

УДК [504.5:546.6/.8]:[502.211:631](477.46-21)
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).47](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).47)

THE IMPACT OF TECHNOGENIC POLLUTION ON THE DEPOSITION OF HEAVY METALS IN THE EDAPHOTOPES OF THE URBAN ECOSYSTEM

ВПЛИВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ДЕПОНАЦІЮ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЕДАФОТОПАХ МІСЬКОЇ ЕКОСИСТЕМИ

Oksana V. Yehorova
ok.yehorova@chdtu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7801-5582
Olga O. Mislyuk
o.mysliuk@chdtu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0401-9836
Olena M. Khomenko
o.khomenko@chdtu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9329-0577

О. В. Єгорова,
канд. техн. наук, доцент
О. О. Мислюк,
канд. хім. наук, доцент
О. М. Хоменко,
канд. хім. наук, доцент

Cherkasy State Technological University, Cherkasy

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

Abstract. The study evaluates the impact of the urbanization process on the development conditions of urban edaphotopes and their role in the functioning of urban ecosystems. It has been determined that the geochemistry of soils in urban ecosystems significantly differs from natural landscapes, which is caused by the symbiosis of natural and anthropogenic factors. The content of mobile forms of heavy metals in the soils of 14 localities from different functional zones of the city has been investigated. Geochemical anomalies have been identified according to the sources of heavy metal emissions.

Objective of the study is to examine the impact of technogenic pollution on the deposition of heavy metals in the edaphotopes of urban ecosystems.

Research methods include physicochemical methods for analyzing the content of heavy metals in the elements of urban landscapes, as well as analytical-synthetic methods for ecological assessment of the state of urban landscapes in Cherkasy in terms of heavy metal pollution. Statistical methods were used to process pollution data of the components of the urban natural system (calculations of averages and relative values, graphical and correlation analysis). Soil chemical analysis was performed using certified methodologies.

Research results: The results showed that urbanization significantly affects the physicochemical properties of soils, leading to changes even in the most stable characteristics, such as acidity and humus content. It has been established that changes in soil acidity, particularly their alkalization, have a significant impact on the distribution of heavy metals, reducing their bioavailability and worsening conditions for plant growth, which affects the ecological state of urban green zones. It was found that the humus content in urban soils of Cherkasy varies from 0.56% to 3.01%, which is a low indicator. This reduces the soils' ability to adsorb heavy metals, which may have negative ecological consequences. The level of soil contamination with heavy metals varies depending on the functional zone of the city. The highest concentrations of heavy metals were found in the southern and central districts, which are associated with the location of industrial facilities and a high level of transport load.

Scientific novelty: Taking into account the physicochemical properties of soils, such as acidity, moisture, and organic humus content, is crucial for a more accurate study of the migration of heavy metals in urbanized areas. The study is not limited to the processes of adsorption and permeability of heavy metals in soil but also includes the study of mechanisms regulating soil balance and their resistance to degradation under conditions of intense anthropogenic impact. This approach allows not only for the assessment of short-term pollution consequences but also for the prediction of long-term ecological changes in urbanized areas. This is important for developing effective strategies for managing urban ecosystems, particularly regarding soil quality preservation and minimizing the negative ecological consequences of anthropogenic impact.

Practical significance: The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results to develop effective measures to minimize ecological risks caused by technogenic pollution. In particular, the results can

be used to create strategies for restoring contaminated areas and improving soil monitoring and control methods in urban agglomerations. Furthermore, the results of this research may be useful for local authorities and environmental services when developing policies for maintaining ecological safety in urban areas and reducing the negative impact of technogenic factors on the environment.

Key words: heavy metals; deposition; urban edaphotopes; ecological safety; monitoring.

Анотація. У дослідженні дана оцінка впливу процесу урбанізації на умови розвитку міських едафотопів та їх ролі у функціонуванні урбоєкосистем. Визначено, що геохімія ґрунтів урбоєкосистем суттєво відрізняється від природних ландшафтів, що зумовлено симбіозом природних та антропогенних факторів. Досліджено вміст рухомих форм важких металів у ґрунті 14 локалітетів різних функціональних зон міста. Відповідно до джерел емісії важких металів виявлено геохімічні аномалії.

Метою дослідження є вивчення впливу техногенного забруднення на депонацію важких металів у едафотопіях міських екосистем.

Методи дослідження – фізико-хімічні методи для аналізу вмісту важких металів в елементах урболандшафту; аналітико-синтетичні методи екологічної оцінки стану урболандшафту м. Черкаси щодо забруднення важкими металами. Методи математичної статистики були запроваджені для обробки даних показників забруднення складових НПС (розрахунки середніх та відносних величин, графічний та кореляційний аналіз). Хімічний аналіз ґрунтів проводився за атестованими методиками.

Результати дослідження. Результати дослідження показали, що урбанізація значно впливає на фізико-хімічні властивості ґрунтів, призводячи до змін навіть найбільш стійких характеристик, таких як кислотність та вміст гумусу. Встановлено, що зміни кислотності ґрунтів, зокрема їх залуження, мають суттєвий вплив на розподіл важких металів, знижуючи їх біодоступність і погіршуючи умови для росту рослин, що впливає на екологічний стан міських зелених зон. Виявлено, що вміст гумусу в урбоґрунтах Черкас коливається в межах від 0,56 до 3,01 %, що є низьким показником. Це знижує здатність ґрунтів до адсорбції важких металів, що може мати негативний екологічний вплив. Рівень забруднення ґрунтів важкими металами варіюється залежно від функціональної зони міста. Найвищі концентрації важких металів виявлено в південних та центральних районах, що пов'язано з розміщенням промислових об'єктів і високим рівнем транспортного навантаження.

Наукова новизна. Врахування фізико-хімічних властивостей ґрунтів, таких як кислотність, вологість та вміст органічного гумусу, є ключовим для більш точного дослідження міграції важких металів у урбанізованих територіях. Дослідження не обмежується лише процесами адсорбції та проникності важких металів у ґрунті, а й охоплює вивчення механізмів регуляції рівноваги ґрунтів та їх стійкості до деградації в умовах інтенсивного антропогенного впливу. Такий підхід дозволяє не тільки оцінювати короткострокові наслідки забруднення, але й прогнозувати довгострокові екологічні зміни в урбанізованих територіях. Це є важливим для розробки ефективних стратегій управління міськими екосистемами, зокрема щодо збереження якості ґрунтів і мінімізації негативних екологічних наслідків від антропогенного впливу.

Практична значимість. Практична значимість дослідження полягає в можливості використання отриманих результатів для розробки ефективних заходів щодо мінімізації екологічних ризиків, спричинених техногенним забрудненням. Зокрема, результати можуть бути використані для створення стратегій відновлення забруднених територій, а також для удосконалення методів моніторингу і контролю за станом ґрунтів у міських агломераціях. Крім того, результати цього дослідження можуть бути корисними для місцевих органів влади та екологічних служб при розробці політик щодо збереження екологічної безпеки міських територій та зменшення негативного впливу техногенних факторів на навколишнє середовище.

Ключові слова: важкі метали; депонація; міські едафотопи; екологічна безпека; моніторинг.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Інтенсивна індустріалізація міст та розвиток авто-транспортної інфраструктури призводить до забруднення навколишнього середовища різними хімічними речовинами. Ґрунтовий покрив міста займає особливе місце в забезпеченні екологічної безпеки території і його стан безпосередньо впливає на всі компоненти навколишнього середовища, оскільки саме в межах ґрунту поєднуються всі біогеохімічні процеси різних елементів екосистем.

Геохімія ґрунтів урбанізованих територій суттєво відрізняється від природних ландшафтів, що

зумовлено симбіозом природних та антропогенних факторів. Міські ґрунти – це не лише середовище існування рослин і мікроорганізмів, але і унікальний сорбент забруднюючих речовин, які містяться в екосистемі. Ґрунт здатний депонувати забруднюючі речовини, що надходять на його поверхню з атмосферними опадами, аерозольними викидами, побутовими та виробничими відходами.

Характерною особливістю забруднення ґрунтів великих міст є накопичення в них складної багатоконпонентної хімічної суміші, серед яких вагому частку займають важкі метали. В результаті,

в межах міста формується складна картина геохімічної диференціації хімічних елементів, для якої характерне чергування відносно чистих ділянок урбоземів за вмістом важких металів (на рівні або нижче фонового), та сильно забруднених, на яких концентрації токсикантів можуть перевищувати гранично допустимі норми у кілька разів. Тому, питання дослідження впливу техногенного забруднення на депонацію важких металів у едафотобах міських екосистем є актуальним, оскільки воно дозволяє виявити основні механізми забруднення ґрунтів, спрогнозувати можливі екологічні наслідки та розробити ефективні заходи для зменшення ризиків для здоров'я людей і навколишнього середовища.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Актуальною проблемою сьогодення є вивчення накопичення важких металів у ґрунтах та особливості їх міграції ланцюгами живлення, оскільки антропогенний вплив на ґрунтовий покрив призводить до деградації всього природного комплексу та порушення механізму самоочищення міських екосистем [1–3].

Важкі метали в ґрунті можуть бути присутні в різних формах, що відрізняються за розчинністю та рухомістю, зокрема: нерозчинні форми, які є складовою частиною ґрунтових мінералів; обмінні форми, що знаходяться в динамічній рівновазі з іонами відповідного металу в ґрунтовому розчині; а також розчинні, тобто рухомі форми. Між цими формами існує складний взаємозв'язок, що включає можливість їх трансформації однієї форми в іншу. Рухомі форми важких металів можуть накопичуватися в ґрунті до високих концентрацій, що спричиняє токсичний вплив як на ґрунтову біоту, так і на рослинний покрив [4–7].

Відповідно до досліджень, проведених авторами [5, 7–9], значне забруднення ґрунтів важкими металами спостерігається на територіях міських агломерацій, зокрема в районах, що піддаються інтенсивному автотранспортному руху та зоні розміщення промислових потужностей. Це спричиняє формування специфічної трансформованої урбопедосистеми, для якої характерні зміни агрохімічних властивостей, деградація та часткова втрата основних екологічних функцій ґрунтів, зокрема постачання поживних речовин та перетворення токсикантів у нешкідливі сполуки або їх депонація.

Слід зазначити, що більшість досліджень зосереджені виключно на вивченні адсорбції та проникності важких металів чи інших токсичних елементів у ґрунті. Однак, вони не розглядають власне фізико-хімічні властивості ґрунтів досліджуваних ділянок. Тому, дослідження спрямовані на вивчення стійкості ґрунту до деградації і ролі механізмів регуляції

рівноваги ґрунтів, є питанням актуальним та потребують вивчення.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених забрудненню ґрунтів важкими металами, ряд аспектів цієї проблеми залишаються недостатньо вивченими і потребують подальшого аналізу. Однією з таких частин є вивчення фізико-хімічних властивостей ґрунтів на досліджуваних територіях із підвищеним вмістом важких металів. Більшість існуючих робіт зосереджені на вивченні адсорбції важких металів у ґрунті та їх проникності, проте ці дослідження часто не враховують повний спектр фізико-хімічних характеристик ґрунтів, таких як їхня кислотність, вологість, органічний вміст гумусу тощо. Це обмежує можливості для більш точного прогнозування поведінки важких металів у ґрунтовому середовищі, особливо в умовах міських агломерацій, де існує значний вплив техногенних факторів.

Іншою невирішеною частиною є недостатнє розуміння механізмів регуляції рівноваги в ґрунтах, зокрема щодо їх стійкості до деградації. Сучасні дослідження мало зосереджені на вивченні того, як різні чинники, зокрема антропогенні, впливають на здатність ґрунтів до самоочищення і відновлення. Це важливо для прогнозування довгострокових екологічних наслідків забруднення і розробки ефективних заходів для відновлення забруднених територій.

Отже, для більш повного розуміння впливу техногенного забруднення на депонацію важких металів у ґрунтах необхідно зосередитись на детальному вивченні фізико-хімічних властивостей ґрунтів, механізмів самоочищення та регуляції рівноваги, а також на розвитку моделей міграції важких металів через ґрунтовий покрив. Ці аспекти потребують подальших досліджень і вивчення з огляду на їх важливість для розробки ефективних заходів щодо мінімізації екологічних ризиків і поліпшення стану міських екосистем.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є вивчення впливу техногенного забруднення на депонацію важких металів у едафотобах міських екосистем.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є едафотопи, а саме антропогенно змінені ґрунти міста Черкаси, які є складовою частиною екосистеми індустріально розвиненого міста. За екологічними особливостями та ступенем техногенного навантаження територія дослідження включає декілька локалітетів (рис. 1) (промислові, транспортні, рекреаційні зони). Фонова територія (рекреаційна зона) – вул. Набережна (Дачівський мікрорайон).



Рис. 1. Карта розташування дослідних ділянок

Предмет дослідження – вплив техногенного забруднення на вміст важких металів у ґрунтах міста Черкаси, зокрема в урбоземах, а також аналіз агрохімічних та екотоксикологічних показників цих ґрунтів залежно від ступеня антропогенного навантаження.

Методи дослідження. Відбір проб ґрунтів та їх подальше дослідження було виконано відповідно до діючих нормативних документів. Проби ґрунту були відібрані з дослідних ділянок відповідно до методичних рекомендацій та діючих стандартів: ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381-5:2009, ДСТУ ISO 10381-4:2005, ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019. Для досліджуваних зразків ґрунтів було визначено основні фізико-хімічні властивості. Вміст загального гумусу визначали методом Тюріна в модифікації ЦІНАО за ДСТУ 4289:2003. Вміст обмінних кальцію і магнію – за ДСТУ 7861:2015 у модифікації ННЦ ІГА імені Соколовського, показник рНвод. – за ДСТУ 8346:2015. Відібрані зразки аналізувались за вмістом рухомих форм важких металів методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на атомному спектрометрі (СМ-115М1-ПК). Вміст рухомих форм ВМ у ґрунті визначали згідно ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.3:2007, ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.9:2007. Санітарно-гігієнічну оцінку стану ґрунту проводили за сумарним показником забруднення – (Z_c), який є кумулятивною сумою вмісту елементів над їх фоновими рівнями та характеризує ефект впливу асоціації металів [10]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1). \quad (1)$$

Розрахунок показника накопичення забруднення (PLI – pollution load index), який демонструє, у скільки разів концентрація важких металів у ґрунті перевищує фонову проводили за формулою [10]:

$$PLI = \sqrt[n]{K_{C_1} \cdot K_{C_2} \cdot \dots \cdot K_{C_n}}, \quad (2)$$

де K_c – це співвідношення вмісту металу в зразку до фонового вмісту, n – кількість металів.

Значення $PLI > 1$ вказує, що поверхневі відклади забруднені, $PLI < 1$ свідчить про відсутність забруднення [11].

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Черкаси – обласний промисловий центр. Кількість населення становить 270 тис. осіб. Через місто проходять автомагістраль національного значення Н-16 та регіональна дорога Р-10. Загальна протяжність транспортної мережі по осі вулиць в межах міста складає 486,2 км. Транспортні розв'язки не відповідають наявним транспортним потокам, особливо в центрі міста, в районах «Митниця», Південно-Західний мікрорайон, площа 700-річчя.

Найбільш потужними стаціонарними забруднювачами атмосферного повітря є ВП «Черкаська ТЕЦ» і ПАТ «Азот» [12]. Викиди пересувних джерел знаходяться на рівні 50–75 % від загального обсягу викидів по місту, частка автотранспорту в них становить 90–95 %.

Ґрунтовий покрив міста формується тривалий час і тому міські ґрунти спадкують як певні характеристики зональних ґрунтів, так і відбивають інтенсивність і характер промислового розвитку міста. Тому, при дослідженні ґрунтів враховувалось, що ґрунтоутворюючий процес у містах відбувається під впливом сукупно діючих природних та техногенних факторів. Результати дослідження фізико-хімічних властивостей міських ґрунтів наведені в табл. 1.

Широкий діапазон представлених значень, ймовірно, обумовлений різним господарським використанням міських територій та різним ступенем забруднення місць відбору проб.

Відповідно до отриманих даних, рНвод верхнього шару ґрунтів (0–20 см) варіює в діапазоні від 6,25 до 8,00. Ґрунти промислової зони та придорожньої транспортної зони характеризуються слабколужною і лужною реакцією середовища (7,35–8,00), а в рекреаційній зоні значення рН знаходиться в межах 6,75–6,85.

Вмісту гумусу має незначний діапазон коливання значень: від 0,56 до 3,01 %, що пояснюється легким механічним складом цих ґрунтів (з переважанням крупного та середнього піску). Такий вміст гумусу класифікується як низький.

За результатом досліджених ґрунтів співвідношення концентрації обмінних катіонів кальцію і магнію не є оптимальним. Вважається, що обмінний ґрунтово-вбирний комплекс ідеального ґрунту повинен містити 65 % Ca і 10 % Mg. Ймовірно, порушення оптимального співвідношення обмінного кальцію і магнію обумовлено вимиванням цих іонів з ґрунтово-вбирного комплексу в процесах нейтралізації іонів Гідрогену в ґрунтового розчині. Також,

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості ґрунтів міста Черкаси

Номер ділянки	Підзони	pH	Вміст гумусу, %	Mg ²⁺ обмінний, ммоль на 100 г ґрунту	Ca ²⁺ обмінний, ммоль на 100 г ґрунту
1	промислова	7,50	2,30	4,50	9,02
2		7,65	2,00	2,80	6,40
11		7,40	1,53	1,80	6,80
12		7,75	0,82	1,40	6,60
4	придорожня	7,35	0,86	4,90	5,28
6		8,00	0,86	6,90	7,70
8		7,55	0,84	0,10	9,90
10		7,80	0,56	3,80	6,16
13		7,80	1,32	3,80	7,20
5	рекреаційна	6,85	1,54	2,40	6,60
3		6,75	2,40	3,00	6,60
7		6,80	1,27	4,70	5,06
9		6,70	1,61	2,60	5,94
14		6,25	3,01	7,20	5,94

це може бути пов'язано із використанням в зимовий період суміші для боротьби із ожеледицею, до складу якої входить магній хлорид і натрій хлорид. Іони Mg²⁺ є важливими для росту і розвитку рослин, як і іони Ca²⁺. В той же час висока концентрація Mg²⁺ може негативно впливати на водомісність ґрунтових агрегатів, обмежувати надходження Mn²⁺ для рослин, дефіцит якого, призводить до хлорозу і некрозу листків і стебел.

Рівень вмісту важких металів в урбаноземах є непрямим показником ступеня техногенного навантаження та потенційної небезпеки для здоров'я населення на конкретній території. Результати досліджень виявили наявність важких металів на усіх ділянках дослідження (табл. 2).

Порівняно з фоновою територією ґрунти міста характеризувалися підвищеними концентраціями важких металів. Концентрація рухомих форм Cu варіювала в діапазоні від 9 до 50 мг/кг при середньому

значенні 25,1 мг/кг, що у 9,3 разів вище фонового вмісту. Діапазон коливань концентрацій Zn у ґрунтах варіює в межах від 38,8 до 319,0 мг/кг, перевищуючи фоновий показник (6,8 мг/кг) у 5,5–47 разів. Схожа ситуація із показниками концентрацій Pb, при фоновому вмісті 5,2 мг/кг, спостерігаємо вміст на території міста в межах від 11,7 до 94,0 мг/кг, з перевищенням у 2,1–18 разів.

Високі концентрації важких металів у міських ґрунтах це результат їх довгострокового накопичення. Диференціація забруднюючих речовин в навколишньому середовищі та накопичення важких металів у поверхневих шарах міських ґрунтів зумовлені специфікою джерел викидів та їх складом.

Порівняння сумарних показників забруднення Z_c ґрунтів ділянок дослідження виявило наступне: максимальне значення показника характерне для ґрунтів поблизу промислових підприємств. Так, поблизу головного забруднювача міста (ділянка

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів концентрацій (K_c) і концентрації рухомих форм важких металів урбаноземів міста Черкаси

№	Cu		Zn		Pb		Cd		Z _c	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

№ 1) – теплової електростанції – $Z_c=83,1$, ділянка № 2 – ПрАТ «Азот» – $Z_c=61,8$ що відносить дані ґрунти до категорії «небезпечні». Схожа ситуація прослідковується і для ґрунтів придорожніх смуг (ділянки №4, 6, 10 та 13), де показник Z_c варіює в межах 34–54. Ґрунти інших ділянок, які в більшості відносять до рекреаційної зони, мають помірний рівень забруднення ($Z_c < 16$).

Дуже високий індексу антропогенного навантаження на ґрунт (показник $PLI = 10,59$ та $PLI = 10,22$ відповідно) було встановлено для дослідних ділянок № 1 та № 2, що підтверджує домінування процесів концентрації важких металів внаслідок аерогенного забруднення викидами промислових підприємств. Крім того, ґрунти придорожніх смуг з високою інтенсивністю руху (ділянки № 4, 6, 10 та 13) за рівнем антропогенного навантаження наближаються до ґрунтів промислового району міста ($6,0 \geq PLI \leq 8,8$). Ґрунти інших ділянок, які в більшості відносять до рекреаційної зони, характеризуються помірним рівнем антропогенного навантаження.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Основні показники фізико-хімічних властивостей ґрунтів належать до числа консервативних властивостей ґрунту. Однак, вплив урбанізації на ґрунти є настільки інтенсивним та тривалим, що відбуваються зміни і найбільш стійких властивостей, що підтверджується дослідження, проведеними для різних міст [13–15].

Одним з характерних напрямів трансформації урбоземів у сучасних умовах є зміна їх кислотності, що має важливу роль у формуванні екологічного стану ґрунтового середовища. Як відомо, рухливість і біодоступність важких металів зменшуються і зі збільшенням значення рН.

Актуальна кислотність ґрунтів на дослідних ділянках міста Черкаси коливається в межах від 6,25 до 8,00 при середньому значенні 7,40 (табл. 1). Переважно дослідженні ґрунти мають слабо лужне або лужне середовище. Залуження ґрунтів, імовірно, відбувається за рахунок карбонатних техногенних включень (бетон, цемент та інші суміші, які під дією вітрової чи водної ерозії руйнуються та потрапляють у навколишнє середовище). Також залуження може бути зумовлене застосуванням взимку піщано-сольових сумішей при ожеледичах та викидами підприємств і автотранспорту, які з опадами, з часом, потрапляють у ґрунт. Лужність ґрунтів порушує засвоєність елементів живлення рослинами і може призвести до погіршення стану зелених насаджень і не виконання ними своїх функцій [16]. Слід зазначити, що в зонах залуження ґрунту формується лужний геохімічний бар'єр, який сприяє поверхневому накопиченню хімічних елементів та уповільнює вертикальну та горизонтальну міграцію важких металів.

Найменше значення рН спостерігали у ґрунтах, відібраних в рекреаційній зоні досліджуваної ділянки № 14, яка розташована поблизу соснового лісу. Це пов'язано з тим, що продукти розпаду хвої сосни мають кислу реакцію.

Гумусність є важливим фактором стійкості ґрунтів до перманентних антропогенних впливів, сприяючи оструктуренню ґрунтів та оптимізації фізичних властивостей, підвищуючи їх поглинальну здатність і буферність, акумулюючи біофільні хімічні елементи.

Вміст гумусу в урбоґрунтах міста Черкаси (табл. 1) має незначний діапазон коливання значень: від 0,56 до 3,01 %, що пояснюється легким механічним складом цих ґрунтів (з переважанням крупного та середнього піску). Такий вміст гумусу класифікується як низький.

У просторовому розподілі вмісту органічної речовини виявляються певні закономірності. В районі східної і центральної частини міста, особливо районах багатоповерхової забудови, значення цього показника найменші. Це може бути зумовлено тим, що вони створені на наливних пісках, і на територіях, що найдовше функціонують під впливом урбогенних чинників (промислова зона та житлова зона багатоповерхової забудови). За низького вмісту органічної речовини зменшується адсорбція важких металів ґрунтом, що може становити небезпеку як для урбоєкосистеми, так і для населення міста.

Фізико-хімічні показники (механічний склад з переважанням піщаної фракції, низька гумусність, відсутність карбонат-іонів, здатних зв'язувати важкі метали у нерозчинні форми) надають підстави щодо прогнозу зниження виконання цими ґрунтами санітарної функції.

Незбалансованість поживних елементів у ґрунті, а також лужне середовище, може мати істотний вплив на розвиток зелених насаджень міста. З літературних даних відомо [17–20], що при зміні концентрації будь-якого елемента в урбоєкосистемі обов'язково змінюється концентрація всіх інших елементів, що позначається на функціональному стані всієї урбоєкосистеми.

Функціональні зони міста мають незначні відмінності рівня вмісту важких металів у ґрунтах (табл. 2). Це пов'язано із вкрапленнями локалітетів підприємств промисловості, паливно-енергетичного комплексу та машинобудівного комплексів на території міста. Тому розділити вплив промислових викидів від викидів енергетичних підприємств, малих паливних установок, приватного пічного опалення, автотранспорту важко через накладання ареалів їхнього впливу. Крім того, наявність річки Дніпро є фактором виникнення локальних конвекційних переміщень повітряних мас, що впливають на перерозподіл поллютантів.

Найбільше забруднення ґрунтів важкими металами характерне для ґрунтів промислової зони (табл. 2). Особливо наочно це демонструють показники концентрації Zn та Pb. Найбільш екологічно несприятлива ситуація щодо вмісту досліджуваних металів у ґрунтовому покриві сформувалась в межах південної частини міста. Тут розташовується санітарно-захисна зона «ДП Черкаська «ТЕС»», проходить транспортна магістраль (дослідна ділянка № 2 та № 3) та санітарно-захисна зона ВАТ «АЗОТ» (дослідна ділянка № 1)). В цій частині міста утворились цинко – свинцево – мідно – кадмієва геохімічні аномалії. Концентрації важких металів перевищили фонові показники у 1,5–15,6 разів (табл. 2).

Значний вміст важких металів у ґрунтовому покриві південної частини міста пов'язаний з впливом Черкаської ТЕС. Саме дане підприємство – основне джерело аеротехногенного надходження забруднюючих речовин. Крім того, збільшення ореолу розсіювання забруднюючих речовин відбувається за рахунок викидів пересувних джерел при несприятливому вітровому режимі.

У відповідності до інтервалу сумарного показника хімічного забруднення ($Z_c=13,4-15,9$), центральна частина міста характеризується як слабко забруднена. За вмістом важких металів концентрація перевищує фонові показники у 1,2–9,2 рази. Відповідно, прослідковується утворення цинко – мідно – свинцево – кадмієвої геохімічної аномалії. Спостерігається тенденція наближення до категорії середньозабруднених, що пов'язано з емісіями промислових об'єктів південного та східного промислових вузлів при несприятливому вітровому режимі, значному транспортному навантаженні і незадовільною пропускну здатністю транспортних розв'язок.

Ґрунтовий покрив північно-західної частини міста має перевищення фонових показників вмісту важких металів у 1,3–7,5 рази. На території модельної ділянки сформувались, цинко-свинцево-мідно-кадмієва та цинково-мідно-свинцево-кадмієва геохімічні аномалії. У відповідності до інтервалу сумарного

показника хімічного забруднення ($Z_c=13,6-15,3$) дана територія може бути віднесена до категорії – слабкозабруднених. У промисловій зоні накопичення цих елементів зумовлено їх наявністю у хімічному складі викидів підприємств різних галузей.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В комплексі антропогенних факторів, які негативно впливають на навколишнє середовище, особливо місце за значимістю та ступенем впливу на довкілля займає техногенне забруднення атмосфери. Серед антропогенних факторів зміни природного середовища й формування екологічної ситуації міста Черкаси, найбільший негативний вплив мають промислові підприємства, енергоустановки й автотransпорт, у викидах яких містяться, зокрема, й важкі метали.

За результатами проаналізованих даних щодо вмісту важких металів ґрунтовим покривом м. Черкаси найбільші показники коефіцієнтів концентрації, сумарних показників хімічного забруднення встановлено для модельних ділянок південної частини міста. Отримані дані свідчать про наслідки техногенної зміни хімічного складу ґрунтів та дозволяють зробити припущення про утворення зміненої біогеохімічної ґрунтової провінції з помірно небезпечним рівнем хімічного забруднення.

Для покращення якості ґрунтів у міських умовах необхідно впроваджувати комплексний підхід, що включає рекультивацію забруднених територій, внесення органічних добрив для збагачення ґрунтів, зменшення викидів хімічних речовин та підтримку екологізації виробництв. Важливо створювати більше зелених зон, парків та скверів, що сприятимуть відновленню ґрунтової структури, а також застосовувати методи мульчування та покриття ґрунтів для збереження вологи та покращення родючості. Регулярний моніторинг якості ґрунтів дозволяє своєчасно виявляти проблеми, а залучення громадськості через екологічні ініціативи підвищує свідомість та активність населення в охороні довкілля.

REFERENCES

- [1] Nadtochij, P. P., Myslyva, T. M., & Volvach, F. V. (2010). *Ekologija hruntu: monohrafiya* [Soil ecology: monograph]. Zhytomyr: Publishing House PP «Ruta». [in Ukrainian].
- [2] Myslyva, T. M., & Onoprienko, L. O. (2009). Vazhki metaly v urboedafotopakh i fitocenozaх na terytorii m. Zhytomyra [Heavy metals in urboedaphotopae and phytocenoses in the territory of Zhytomyr]. *Visnyk KHNAU – Bulletin KhNAU*, (1), 89–95. [in Ukrainian].
- [3] Ghryshko, V.M. (2012). *Vazhki metaly: nadkhodzhenja v grunty, translokacija u roslynakh ta ekologichna bezpeka* [Heavy metals: inputs to soils, translocation in plants and environmental safety]. Donecjk: Donbas. [in Ukrainian].
- [4] Kramarov, S. M., Krasnenko, S. V., & Fedorchenko, Yu. M. (2009). Detoksykatsiya vazhkykh metaliv u tekhnogennomu zabrudnenni hruntu [Detoxification of heavy metals in man-made soil pollution]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 166–170. [in Ukrainian].
- [5] Shepeliuk, M. O. (2019). The determination of heavy metals content in soils of different ecological zones of Lutsk city. *Taurian Scientific Herald*, (107), 317–321. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.41>
- [6] Chaika, O. G., Matskov, O. O., Stokalyuk, O. M., & Ruda, M. V. (2018). Doslidzhennya vmistu vazhkykh metaliv u hrunti na prylehlykh terytoriyakh avtozapravnykh stantsiy [Study of heavy metals content in the soil of adjacent territories

- of petrol stations]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny – Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 62–65. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40281013>
- [7] Snytyn's'kyj, V. V., & Smal', O. V. (2016). Vmist vazhkykh metaliv u hruntakh nasadzen' riznoho funktsional'noho znachennya zelyonoyi zony m. L'vova [The content of heavy metals in the soils of plantations of various functional significance in the green zone of Lviv]. *Peredhirne ta hir's'ke zemlerobstvo i tvarynnystvo – Foothill and mountain agriculture and stockbreeding*, (60), 131–138. [in Ukrainian].
 - [8] Herasymchuk, L. O., & Valerko, R. A. (2014). Osoblyvosti mihratsiyi i akumulatsiyi Cu, Pb, Zn i Cd u mezhakh ahroselytebnykh landshaftiv m. Zhytomyra [Migration and accumulation of Cu, Pb, Zn and Cd within the limits of Zhytomyr agropopulated landscapes]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetykykh kultur i tsukrovykh buryakiv – Scientific papers of the Institute of bioenergy crops and sugar beet*, (21), 25–33. [in Ukrainian].
 - [9] Kolesnyk, A., Kyshko, K., Kolesnyk, O., Hedzur, T., & Sikura, A. (2023). Osoblyvosti mihratsiyi vazhkykh metaliv v systemi hrunt→roslyna na prykladi Lotus corniculatus L. (Fabaceae) [Features of hard metal migration in the soil→plant system on the example of Lotus corniculatus L. (Fabaceae)]. *Naukovyy visnyk Uzhhorods'koho universytetu. Seriya Biologiya – Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, (54), 73–78. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/1998-6475.2023.54.73-78>
 - [10] Hololobova, O. (2011). Otsinka polieleme'ntnoho zabrudnennya hruntiv terytoriy riznoho rivnya antropohennoho navantazhennya [Assessment of soil contamination polyelement areas of different levels anthropogenic load]. *Liudyna ta dovkillya. Problemy neoekologii – Man and Environment. Issues of Neoecology*, № 1–2, 118–125. [in Ukrainian].
 - [11] Yakovyshyna, T. F. (2016). Indeks antropohennoho navantazhennya na hrunt urboecosystem vnaslidok zabrudnennya vazhkymy metalamy [Index of anthropogenic loading on the soil of urboecosystems as a result of pollution by heavy metals]. *Materialy mizhmar. nauk.-prakt. konf. "Forum hirnykiv – 2016", 5–8 zhovtnya 2016 r., Dnipro – Forum of miners-2016: materials of intern. sci. pract. Conf., October 5 – 8, 2016. Dnipro. 2*, 224–229 [in Ukrainian].
 - [12] Rehional'na dopovid' pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Cherkaskiy oblasti u 2022 rotsi (2023) [Regional report on the state of the environment of Cherkasy region in 2022 (2023)]. Retrieved from: <https://surl.li/kayqrj>
 - [13] Asabere, S. B., Zeppenfeld, T., Nketia, K. A. and Sauer, D. (2018). Urbanization Leads to Increases in pH, Carbonate, and Soil Organic Matter Stocks of Arable Soils of Kumasi, Ghana (West Africa). *Frontiers in Environmental Science*, 6, 119. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00119>
 - [14] Serrani, D., Ajmone-Marsan, F., Corti, G. (2022). Heavy metal load and effects on biochemical properties in urban soils of a medium-sized city, Ancona, Italy. *Environ Geochem Health* 44, 3425–3449. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01105-8>
 - [15] Zewd, I., Siban, M. (2021). The effects of alkalinity on physical and chemical properties of soil. *J. Plant Biol. Agric. Sci*, 3, 1–5.
 - [16] Myslyuk O. O., Korneliuk N. M. (2008). Ekologichni aspekty funktsionuvannya Cherkaskoyi TEЦ [Environmental aspects of the operation of Cherkasy Thermal Power Plant]. *Visnyk Kremenchnut's'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrograd's'koho – Transactions of Kremenchnut Mykhailo Ostrohradskiy National University*. 1(48). [in Ukrainian]. Rezhym dostupu: <http://visnikkrmn.kdu.edu.ua/statti/2008-1/111.pdf>
 - [17] Madzhd, S. M., Bovsunovs'kyi, Ye. O., Takhachyn's'ka, O. V. (2016). Naukovi metody kontrolyu yakosti hruntiv yak indykatora ekologichnoyi nebezpeky na tekhnohennem navantazhenykh terytoriyakh [Quality control of soils as indicators of environmental hazards of urban areas by scientific methods]. *Visnyk Kremenchnut's'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrograd's'koho – Transactions of Kremenchnut Mykhailo Ostrohradskiy National University*. (2 (1)), 115–121 [in Ukrainian]. Rezhym dostupu: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/23334>
 - [18] Bilyavskyy, Yu. A. (2012). Vmist svyntsyu ta kadmiya v likariskyykh roslynakh Zhytomyr's'koho Polissya [Lead and cadmium content in medicinal plants of Zhytomyr Polissya]. *Visnyk Zhytomyr's'koho natsional'noho ahroekologichnoho universytetu – Bulletin of Zhytomyr National Agroecological Universit.* (2 (1)), 44–55 [in Ukrainian].
 - [19] Horban' V. A. (2008). Spivvidnoshennya ekologichnykh funktsiy hruntiv ta yikh ekologichnykh vlastyvostey [Ecological soil characteristics and their correlations]. *Hruntознавство – Soil Science*. 9, № 1–2 (12). 124–127. [in Ukrainian].
 - [20] Linde, M., Bengtsson, H., & Öborn, I. (2001). Concentrations and Pools of Heavy Metals in Urban Soils in Stockholm, Sweden. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 1, 83–101. <https://doi.org/10.1023/A:1017599920280>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Надточій, П. П., Мислива, Т. М., & Вольвач, Ф. В. (2010). *Екологія ґрунту: монографія*. Житомир: Видавництво ПП «Рута».
- [2] Мислива, Т. М., & Онопрієнко, Л. О. (2009). Важкі метали в урбоєдафотоплах і фітоценозах на території м. Житомира. *Вісник ХНАУ*, (1), 89–95.
- [3] Гришко, В. М., Сишиков, Д. В., Піскова, О. М., Данильчук, О. В., & Машталер, Н. В. (2012). *Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека*. Донецьк: Донбас, 304.
- [4] Крамаров, С. М., Красненко, С. В., & Федорченко, Ю. М. (2009). Детоксикація важких металів у техногенному забрудненні ґрунту. *Агроєкологічний журнал*.
- [5] Shepeliuk, M. O. (2019). The determination of heavy metals content in soils of different ecological zones of Lutsk city. *Taurian Scientific Herald*, (107), 317–321. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.41>
- [6] Chaika, O. G., Matskov, O. O., Stokalyuk, O. M., & Ruda, M. V. (2018). Дослідження вмісту важких металів у ґрунті на прилеглих територіях автозаправних станцій. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 62–65. <https://doi.org/10.15421/40281013>

- [7] Снітинський, В. В., & Смаль, О. В. (2016). Вміст важких металів у ґрунтах насаджень різного функціонального значення зеленої зони м. Львова. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, (60), 131–138.
- [8] Герасимчук, Л. О., & Валерко, Р. А. (2014). Особливості міграції і акумуляції Cu, Pb, Zn і Cd у межах агроселітебних ландшафтів м. Житомира. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, (21), 25–33.
- [9] Колесник, А., Кишко, К., Колесник, О., Гедзур, Т., & Сікура, А. (2023). Особливості міграції важких металів в системі ґрунт→ рослина на прикладі *Lotus corniculatus* L.(Fabaceae). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*, (54), 73–78. <https://doi.org/10.32782/1998-6475.2023.54.73-78>
- [10] Гололобова, О. (2011). Оцінка поліелементного забруднення ґрунтів територій різного рівня антропогенного навантаження. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. № 1–2. Режим доступу: <http://luddovk.univer.kharkov.ua/sites/default/files/Papers/Gololob.pdf>
- [11] Яковичина, Т. Ф. (2016). Індекс антропогенного навантаження на ґрунт урбоєкосистем внаслідок забруднення важкими металами. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Форум гірників – 2016»*, 5–8 жовтня 2016 р., Дніпро, 2, 224–229. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/149875/1/224-229.pdf>
- [12] Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2022 році (2023). Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної державної адміністрації, 227. Режим доступу: <https://surl.li/kayqrj>
- [13] Asabere, S. B., Zeppenfeld, T., Nketia, K. A. and Sauer, D. (2018). Urbanization Leads to Increases in pH, Carbonate, and Soil Organic Matter Stocks of Arable Soils of Kumasi, Ghana (West Africa). *Frontiers in Environmental Science*, 6, 119. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00119>
- [14] Serrani, D., Ajmone-Marsan, F., Corti, G. (2022). Heavy metal load and effects on biochemical properties in urban soils of a medium-sized city, Ancona, Italy. *Environ Geochem Health* 44, 3425–3449 <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01105-8>
- [15] Zewd, I., Sibani, M. (2021). The effects of alkalinity on physical and chemical properties of soil. *J. Plant Biol. Agric. Sci*, 3, 1–5. Режим доступу: <https://www.pulsus.com/scholarly-articles/the-effects-of-alkalinity-on-physical-and-chemical-properties-of-soil-9338.html>
- [16] Мислюк О.О., Корнелюк Н. М. (2008). Екологічні аспекти функціонування Черкаської ТЕЦ. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 1(48). Режим доступу: <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2008-1/111.pdf>
- [17] Маджд, С. М., Бовсуновський, Є. О., Тагачинська, О. В. (2016). Наукові методи контролю якості ґрунтів як індикатора екологічної небезпеки на техногенно навантажених територіях. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, (2 (1)), 115–121. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/23334>
- [18] Білявський, Ю. А. (2012). Вміст свинцю та кадмію в лікарських рослинах Житомирського Полісся. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*, (2 (1)), 44–55. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2012_2%281%29_8
- [19] Горбань В. А. (2008). Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей. *Ґрунтознавство*. 9, № 1–2 (12). 124–127.
- [20] Linde, M., Bengtsson, H., & Öborn, I. (2001). Concentrations and Pools of Heavy Metals in Urban Soils in Stockholm, Sweden. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 1, 83–101. <https://doi.org/10.1023/A:1017599920280>

© Єгорова О. В., Мислюк О. О., Хоменко О. М.
Дата надходження статті до редакції: 02.05.2025
Дата затвердження статті до друку: 15.05.2025