо-збагачувальної промисловості, транспорту, урбанізованості територій.

Таблиця 1

Випадіння кадмію (тис. т/рік) з атмосфери на підстилаючу поверхню різних регіонів світу (за Kovda and Zonn, 1995)

Європа	Азія	Північна Америка	Центральна та Південна Америка	Африка	Австралія	Арктика	Антарктида
1,59	2,58	7,36	1,50	1,20	0,22	0,87	0,016

Вивчення дольової участі різних виробництв у глобальному потоці емісії важких металів демонструє, що 55% кадмію пов'язано з викидами підприємств із виробництва купрум та нікелю. Деяку кількість важких металів до навколишнього середовища постачає сільське господарство, де застосовуються пестициди та мінеральні добрива, зокрема, у суперфосфатах містяться значні кількості кадмію (Shahriari et al., 2014; Zu et al., 2014).

Найсуттєвіше забруднення середовища викликають потужні теплові станції (Plehanova, 2010). Щорічно тільки у процесі спалюванні вугілля до атмосфери викидається кадмію в 40 разів більше, ніж може бути включено до природного біогеохімічного циклу.

Суттєве забруднення атмосферного повітря та ґрунту відбувається за рахунок транспорту. Більшість важких металів, що містяться у пилогазових викидах промислових підприємств, як правило, краще розчиняються, ніж природні сполуки. Серед найактивніших джерел надходження важких металів виділяються великі індустріально розвинені міста. Метали порівняно швидко накопичуються у ґрунтах міст і досить повільно з них виводяться: період напіввиведення кадмію – до 1100 років (Glazovskaja, 1999; Warwick et al., 1999; Elouera et al., 2014).

Кадмій за своїми хімічними властивостями подібний до цинку, але відрізняється від нього більшою рухомістю в кислих середовищах і кращою доступністю для рослин. У ґрунтового розчині метал присутній у вигляді  $Cd^{2+}$  та утворює комплексні іони, органічні хелати. Головний фактор, що визначає вміст елемента у ґрунтах за відсутності антропогенного впливу, – материнські породи. У ґрунотвірних породах вміст металу в середньому складає у глинах – 0,15, у лесах та лесоподібних суглинках – 0,08, пісках – 0,03 мг/кг. Рухомість кадмію у ґрунті залежить від середовища та окисно-відновного потенціалу (Tsvetkova, 1992; Glazovskaja, 1999).

Середній вміст кадмію у ґрунтах світу дорівнює 0,5 мг/кг. Масовий процент кадмію земної кори складає  $5 \cdot 10^{-5}\%$ . Кларк кадмію гранітного шару кори континентів складає  $9 \cdot 10^{-4}\%$ . Для України гранично допустима концентрація валових форм кадмію у ґрунті становить 3,0, рухомих форм – 0,7 мг/кг ґрунту (Fatieiev and Pashchenko, 2003).

Існують численні дані про вміст мікроелементів, у тому числі кадмію, у різних типах ґрунтів України, але дотепер немає повної інформації про достовірну геохімічну поведінку елементів у них і про пріоритетний вплив тієї чи іншої ґрунтової властивості на концентрацію елемента в конкретних ґрунтах (природних і антропогенно перетворених). Слід зазначити, що отримати таку інформацію, дати оцінку та прогноз екологічного стану ґрунтів можливо тільки на основі даних про рухомість хімічних елементів (Fijałkowski et al., 2012). Притому під рухомістю слід розуміти здатність хімічного елемента брати участь у різних видах міграції та переходити до суміжних середовищ (Gol'dshmidt, 1938). Аналіз номенклатурного переліку ґрунтів України свідчить про їх велике різноманіття та, відповідно, про велику варіацію в розподілі хімічних елементів у них (Tsvetkova, 1992).

Велике значення кадмію як пріоритетного токсиканта вимагає моніторингових досліджень. Місто Дніпро-дзержинськ, як і інші індустріальні міста, являє собою вкрай нестійку систему, створену з природних, штучних і техногенних складових. Ця система нині втратила здатність до самовідновлення, не здатна протистояти негативним екологічним факторам середовища, включаючи антропогенні впливи, що мають місце повсякчасно (Pasichnij and Serdjuk, 2002; Tsvetkova and Klimentenko, 2005). Актуальність подібних досліджень зумовлена, насамперед, необхідністю зниження загрозливих екологічних наслідків забруднення ґрунтів кадмієм і оптимізації умов

життя населення. Мета цієї статті – дати оцінку вмісту та поширенню кадмію в едафотопі урбанізованих територій степового Придніпров'я на прикладі м. Дніпродзержинськ.

### Матеріал і методи досліджень

Як об'єкт дослідження обрано едафотопі урбанізованих територій м. Дніпродзержинськ і чорнозем звичайний різнотравно-кострицево-ковилового степу Присамар'я Дніпровського (Дніпропетровська обл., Україна).

Територія м. Дніпродзержинськ історично поділена на дві частини: правий та лівий берег р. Дніпро. Для повнішої характеристики вмісту кадмію у ґрунтовому покриві правобережна частина міста умовно поділена на східну, центральну та західну ділянки. Лівобережна частина поділу не підлягала. У межах міста проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено п'ять екологічних профілів (рис. 1), закладених із півдня на північ, згідно з розою вітрів і зміною висотних позначок міста. У межах профілів обрано пробні площі.



Рис. 1. Картосхема розміщення екологічних профілів на території м. Дніпродзержинськ

Експериментальні дослідження передбачали проведення польових дослідів за геоботанічними методиками, хімічний аналіз ґрунтів у лабораторії проводили за агеостованими методиками з наступною математичною обробкою даних. Валові форми важких металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 з атомізацією в повітряно-ацетиленовому полум'ї, рухомі форми визначали у буферній амонійно-ацетатній витяжці (рН = 4,8). Значення, наведені у статті, являють собою середнє арифметичне з 20–35 вимірювань.

Уміст гумусу, сульфат-іонів, сухий залишок, загальна лужність, рН водної витяжки, об'ємна вага та вміст кадмію піддали кореляційному аналізу. Результати обробили стандартними методами варіаційної статистики (Kassandrova and Lebedev, 1970): розраховували стандартне відхилення, достовірність обчисленого коефіцієнта кореляції доводили шляхом порівняння з критерієм Стюдента  $t$  за  $n = 30$  ( $P < 0,05$ ).

### Результати та їх обговорення

Досліджувані ґрунти у зв'язку зі ступенем виразності антропогенного впливу віднесли до таких типів. Ґрунти

правобережної частини м. Дніпродзержинськ складають екологічні профілі 1–4. Ґрунти житлових масивів (екологічні профілі 1–4) належать до власне урбаноземів: ґрунтовий профіль складається з діагностичного горизонту «урбік» і серії діагностичних підгоризонтів, які утворені своєрідним пилювато-гумусним субстратом різної потужності та якості з домішками сміття; можуть застилатися непроникним матеріалом – асфальтом, фундаментом, бетонними плитами, комунікаціями. Характеризуються відсутністю генетичних горизонтів до глибини 50 см і більше). Ґрунти техногенної частини міста належать до плантоземів (екологічні профілі 1–3): ґрунти промислово-комунальних зон, техногенно забруднені важкими металами та іншими токсичними речовинами. Ґрунти даної групи часто надмірно ущільнені, безструктурні, із включеннями токсичного неґрунтового матеріалу (понад 20%). Ґрунти зони відпочинку (екологічні профілі 2–4) належать до типу природних порушених (природно-антропогенних поверхнево перетворених): антропогенно поверхнево перетворені природні ґрунти містять діагностичний горизонт «урбік» потужністю менше 50 см і не порушену нижню частину профілю. Ґрунти лівобережної частини Дніпродзержинська (екологічний профіль 5)

намивні та належать до ристоземів: техногенні поверхневі ґрунтоподібні утворення, ґрунтоподібні тіла, що складаються з малопотужного гумусового шару, шару торфокомпостної суміші або шару органо-мінеральної речовини, нанесених на поверхню ґрунтоподібного субстрату (Gun'ko, 2011).

Отримано дані про вміст валових і рухомих форм кадмію в генетичних горизонтах основних типів ґрунтів степового Придніпров'я в умовно-чистих природних і антропогенно забруднених ландшафтах. На окремому прикладі екологічного профілю 2 (табл. 2) показано вміст і поширення валових і рухомих форм кадмію латерально.

Таблиця 2

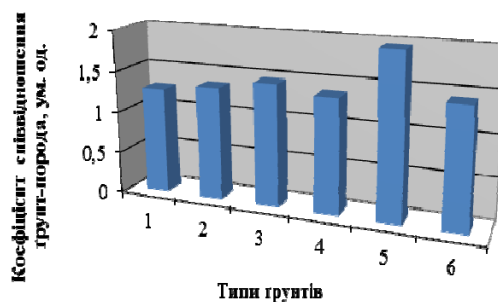
**Матриця вмісту валових і рухомих форм кадмію едафотопів екологічного профілю 2 м. Дніпродзержинськ (n = 20)**

Урбоекосистема	Горизонт ґрунту, см	Інтервал варіювання концентрації кадмію, мг/кг	
		валова форма	рухома форма
Залізничний вокзал	0–10	2,57 ± 0,54	0,08 ± 0,01
	20–50	2,51 ± 0,63	0,16 ± 0,12
	50–80	2,21 ± 0,54	0,14 ± 0,11
	120–150	2,01 ± 0,53	0,14 ± 0,11
Автовокзал	0–10	2,69 ± 0,73	0,08 ± 0,02
	20–50	2,54 ± 0,65	0,08 ± 0,03
	50–80	2,49 ± 0,63	0,08 ± 0,02
	120–150	2,00 ± 0,52	0,08 ± 0,01
Пр. Аношкіна	0–10	3,69 ± 0,93	1,16 ± 0,21
	20–50	3,40 ± 0,82	1,08 ± 0,32
	50–80	3,15 ± 0,54	1,02 ± 0,20
	120–150	2,52 ± 0,53	1,02 ± 0,14
Вул. Ковалевича	0–10	5,65 ± 1,54	1,11 ± 0,23
	20–50	5,59 ± 1,54	1,08 ± 0,10
	50–80	4,50 ± 1,23	1,06 ± 0,10
	120–150	4,10 ± 0,94	1,06 ± 0,11
Вул. Леніна (р-н ПАТ «Дніпровський меткомбінат»)	0–10	7,59 ± 2,01	0,98 ± 0,32
	20–50	7,31 ± 2,02	0,73 ± 0,30
	50–80	5,01 ± 1,82	0,39 ± 0,12
	120–150	4,39 ± 1,51	0,38 ± 0,10
Центральний міський парк	0–10	6,74 ± 2,02	0,51 ± 0,20
	20–50	6,31 ± 1,92	0,38 ± 0,12
	50–80	5,86 ± 1,61	0,35 ± 0,10
Еталонний біогеоценоз	0–50	0,30 ± 0,01	0,10 ± 0,01

Ґрунти всіх досліджуваних правобережних урбосистем екологічного профілю 2 тією чи іншою мірою забруднені кадмієм. Найнижчий валовий вміст кадмію та його рухомих форм характерний для урбаноземів території залізничного вокзалу та автовокзалу. Середньостатистичний вміст валової форми кадмію у цих ґрунтах (шар 0–150 см) складає  $2,38 \pm 0,60$  мг/кг. Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що піддаються антропогенному пресу. Середньостатистичний вміст валової форми кадмію у плантоземах вул. Леніна складає  $6,08 \pm 1,80$  мг/кг, в антропогенно поверхнево перетворених природних ґрунтах центрального міського парку становить  $6,30 \pm 1,80$  мг/кг. У ґрунтах екологічного профілю 2 визначали відносно великі кількості рухомого кадмію, особливо в тих урбоекосистемах, де спостерігався його високий валовий вміст. Середній вміст рухомого кадмію у ґрунтах урбоекоси-

стем екологічного профілю 2 –  $0,57 \pm 0,13$  мг/кг. Загальний розподіл всіх форм кадмію характеризується істотною варіабельністю, яка зумовлена особливостями розташування промислових підприємств у місті, потужністю та складом їх атмосферних викидів, напрямком техногенних потоків, геоморфологічними особливостями міста. Вивчення розподілу кадмію за глибиною ґрунтового профілю показало, що кадмій відносно рівномірно розподіляється по профілю чорноземів звичайних і концентрується у верхній його частині.

Ґрунотвірна порода – матеріальна основа ґрунту, саме від неї ґрунт отримує свій мінералогічний та хімічний склад. У процесі ґрунтоутворення хімічний склад може змінюватися внаслідок біологічних, хімічних, фізико-хімічних і механічних процесів. З одного боку, відбувається біогенна акумуляція у верхніх органогенних горизонтах деяких металів, з іншого – вилуговування ряду металів у процесі міграції. Коефіцієнт співвідношення «ґрунт – порода» дає змогу оцінити поведінку елемента у ґрунтовому горизонті: якщо цей коефіцієнт менший одиниці – можна судити про винесення (вимивання) елемента, якщо дорівнює одиниці – немає ніякого перерозподілу, і якщо він перевищує одиницю – говорять про акумуляцію слідового елемента у верхньому шарі ґрунту (Кара-чевський, 1993). Муґа et al. (1998) запропонував використовувати коефіцієнт співвідношення «ґрунт – порода» як критерій оцінки забруднення ґрунтів. На рисунку 2 показано ступінь акумуляції кадмію в екологічному профілі 2, який поєднує три з чотирьох типів ґрунтів, визначених на території міста.



**Рис. 2. Ступінь акумуляції кадмію в екологічному профілі 2: 1, 2, 3, 4 – власне урбаноземі; 5 – плантоземі; 6 – природні порушені ґрунти**

В едафотопі екологічного профілю 2 м. Дніпродзержинськ відбувається накопичення кадмію. Для власне урбаноземів співвідношення «ґрунт – порода» лежить у діапазоні 1,27–1,46 ум. од., для природних порушених ґрунтів значення коефіцієнта становить 1,43 ум. од. Плантоземі за ступенем акумуляції кадмію в едафотопі урбоекосистем екологічного профілю 2 вирізняються найвищим значенням коефіцієнта – 1,96 ум. од. Таким чином, можна з високим ступенем упевненості припускати, що має місце забруднення ґрунтів, кадмій явно накопичується в едафотопі міста.

Уміст важких металів взаємопов'язаний з окремими компонентами урбоекосистем. Величини коефіцієнтів кореляції показали наявність математично доведеного зв'язку вмісту кадмію з гумусом ґрунту ( $r = 0,75 \pm 0,12$ ;  $t_{r,\phi} = 6,02 > t_{r,\phi} = 2,04$ ), рН водної витяжки ( $r = 0,67 \pm 0,13$ ;  $t_{r,\phi} = 5,15 > t_{r,\phi} = 2,04$ ) та загальною лужністю ( $r =$



0,61 ± 0,13;  $t_{r,\phi} = 4,09 > t_{r,\phi} = 2,04$ ). Кореляцію вмісту кадмію із сухим залишком ( $r = 0,37 \pm 0,16$ ;  $t_{r,\phi} = 2,10 > t_{r,\phi} = 2,04$ ), об'ємною вагою ( $r = 0,54 \pm 0,16$ ;  $t_{r,\phi} = 3,37 > t_{r,\phi} = 2,04$ ) та сульфат-іонами ( $r = 0,36 \pm 0,16$ ;  $t_{r,\phi} = 2,05 > t_{r,\phi} = 2,04$ ) слід оцінювати з обережністю, адже залежність між цими показниками хоч і достовірна, але вимагає подальших досліджень. Наявність тісного достовірного зв'язку з гумусом дає можливість зв'язати його нахождення до ґрунтів із біогенною акумуляцією, а також свідчить про антропогенний внесок у вміст кадмію у ґрунтовому шарі.

Отримані результати узгоджуються з даними дослідників, які вивчали закономірності розподілу важких металів, у тому числі кадмію, у ґрунтовому покриві степового Придніпров'я (Pasichnij and Serdjuk, 2002; Tsvetkova and Klimenko, 2005; Yakuba, 2005). Вміст рухомих форм, виражений у відсотках від валового вмісту елемента, коливається у межах 12–70%, що свідчить про техногенне походження кадмію у ґрунтовому покриві м. Дніпродзержинськ.

### Висновки

Показано співвідношення кадмію у ґрунтах і ґрунтоутвірних породах урбанізованих територій степового Придніпров'я. Виконано кореляційний аналіз взаємозв'язку вмісту кадмію ґрунту з конкретно обраними характеристиками ґрунту (уміст гумусу, сульфат-іонів, сухий залишок, загальна лужність, рН водної витяжки, об'ємна вага). Концентрація кадмію у природних ґрунтах степового Придніпров'я залежить у першу чергу від величини рН, гумусу та гігроскопічної вологи. Зі збільшенням цих показників зростає концентрація рухомого кадмію у ґрунті. Високі концентрації кадмію у поверхневому шарі досліджуваних ґрунтів пов'язані з антропогенним пресом (надходження елемента з індустріальних або агротехнічних джерел). На урбанізованих територіях м. Дніпродзержинськ уміст кадмію у ґрунтах у 3–25 разів перевищує вміст цього елемента у природних ґрунтах.

### Бібліографічні посилання

Adriano, D., 2001. Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer Verlag, New York.

Autier, V., White, D., 2004. Examination of cadmium sorption characteristics for a boreal soil near Fairbanks, Alaska. J. Hazard. Mater. 106(2–3), 149–155.

Brygadyrenko, V., Ivanyshyn, V., 2015. Changes in the body mass of *Megaphyllum kievense* (Diplopoda, Julidae) and the granulometric composition of leaf litter subject to different concentrations of copper. J. Forest Sci. 61(9), 369–376.

Bulakhov, V.L., Pakhomov, O.Y., Gasso, V.Y., 2007. Biologichne riznomanittja Ukraïny. Dnipropetrovs'ka oblast'. Zemnovodni ta plazunij (Amphibia et Reptilia) [Biological Diversity of Ukraine. The Dnipropetrovsk region. Amphibians and reptiles (Amphibia et Reptilia)]. Dnipropetrovsk Univ. Press, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).

Elouera, Z., Bouhamed, F., Bouzid, J., 2014. Evaluation of different amendments to stabilize cadmium, zinc, and copper in a contaminated soil: Influence on metal leaching and phytoavailability. Soil. Sediment. Contam. 23(6), 628–640.

Fatieiev, A.I., Pashchenko, Y.V. (ed.), 2003. Fonovyi vmist mikroelementiv u gruntakh Ukrainy [Background content of microelements in the soils of Ukraine]. NNC «Instytut gruntoznavstva ta ahrokhimii im. O.N. Sokolovskoho», Kharkiv (in Ukrainian).

Fersman, A.E., 1934–1937. Geohimija [Geochemistry] I–III. Izd-vo Akademii Nauk SSSR, Leningrad (in Russian).

Fifi, U., Emmanuel, E., Winiarski, T., 2013. Assessing the mobility of lead, copper and cadmium in a calcareous soil of Port-au-Prince, Haiti. Int. J. Environ. Res. Publ. 10(11), 5830–5843.

Fijałkowski, K., Kacprzak, M., Grobelak, A., Placek, A., 2012. The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil. Inżynieria i Ochrona Środowiska 15(1), 81–92.

Glazovskaja, M.A., 1999. Geohimija prirodnyh i tehnogennyh landshaftov [Geochemistry of natural and anthropogenic landscapes]. Vysshaja Shkola, Moscow (in Russian).

Gol'dshmidt, V.M., 1938. Principy raspredelenija himicheskikh jelementov v mineralah i gornyh porodah [Principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks]. Sbornik Statej po Geohimii Redkih Jelementov, 215–242 (in Russian).

Grobelak, A., Kacprzak, M., Grosser, A., Napora, A., 2013. Chemofitostabilizacja gleby zanieczyszczonej kadmem, cynkiem i ołowiem [Chemofytostabilisation of soil contaminated with cadmium, lead and zinc]. Rocznik Ochrona Środowiska 15(1), 1982–2002 (in Polish).

Gun'ko, S.O., 2011. Kadmij u gruntah m. Dniprodzerzhinsk'k [Cadmium in soils of Dniprodzerzhinsk]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol. 2(1), 24–30 (in Ukrainian).

Il'in, V.B., 1995. Ocenka bufernosti pochv po otnošeniju k tjazhelym metallam [Evaluation of soil buffering towards heavy metals]. Agrohimija 10, 109–113 (in Russian).

Jakushevskaja, I.V., 1973. Mikrojelementy v prirodnyh landshaftah [Microelements in natural landscapes]. Izd-vo MGU, Moscow (in Russian).

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1989. Mikrojelementy v pochvah i rastenijah [Trace elements in soils and plants]. Mir, Moscow (in Russian).

Karpachevskij, L.O., 1993. Prognozirovanie processov zagrjaznenija pochvy (i biosfery) [Forecasting processes of soil contamination (and the biosphere)]. Vestn. Mosk. Univ. Ser. Pochv. 17(2), 65–69 (in Russian).

Kassandrova, O.N., Lebedev, V.V., 1970. Obrabotka rezul'tatov nabljudenij [Processing of the results of observations]. Mir, Moscow (in Russian).

Kovda, V.A., Zonn, S.V., 1995. Biogeochemija pochvennogo pokrova [Biogeochemistry of the soil cover]. Nauka, Moscow (in Russian).

Kulbachko, Y., Loza, I., Pakhomov, O., Didur, O., 2011. The zoological remediation of technogen faulted soil in the industrial region of the Ukraine Steppe zone. Behnassi, M. et al. (eds.), Sustainable agricultural development. Springer Science + Business Media, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 115–123.

Li, Y., Zhang, X., Duan, B., Yang, Y., 2013. Soil cadmium toxicity and nitrogen deposition differently affect growth and physiology in toxicodendron vernicifluum seedlings. Acta Physiol. Plant. 35(2), 529–540.

Lu, M., Xu, K., Chen, J., 2013. Effect of pyrene and cadmium on microbial activity and community structure in soil. Chemosphere 91(4), 491–497.

Muha, V.D., Sulima, A.F., 1998. Sootnoszenie sodержanija tjazhelyh metallov v pochve i pochvoobrazujushhej porode kak kriterij ocenki zagrjaznennosti pochv [The ratio of heavy metals in the soil and the soil-rock as a criterion for evaluation of soil contamination]. Pochvovedenie 10, 1265–1270 (in Russian).

- Navari-Izzo, F., Rascio, N., 2010. Heavy metal pollution: Damage and defense strategies in plants. *Handbook of Plant and Crop Stress*, 635–674.
- Pasichnij, G.V., Serdjuk, S.M., 2002. Geoekologichni monitoringovi doslidzhennja vmistu vazhkih metaliv u gruntah tehnogenno zminenih landshaftiv (na prikladi m. Dniprodzerzhins'ka) [Environmental monitoring studies of heavy metals in soils technologically altered landscapes (for example Dniprodzerzhynsk)]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geol. Geog.* 4, 161–166 (in Ukrainian).
- Perel'man, A.I., 2000. Geohimija landshafta [Landscape geochemistry]. Astereja, Moscow (in Russian).
- Plehanova, V.A., 2010. Problema normirovanija sodержanija kadmija v pochve [The problem of rationing of cadmium in the soil]. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo Jenergeticheskogo Universiteta* 2(5), 55–59 (in Russian).
- Rafati, M., Moattar, F., Khorasani, N., Shirvany, A., Moraghebi, F., Hosseinzadeh, S., 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption polluted soil. *Int. J. Environ. Res.* 5(4), 961–970.
- Shahriari, F., Higashi, T., 2014. Effects of the addition of humic substances on soil protease activities in andosols in the presence of cadmium. *Soil Sediment Contam.* 23(8), 869–886.
- Tsvetkova, N.M., Klimenko, T.K., 2005. Tehnogeni anomalii vazhkih metaliv u gruntah urbolandshaftiv stepovogo Pridniprovia (na prikladi m. Dniprodzerzhins'ka) [Technogenic anomalies of heavy metals in soils urban landscape steppe Dnieper (for example, Dniprodzerzhynsk)]. *Gruntoznavstvo* 6(1–2), 45–52 (in Ukrainian).
- Tsvetkova, N.N., 1992. Osobennosti migracii organo-mineral'nyh veshhestv i mikroelementov v lesnyh biogeocenozach stepnoj Ukrainy [Features of migration of organic and mineral substances and trace elements in the forest biogeocoenoses of steppe zone of Ukraine]. Dnipropetrovsk Univ. Press, Dnipropetrovsk (in Russian).
- Van Den Brink, N.W., Lammertsma, D.R., Dimmers, W.J., Boerwinkel, M.C., 2011. Cadmium accumulation in small mammals: Species traits, soil properties, and spatial habitat use. *Environ. Sci. Technol.* 45(17), 7497–7502.
- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., Pigna, M., 2010. Mobility and bioavailability of HM and metalloids in the soil. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.* 10(3), 268–292.
- Warwick, P., Hall, A., Pashley, V., Van Der Lee, J., Maes, A., 1999. Zinc and cadmium mobility in podzol soils. *Chemosphere* 38(10), 2357–2368.
- Wyszkowska, J., Borowik, A., Kucharski, M., Kucharski, J., 2013. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. *J. Elementol.* 18(4), 769–796.
- Yakuba, M.S., 2005. Monitoring umistu kadmiju i cinku u biogeocenozach zelenoji merezhi Prissamar'ja Dniprovs'kogo [Monitoring of cadmium and zinc in biogeocoenoses green network of Dnieper Prysamar'ya]. *Ekologija ta Noosferologija* 16(3–4), 263–272 (in Ukrainian).
- Zu, Y., Li, Y., Bock, L., Colinet, G., Schwartz, C., 2014. Mobility and distribution of lead, cadmium, copper and zinc in soil profiles in the peri-urban marker garden of Kunming, Yunnan province, China. *Arch. Acker. Pfl. Boden.* 60(1), 133–149.

Надійшла до редколегії 12.09.2015