

УДК 550.42:(546.95:631.4):662.2/.3](477.41/.52)
[https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.2\(47\).344751](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.2(47).344751)

І. В. Кураєва¹, д-р геол. наук, професор, зав. відділу

ki4412674@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

Т. О. Кошлякова¹, д-р геол. наук, ст. дослідник, ст. наук. співробітник

tatianakoshliakova@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

О. В. Дерюгіна¹, провідний інженер

derugina.eln@gmail.com;

<https://orcid.org/0009-0004-0220-635X>

О. Т. Азімов², д-р геол. наук, ст. наук. співробітник, гол. наук. співробітник

azimov@casre.kiev.ua;

<https://orcid.org/0000-0002-5210-3920>

Л. В. Лемеш¹, провідний інженер

ludmila25lem@gmail.com;

<https://orcid.org/0009-0003-4847-6139>

І. А. Швайка¹, канд. геол. наук, наук. співробітник

shvaika@nas.gov.ua;

<https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03142, Україна

² Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», вул. Олеса Гончара, 55б, м. Київ, 01054, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ В РЕЗУЛЬТАТІ БОЙОВИХ ДІЙ

Проведення бойових дій на території України тісно пов'язано із забрудненням ґрунтів важкими металами, які здебільшого присутні в різних компонентах боєприпасів. Авторами були досліджені ґрунти зони бойових дій: м. Буча (Київська обл.) та м. Охтирка (Сумська обл.). Зафіксовано найбільші відхилення середнього валового вмісту від регіонального фону у дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах м. Буча за міддю, свинцем, цинком та ванадієм. Для чорноземів типових м. Охтирка перевищення фонових показників характерне за всіма дослідженими металами окрім хрому. Найбільші відхилення зафіксовано за цинком (більш ніж у 4 рази), міддю та свинцем (більш ніж у 2 рази), та ванадієм – приблизно вдвічі. Встановлено, що середній валовий вміст важких металів у ґрунтах досліджуваних територій перевищує природний геохімічний фон. Середні значення концентрацій рухомих форм за всіма елементами у зразках ґрунту м. Буча та м. Охтирка нижче рівня ГДК. Отримані результати важливі для оцінки екологічного стану й прогнозування наслідків військової діяльності.

Ключові слова: бойові дії, ґрунти, валовий вміст, важкі метали, рухомі форми мікроелементів.

ВСТУП

Військова діяльність спричиняє широкомасштабну та довготривалу деградацію навколишнього середовища. Вплив військової діяльності на ґрунти є особливо критичним, його основними наслідками цього впливу є фізична, хімічна та біологічна деградація ґрунтів, у яких акумулюються забруднюючі речовини, зокрема важкі метали (ВМ).

Дослідження продемонстрували (Сплодитель та ін., 2023), що на територіях, у межах яких велись чи ведуться воєнні дії, ґрунтовий покрив зазнає істотного впливу, тобто в ньому відбувається первинне накопичення забруднювачів із подальшим перерозподілом їх у товщі ґрунту та перехід токсикантів в інші компоненти довкілля – поверхневі й підземні води, рослинність. Тобто загалом відбувається рух по трофічному ланцюгу ґрунт–вода–рослина–людина. Прогнозування міграції забруднювачів у такій системі як ґрунт є складним через необхідність врахування багатьох змінних у часі й просторі фізичних і хімічних параметрів ґрунту й умов навколишнього середовища, а також форми знаходження забруднюючих речовин. Рухливість забруднюючих речовин у ґрунтовому середовищі залежить від фізико-хімічних показників ґрунтів (гранулометричного та мінералогічного складу ґрунту, вмісту гумусу, ємності катіонного обміну, окисно-відновних та кислотно-лужних умов). Внаслідок таких змін різко скорочуються популяції більшості біологічних видів, а зі зміною структури та функцій ландшафтів відновлення колишнього біорізноманіття значно ускладнюється.

У статті Я. П. Дідуха дано попередні оцінки негативних наслідків воєнних дій на екосистему, які можуть проявлятися упродовж тривалого часу (Дідух, 2022). Це пояснюється тим, що під час війни застосовується широкий арсенал озброєнь, військової техніки та боєприпасів, що спричиняє значне забруднення та руйнування всіх компонентів довкілля. У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність проведення комплексної оцінки ступеня забрудненості ґрунтів на території України з метою вивчення закономірностей розподілу мікроелементів у ґрунтовому профілі, визначення валового вмісту та їх рухомих форм. Вирішення поставлених питань стане основою для організації та проведення моніторингу ґрунтів, розробки заходів щодо технологічного забезпечення: рекультивації, інвентаризації, меліорації, консервації земель, а також для активізації міжнародної співпраці та підтримки післявоєнного відновлення ґрунтового покриття України, деградованого унаслідок збройної агресії рф.

Метою нашої статті є встановлення закономірностей розподілу ВМ в основних типах ґрунтів (дерново-середньопідзолистих оглеєних та чорноземах типових) в місцях де проходили бойові дії, на прикладі м. Буча Київської області та м. Охтирка Сумської області.

Важливий внесок в еколого-геохімічні дослідження ґрунтів та інших компонентів довкілля внесли праці українських вчених: Г. М. Бондаренка (Бондаренко, 2004), О. Т. Азімова, І. В. Кураєвої (Азімов та ін., 2019; Azimov et al. 2020;

Кураєва та ін., 2023). Оцінка вмісту ВМ у ґрунтах та інших компонентах навколишнього середовища в зонах техногенного впливу, дослідження форм знаходження ВМ та закономірностей їх розподілу викладені в монографії Е. Я. Жовинського та І. В. Кураєвої (Жовинський, Кураєва, 2012). Аналізом наслідків воєнного впливу на екосистеми, дослідженням екологічного стану ландшафтів та оцінкою цього впливу на ґрунти займаються А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокіна та ін. (Сплодитель та ін., 2023; Разанов та ін., 2025). Вже відомо, що через вибухи, горіння та детонації, викликані розривом боєприпасів та проведенням бойових стрільб, у ґрунти потрапляють різні забрудники (Корогод та ін., 2023; Симонов, 2023; Angurets et al., 2023; Solokha et al., 2023). Ґрунтуючись на попередніх дослідженнях, щодо руйнівного впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив, ми зосередити свою увагу на дослідженні двох територій Київської та Сумської областей: м. Буча та м. Охтирка, які були зоною активних бойових дій весною 2022 р. (Балюк, 2023).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відбір проб ґрунту здійснено за період 2023–2024 рр. Місця відбору проб вибирали так, щоб врахувати різні рівні потенційного забруднення важкими металами. Для визначення фонових концентрацій додаткові проби були відібрані поза зоною воєнного впливу. Окрім того, були використані дані природного геохімічного фону на досліджуваних територіях, наведені в роботі (Жовинський, Кураєва, 2012).

Проби відбирали з верхнього гумусового горизонту відповідно до ДСТУ 4287:2004. У районі м. Буча зразки ґрунту було відібрано в межах 10 площадок, що ланцюжком лягають на профіль північно-східної орієнтації; у середмісті Охтирки – у межах 10 розосереджених площадок (рис. 1).

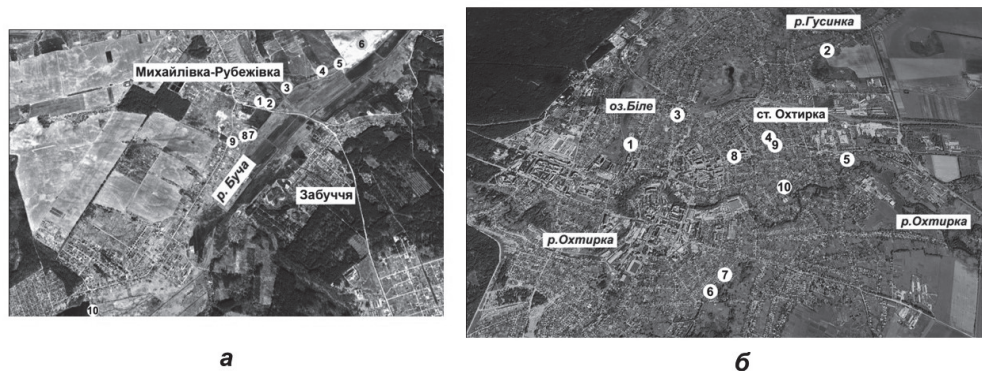


Рис. 1. Розташування площадок відбору зразків ґрунту в межах: **а** – району м. Буча; **б** – середмістя Охтирки. Як підкладку використано космічні знімки, отримані із супутника WorldView-2: **а** – 21.03.2022 р. по району м. Буча; **б** – 10.09.2021 р. по території м. Охтирка.

Підготовка зразків ґрунту для аналізу проводилась спеціалістами хімічної лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семениченка НАН України (ІГМР НАН України) та включала в себе: висушування ґрунту при кімнатній температурі до повітряно сухого стану, відділення механічних включень органічного рослинного походження (коріння, трава тощо), подрібнення в агатовій ступці для досягнення однорідності зразків перед екстракцією.

Для визначення валового вмісту ВМ використовували метод атомно-емісійного спектрального аналізу за допомогою аналітичного комплексу «АК PGS – DDP – BAES», що дозволяє визначати мікроелементний склад безпосередньо в твердофазних дисперсних пробах (порошках). Зразок ґрунту, попередньо подрібнений до стану пудри за допомогою спеціального пристрою, вводиться в аргонову плазму. Багатоканальний аналізатор атомно-емісійних спектрів оцінює масові частки хімічних елементів. Кількісна оцінка масової частки хімічного елемента базується на емпіричній залежності між інтенсивністю світлового випромінювання спектральної лінії та масовою часткою елемента. Аналітична залежність між інтенсивністю та масовою часткою хімічного елемента оцінюється за допомогою градувального графіка.

Для визначення рухомих форм ВМ і оцінки їх біологічної доступності, використовували ацетатно-амонійний буфер з рН 4.8 (ААБ). Це неселективний екстрагент, що дозволяє виділяти форми ВМ, які можуть бути поглинуті рослинами. Для визначення резервної рухомої форми користувалися розчином 1М азотної кислоти (1М HNO_3). Екстракти (витяжки) готували, виходячи із співвідношення ґрунт/екстрагент як 1:10. Наважку повітряно-сухої проби ґрунту поміщали в колбу з відповідним екстрагентом і струшували на електричному шейкері впродовж однієї години, потім розчин фільтрували крізь паперовий фільтр «синя стрічка». Вміст важких металів в екстракті визначали методом маспектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) на аналізаторі *Element 2* (Німеччина) в ІГМР НАН України. Важкі метали переводили в розчин шляхом екстракції без повного розкладу зразка. Отриманий розчин у вигляді аерозолі вводили в аргонову плазму для іонізації проби. Іони проходять через інтерфейс і мас-аналізатор, де розділяються в залежності від відношення їх маси до заряду. Далі вимірювали інтенсивність кожного іонного пучка, яка пропорційнальна концентрації елемента в зразку.

Перевага цього методу полягає у швидкому та одночасному визначенні великого набору хімічних елементів у широкому діапазоні концентрацій. Безпосередньо перед визначенням розчини додатково очищували, використовуючи мембранні фільтри.

Характеристика території дослідження. Природні умови території м. Буча. Територія міста та прилеглих до неї ділянок розташована в межах Київського Полісся і являє собою полого хвилясту рівнину, зі слабим ухилом на схід, у сторону р. Ірпінь. Населений пункт розташований на гіпсометрично під-

вищеній території, що є вододілом між басейнами річок Буча та Рокач (рис. 1а). У геоструктурному відношенні вона належить до перехідної зони сполучення двох регіональних геологічних структур: Українського щита (північно-східний схил) і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) (північно-західна частина південного борту). Зверху вона покрита суцільним шаром четвертинних піщано-глинистих відкладів (пісків, суглинків, супісків, глин). Найбільш поширені дерново-слабо- та дерново-середньопідзолисті оглеєні ґрунти різного механічного складу (піщані, супіщані, глинисто-піщані); наявні також дерново-середньопідзолисті глейові на супіщаних та піщаних відкладах та торфові низинні ґрунти (Маслова та ін., 2021).

До початку воєнних дій найбільше антропогенне навантаження на ґрунти на дослідній території відбувалося через забруднення повітря, що зумовлене викидами від автотранспорту, який є одним із джерел вторинного забруднення ґрунтів, зокрема, хімічного. Проте до 2022 р. це забруднення характеризувалося помірним ступенем порівняно з інтенсивно урбанізованими територіями України.

Природні умови території м. Охтирка. Місто Охтирка належить до адміністративного центру Охтирського району Сумської області, місто героїв (з 2022 р.). Місто розташоване на південному сході Сумської області, що на північному сході України. У геотектонічному плані територія приурочена до Північного борту ДДЗ. Лежить у рівнинній місцевості на берегах невеликої р. Охтирка. Характер рельєфу місцевості визначається плоскими, ледь хвилястими межиріччями та блюдцеподібними неглибокими западинами. Через високий рівень ґрунтових вод у більшості цих западин утворилися озера та болота (рис. 1б).

Територія міста належить до лісостепової зони Лівобережно-Дніпровської провінції Південно-Полтавської області, лесової рівнини із чорноземами типовими середньогумусними важкого механічного складу. Корінні породи – палеогенові мергелі, алевроліти, пісковики (Зузук, Веклич, 1995). Джерелом антропогенного забруднення міста до початку воєнних дій були підприємства нафтогазової галузі, легкої та харчової промисловості, місцева ТЕЦ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Об'єктами наших досліджень були найпоширеніші типи ґрунтів досліджуваних територій, які потрапили під ракетний обстріл, розрив боєприпасів, горіння та детонації, згарища залишків воєнної техніки: у районі м. Буча – це дерново-середньопідзолисті оглеєні ґрунти; у межах м. Охтирка – чорноземи типові. Типи ґрунтів визначено згідно класифікації ґрунтів Інституту ім. Соколовського (Балюк, 2023). Аналіз наслідків воєнного впливу на ґрунти відповідних територій, проведений авторами, обмежувався такими складовими як: встановлення їх фізико-хімічних характеристик, визначення валового вмісту ВМ та їх рухомих форм.

Ґрунти – це складна природна колоїдно-дисперсна система, для якої характерні іонообмінні властивості, що є основною причиною акумуляції різних мікроелементів. Для міських, забруднених ґрунтів важливим аспектом є вивчення їх фізико-хімічних характеристик, які наведені нижче у табличному вигляді в порівнянні із ґрунтами фонових ділянок (табл. 1).

Для дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтів характерний невисокий показник сорбційної ємності (2–20 мг-екв/100г ґрунту) (Самчук та ін., 2006). Для ґрунтів м. Буча, сума обмінних катіонів фонових ділянок становить близько 7 мг-екв/100г ґрунту та зменшується до 5,5 мг-екв/100г ґрунту для забруднених ділянок. Значення рН розчину водних витяжок близьке до нейтрального як для фонових, так і забруднених ділянок.

Таблиця 1

Середні фізико-хімічні показники ґрунтів на досліджуваних територіях

Ґрунт	C _{орг.} , %	рН водн.	Обмінні катіони, мг-екв/100 г ґрунту			
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
м. Буча (Київська обл.)						
Дерново-середньопідзолистий оглешений фонових ділянок; n=25	1,34	6,3	5,0	1,84	0,10	0,04
Дерново-середньопідзолистий оглешений забруднених ділянок; n=23	1,17	6,1	4,2	1,09	0,08	0,15
м. Охтирка (Сумська обл.)						
Чорнозем типовий фонових ділянок; n=28	4,25	7,5	20,8	5,2	0,38	0,43
Чорнозем типовий забруднених ділянок; n=25	3,81	7,3	16,5	4,22	0,25	0,39

Примітка: n – кількість відібраних зразків.

Для чорноземів типових м. Охтирка спостерігається зменшення показника сорбційної ємності катіонного обміну забруднених територій (21,41 мг-екв/100г ґрунту) по відношенню до фонових (26,821 мг-екв/100г ґрунту), в складі обмінних катіонів переважає кальцій. Значення показника рН водних витяжок – нейтральне (табл. 1). У ґрунтах досліджуваних територій зони проведення воєнних дій, зменшується вміст органічної речовини та рН поверхневого шару ґрунту. Також, зменшується вміст обмінних катіонів: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺ в порівнянні з фоновими ділянками.

Оцінку екологічного стану ґрунтів можна отримати, порівнюючи ступінь забруднення їх по відношенню до місцевого фонового ґрунту, як за валовим вмістом ВМ, так і вмістом їх рухомих форм та ГДК. Зокрема, у ґрунтового покриві досліджуваних ґрунтів на глибині 0–10 см, спостерігається підвищений

вміст важких металів, імовірно зумовлений результатами проведення бойових дій. Авторами були визначені показники валового вмісту ВМ у зразках ґрунту (табл. 2).

Таблиця 2

Середні показники валового вмісту важких металів у гумусовому горизонті умовно чистих та забруднених ґрунтів, мг/кг

Ґрунт	Ni	Cr	Zn	Co	Cu	V	Pb
<i>м. Буча (Київська обл.)</i>							
Дерново-середньопідзолистий оглеєний, n – 23	$\frac{19}{16}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{53}{38}$	$\frac{17}{10}$	$\frac{33}{14}$	$\frac{31}{18}$	$\frac{22}{8}$
<i>м. Охтирка (Сумська обл.)</i>							
Чорнозем типовий, n – 25	$\frac{24}{18}$	$\frac{29}{44}$	$\frac{110}{26}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{38}{20}$	$\frac{45}{22}$
ГДК (Дмитрієв, 1989)	80	—	100		55	150	32

Примітка: Чисельник – валовий вміст ВМ забруднених ґрунтів, мг/кг; знаменник – валовий вміст ВМ в умовно чистих ґрунтах, мг/кг; n – кількість відібраних зразків; «-» – ГДК не встановлено або дані не наведені.

Як показали проведені дослідження, валовий вміст **свинцю** у дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах забруднених в результаті бойових дій м. Буча в середньому становить 22 мг/кг ґрунту, що в 2,5 рази вище регіонального фону та 45 мг/кг у чорноземі типовому м. Охтирка, що перевищує ГДК в 1,5 рази, а фонові показники вдвічі. Середній вміст **міді** в досліджуваних ґрунтах становить 33 мг/кг (м. Буча), що у 2,5 рази перевищує значення фону та 73 мг/кг (м. Охтирка), що перевищує фон у 2,3 рази та вище за ГДК у 1,3 рази.

У зразках забрудненого ґрунту, відібраних на території м. Буча, зафіксовано також підвищений валовий вміст **хрому**. Концентрація хрому становить 15 мг/кг в порівнянні із фоном – 10 мг/кг. Концентрація хрому в ґрунтах м. Охтирка не перевищує фоновий рівень. Що стосується **нікелю**, його середній вміст у дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах м. Буча становить 19 мг/кг, що не перевищує ГДК валових форм. Валовий вміст **нікелю** для чорноземів типових м. Охтирка становить 24 мг/кг, що в порівнянні із фоновим значенням вище у 1,5 рази, але не перевищує ГДК валових форм.

Валовий вміст **цинку** в досліджуваних зразках ґрунту м. Буча, в середньому, становить 53 мг/кг, що перевищує фонові показники майже в 1,5 рази (38 мг/кг). Висока концентрацією **цинку** виявлена у чорноземі типовому м. Охтирка – 110 мг/кг, що вище за фон більш ніж у 4 рази. Перевищення місцевого фону в досліджуваних ґрунтах зафіксовано за **ванадієм**, його вміст сягає 38 мг/кг для чорноземів типових м. Охтирка та 31 мг/кг для дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтів м. Буча, що перевищує фон більш ніж у 1,5 рази.

Середній вміст **кобальту** в дерново-середньопідзолистому оглеєному ґрунті м. Буча становить 17 мг/кг, що незначно перевищує регіональне фонове зна-

чення (10 мг/кг). У середмісті Охтирки значення середнього валового вмісту кобальту для чорноземів типових (30 мг/кг), що менш ніж у 1,5 рази перевищує фон та нижче рівня ГДК.

При забрудненні ґрунтів ВМ зазнає змін не тільки їх валовий вміст, а і значення концентрації рухомих форм, що визначає ступінь рухомості й біологічної доступності ВМ. Дослідження їх вмісту дає можливість оцінити здатність різних хімічних елементів та їх сполук переходити із твердої фази ґрунту у ґрунтовий розчин, засвоюватись рослинами і потрапляти в організм людей і тварин. Для визначення рухомих форм ВМ використовували ацетатно-амонійний буферний розчин з рН 4,8. Отримані результати концентрацій рухомих форм важких металів в порівнянні з ГДК наведено в результуючій табл. 3.

Таблиця 3

**Вміст рухомих форм важких металів
у досліджуваних ґрунтах, мг/кг (АББ)**

Хімічний елемент	м. Буча Київська обл.	м. Охтирка Сумська обл.	ГДК рухомих форм у ґрунтах (за Постановою Кабміну України від 15.12.2021 р., № 1325)
	$\frac{Med}{Min - Max}$	$\frac{Med}{Min - Max}$	
Ni	$\frac{0,18}{0,07 \div 0,38}$	$\frac{0,47}{0,27 \div 0,81}$	4
Cr	$\frac{0,006}{0,01 \div 0,02}$	$\frac{0,13}{0,05 \div 0,25}$	6
Zn	$\frac{3,64}{1,09 \div 10,61}$	$\frac{19,7}{0,82 \div 40,98}$	23
Co	$\frac{0,04}{0,03 \div 0,07}$	$\frac{0,069}{0,02 \div 0,14}$	5
Cu	$\frac{0,12}{0,04 \div 0,27}$	$\frac{0,79}{0,13 \div 4,48}$	3
V	$\frac{0,04}{0,02 \div 0,08}$	$\frac{0,20}{0,13 \div 0,32}$	—
Pb	$\frac{0,3}{0,15 \div 0,48}$	$\frac{3,27}{0,49 \div 8,32}$	6

Примітка: Med – середнє значення хімічного елементу; Min – мінімальне значення хімічного елементу; Max – максимальне; «—» – ГДК не встановлено або дані не наведені.

Дослідження показали, що середні значення концентрацій рухомих форм за всіма елементами у проаналізованих зразках ґрунту м. Буча та м. Охтирка нижче рівня ГДК. Проте слід відзначити, що просторовий розподіл рухомих форм міді, цинку і свинцю на території м. Охтирка нерівномірний. Спостерігається перевищення ГДК цинку і свинцю в точках відбору на площадках 3, 8, 9, 10 міді – на площадці 10. Сvineць, мідь і цинк входять до переліку забруднюючих

речовин, що виникають в результаті воєнно-техногенного навантаження від різних видів озброєння і військової техніки на ґрунтовий покрив. Це ствольна артилерія, міномети, стрілецька зброя, ручні гранати (Сплодитель та ін., 2023). Можна допустити, що саме ці ділянки зазнали найбільшого воєнно-техногенного навантаження під час бойових дій.

Окрім ацетатно-амонійного буферного розчину з рН 4.8, авторами був використаний більш «жорсткий» розчинник – 1М розчин азотної кислоти, який є неселективним екстрагентом комбінованої дії. Він реагує з ґрунтом і, крім важких металів, що засвоюються рослинами, переводить і утримує в розчині метали, які входять до складу різних фракцій ґрунту, так звану резервну форму (табл. 4). Це дозволяє прогнозувати можливість потенційного переходу металів в ґрунтовий розчин і оцінити екологічний стан довкілля.

Значення рухомості резервних форм цинку, міді, свинцю, ванадію та нікелю в різних точках відбору проб м. Буча коливається у значних межах, рухомість хрому та кобальту досить однорідна. Для чорноземів типових м. Охтирки розподіл вмісту резервних форм ВМ неоднорідний. Високий вміст ванадію (13,6 мг/кг), кобальту (4,4 мг/кг), нікелю (3,9 мг/кг) – спостерігається в точках відбору на площадці 5; міді – на площадці 5 і 9 (18,9 та 20,7 мг/кг); свинцю (22,1 і 29,7 мг/кг), (64,6 і 83,1 мг/кг) – на площадці 8 і 10 відповідно.

Таблиця 4

Вміст резервних рухомих форм важких металів у досліджуваних ґрунтах, мг/кг (1М HNO₃)

Хімічний елемент	Med Min – Max	
	м. Буча Київська обл.	м. Охтирка Сумська обл.
Ni	1,75 0,1 ÷ 5,0	4,20 1,9 ÷ 10,0
Cr	0,47 0,2 ÷ 1,0	1,77 0,85 ÷ 2,96
Zn	5,33 0,7 ÷ 12,7	42,6 15,5 ÷ 83,1
Co	0,78 0,1 ÷ 1,5	1,83 0,88 ÷ 4,4
Cu	2,53 0,2 ÷ 5,7	10,29 3,38 ÷ 20,72
V	2,28 0,6 ÷ 6,1	4,96 2,46 ÷ 13,6
Pb	3,55 0,6 ÷ 6,3	13,10 3,19 ÷ 29,68

Примітка: Med – середнє значення хімічного елемента; Min – мінімальне значення хімічного елемента; Max – максимальне.

Використовуючи отримані значення іонообмінної і резервної форм і валовий вміст ВМ у дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах м. Буча і чорноземах типових м. Охтирка було розраховано розподіл ВМ по формах знаходження, представлений на рис. 2.

Розподіл ВМ за формами знаходження у ґрунтах представлено на рис. 2. Частка іонообмінних форм ВМ у ґрунтах м. Буча зменшується в ряду (%): Zn (12,0) > Pb (1,36) > Ni (1,0) > Cu (0,4). Частка резервних форм ВМ у ґрунтах дослідженої території зменшується в ряду (%): Zn (17,0) > Pb (16,1) > Ni (9,2) > Cu (8,0).

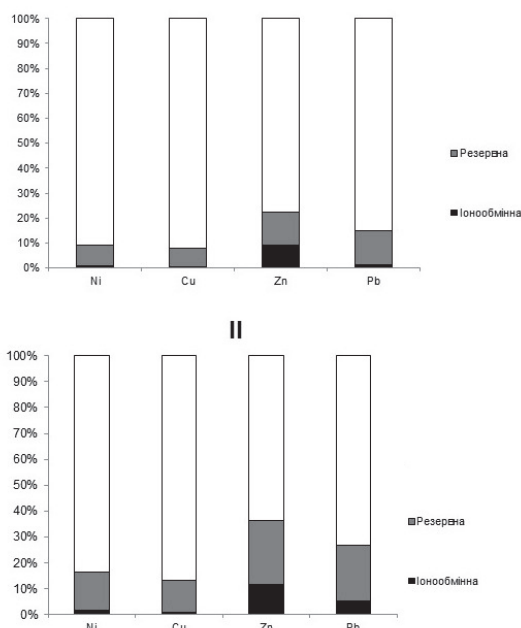


Рис. 2. Форми знаходження ВМ у ґрунтах забруднених в результаті бойових дій: *I* – м. Буча, *II* – м. Охтирка.

На досліджених ділянках м. Охтирка ВМ розподіляється наступним чином: у іонообмінній формі (%) – Zn (18,0) > Pb (7,3) > Ni (2,0) > Cu (1,1); у резервній формі – Zn (38,7) > Pb (29,1) > Ni (17,5) > Cu (14,1).

ВИСНОВКИ

Проведені еколого-геохімічні дослідження ґрунтів зони активних бойових дій 2022 р. у межах Київської та Сумської областей (м. Буча та м. Охтирка) дали змогу зробити наступні висновки:

– Ведення бойових дій із застосуванням різних типів озброєнь, військової техніки та боєприпасів змінює природний геохімічний фон металів у ґрун-

товому покриві. У ґрунтах змінюються фізико-хімічні властивості (рН, катіонно-обмінна ємність) в порівнянні з показниками фонових територій.

– Середній валовий вміст мікроелементів у всіх досліджуваних зразках ґрунту перевищує фонові показники. Для дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтів м. Буча перевищення місцевого фону зафіксовано за наступними елементами: свинець та мідь (у 2,5 рази); цинк та ванадій (у 1,5 рази). Найбільші відхилення валового вмісту від ГДК (приблизно в 1,5 рази) мають: мідь та свинець у чорноземах типових м. Охтирка.

– Отримано результати вмісту рухомих форм окремих мікроелементів у ґрунтах м. Буча та м. Охтирка. В усіх досліджуваних ґрунтах середній вміст рухомих форм не перевищує значення ГДК.

– Планування майбутнього відновлення ґрунтів розглянутих населених пунктів має спиратися на результати досліджень конкретної території, на даних з визначення рівня їх забруднення і пошкодження, а також на встановленні ландшафтно-геохімічних умов перерозподілу забруднюючих речовин в її межах. Виконані дослідження можуть бути використані для прогнозування екологічної обстановки на локальному та регіональному рівнях вивчених територій.

У подальшому все ж необхідно розширити площу досліджень в межах мм. Буча та Охтирка з визначенням як більшої кількості рівномірно розташованих площадок відбору зразків ґрунту, так і поповнюючи список мікроелементів, вміст яких в них визначатиметься.

Робота виконана у рамках наукової теми 0122U001573 «Розробка наукових засад комплексної еколого-геохімічної оцінки техногенно-забруднених територій» в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Балюк С. Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив України: оцінка державних заходів з відновлення ґрунтів : [презентація на конференції]. Семінар АПД. Харків, 2023.

Біоіндикація порушених наслідком воєнних дій ґрунтів у період високого ризику проведення контролю за техногенним навантаженням на сільськогосподарські угіддя / С. Ф. Разанов, А. М. Разанова, О. С. Разанов, М. І. Куценко. *Бджільництво України*. 2025. № 14. С. 81–87. <https://doi.org/10.32782/beekeepingjournal.2025.14.11>

Бондаренко Г. Н. Сопряженность трансформационных и миграционных процессов в почвах. *Минералогический журнал*. 2004. № 25. С. 39–46.

Важкі метали в біокосних системах урбанізованих територій України: еколого-геохімічний аспект / І. В. Кураєва, А. О. Сплодитель, К. В. Вовк, Т. О. Кошлякова. Харків : Діса плюс, 2023. 216 с.

Важкі метали в ґрунтах Українського Полісся та Київського мегаполісу / А. І. Самчук, І. В. Кураєва, Т. В. Огар, К. В. Вовк, О. В. Матвієнко. Київ : Наукова думка, 2006. 106 с.

Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокіна. Київ : ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf> (дата звернення 12.07.2025).

Дідух Я. П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями. *Вісник Національної академії наук України*. 2022. № 6. С. 16–25. <https://doi.org/10.15407/vsn2022.06.016>

Жовинський Е. Я., Кураєва І. В. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України. Київ : Альфа-реклама, 2012. 150 с.

Зузук Ф. В., Веклич Л. М. Атлас Сумської області / НВП «Картографія». Київ : Укргеодезкартографія, 1995.

Корогод О., Болоховський В. Врятувати українську землю. Як війна впливає на стан ґрунтів та що чекає на органічне виробництво. Економічна правда. 2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/05/11/700021/>

Маслова М. О., Тваровська К. В., Сугач Н. В. Внесення змін до генерального плану м. Буча Київської області. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту «Внесення змін до генерального плану міста». Пояснювальна записка. Київ, 2021. URL: https://bucha-rada.gov.ua/sites/default/files/zvit_pro_seo.pdf (дата звернення 12.07.2025).

Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів / О. Т. Азімов, І. В. Кураєва, В. Г. Бахмутов, Ю. О. Войтюк, С. П. Кармазиненко. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2019. № 4(87). С. 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>

Симонов Д. Пекло на землі. Як росіяни вбивають українські чорноземи. Українська правда. 2023. URL: <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/08/13/7415256/>

Environmental consequences of Russian war in Ukraine / O. Angurets, P. Khazan, K. Kolesnikova, M. Kushch, M. Černochova, M. Havránek. 2023. URL: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-environmental-consequences-of-russian-war-in-ukraine-war-damages-en-version.pdf> (дата звернення 12.07.2025).

Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills / O. T. Azimov, O. M. Trofymchuk, I. V. Kuraeva, K. S. Zlobina, S. P. Karmazinenko, Ye. M. Dorofey. Proceedings of 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11–14 May 2020). Kyiv, Ukraine, 2020. P. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>

Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing / M. Solokha, P. Pereira, L. Symochko, N. Vynokurova, O. Demyanyuk, K. Sementsova, M. Inacio, D. Barcelo. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 902. Article 166122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>

REFERENCES

Balyuk, S. (2023). Vplyv voiennykh dii na gruntovyi pokryv Ukrainy: otsinka derzhavnykh zakhodiv z vidnovlennia gruntiv [The impact of military operations on the soil cover of Ukraine: an assessment of state measures for soil restoration] [Conference presentation]. APD Seminar, Kharkiv. [in Ukrainian].

Razanov, S. F., Razanova, A. M., Razanov, O. S., & Kutsenko, M. I. (2025). Bioindykatsiia porushenykh unaslidok voiennykh dii gruntiv u period vysokoho ryzyku provedennia kontroliu za tekhnohennym navantazhenniam na silskohospodarski uhhidnia. *Bdzhilnistvo Ukrainy*, (14), 81–87. <https://doi.org/10.32782/beekeepingjournal.2025.14.11> [in Ukrainian].

Bondarenko, G. N. (2004). Sopryazhennost transformatsionnykh i migratsionnykh protsessov v pochvakh [Interconnection of transformation and migration processes in soils]. *Mineralogical Journal*, (25), 39–46. [in Russian].

Kuraieva, I. V., Splodytel, A. O., Vovk, K. V., & Koshliakova, T. O. (2023). *Vazhki metaly v biokosnykh systemakh urbanizovanykh terytorii Ukrainy: ekoloho-heokhimichniy aspekt* [Heavy metals in the biological systems of urbanized territories of Ukraine: ecological and geochemical aspect] (216 p.). Kharkiv: Disa Plus. [in Ukrainian].

Samchuk, A. I., Kuraeva, I. V., Ogar, T. V., Vovk, K. V., & Matvienko, O. V. (2006). *Vazhki metaly v gruntakh Ukrainskoho Polissia ta Kyivskoho mehapolisu* [Heavy metals in the soils of Ukrainian Polissia and the Kyiv metropolis] (106 p.). Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].

Spodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu* [The impact of the Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Results of the analysis] (32 p.). Kyiv: HO Tsentral'nyi ekologichnykh initsiatyv "Ekodiia". [in Ukrainian].

Didukh, Ya. P. (2022). Ekosystemnyi pidkhid do otsinky zbytkiv, zavdanykh voiennymi diiamy [Ecosystem approach to assessing damage caused by military actions]. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (6), 16–25. <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.016> [in Ukrainian].

Zhovynskiy, E. Ya., & Kuraieva, I. V. (2012). *Ekoloho-heokhimichni doslidzhennia ob'ektiv dovkillia Ukrainy* [Environmental-geochemical studies of environmental objects in Ukraine] (150 p.). Kyiv: Alfa-reklama. [in Ukrainian].

Zuzuk, F. V., & Veklych, L. M. (1995). *Atlas Sumskoi oblasti* [Atlas of Sumy Region]. Kyiv: Ukrgeodezkartografiia. [in Ukrainian].

Korohod, O., & Bolokhovskyy, V. (2023). *Vriatuvaty ukrainsku zemliu. Yak viina vplyvaie na stan gruntiv ta shcho chekaie na orhanichne vyrobnytstvo* [Saving Ukrainian soil. How war affects soil condition and what

awaits organic production]. *Ekonomichna pravda*. [https:// www.epravda.com.ua/columns/2023/05/11/700021/](https://www.epravda.com.ua/columns/2023/05/11/700021/) [in Ukrainian].

Maslova, M. O., Tvarovska, K. V., & Sugach, N. V. (2021). Vnesennia zmin do heneralnoho planu m. Bucha Kyivskoi oblasti. Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku proektu "Vnesennia zmin do heneralnoho planu mista". Poiasniuvalna zapyska [Amendments to the General Plan of the City of Bucha, Kyiv Region. Report on the strategic environmental assessment of the project "Amendments to the General Plan of the City". Explanatory Note]. Kyiv. Retrieved July 12, 2025, from https://bucha-rada.gov.ua/sites/default/files/zvit_pro_seo.pdf [in Ukrainian].

Azimov, O., Kuraeva, I., Bakhmutov, V., Voytyuk, Yu., & Karmazynenko, S. (2019). Otsinka rozpodilu vazhkykh metaliv u gruntakh raioniv zakhoronennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Assessment of the heavy metal distribution in soils within the areas for the municipal solid waste disposal]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, (4(87)), 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>. [in Ukrainian].

Simonov, D. (2023). *Peklo na zemli. Yak rosiiany vbyvaiut ukrainski chornozemy* [Hell on earth. How Russians destroy Ukrainian black soils]. *Ukrainska pravda*. <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/08/13/7415256/> [in Ukrainian].

Angurets, O., Khazan, P., Kolesnikova, K., Kushch, M., Černochova, M., & Havránek, M. (2023). *Environmental consequences of Russian war in Ukraine*. Retrieved July 12, 2025, from <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-environmental-consequences-of-russian-war-in-ukraine-war-damages-en-version.pdf>

Azimov O. T., Trofymchuk O. M., Kuraeva I. V., Zlobina K. S., Karmazinenko S. P., Dorofey Ye. M. (2020). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. Proceedings of 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11–14 May 2020) (pp. 1–7). Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>

Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., Inacio, M., & Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>

Стаття надійшла 19.11.2025 р.

I. V. Kuraeva¹

T. O. Koshliakova¹

O. V. Deriuhina¹

O. T. Azimov²

L. V. Lemesh¹

I. A. Shvaika¹

¹ M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, 34 Akademika Palladina Ave, Kyiv, 03142, Ukraine

² Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 55b Olesia Honchara St, Kyiv, 01054, Ukraine

FEATURES OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

Abstract

The purpose of the research: to establish the patterns of heavy metals distribution in the main types of soils (sod-medium podzolic gleyed and typical chernozems) in places where hostilities took place, using the example of the city of Bucha, Kyiv region, and the city of Okhtyrka, Sumy region.

Data and Methods: A wide range of methods of obtaining, processing and interpreting of ecological-geochemical data, including field, chemical-analytical, comparative and graphical, were used. The methods of atomic emission spectral analysis, stepwise extractions, and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were used.

Results. The largest deviations of the average gross content from the regional background were recorded in the sod-medium podzolic gleyed soils of the city of Bucha for copper, lead, zinc and vanadium. The gross content of lead is 22 mg/kg of soil, copper – 33 mg/kg, which is 2.5 times higher than the background; zinc – 53 mg/kg, exceeding the background by 1.5 times. For chernozems typical of the city of Okhtyrka, the excess of background indicators is characteristic for all studied metals except chromium. The largest deviations were recorded for zinc (more than 4 times), copper and lead (more than 2 times), and vanadium – approximately twice. In contrast, a slight excess of the MPC indicator was found in chernozems typical of zinc and lead. It was concluded that the physicochemical properties of polluted soils as a result of military actions change in comparison with the indicators of background areas. It was established that the average gross content of heavy metals in the soils of the studied areas exceeds the natural geochemical background. The average values of the concentrations of mobile forms for all elements in soil samples of the city of Bucha and the city of Okhtyrka are below the MPC level. The results obtained can be used to predict the ecological situation at the local and regional levels of the studied areas.

Keywords: military actions, polluted soils, gross content, heavy metals, mobile forms of the microelements.