

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ УРБОЗЕМІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М.

Черкаський державний технологічний університет

бульв. Шевченко, 460, 18006, м. Черкаси

o.mysliuk@chdtu.edu.ua, ok.yehorova@chdtu.edu.ua, o.khomenko@chdtu.edu.ua

В роботі дана оцінка не канцерогенного і канцерогенного ризиків для здоров'я населення від забруднення ґрунтів міста Черкаси важкими металами Cu, Zn, Pb та Cd. Показано, що сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я при вдиханні, контакті зі шкірою та при надходженні пероральним шляхом є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста, що вказує на відсутність значного впливу. Значення HI для дітей становили 0,05-0,94 із середнім значенням 0,30, для жінок 0,01-0,14 із середнім значенням 0,04, для чоловіків 0,01-0,12 із середнім значенням 0,04. Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd при вдиханні та при надходженні пероральним шляхом на всіх модельних ділянках є нижчим за порогове значення $CR < 1 \cdot 10^{-6}$. Сумарний канцерогенний ризик від впливу Pb варіює від $4,9 \cdot 10^{-7}$ до $8,9 \cdot 10^{-5}$ при середньому значенні $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – від $2,9 \cdot 10^{-9}$ до $2,1 \cdot 10^{-8}$ при середньому значенні $7,2 \cdot 10^{-9}$. Найвищий ризик для здоров'я населення встановлено для дослідних ділянок в зоні викидів ТЕЦ, інтенсивного руху транспортних засобів та ділянок, що межують з сільськогосподарськими угіддями. Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний і неканцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95-97%). Необхідне поглиблене вивчення забруднення ґрунтів важкими металами, джерел їх надходження, картографування і зонування території міста за ступенем забруднення урбоземів цими небезпечними поллютантами. Результати роботи важливі для розробки належних стратегій управління ризиком, зменшення впливу точкових і неточкових джерел забруднення урбоземів важкими металами, вибору методів рекультиваци ґрунтів. *Ключові слова:* важкі метали, урбоземи, здоров'я населення, канцерогенний і неканцерогенний ризики.

Assessment of potential health risks to the population from heavy metal contamination in urban soils. Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O.

This study assesses non-carcinogenic and carcinogenic health risks to the population resulting from soil contamination with heavy metals (Cu, Zn, Pb, and Cd) in the city of Cherkasy. The findings show that the total cumulative non-carcinogenic health risk – through inhalation, dermal contact, and oral intake – remains below the threshold value ($HI < 1$) for both adults and children across all modeled sites in various functional zones of the city, indicating no significant health impact. HI values for children ranged from 0.05 to 0.94, with an average of 0.30; for women, from 0.01 to 0.14, with an average of 0.04; and for men, from 0.01 to 0.12, also with an average of 0.04.

The total cumulative carcinogenic risk from exposure to Pb and Cd via inhalation and ingestion is also below the acceptable threshold ($CR < 1 \cdot 10^{-6}$) across all study areas. Carcinogenic risk values for Pb ranged from $4,9 \cdot 10^{-7}$ to $8,9 \cdot 10^{-5}$, with an average of $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – from $2,9 \cdot 10^{-9}$ to $2,1 \cdot 10^{-8}$ with an average of $7,2 \cdot 10^{-9}$.

The highest health risks were observed in areas near emissions from combined heat and power (CHP) plants, locations with heavy traffic, and zones adjacent to agricultural land. Lead (Pb) was identified as the primary contributor to both total carcinogenic and non-carcinogenic risks, accounting for 95-97% of the total burden.

Further in-depth investigations into soil contamination by heavy metals, identification of contamination sources, and spatial mapping and zoning of the city based on pollution levels are recommended. These findings are crucial for developing effective risk management strategies, mitigating the impact of point and non-point sources of urban soil contamination, and selecting appropriate soil remediation techniques. *Key words:* heavy metals, urban soils, public health, carcinogenic and non-carcinogenic risks.

Постановка проблеми. Швидка урбанізація та індустріалізація невід'ємно пов'язані із забрудненням міських ґрунтів важкими металами. Через несприятливий вплив на урбоєкосистеми, забруднення урбоземів важкими металами становить значну проблему не лише на місцевому та регіональному рівнях, а й на глобальному рівні. У всьому світі існує серйозна екологічна стурбованість через збільшення кількості небезпечних важких металів у міському ґрунті [1-4].

Актуальність дослідження. Забруднення урбоземів важкими металами привернуло широку увагу

через їх токсичність, тривалу стійкість, здатність до біоаккумуляції та через синергетичний ефект. Це призводить до погіршення виконання ґрунтами природних екосистемних послуг, спричиняє шкоду здоров'ю населення. На відміну від органічних забруднень, важкі метали не піддаються мікробній або хімічній деградації та зберігаються протягом тривалого часу після їх введення. Вони визнані основними забруднювачами ґрунту. Діючи як рецептори, ґрунти зазнають одночасного накопичення важких металів як з природних, так і антропогенних джерел. Надійними індикаторами антропогенного забруд-

нення є урбоземи. Значно відрізняючись від природних ґрунтів, вони зазнають значного техногенного навантаження, тому більш схильні до утримання та накопичення підвищених концентрацій важких металів порівняно з природними [5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.

Збереження ґрунтів є стратегічно важливим завданням для забезпечення екологічної стабільності та здоров'я населення. Враховуючи інтенсивну урбанізацію, зростання техногенного навантаження та накопичення токсичних елементів у ґрунтах, зокрема важких металів, виникає необхідність у системному підході до моніторингу та управління ризиками забруднення урбоземів.

Європейський Союз приділяє значну увагу збереженню ґрунтів. Зокрема, у Ґрунтовій стратегії до 2030 року визначено чіткі рамки та заходи для захисту, відновлення та сталого використання ґрунтів. 17 червня 2024 року Рада ЄС прийняла загальний підхід до обов'язкового моніторингу здоров'я ґрунту, що передбачає ідентифікацію потенційно забруднених ділянок, їх внесення до публічного реєстру та впровадження пріоритетного управління з урахуванням потенційних ризиків і соціально-економічного контексту.

Крім того, міжнародні програми, що реалізуються ВООЗ, ЮНЕП і ЕЕА, мають на меті забезпечити сталий розвиток і захист здоров'я населення через комплексний підхід до моніторингу та оцінки ризиків забруднення міських територій, що є невід'ємною частиною забезпечення екологічної безпеки на глобальному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення ґрунту і його вплив на здоров'я людини є всесвітньою проблемою. Незважаючи на серйозність проблеми, наразі бракує всебічних знань щодо ступеня забруднення урбоземів важкими металами, і пов'язаних із цим ризиків для здоров'я. Цінним методом для виявлення шкоди здоров'ю людини, що виникає внаслідок дії цих поллютантів, служить оцінка потенційного ризику і розробка стратегій управління ним [6-8]. В Україні цій проблемі присвячені тільки поодинокі роботи [9-11], потрібні подальші дослідження в системі «забруднення довкілля – здоров'я людини». Актуальність подібних досліджень зумовлена, насамперед, необхідністю зниження ризику для здоров'я людини і оптимізації умов життя населення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні дослідження зорієнтовані, перш за все, на акумуляцію важких металів, а не на оцінку ризику для здоров'я, причому більшість із них зосереджені виключно на вивченні адсорбції та проникності важких металів чи інших токсичних елементів у ґрунті. Саме тому метою наших досліджень є оцінка потенційного ризику для здоров'я людини

від забруднення ґрунтів важкими металами в умовах сучасного транспортного та промислового навантаження урбанізованих територій (на прикладі міста Черкаси). Отримані результати сприятимуть формулюванню ефективної політики збереження здоров'я населення при розробці стратегії сталого розвитку регіону.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до оцінки потенційного ризику для здоров'я населення, зумовленого забрудненням ґрунтів важкими металами в умовах транспортного та промислового навантаження урбанізованої території. Вперше для міста Черкаси проведено просторовий аналіз розподілу важких металів у ґрунтах із застосуванням методів геоінформаційного моделювання та оцінено рівень канцерогенного й неканцерогенного ризику для населення. Отримані результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для формування екологічної політики на регіональному рівні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримана у ході досліджень інформація може служити орієнтиром при організації ґрунтово-екологічного моніторингу міських територій, для науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану урбоґрунтів і прийнятті оптимальних управлінських рішень галузі охорони навколишнього середовища.

Метою роботи є оцінка потенційний ризик для здоров'я людини від забруднення ґрунтів важкими металами в умовах сучасного транспортного та промислового навантаження урбанізованих територій (на прикладі міста Черкаси). Результати досліджень сприятиме формулювання ефективної політики збереження здоров'я населення при розробці стратегії сталого розвитку регіону.

Методи дослідження. В роботі використаний системний підхід з використанням бібліосемантичного, порівняльно-аналітичного і статистичного методів аналізу. Для візуалізації і аналізу даних використане ПЗ Microsoft Office Excel. Оцінку ризику проводили за методикою US EPA [12].

Викладення основного матеріалу. Рівень вмісту важких металів в урбаноземах є непрямим показником ступеня техногенного навантаження та потенційної небезпеки для здоров'я населення на конкретній території. В роботі [13] показано, що внаслідок впливу техногенезу в урбоземах м. Черкаси утворюються геохімічні аномалії таких важких металів як Cu, Zn, Pb та Cd (табл. 1). За екологічними особливостями та ступенем техногенного навантаження територія дослідження включала декілька локалітетів (промислові, транспортні, рекреаційні зони). Фонова територія (рекреаційна зона) – вул. Набережна (Дахнівський мікрорайон) (рис. 1).

Пилові частинки важких металів, що містяться у ґрунті, різними шляхами надходять в організм людини і становлять пряму і непряму небезпеку для здоров'я. Важкі метали накопичуються в тканинах



Рис. 1. Карта розташування дослідних ділянок

Таблиця 1

Вміст важких металів в ґрунтах міста Черкаси

№	Cu		Zn		Pb		Cd		Сумарний показник забруднення Z_c	Індекс антропогенного навантаження PLI
	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c		
1	31,2±0,7	11,5	221,0±1,3	32,5	83,3±0,5	16,0	0,35±0,2	2,1	83,1	10,59
2	20,0±0,4	7,4	311,0±1,3	45,7	38,1±0,4	7,33	0,75±0,1	4,4	61,8	10,22
3	17,8±0,4	6,6	74,0±0,6	9,4	13,3±0,6	2,1	0,32±0,2	1,8	16,9	3,91
4	50,0±0,6	18,5	99,2±0,7	12,7	18,5±0,4	3,0	0,40±0,2	2,3	33,5	6,35
5	20,0±0,4	7,4	38,8±0,4	4,9	11,7±0,2	1,8	0,25±0,1	1,4	12,5	3,09
6	25,0±0,7	9,3	244,0±0,6	35,9	32,0±0,4	6,15	0,50±0,2	2,9	51,3	8,78
7	18,6±0,4	6,9	46,5±0,4	6,8	12,5±0,2	2,4	0,20±0,1	1,1	14,2	3,34
8	21,4±0,5	7,9	40,2±0,4	5,1	12,1±0,1	1,9	0,25±0,2	1,5	13,4	3,27
9	25,0±0,4	9,2	44,2±0,3	5,6	14,1±0,5	2,3	0,30±0,2	1,8	15,9	3,82
10	34,0±0,5	12,6	176,0±0,5	25,9	40,0±0,4	7,7	0,25±0,1	1,5	44,7	7,84
11	9,0±0,6	3,3	50,0±0,6	7,4	15,0±0,5	2,9	0,50±0,2	2,9	13,6	3,79
12	11,0±0,6	4,1	51,0±0,6	7,5	20,0±0,4	3,8	0,50±0,2	2,9	15,3	4,29
13	37,0±0,5	13,7	319,0±0,4	46,9	94,0±0,5	18,1	1,25±0,1	7,4	54,1	7,13
14	2,7±0,2	1,0	6,8±0,3	1,0	5,2±0,1	1,0	0,17±0,1	1,0	1,0	1,00

і внутрішніх органах людини, можуть впливати на центральну нервову систему і виступати в якості кофакторів, ініціаторів або збудників різних захворювань. Вплив важких металів, які одночасно надходять в організм, може призвести до численних несприятливих наслідків для здоров'я людей через синергетичну взаємодію, навіть якщо концентра-

ції окремих металів нижчі за їх екотоксикологічні контрольні рівні. Несприятливий вплив на здоров'я людини в основному відбувається трьома шляхами: ковтанням, вдиханням і контактним всмоктуванням через шкіру.

Відповідно до міжнародного досвіду оцінювалися окремо індекс небезпеки збільшення не кан-

церогенної захворюваності та канцерогенний ризик для дітей, жінок і чоловіків. Для оцінки цього ризику були розраховані критичні параметри, включаючи хронічне добове надходження (ADD), коефіцієнт ризику (HQ), індекс ризику (HI) і канцерогенний ризик (CR).

Розрахунки хронічного добового надходження важких в організм людини (ADD) проводили за формулами 1-3:

$$ADD_{ingest} = \frac{C_i \cdot IngR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (1)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C_i \cdot SA \cdot AF \cdot ABC \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (2)$$

$$ADD_{inhalation} = \frac{C_i \cdot APM \cdot IngR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (3)$$

Коефіцієнт ризику (HQ) оцінювали за формулою 4:

$$HQ_i = \frac{ADD}{RFD}. \quad (4)$$

Індекс небезпеки (HI) для умов одночасного надходження декількох важких металів одним і тим же шляхом (інгаляційним, пероральним, при контакті зі шкірою) розраховували за формулою 5:

$$HI = \sum HQ_i. \quad (5)$$

Канцерогенний ризик (CR) розраховували за формулою 6:

$$CR = \sum ADD \cdot SF. \quad (6)$$

Сумарний канцерогенний ризик (TCR) за умов одночасного надходження декількох важких металів розраховували за формулою 7:

$$TCR = \sum CR. \quad (7)$$

Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я від впливу Cu, Zn, Pb та Cd при вдиханні, контакті зі шкірою та при надходженні пероральним шляхом є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста (рис. 2), що вказує на відсутність значного впливу.

Діти через свою поведінку, фізіологічні особливості та тривалість впливу більш сприйнятливі до токсичних речовин, ніж дорослі. Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для дітей становили 0,05-0,94 із середнім значенням 0,30, для жінок 0,01-0,14 із середнім значенням 0,04, для чоловіків 0,01-0,12 із середнім значенням 0,04. Основний внесок в сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95%). Високий вміст Pb в ґрунтах міста обумовлений, перш за все, впливом міського та приватного автотранспорту, а також викидами промислових об'єктів, зокрема теплоенергетичної галузі, які працюють на вугіллі.

Ризик для здоров'я дітей і дорослих від впливу важких металів, що надходять перорально, є набагато вищий, ніж при контакті зі шкірою та при вдиханні, що узгоджується з іншими дослідженнями [6, 14-16]. Вони можуть страждати від різноманітних неканцерогенних небезпек для здоров'я, включаючи шкірні захворювання, подразнення дихальних шляхів, серцево-судинну систему та неврологічні проблеми.

Канцерогенний ризик визначали за вмістом у ґрунті Pb і Cd, які, відповідно до [17], віднесені до потенційно канцерогенних металів. Pb спричиняє токсичний, мутагенний та канцерогенний ефекти. Хронічний вплив Cd може сприяти пухлиногенезу в легенях, нирках, підшлунковій та молочній залозі, збільшенню чутливості потомства до канцерогенезу [18-20].

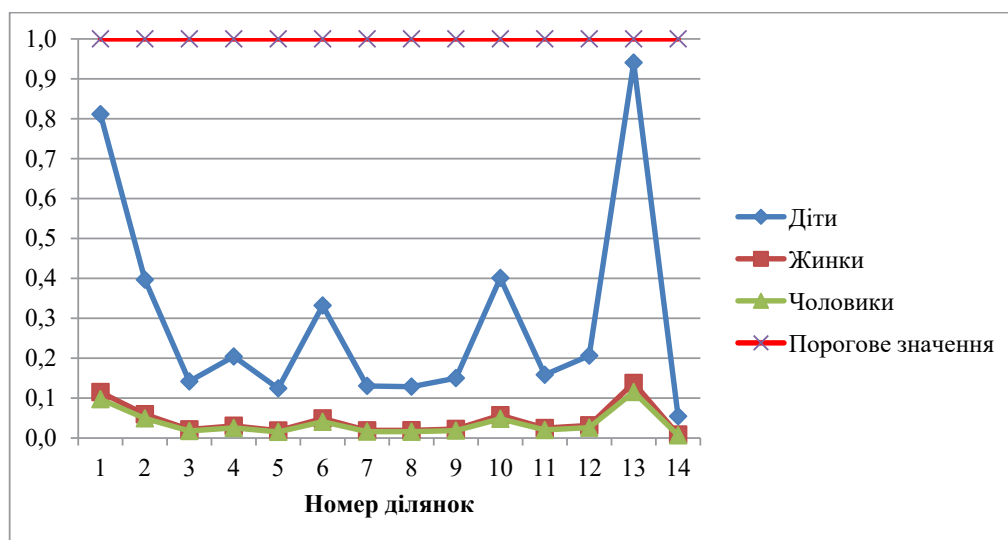


Рис. 2. Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я

В роботі [21] показано, що головним забруднювачами урболандшафтів м. Черкаси важкими металами, які надходять аеротехногенним шляхом, є ПАТ Черкаська ТЕЦ, промислові підприємства, зокрема ТОВ «КАНСАЙ ХЕЛІОС УКРАЇНА», автотранспорт.

Бібліосемантичний аналіз, представлений в роботі [20], свідчить, що джерела Cd у ґрунтах мають як геогенне, так і антропогенне походження. Джерелами антропогенного надходження кадмію в ґрунти м. Черкаси є спалювання викопного палива, використання фосфатних добрив на сільськогосподарських угіддях, що межують з містом, інтенсивний дорожній рух, стічні води з автомобільних доріг, стихійні сміттєзвалища тощо.

Дослідження показали, що сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd при вдиханні та при надходженні пероральним шляхом на всіх модельних ділянках є нижчим за порогове значення $CR < 1 \cdot 10^{-6}$ (рис. 3). Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95-97%).

Сумарний канцерогенний ризик від впливу Pb варіює від $4,9 \cdot 10^{-7}$ до $8,9 \cdot 10^{-5}$ при середньому значенні $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – від $2,9 \cdot 10^{-9}$ до $2,1 \cdot 10^{-8}$ при середньому значенні $7,2 \cdot 10^{-9}$. Найвищий канцерогенний ризик встановлено для дослідних ділянок в зоні викидів ТЕЦ, інтенсивного руху транспортних засобів та ділянок, що межують з сільськогосподарськими угіддями.

За даними Головного управління статистики в Черкаській області викиди промисловими підприємствами Zn і Pb у 2023 р. зросли в порівнянні з 2022 р. на 26,6% і 25,4% відповідно. Подальше зростання вмісту важких металів у ґрунті, зокрема і через ведення бойових дій в Україні, які надходять

із боєприпасів, залишків згорілої техніки, зруйнованих будівель та інфраструктури [22], призведе до перевищення порогових рівнів як для не канцерогенного, так і канцерогенного ризиків для здоров'я населення.

Слід зазначити, що попередні дослідження оцінки потенційного ризику для здоров'я від забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту [23] показали, що в місті ризик захворіти на рак як для дорослих ($R=1,9 \cdot 10^{-4}$), так і для дітей ($R=9,8 \cdot 10^{-5}$) оцінюється як середній.

За статистичними даними рівень захворюваності на злоякісні новоутворення в Черкаській області перевищує середні показники по Україні, в тому числі по захворюваності серед дитячого населення. За останні три роки показник захворюваності на 10 тисяч населення зріс на 20% та на 64% перевищив загальнодержавний показник. В структурі загальної смертності новоутворення посідають друге місце (18,8%). За прогнозом медиків, наступного року показник захворюваності перетне позначку в 50 тисяч.

Висновки. В роботі вперше дана оцінка не канцерогенного і канцерогенного ризиків від забруднення ґрунтів м. Черкаси важкими металами Cu, Zn, Pb та Cd.

Показано, що сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста.

Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd на досліджених ділянках є нижчим за рекомендовану межу $1 \cdot 10^{-6}$ і оцінюється як мінімальний. Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний і не канцерогенний ризики має Pb.

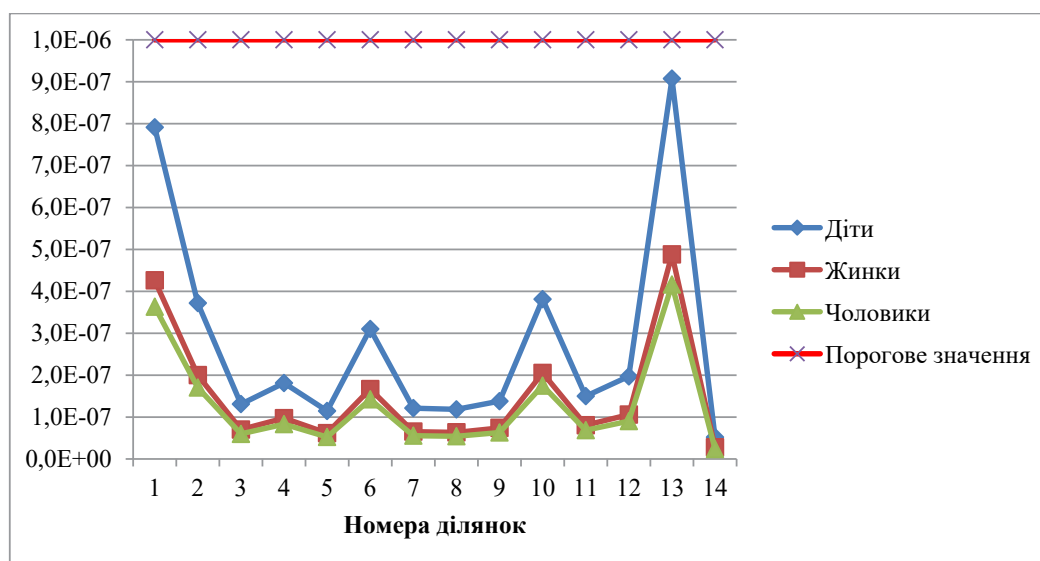


Рис. 3. Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd

Найбільша частка у сумарному кумулятивному не канцерогенному і канцерогенному ризику припадає на Pb.

Необхідне поглиблене вивчення забруднення ґрунтів важкими металами, джерел їх надходження, картографування і зонування території міста з використанням сучасних ГІС-технологій за ступенем забруднення урбоземів цими небезпечними поллютантами.

Результати роботи важливі для розробки належних стратегій управління ризиком, зменшення впливу

точкових і неточкових джерел забруднення урбоземів важкими металами, вибору методів рекультивції ґрунтів.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримана у ході досліджень фактична інформація може розглядатися як орієнтир для більш об'єктивної та науково обґрунтованої оцінки геоecологічного стану міських ґрунтів та організації ґрунтово-ecологічного моніторингу міських територій.

Література

1. Lianwen Liu, Wei Li, Weiping Song, Mingxin Guo. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*. 2018. V. 633. P. 206-219. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.161.
2. Chen et al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*. 2005. V. 60, № 4. P. 542-551.
3. Bux, R. K., Haider, S. I., Batool, M., Solangi, A. R., Shah, Z., Karimi-Maleh, H., et al. Assessment of heavy metal contamination and its sources in urban soils of district Hyderabad, Pakistan using GIS and multivariate analysis. *IJEST*. 2022. V. 19. P. 7901–7913. doi:10.1007/s13762-021-03691-7.
4. Yang, Q., Zhang, L., Wang, H., and Martín, J. D. Bioavailability and health risk of toxic heavy metals (As, Hg, Pb and Cd) in urban soils: A Monte Carlo simulation approach. *Environ. Res.* 2022.214 (Pt 1):113772. doi:10.1016/j.envres.2022.113772.
5. Huang, S., Wang, L., and Zhao, Y. Ecological risk assessment from the perspective of soil heavy metal accumulations in Xiamen city, China. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 2018. V. 25. № 5. P. 411–419. doi:10.1080/13504509.2017.1418457.
6. A. Keshav Krishna & K. Rama Mohan. Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soils around an industrial area, Hyderabad, India. *Environ. Earth Sci.* 2016. V. 75. № 411. doi https://doi.org/10.1007/s12665-015-5151-7.
7. Zhang, Y., Li, S., Chen, Z., Wang, F., Chen, J., and Wang, L. A systemic ecological risk assessment based on spatial distribution and source apportionment in the abandoned lead acid battery plant zone, China. *J. Hazard. Mater.* 2018. V. 354. P. 170-179. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.04.054.
8. Xiao, R., Guo, D., Ali, A., Mi, S., Liu, T., Ren, C., et al. Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China, China. *Environ. Pollut.* 2019. V. 248. – P. 349-357. doi:10.1016/j.envpol.2019.02.045.
9. Рибалова О. В., Бригада О. В., Макаров С. О., Бондаренко О. О. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. Вип. 29 (1). С. 79-99. <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8855>.
10. Рибалова О., Артем'єв С., Бригада О., Ільїнський О., Мацак А. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. Вип. 60. С. 399-413. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-30>.
11. Trigub V., Domuschy S. Assessment of risk to health of the population from soil pollution by heavy metals: theoretical-methodological and ecological aspects. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. 31(1). P. 152–162. DOI <https://doi.org/10.15421/112215>.
12. Integrated Risk Information System (IRIS) /U.S. Environmental Protection Agency (EPA). URL: <http://www.epa.gov/iris>.
13. Yehorova O., Zhytska L., Bakharev V., Mislyuk O., Khomenko O. Assessing the deposition of heavy metals in edaphotopes and synantrophy vegetation under the conditions of technological pollution of the city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. V. 1. № 10 (127). P. 15-26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.297718>.
14. Tong, S.; Li, H.; Wang, L.; Tudi, M.; Yang, L. Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019—A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. V. 17. № 9. 3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>.
15. Ajeh EA, Modi FJ, Omeregbe IP. Health risk estimations and geospatial mapping of trace metals in soil samples around automobile mechanic workshops in Benin city, Nigeria. *Toxicol Rep.* 2022. 26; 9:575-587. doi: 10.1016/j.toxrep.2022.03.021.
16. Kormoker T., Proshad R., Islam S., Ahmed S., Chandra K., Uddin M., Rahman M. Toxic metals in agricultural soils near the industrial areas of Bangladesh: ecological and human health risk assessment. *Toxin Rev.* 2021. 40 (4). 1135–1154. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1650777>.
17. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans: Volumes 1–125. Bristol, UK: IOP Publishing PhysicsWeb; 2012.
18. Cirovic, A.; Satarug, S. Toxicity Tolerance in the Carcinogenesis of Environmental Cadmium. *Int. J. Mol. Sci.* 2024. 25. 1851. <https://doi.org/10.3390/ijms25031851>.
19. Mohamed Ali Hussein, Abishek Kamalakannan, Kamyab Valinezhad, Jhishnuraj Kannan, Nikhila Paleati, Rama Saad, André Kajdacsy-Balla, Gnanasekar Munirathinam. The dynamic face of cadmium-induced Carcinogenesis: Mechanisms, emerging trends, and future directions. *Current Research in Toxicology*. 2024. Volume 6. 100166. <https://doi.org/10.1016/j.crttox.2024.100166>.
20. Kubier A, Wilkin RT, Pichler T. Cadmium in soils and groundwater: A review. *Appl Geochem.* 2019. V. 108:1-16. doi: 10.1016/j.apgeochem.2019.104388. PMID: 32280158; PMCID: PMC7147761.

21. Корнелюк Н. М., Хоменко О. М., Мислюк О. О. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів м. Черкаси важкими металами. *Екологічна безпека*. 2019. № 2 (28). с. 44-51. DOI: 10.30929/2073-5057.2019.2.44-51
22. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. 136-149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
23. Mislyuk, O., Khomenko, E., Yehorova, O., Zhytska, L. Assessing risk caused by atmospheric air pollution from motor vehicles to the health of population in urbanized areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. V. 1. № 10 (121), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274174>