

ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ СПОЛУКАМИ МЕТАЛІВ ҐРУНТІВ УРБОЕКОСИСТЕМ

Яковишина Т.Ф.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Чернишевського, 24А, м. Дніпро
t_yakovyshyna@ukr.net

За оцінками ВООЗ рівень здоров'я населення техногенно навантажених урбоекосистем зумовлюється якістю навколишнього середовища. Виявлення закономірностей між екологічним ризиком забруднення міських ґрунтів небезпечними сполуками металів та показниками здоров'я вирішує важливу науково-практичну задачу прогнозування екологічної небезпеки для населення техногенно навантажених урбоекосистем. Дослідження проводились на прикладі урбоекосистеми м. Дніпро, а саме були використані дані щодо забруднення ґрунтів екологічно небезпечними сполуками металів та статистичні показники здоров'я населення. Визначено екологічний ризик внаслідок поелементного та поліелементного забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро сполуками металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) з урахуванням трьох основних шляхів їх надходження в організм людини (ковтання, вдихання, через шкіру). Виявлено, що найбільшу екологічну небезпеку спричиняє забруднення ґрунту сполуками свинцю, так екологічний ризик був неприйнятним на всій території м. Дніпро та переважно високим. При врахуванні поліелементного характеру забруднення екологічний ризик було визначено як неприйнятний, здебільшого середній, а в окремих випадках високий. Встановлено зв'язок між станом здоров'я населення та якістю навколишнього середовища техногенно навантаженої урбоекосистеми м. Дніпро на підставі коефіцієнтів кореляції між значеннями екологічного ризику, рівнем смертності та кількістю онкозахворювань. Ґрунтовно доведено, що забруднення навколишнього середовища небезпечними сполуками металів є вагомою причиною виникнення онкозахворювань у населення м. Дніпро. Запропоновано залучення показника екологічного ризику до програми комплексного моніторингу стану урбоекосистем, як такого що визначає екологічну небезпеку для здоров'я людини внаслідок мігрування небезпечних сполук металів у міських ґрунтах. *Ключові слова:* екологічний ризик, метали, забруднення, екологічна небезпека, ґрунт, урбоекосистема.

Using of ecological risk indicators for assessment the hazard degree from pollution of urban ecosystem soil by metal compounds. Yakovyshyna T.

According to the WHO, the level of population health of the man-made urban ecosystems is determined by the environment quality. Identifying regularities between the ecological risk of urban soils contamination by hazardous metal compounds and health indicators solves an important scientific and practical problem of forecasting environmental hazards for the population of man-made urban ecosystems. The research has been conducted on the example of the urban ecosystem Dnipro, namely, data of soil contamination by environmentally hazardous metal compounds and statistical indicators of population health were used in these investigations. The ecological risk according to element-by-element and multi-element contamination of the Dnipro urban ecosystem soils by metal compounds (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) has been determined, taking into account three main ways of entering to the human body (swallowing, inhalation, skin). The ecological risk has been identified as unacceptable, mostly medium in some cases high, taking into account the multi-element contamination. The regularity between the population health and the environment quality for the technogenic urban ecosystem Dnipro has been established on the basis of correlation coefficients between the values of ecological risk, mortality rate and the number of cancers. It has been thoroughly proven that environment contamination by the hazardous metal compounds is a significant cause of cancer for the population of Dnipro. The indicator of ecological risk has been proposed to include to program of integrated monitoring of the urban ecosystems, as one that identifies ecological hazards to human health due to the migration of metal compounds in urban soils. *Key words:* ecological risk, metals, contamination, ecological hazard, soil, urban ecosystem.

Постановка проблеми. Серед сукупності умов і характеристик, що формують і підтримують рівень екологічної безпеки населення особливої уваги, в техногенно навантажених урбоекосистемах, потребує якість навколишнього середовища, питома вага якої за оцінками ВООЗ та різних авторів [1–2] становить від 17 до 20 % від загального впливу на здоров'я. Згідно Н.В. Барбашової ризик є категорією, пов'язаною з процесом «реалізації небезпеки» суб'єктом, отже ситуація «ризик» виникає лише тоді, коли в контакт із небезпекою вступає людина, наслідком чого існує вірогідність погіршення стану її здоров'я [3]. За найбільш показові характеристики антропогенного впливу на здоров'я

населення А.В. Кісельов (2001) пропонує використовувати смертність немовлят, загальну захворюваність та смертність дорослого населення [2]. Отже виявлення закономірностей між екологічним ризиком забруднення міських ґрунтів небезпечними сполуками металів та показниками здоров'я вирішує важливу науково-практичну задачу прогнозування екологічної небезпеки для населення техногенно навантажених урбоекосистем.

Актуальність дослідження. Стратегія розвитку системи охорони здоров'я передбачає подовження тривалості життя населення України на 3 роки та зменшення передчасної смертності від онкозахворювань на третину, а Стратегія державної екологічної

політики України на період до 2030 року – досягнення норм екологічної безпеки на рівні стандартів ЄС. Відомо що сполуки металів за умов надлишкового вмісту в навколишньому середовищі здатні викликати цілу низку захворювань (цукровий діабет, захворювання нирок – Cd; артрит, захворювання нервової системи – Ni та Pb; вроджені аномалії – Cu), проте серед них головне місце посідають онкологічні [1]. Доля онкозахворювань, як причина смертності, у населення Дніпропетровської області складає 13,2 %, в той час як по Україні – 10,0 %. Тому досить важливо встановити показник оцінювання екологічної безпеки щодо забруднення сполуками металів міських ґрунтів, який би визначав їх негативний вплив на здоров'я населення техногенно навантажених урбоєкосистем, що, в свою чергу, дозволить вжити необхідних заходів відносно мінімізації прояву небажаних наслідків, як то рання смертність та виникнення онкозахворювань.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено у рамках реалізації Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28.02.2019 р. під час виконання у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури НДР «Наукові основи забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених урбоєкосистем» (державний реєстраційний номер 0121U10039120, 2021–2023 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінку екологічного ризику D.W. Connell (1999) запропонував використовувати для здійснення прогнозу впливу хімічних забруднювачів або будь-яких інших стресорів на екосистеми та їх компоненти для досягнення екологічної безпеки при управлінні якістю навколишнього середовища [4]. Розробка концепції екологічного ризику припадає на початок 80-х років ХХ століття, так згідно G.W. Suter, (2007) ґрунтується на ступені проявів можливої небезпеки для здоров'я людей і спрямована на забезпечення основи для прийняття природоохоронних рішень щодо поліпшення якості складових довкілля [5]. Система розрахунку ризику передбачає використання наступного рівняння (1):

$$R = [1 - \exp(-UR \times C)] \quad (1)$$

де R – ризик виникнення несприятливого ефекту, що визначається як вірогідність (в долях одиниці) прояву цього ефекту в заданих умовах; C – реальна концентрація або доза речовини, яка здійснює зазначений вплив; UR – одиниця ризику, а саме, фактор (коефіцієнт) пропорції зростання ризику залежно від значень концентрації (доз), котра спричиняє вплив.

Основна складність, пов'язана з використанням рівняння (1), полягає у визначенні значення UR з прив'язкою до реальної концентрації C [6]. Для

розрахунку значення UR використовують наступні методологічні підходи: перший ґрунтується на даних ступеня порушення здоров'я за визначених дозо-часових умов, а другий використовує інформацію порогових концентрацій, які визначаються при проведенні експериментальних досліджень щодо регламентів граничного вмісту токсичних речовин в об'єктах навколишнього середовища. До другого методологічного підходу при визначенні екологічного ризику забруднення ґрунтів небезпечними сполуками металів можна віднести встановлення фактору екологічного ризику (Er) за L. Hakanson (1980) на підставі токсико-відповіді або коефіцієнтів (індексів) небезпеки впливу хімічних речовин (елементів) на здоров'я людей [7]. З накопиченням експериментального матеріалу відомості щодо Er були значно розширені і запропоновано його нормування [8], а саме: $Er < 40$ – низький, $40 \leq Er < 80$ – помірний, $80 \leq Er < 160$ – значний, $160 \leq Er < 320$ – високий, $Er < 320$ – дуже високий. Подальший розвиток цього напрямку призвів до більшої конкретизації токсико-відповіді організму людини на забруднення (протокол USEPA, [9–11]), а саме було враховано основні шляхи надходження забруднювачів в організм людини.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблема дослідження полягає в оцінці екологічного ризику забруднення ґрунтів урбоєкосистем небезпечним сполуками металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) на прикладі м. Дніпро з метою встановлення закономірностей впливу на здоров'я населення техногенно навантажених територій за показниками смертності та онкозахворювання.

Новизна. Визначено екологічний ризик забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) з урахуванням трьох основних шляхів їх надходження в організм людини (ковтання, вдихання, через шкіру). Вперше встановлено задовільний зв'язок між забрудненням міських ґрунтів та здоров'ям населення через показники екологічного ризику, смертності та кількості онкозахворювань.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для проведення розрахунків екологічного ризику небезпеки забруднення використовувалась база даних вмісту металів (Zn, Pb, Cu, Cd, Ni) у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро [12].

Кількісну оцінку екологічного ризику небезпеки небажаних впливів на здоров'я дорослого населення внаслідок забруднення небезпечними сполуками металів ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро проводили на підставі протоколу USEPA [9–11] з урахуванням трьох основних шляхів їх надходження в організм (ковтання, вдихання, через шкіру).

Для оцінки екологічного ризику за шляхами надходження канцерогенних речовин до організму людини використовували рівняння (2–5), роз-

шифровку та значення параметрів яких наведено в табл. 1 та 2:

$$CDI_{a-ing} = \frac{C_i \times IRg_{adult} \times CF \times EF \times ED_{adult}}{BW_{adult} \times AT} \quad (2)$$

$$CDI_{a-inh} = \frac{C_i \times IRg_{adult} \times CF \times EF \times ED_{adult} \times FSPO \times PLAF \times PM_{10}}{BW_{adult} \times AT} \quad (3)$$

$$CDI_{a-derm} = \frac{C_i \times CF \times SA_{adult} \times AF \times ABS \times EF \times ED_{adult}}{BW_{adult} \times AT} \quad (4)$$

$$CR = CDI \times SF \quad (5)$$

Нормування екологічного ризику проводили згідно рекомендацій [13] та критеріїв прийнятності Ешбі: $>10^{-3}$ – високий; $10^{-3} - 10^{-4}$ – середній; $10^{-4} - 10^{-6}$ – низький; $<10^{-6}$ – мінімальний (прийнятний).

Оцінювання впливу забруднення металами ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро за показниками екологічного ризику на рівень здоров'я

дорослого населення (онкозахворювання, смертність) за даними Головного управління статистики в Дніпропетровській області проводили шляхом кореляційного та регресійного аналізів.

Викладення основного матеріалу. Серед проаналізованих забруднювачів найбільший екологічний ризик для здоров'я населення урбоєкосистеми м. Дніпро спричиняв свинець, а найменший – нікель, який на чверті територій міста був прийнятним. Як показав статистичний аналіз виборок, найбільший розмах між максимальним і мінімальним значенням екологічного ризику спостерігався по забрудненню сполуками Pb, що зумовлено значною строкатістю, яка спричинена процесами деконцентрації при розбудові урбоєкосистеми та тривалого забруднення ґрунту внаслідок викидів промислових підприємств та вихлопних газів автотранспорту за умов щільної автотранспортної мережі (табл. 3). Середнє значення екологічного ризику за Cu, Zn, Pb, втім як

Таблиця 1

Значення параметрів у рівняннях екологічного ризику

Параметр	Пояснення	Дорослі	Одиниця виміру
CDI	Середнє добове надходження хімічних елементів/речовин в організм людини через 3 шляхи впливу	–	–
C_i	Концентрація канцерогенних елементів/речовин у ґрунті	–	мг/кг
IRg	Винос канцерогенних елементів/речовин з ґрунту організмом людини	100	мг/добу
IRh	Частота дихання людини за одну добу	14,5	м ³ /добу
CF	Коефіцієнт приведення	1×10^{-6}	кг/мг
EF	Частота впливу протягом одного року	350	діб у рік
ED	Середня тривалість експозиції	24	роки
BW	Середня маса тіла	60	кг
AT	Середній час (не канцерогенний)	ED×365	доба
	Середній час (канцерогенний)	70×365	
FSPO	Частка твердих частинок ґрунту, що знаходиться у повітрі	0,15	–
PLAF	Швидкість утримання твердих частинок ґрунту при вдиханні	0,75	–
PM ₁₀	Кількість частинок, що вдихаються	0,15	мг/м
SA	Відкрита поверхня шкіри	4350	см ²
AF	Фактор прилипання часток на шкірі	0,07	мг/(см ² × добу)
ABS	Фактор поглинання часток шкірою	0,001	–
RfD	Референтні дози	–	мг/(кг × добу)
SF	Фактори уточнення	–	–
CR	Екологічний ризик	–	–

Таблиця 2

Референтні коефіцієнти ризику металів (SFs) та еталонні дози (RfDs), мг/(кг×добу)

Metal	RfD _{ing}	RfD _{derm}	RfD _{inh}	SF
Cu	$4,0 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$	
Ni	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-1}$
Zn	0,3	0,3	0,06	
Pb	$3,5 \times 10^{-3}$	$3,52 \times 10^{-3}$	$5,25 \times 10^{-3}$	
Cd	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	6,4

Таблиця 3

Характеристика екологічного ризику забруднення небезпечними сполуками металів ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро

Показник	Екологічний ризик					
	Поелементне забруднення					Поліелементне забруднення
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	
Мінімум	$2,37 \times 10^{-6}$	$1,64 \times 10^{-6}$	$5,04 \times 10^{-5}$	$4,51 \times 10^{-5}$	$4,01 \times 10^{-6}$	$1,18 \times 10^{-4}$
Максимум	$2,73 \times 10^{-4}$	$1,03 \times 10^{-4}$	$3,21 \times 10^{-3}$	$5,58 \times 10^{-4}$	$3,35 \times 10^{-5}$	$3,51 \times 10^{-3}$
Середнє	$2,18 \times 10^{-5}$	$3,13 \times 10^{-5}$	$4,93 \times 10^{-4}$	$1,99 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^{-5}$	$7,59 \times 10^{-4}$
Медіана	$1,57 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-5}$	$2,77 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,40 \times 10^{-5}$	$5,16 \times 10^{-4}$
Екссес	45,31	0,11	7,70	2,20	2,05	5,97
Асиметрія	6,28	0,99	2,90	1,04	0,87	2,56
Дисперсія	$1,19 \times 10^{-9}$	$6,58 \times 10^{-10}$	$4,60 \times 10^{-7}$	$9,31 \times 10^{-9}$	$2,97 \times 10^{-11}$	$5,66 \times 10^{-7}$
Стандартне відхилення	$3,44 \times 10^{-5}$	$2,57 \times 10^{-5}$	$6,79 \times 10^{-4}$	$9,65 \times 10^{-5}$	$5,45 \times 10^{-6}$	$7,52 \times 10^{-4}$
Розмах	$2,70 \times 10^{-4}$	$1,02 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-3}$	$5,13 \times 10^{-4}$	$2,95 \times 10^{-5}$	$3,40 \times 10^{-3}$

і поліелементного забруднення в цілому, було більше за медіану, що свідчило про наявність масштабної прогресуючої екологічної небезпеки спричиненої через забруднення сполуками зазначених елементів території м. Дніпро. Позитивні значення коефіцієнту екссесу по всім виборкам екологічного ризику обумовлювали наявність гостровершинного розподілення, що за умов незначної правосторонньої асиметрії ($< 5,5$) за В.В. Тарасовою (2008) [14], за виключенням Cu, свідчило про інтенсивне техногенне навантаження внаслідок забруднення сполуками металів ґрунтів на всій території м. Дніпро. Значне зміщення кривої розподілу екологічного ризику забруднення сполуками Cu видбивало наявність незначних за площею, але потужних hot spots на тлі досить рівномірного урбанізованого геохімічного фону.

Значення екологічного ризику внаслідок поліелементного забруднення небезпечними сполуками металів ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відповідали середньому, а в окремих випадках й високому рівням. Внаслідок екологічно необґрунтованого планування розміщення підприємств в м. Дніпро, а саме включення промислових зон в житлову забудову за практично повною відсутністю санітарно-захисних зон, ділянок з прийнятним екологічним ризиком на території міста не має. Згідно табл. 4 найбільший рівень екологічної небезпеки спостерігався в Амур-Нижньодніпровському, Самарському, Новокодацькому, Центральному, Чечелівському та Шевченківському районах, в більшій мірі на правобережжі, чим на лівобережній частині урбоєкосистеми м. Дніпро.

Кореляційний аналіз значень екологічного ризику за середнім по районам міста та показниками смертності

Таблиця 4

Оцінка екологічного ризику поліелементного забруднення небезпечними сполуками металів ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро

Адміністративна одиниця	Рівень екологічного ризику	
	високий	середній
1	2	3
Амур-Нижньодніпровський район	$3,32 \times 10^{-3}$ 1	$4,63 \times 10^{-4}$ ($1,32 \times 10^{-4}$ – $8,76 \times 10^{-4}$) 12
Індустріальний район		$4,81 \times 10^{-4}$ ($1,70 \times 10^{-4}$ – $9,08 \times 10^{-4}$) 5
Новокодацький район	$2,85 \times 10^{-3}$ ($2,83 \times 10^{-3}$ – $2,87 \times 10^{-3}$) 2	$5,89 \times 10^{-4}$ ($2,84 \times 10^{-4}$ – $9,49 \times 10^{-4}$) 10
Самарський район	$1,50 \times 10^{-3}$ 1	$3,98 \times 10^{-4}$ ($1,67 \times 10^{-4}$ – $5,18 \times 10^{-4}$) 7
Соборний район		$4,49 \times 10^{-4}$ ($1,18 \times 10^{-4}$ – $6,20 \times 10^{-4}$) 8
Центральний район	$3,04 \times 10^{-3}$ 1	$5,38 \times 10^{-4}$ ($5,15 \times 10^{-4}$ – $6,05 \times 10^{-4}$) 2
Чечелівський район	$1,62 \times 10^{-3}$ ($1,32 \times 10^{-3}$ – $1,92 \times 10^{-3}$) 2	$6,49 \times 10^{-4}$ ($4,80 \times 10^{-4}$ – $8,56 \times 10^{-4}$) 7
Шевченківський район	$3,51 \times 10^{-3}$ 1	$5,48 \times 10^{-4}$ ($3,67 \times 10^{-4}$ – $6,86 \times 10^{-4}$) 6

Продовження таблиці 4

1	2	3
Лівобережжя	$\frac{2,41 \times 10^{-3} (1,50 \times 10^{-3} - 3,32 \times 10^{-3})}{2}$	$\frac{4,48 \times 10^{-4} (1,32 \times 10^{-4} - 9,08 \times 10^{-4})}{24}$
Правобережжя	$\frac{2,58 \times 10^{-3} (1,32 \times 10^{-3} - 3,51 \times 10^{-3})}{6}$	$\frac{5,57 \times 10^{-4} (1,18 \times 10^{-4} - 9,49 \times 10^{-4})}{33}$
м. Дніпро	$\frac{2,54 \times 10^{-3} (1,32 \times 10^{-3} - 3,51 \times 10^{-3})}{8}$	$\frac{5,11 \times 10^{-4} (1,18 \times 10^{-4} - 9,49 \times 10^{-4})}{12}$

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідного рівня екологічного ризику; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

й онкозахворювань показав прямопропорційну залежність – 0,329 та 0,379, відповідно. Проте такий підхід не є коректним, адже потребує виключення крайніх точок – Центральний та Жовтневий райони, як таких, що не містять на своїй території промислових підприємств та є досить невеликими за площею, а це, в свою чергу, зумовлює внутрішньоміську міграцію населення впродовж робочої неділі. За умов виключення зазначених районів коефіцієнт кореляції підвищився майже вдвічі і становив 0,654, що підтверджувало зв'язок між станом здоров'я населення та якістю навколишнього середовища і тим самим свідчило про забруднення ґрунтів небезпечними сполуками металів як одну із вагомих причин онкозахворювань в м. Дніпро.

Головні висновки. Визначено екологічний ризик внаслідок поелементного та поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) з урахуванням трьох основних шляхів їх надходження в організм людини (ковтання, вдихання, через шкіру). Виявлено, що найбільшу екологічну небезпеку спричиняє забруд-

нення ґрунту сполуками свинцю, так екологічний ризик був неприйнятним на всій території м. Дніпро та переважно високим. При врахуванні поліелементного характеру забруднення екологічний ризик було визначено як неприйнятний, здебільшого середній в окремих випадках високий. Встановлено зв'язок між станом здоров'я населення та якістю навколишнього середовища техногенно навантаженої урбоєкосистеми м. Дніпро на підставі коефіцієнтів кореляції між значеннями екологічного ризику, рівнем смертності та кількістю онкозахворювань. Ґрунтовно доведено, що забруднення навколишнього середовища небезпечними сполуками металів є вагомою причиною виникнення онкозахворювань у населення м. Дніпро.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для обґрунтування залучення показника екологічного ризику до програми комплексного моніторингу стану урбоєкосистем, як такого що визначає екологічну небезпеку для здоров'я людини внаслідок мігрування небезпечних сполук металів у міських ґрунтах.

Література

1. Большаков А. М., Крутько В. Н., Пуцилло Е. В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. Москва : Эдиториал УРСС, 1999. 256 с.
2. Барбашова Н. В. Взаемозв'язок понять «екологічний ризик» та «екологічна безпека». Актуальні проблеми держави і права. 2014. С. 245–253.
3. Киселев А. В. Оценка риска здоровью в системе гигиенического мониторинга. Санкт-Петербург: Медицинская академия последипломного образования, 2001. 36 с.
4. Connell D. W. Introduction to ecotoxicology. Oxford: Blackwell Science, 2005. 180 p.
5. Suter II, G. W. Ecological risk assessment. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2007. 680 p.
6. Звягинцева А. В., Аверин Г. В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Вісник Донецького національного університету. Сер. Природничі науки. 2006. № 2. С. 296–304.
7. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water resource. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.
8. El-Bady M. Road dust pollution by heavy metals along the sides of expressway between Benha and Cairo, southern of Nile Delta, Egypt. Geochemistry journal. 2014. Vol. 1, Issue 2. P. 10–23.
9. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Risk Assessment Guidance for Superfund: Vol1. Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: Standard Default Exposure Factors (Interim Final); Office of Emergency and Remedial Response, US Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 1991.
10. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Guidance for Evaluating the Oral Bioavailability of Metals in Soils for Use in Human Health Risk Assessment; Office of Emergency and Remedial Response, US Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2007.
11. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final); Office of Emergency and Remedial Response, US Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2011.
12. Яковишина Т. Ф. Розвиток наукових основ удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів в ґрунтах урбоєкосистем. дис. док. техн. наук: 21.06.01. Дніпро, 2019. 479 с.
13. Звягинцева А. В., Аверин Г. В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Вісник Донецького національного університету. Сер. Природничі науки. 2006. № 2. С. 296–304.
14. Тарасова В. В. Екологічна статистика. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.