

## НОВІ МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

На примере г. Днепродзержинска проведена оцнка урвней заґрязнення почв урбосистем тяжелыми металами с использованием разных методических подходов, определена буферная способность почв в отношении к заґрязнениям их тяжелыми металами.

На прикладі м. Дніпродзержинська проведено оцінку рівнів забруднення ґрунтів урбосистем важкими металами з використанням різних методичних підходів, визначено буферну здатність ґрунтів у відношенні до забруднень їх важкими металами.

On an example of Dneprodzerzhinsk the estimation of levels of pollution of soils of urbo-systems by heavy metals with use of different methodical approaches is spent, buffer ability of soils in the relation to pollution by their heavy metals is defined.

Оцінка екологічного стану компонентів екосистем, зокрема ґрунтів, часом супроводжується своєрідними труднощами через невизначеність самої дефініції – „забруднення”. Більшість дослідників, визначаючи ґрунти як „забруднені”, керуються в своїй оцінці наявністю перевищення вмісту поллютантів (наприклад, важких металів) у досліджуваних ґрунтах відносно природного (фонового) вмісту. При цьому встановлюються певні границі цього перевищення – 1,5-2 рази і вище. Однак відомо, що аномальний вміст не завжди супроводжується змінами у якості ґрунтів. Саєт із співавторами розмежовує поняття „техногенні геохімічні аномалії” і „зони забруднення”, підкреслюючи, що в останніх „забруднюючі речовини сягають концентрації, яка несприятливо впливає на живі організми” [1]. Більш конкретно термін „забруднення”, по відношенню до ґрунтів, визначений Глазовською, яка називає забрудненими ті ґрунти, в яких змінюється кількість і якість утвореної живої речовини (біологічної продукції) [2]. Слід також враховувати, що ґрунти, які містять аномальні концентрації важких металів, завдяки процесам міграції можуть ставати джерелом їхнього надходження в суміжні середовища – ґрунтові й поверхневі води, повітря.

Ґрунти, завдяки своїй високій поглинальній здатності, є депонуючим середовищем. В урбоекосистемах, як уже згадувалось, вони виконують важливу роль біогеохімічних бар’єрів на шляху техногенних потоків. В ґрунтово-хімічному моніторингу важливою складовою є виявлення геохімічних аномалій – ділянок, в межах яких фіксуються відмінні від фонових параметри розподілу важких металів.

Геохімічні аномалії важких металів, які були виявлені в ґрунтах м. Дніпродзержинська, за походженням є змішаними. Вони формуються, насамперед, за рахунок опадів з атмосферного повітря (аерогенні), а також безпосереднього потрапляння твердих відходів промисловості, будівництва і т. ін. (вейстогенні). В акумулятивних ландшафтах у формуванні аномалій також беруть участь водні потоки, наприклад, поверхневий стік (гідрогенні).

Техногенні асоціації, які визначались у ґрунтах м. Дніпродзержинська, внаслідок накладення ореолів розсіяння викидів промислових підприємств і автотранспорту, можуть бути віднесені до асоціацій співнаходження.

**Метою** даної роботи є здійснення еколого-геохімічного дослідження ґрунтів урбоєкосистеми, яка перебуває в умовах надзвичайно високих техногенних навантажень. Для досягнення даної мети необхідно було провести оцінку рівнів забруднення ґрунтів урбосистем важкими металами з використанням різних методичних підходів, а також оцінити буферну здатність ґрунтів у відношенні до забруднень їх важкими металами.

**Об'єкти та методи досліджень.** Вивчались наступні урбосистеми: промислові (ПУС), транспортні (ТУС), складська (СКУС), селитебні (СУС), рекреаційні (РУС), які розрізнялись за особливостями впливу на них провідних антропогенних факторів, відповідно, промислові урбосистеми – за галузевою приналежністю (чорна металургія (Ч), машинобудування (МБ), коксохімія (К), цементне виробництво (Б), лакофарбувальне виробництво (ХЛ), металообробка (МО), енергетика (Е), хімічне виробництво (Х)), транспортні – за відмінністю впливу авто- (А) і залізничного (З) транспорту, рекреаційні – за ступенем антропогенного впливу на формування і підтримку життєдіяльності біогеоценозу (штучні і природні).

За географічним положенням і особливостями антропогенного впливу на території міста було виділено чотири зони – Західну (вплив машинобудівельної промисловості), Центральну (металургійний комплекс, будівельна промисловість, металообробка), Східну (комплекс хімічних підприємств) і Лівобережну (житлова забудова).

Визначення вмісту ВМ проводилось методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. В ґрунтах визначався валовий вміст Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb і Cd.

**Результати досліджень.** В якості базових фонових величин, для визначення техногенних аномалій важких металів нами використовувався середній вміст цих металів у ґрунтах Дніпропетровської області, який за літературними даними становить, в мг/кг: для Mn – 600, Cu – 20, Ni – 10, Zn – 30, Pb – 10, Cd – 1 [3]. Оцінка інтенсивності техногенних геохімічних аномалій в ґрунтах міста проводилась за показником рівня аномальності – коефіцієнтом концентрації  $K_c$ , який розраховувався як відношення вмісту елементу в ґрунтах досліджуваних урбосистем ( $C_i$ ) до їхнього фонового вмісту ( $C_{\phi}$ ).

Техногенні аномалії в ґрунтах міста мають поліелементний склад, тому одним із завдань ґрунтово-хімічного моніторингу в урбосистемах є визначення техногенних асоціацій металів, тобто груп елементів, вміст яких відрізняється від природного (фонового). В якості кількісної міри техногенних асоціацій в роботі використовувався запропонований [4] сумарний показник забруднення (концентрації) ґрунтів (СПЗ/СПК)  $Z_c$ , який визначається як адитивна сума перевищень коефіцієнтів концентрацій елементів над фоновим рівнем.

Коефіцієнти концентрації важких металів і сумарний показник забруднення в ґрунтах урбосистем м. Дніпродзержинська представлені в табл. 1

Коефіцієнти концентрації важких металів і сумарний показник забруднення в ґрунтах урбосистем м. Дніпродзержинська

Зона	Урбосистема	Коефіцієнти концентрації (K <sub>c</sub> )							Z <sub>c</sub>
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	
Захід	ТУС-А-1	1,7	2,1	1,2	4,2	2,5	3,4	2,0	11,6
	СУС-1	1,4	1,4	1,4	2,2	2,0	1,5	1,0	4,9
	РУС-П-1	1,9	1,6	1,5	6,5	2,3	7,7	1,4	18,0
	ПУС-МБ-1	3,0	1,5	4,6	16,6	6,7	24,2	5,5	56,1
Центр	ТУС-А-2	1,0	1,7	1,1	6,6	1,1	5,0	1,3	12,3
	ТРЛ-З-2	2,2	1,2	3,8	6,1	6,3	13,3	4,1	30,9
	ПУС-Ч-2	3,4	3,6	16,7	41,7	15,7	67,1	10,4	152,6
	ПУС-К-2	2,7	5,0	4,2	9,1	6,1	19,1	3,6	43,7
	ПУС-Б-2	2,2	2,0	1,9	14,8	5,5	10,6	1,9	32,9
	ПУС-ХЛ-2	1,7	1,6	3,4	13,7	2,8	10,3	3,9	33,6
	ПУС-МО-2	2,8	2,1	10,9	24,7	20,8	62,9	5,1	123,4
	ПУС-Е-2	1,5	1,9	1,3	4,2	5,0	16,3	9,9	34,0
	СУС-2	1,5	2,4	1,9	12,5	2,3	9,3	1,9	26,2
	РУС-Ш-2	2,9	2,4	2,1	13	2,0	7,7	1,6	25,7
	РУС-П-2	0,9	0,7	0,7	3,7	1,1	2,2	0,8	5,4
Схід	ТУС-А-3	2,0	1,4	3,1	10,3	2,4	4,9	1,5	19,8
	ТРЛ-З-3	3,6	5,1	28,3	26,4	16,0	35,5	4,6	113,5
	ПУС-Х-3	2,5	4,6	2,6	11,0	9,9	19,6	3,1	47,2
	ПУС-К-3	2,3	4,9	3,6	16,8	13,8	28,5	3,7	67,5
	СКУС-3	2,2	1,1	2,7	17,6	4,0	19,8	10,5	51,9
	СУС-3	1,4	1,7	1,3	8,8	2,2	4,8	1,0	15,6
	РУС-П-3	1,6	1,3	3,0	8,9	2,3	5,7	1,3	18,4
Лівий берег	ТУС-А-4	1,3	1,2	0,8	4,6	1,6	2,6	1,1	7,4
	СУС-4	0,4	0,5	0,3	2,0	0,4	0,3	0,6	2,0
	РУС-Ш-4	0,7	0,5	0,5	2,1	1,0	1,4	0,8	2,6
	РУС-П-4	0,6	0,4	0,4	2,0	0,6	1,0	0,9	2,0

Розподіл важких металів, найбільш наближений до фонового, визначено в ґрунтах селитебної урбосистеми Західної зони міста. Це пояснюється, з одного боку, тим, що ця зона розташована на певній відстані від загального комплексу промислових підприємств, з іншого боку, тим, що ґрунти цих урбосистем за своїми властивостями схожі з зональними. В результаті проведених досліджень в цих ґрунтах не виявлено як аномально високого, так і низького вмісту досліджуваних металів.

Висока концентрація промислових підприємств у Центральній і Східній зонах міста спричиняє високий рівень антропогенних навантажень на всі природні компоненти в них. Саме в цих зонах було зафіксовано аномально високий вміст ряду металів, надходження яких пов'язане з викидами як промислових підприємств, так і високою концентрацією транспортних потоків. Ґрунти Лівобережної зони, навпроти, характеризуються невисоким вмістом важких металів. У ґрунтах переважної більшості досліджуваних урбосистем в цій зоні виявлено від'ємні

аномалії нікелю ( $K_c$  0,4–0,6), міді ( $K_c$  0,3–0,8) та марганцю ( $K_c$  0,4–0,5). Такі порівняно невисокі значення вмісту металів пояснюються рядом причин, головна з яких – полегшений гранулометричний склад, яким характеризуються ґрунти Лівобережжя. Окрім того, вони містять переважно невисокі кількості гумусових речовин, карбонатів і мають, порівняно з правобережними ґрунтами, більш кислу реакцію. Внаслідок свого розташування у відносній віддаленості від промислових підприємств, а також сприятливому напрямку переважаючих вітрів, в ґрунти цієї зони надходить порівняно невелика кількість поллютантів промислового походження. Основним джерелом забруднення є транспортні викиди.

Медведєв [5] під сталістю ґрунту, як *природного утворення* (курсив наш. – Т.К.), має на увазі комплекс властивостей і процесів, які підтримують його модальні параметри у просторі і часі. Сталість ґрунтової системи забезпечують її буферні властивості [6], в тому числі і у відношенні до забруднюючих речовин. Мотузова [7] дає наступне визначення буферній здатності ґрунту у відношенні до забруднюючих речовин – це „здатність ґрунтів підтримувати концентрацію хімічних речовин у ґрунтовому розчині на постійному рівні, протистояти змінам цієї концентрації”. Таке визначення наразі підтримується більшістю дослідників.

На буферність впливають наступні компоненти ґрунтів і ґрунтово-хімічні умови: кислотно-лужні умови і тонкодисперсна фракція, складовими якої є глинисті мінерали, органічні і органо-мінеральні сполуки, оксиди і гідроксиди металів, солі хімічних елементів [182, 183]. Оцінити потенційну буферність ґрунту можна за вмістом фізичної глини, гумусу, карбонатів і рН водяної витяжки [8].

Переважно всі досліджувані ґрунти характеризуються низьким умістом гумусових речовин і класифікуються як слабогумусовані (уміст гумусу < 4%), лише в Східній зоні міста ґрунти містять порівняно більші кількості гумусу (4-7%) і можуть бути віднесені до мало- та середньогумусних. За ступенем карбонатності переважну більшість досліджуваних ґрунтів можна віднести до середньокарбонатних (3-8%  $CaCO_3$ ), за виключенням ґрунтів Лівобережної зони, де вміст карбонатів не перевищує 1%. В більшості урбосистем значення рН водяної витяжки з ґрунтів коливались в межах 7,8-8,2.

В Лівобережній зоні ґрунти містять підвищені кількості піщаних фракцій і характеризуються піщаним і супіщаним гранулометричним складом, в правобережній частині міста переважно визначаються суглинисті ґрунти.

Оцінка буферних властивостей ґрунтів міста проводилася нами за бальною шкалою з урахуванням вмісту в них фізичної глини, гумусу і карбонатів. Критерії оцінки і бальна шкала подані в табл. 2.

Визначаючи градації в межах кожного з показників, ми виходили з того, що необхідно не тільки оцінити буферну здатність ґрунтів кожної з урбосистем, але й порівняти урбосистеми всього міста за цим показником. Ця інформація може бути корисною для оцінки стану довкілля, адже вона дозволить виявити ті території („слабкі ланки”), на яких ґрунти потребують відповідних заходів щодо їх відновлення або покращення стану, до того ж ці дані необхідні для планування оптимального розташування виробництв у майбутньому.

## Бальна шкала й критерії оцінки буферної здатності ґрунтів

Показник	Концентрація у ґрунтах, %	Характеристика ґрунту	Бал
Вміст гумусу	<2	слабогумусовані	1
	2–3	слабогумусовані	2
	3–4	слабогумусовані	3
	4–5	малогумусні	4
	5–6	малогумусні	5
	6–7	середньогумусні	6
	7–8	середньогумусні	7
Вміст фізичної глини	<10	піщані	1
	10–20	супіщані	2
	20–30	легкосуглинисті	3
	30–40	середньосуглинисті	4
	40–50	середньосуглинисті/важкосуглинисті	5
	50–60	важкосуглинисті	6
	>60	глинисті	7
Вміст карбонатів	<1	слабокарбонатні	1
	1–3	малокарбонатні	2
	3–4	середньокарбонатні	3
	4–5	середньокарбонатні	4
	5–6	середньокарбонатні	5
	6–7	середньокарбонатні	6
	>7	середньокарбонатні / сильнокарбонатні	7

Вміст гумусу, фізичної глини і карбонатів у ґрунтах коливається в певних межах, в цих межах і проводився розподіл балів, кожний з показників оцінювався за 7-бальною шкалою. Буферна здатність ґрунтів кожної урбосистеми оцінювалась за сумою балів (рис. 1).

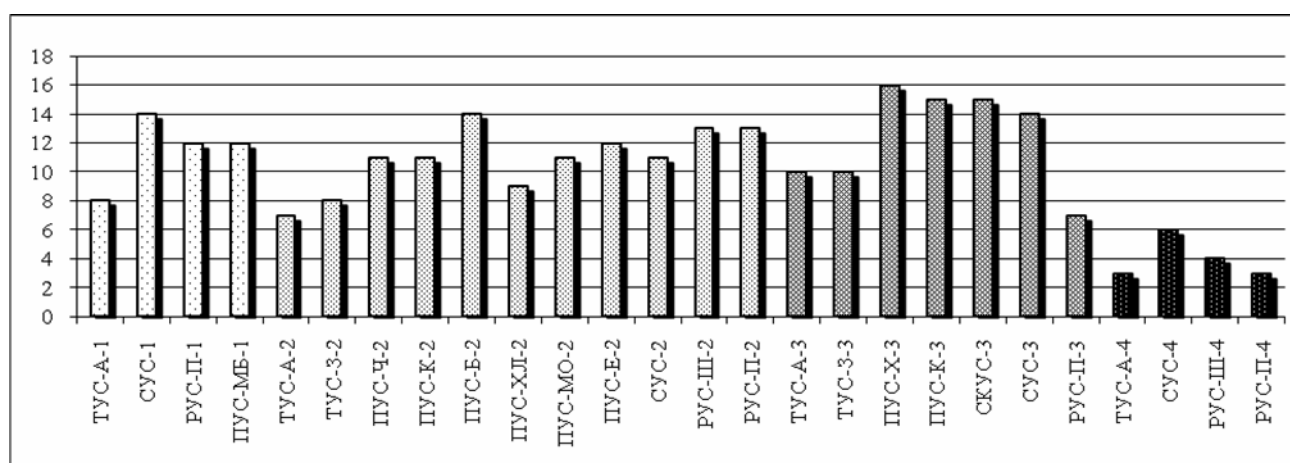


Рис. 1. Оцінка буферної здатності (в балах) ґрунтів урбосистем м. Дніпродзержинська

За своїми буферними властивостями ґрунти міста відрізняються іноді досить істотно. Порівняно більшою буферною здатністю характеризуються ґрунти Східної зони – в них міститься більше органічних речовин і вони збагачені глинистими фракціями. Ґрунти Центральної і Західної зони переважно подібні за своїми буферними властивостями. Низькою буферністю характеризуються ґрунти Лівобережної зони, що пояснюється, передусім, їх відносно легким гранулометричним складом. Ця інформація потребує уваги через небезпеку потрапляння поллютантів до ґрунтів, а з них – до трофічних ланцюгів (в Лівобережній зоні достатньо великі площі зайняті дачною забудовою).

Ґрунти транспортних урбосистем міста, через свій полегшений гранулометричний склад, мають низькі показники буферності, рекреаційних Західної і Центральної зон мають порівняно кращі буферні властивості, ніж в Східній і Лівобережній зонах. Ґрунти промислових урбосистем Східної зони характеризуються порівняно вищою буферною здатністю, ніж Центральної.

Мотузова [7] визначає сталість ґрунтів, як їх здатність у разі надмірного надходження поллютантів опиратися збільшенню в них саме рухомих форм цих речовин. Співвідношення валових і рухомих форм у ґрунтах (визначається як екстракційний критерій [9]), у великій мірі залежить від буферних властивостей ґрунтів. Величини екстракційного критерію дають змогу оцінити, як буферні властивості впливають на здатність ґрунтів зв'язувати, тобто інактивувати, важкі метали, які надходять з викидами підприємств і автотранспорту.

Ладонін [9] пропонує використовувати показник екстракційного критерію для оцінки техногенної складової у загальному вмісті важких металів у ґрунті, адже відомо, що у незабруднених фонових ґрунтах значення цього показника коливається в межах 5–20% [10]. З огляду на отримані нами результати (значення екстракційного критерію для всіх досліджуваних металів, окрім заліза, перевищувало 30 %), істотна частка важких металів, які містяться в ґрунтах м. Дніпродзержинська, має техногенне походження.

Все вищесказане дає підстави стверджувати, що рівень небезпеки забруднення важкими металами ґрунтів з різною буферністю теж буде відмінним. Сумарний показник забруднення лише констатує загальний вміст металів у ґрунтах і не враховує здатність самих ґрунтів інактивувати їх. Нами зроблена спроба оцінки забруднення ґрунтів з урахуванням їх буферної здатності. Для цього ми пропонуємо інтегральний показник забруднення:

$$Z_i = \frac{Z_c}{B},$$

де  $B$  – показник буферності ґрунтів (в балах).

Отримані результати дають змогу адекватно порівняти рівень забруднення ґрунтів урбосистем в межах всієї урбоєкосистеми. На рис. 2 добре видно, що в деяких урбосистемах, де буферна здатність ґрунтів відносно менша, інтегральний показник забруднення ґрунтів стає майже однаковим з показником у тих урбосистемах, де ґрунти містять відносно більші кількості металів (наприклад, ґрунти в автотранспортній урбосистемі в Лівобережній зоні і природній рекре-

аційній урбосистемі в Східній зоні, ґрунти в автотранспортній урбосистемі і природній рекреаційній урбосистемі в Західній зоні). В інших – за умов відносно близьких значень сумарного показника забруднення, значення показника інтегрального забруднення відмінні (ґрунти в природній рекреаційній урбосистемі в Центральній зоні і автотранспортній урбосистемі в Лівобережній, ґрунти в природних рекреаційних урбосистемах в Західній і Східній зонах, ґрунти в промислових урбосистемах на території цементного і лакофарбового заводів в Центральній зоні). До того ж рис. 2 демонструє відмінність буферних властивостей ґрунтів різних зон міста, особливо це стосується Східної і Лівобережної.

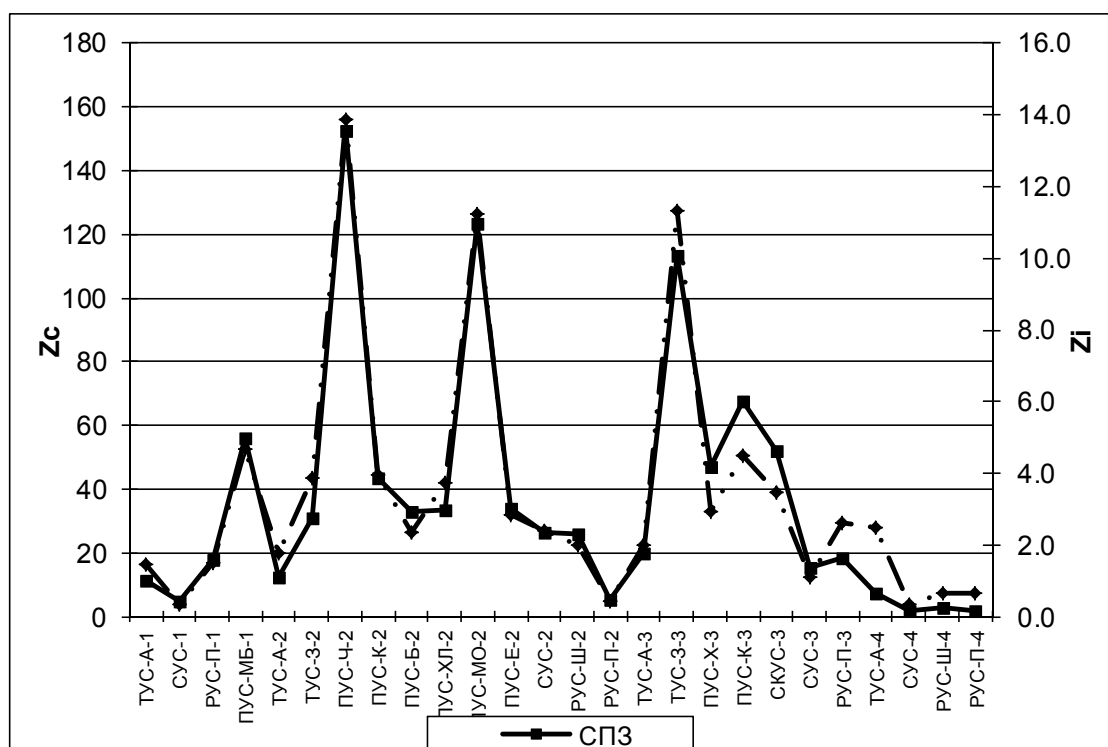


Рис. 2. Сумарний ( $Z_c$ ) і інтегральний ( $Z_i$ ) показники забруднення ґрунтів урбосистем м. Дніпродзержинська

### Висновки.

1. В ґрунтах міста було виявлено концентрації валових форм марганцю, міді, цинку, нікелю, свинцю, кадмію і заліза, які перевищували фоніві. В залізничних транспортних і промислових урбосистемах було зафіксовано перевищення вмісту Cu, Zn, Ni, Pb та Cd відносно фону на один порядок. В ґрунтах деяких урбосистем було виявлено від'ємні аномалії Mn, Cu, Ni, Pb та Cd.

2. Максимальне перевищення вмісту валових марганцю і міді було виявлено в ґрунтах залізничної транспортної урбосистеми в Східній зоні міста, валових цинку і свинцю – в ґрунтах промислової урбосистеми на території металургійного комбінату, валового нікелю – в ґрунтах промислової урбосистеми на території метизного заводу в Центральній зоні, кадмію – в ґрунтах складської урбосистеми в Східній зоні міста. Мінімальні концентрації валових форм важких металів було визначено в ґрунтах урбосистем в Лівобережній зоні: марган-

цю і цинку – в природній рекреаційній урбосистемі, міді, нікелю, свинцю та кадмію – в селитебній урбосистемі.

3. Встановлено, що найбільшим рівнем забруднення (надзвичайно сильним) характеризуються ґрунти промислової урбосистеми на території металургійного комбінату в Центральній зоні міста (СПЗ = 153), мінімальним – ґрунти рекреаційних і селитебної урбосистем в Лівобережній зоні міста (СПЗ < 3).

4. Запропоновано для оцінки буферних властивостей ґрунтів міста використовувати бальну шкалу з урахуванням вмісту у ґрунтах гумусових речовин, фракцій фізичної глини і карбонатів. Визначено, що порівняно кращою буферною здатністю у відношенні до забруднень важкими металами характеризуються ґрунти Східної зони міста – за рахунок відносно більшого вмісту в них гумусових речовин, фракцій фізичної глини і карбонатів. Деяко гіршими буферними властивостями відрізняються ґрунти Західної і Центральної зон міста, низькою буферною здатністю характеризуються ґрунти Лівобережної зони міста, передусім через свій відносно легкий гранулометричний склад. Встановлено, що буферні властивості ґрунтів впливають на співвідношення в ґрунтах валових і рухомих форм Cu, Mn, Pb, Zn та Fe.

5. Запропоновано для порівняльної оцінки рівня забруднення ґрунтів в межах міста використовувати інтегральний показник забруднення, який розраховується як відношення сумарного показника забруднення до показника буферності ґрунтів. Інтегральний показник забруднення дає змогу виявити ті урбосистеми, в ґрунтах яких вичерпаний буферний потенціал і подальше забруднення яких є небезпечним як для суміжних до ґрунтів середовищ, так і для рослин.

#### Список літератури

1. Геохимия окружающей среды / Ю.Е.Саэт, Б.А.Ревич и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
2. Глазовская М.А. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 195 с.
3. Экологические основы природопользования / Н.П.Грицан, Н.В.Шпак, Г.Г.Шматков и др. – Днепропетровск: ИППЭ НАН Украины, 1998. – 409 с.
4. Смирнова Р.С., Ревич Б.А. Система геохимических показателей для оценки состояния окружающей среды при разработке территориальных комплексных схем охраны природы городов // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. – М.:ИМГРЭ, 1989. – С. 117–123.
5. Медведєв В.В. Теоретичне наближення до визначення сталості ґрунту // Вісник ХДАУ: Збірка наукових праць / Харк. держ. аграр. ун-т. – 1997. – № 3. – С. 33–40.
6. Канунникова Н.А. Термодинамические потенциалы и показатели буферных свойств почв. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 100 с.
7. Мотузова Т.В. Принципы и методы почвенно-химического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 101 с.
8. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1997. – № 11. – С. 65–70.
9. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. – № 6. – С.682–692.
10. Водяницкий Ю.Н., Большаков В.А. Выявление техногенности химических элементов в почвах // Тр. Всеросс. конф. „Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения”. – М., 1998. – Т. 2. – С. 116–119.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 16.05.11*