

<https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-10>

УДК (UDC): 504.53.054:623.4(477)

**А. Б. АЧАСОВ<sup>1</sup>**, д-р с.-г. наук, проф.,  
завідувач кафедри екології та менеджменту довкілля  
e-mail: [achasov@karazin.ua](mailto:achasov@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

**О. М. НЕМОШКАЛОВ<sup>1</sup>**,  
аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля  
e-mail: [alnemo7024@gmail.com](mailto:alnemo7024@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0005-8275-7553>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, 61022, Харків, Україна

## ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ МІЛІТАРНИХ АГРОЛАНДШАФТІВ

**Мета.** Апробація методологічних підходів до екологічного аудиту потенційно забруднених ґрунтів агроландшафтів, що зазнали впливу бойових дій.

**Методи.** Польові, аналітичні, дешифрування космічних знімків для ідентифікації вирв, метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

**Результати.** Дослідження еколого-геохімічного стану ґрунтів агроландшафтів, що зазнали впливу бойових дій, проводили у 2025 році на базі дослідного полігону в Роганській територіальній громаді Харківської області. На підставі аналізу публікацій щодо мілітарного забруднення ґрунтів обґрунтовано застосування ГІС та дистанційного зондування для виявлення зон бомботурбації. Поєднано дешифрування космічних знімків із польовим відбором проб і визначенням рухомих форм Cd, Cr, Cu, Pb. Встановлено перевищення фонового вмісту без перевищення ГДК. Розроблено карту зонування агроландшафтів Роганської громади.

**Висновки.** Запропоноване зонування агроландшафтів за щільністю бомботурбації для оцінки потенційного забруднення як модель слугує основою для розробки ландшафтно-трансферних функцій та екстраполяції даних на інші деокуповані території.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** мілітарний агроландшафт, забруднення ґрунту, важкі метали, бомботурбація, вирви, дистанційне зондування, ГІС-технології

**Як цитувати:** Ачасов А. Б., Немошкалов О. М. Забруднення ґрунтів мілітарних агроландшафтів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2026. Вип. 34. С. 136-147. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-10>

**In cites:** Achasov, A. B., & Nemoshkalov, O. M. (2026). Soil contamination of military agrolandscapes. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (34), 136-147. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-10> (in Ukrainian)

### Вступ

Збройна агресія Російської федерації проти України спричинила безпрецедентний за масштабами та інтенсивністю вплив на довкілля, де одним із найбільш вразливих компонентів виявився ґрунтовий покрив [1, 2]. Станом на сьогодні біля 21 мільйонів гектарів українських земель перебувають під впливом активних бойових дій, що призводить до їхньої тривалої та широкомасштабної деградації [3]. Особливої гостроти проблема набуває через те, що військові операції

відбуваються переважно в межах «чорноземного поясу» – зони найродючіших ґрунтів світу, що забезпечують продовольчу безпеку для понад 400 мільйонів людей на планеті [4, 5, 6].

Актуальність вивчення забруднення мілітарних агроландшафтів обумовлена тим, що військова діяльність виступає потужним комплексним стресовим фактором в першу чергу для головного компонента агроландшафту – ґрунту.

Бойові дії спричиняють механічне руйнування ґрунту (бомботурбація, фортифікаційні роботи), зміну його фізичних характеристик (переуцільнення технікою) та хімічне забруднення [7, 8, 9].

Детонація боєприпасів вивільняє спектр потенційно токсичних елементів, насамперед важких металів (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Ni), які не піддаються біологічному розкладанню, накопичуються в ґрунті та мігрують у трофічні ланцюги «рослина - тварина - людина» [2, 3, 10, 11, 12].

Важливим є часовий чинник, адже природне очищення ґрунту від важких металів залежно від умов може тривати від сотень до тисяч років [10, 13, 14].

Зазначимо також, що руйнування агроландшафтів і втрата екосистемних послуг ґрунтів ставлять під загрозу досягнення Цілей

сталого розвитку ООН, провокуючи посилення ерозійних процесів та забруднення підземних вод [4, 7, 16].

Незважаючи на інтенсивність бойових дій, моніторинг пошкоджених земель залишається фрагментарним через мінну небезпеку та обмежений доступ до територій [6, 10]. Це зумовлює нагальну потребу у впровадженні інноваційних методів дистанційного зондування та ГІС-технологій для оперативної оцінки шкоди, прогнозування міграції токсикантів та розробки стратегій екологічної ремедіації [4, 6, 16].

Дослідження еколого-геохімічного стану ґрунтів активних бelligеріальних ландшафтів є не лише науковим завданням, а й критичною передумовою для повоєнного відновлення аграрного сектору, збереження здоров'я нації та забезпечення міжнародної екологічної безпеки [8,10, 17].

### Матеріали та методи дослідження

Аналіз сучасних наукових публікацій свідчить, що масштаби забруднення ґрунтів в Україні мають переважно локалізований, проте гострий характер, особливо в районах активних бойових дій. Дослідження охоплюють різні природно-кліматичні зони з відмінним техногенним навантаженням, що зумовлює варіативність рівнів забруднення (табл. 1).

Так, у Бучанському районі Київської області зафіксовано підвищення вмісту рухомих форм важких металів у 3–9 разів порівняно з фоном [2]. У Сумській області вміст свинцю на забруднених ділянках перевищував фоновий рівень у 5,4 раза, а цинку - у 3,9

раза [3]. В Охтирському районі зафіксовано перевищення ГДК цинку до 51 раза [12].

На місцях ракетних ударів у Львові індекс забруднення Немерова (Ps) перевищив допустиме значення у 15 разів, причому найвищий екологічний ризик створює кадмій [18]. Концентрація свинцю тут у 10 разів перевищувала ГДК [19].

У південній частині країни найвищі рівні забруднення свинцем зафіксовано в Запорізькій області - у 11,17 раза понад ГДК [20]. У Дніпропетровській області концентрація свинцю сягає 3,9 ГДК, а нікелю - 1,8 ГДК [1].

Мілітарне забруднення ґрунтів важкими металами по регіонах України

Таблиця 1

Military soil contamination with heavy metals by regions of Ukraine

Table 1

Локалізація	Елемент	Рівень
Запорізька область	Pb	11,17 ГДК [20]
м. Львів	Pb	10,0 ГДК [19]
Миколаївська область	Pb	5,0 ГДК [20]
Дніпропетровська область	Pb	3,9 ГДК [1]
Сумська область	Zn	51,0 ГДК [12]
Київська область	Cr	1,26 ГДК [2]
Донецька область, Сартанська громада	Cd	7,6 ГДК [9]
Донецька область, м. Слов'янськ	Ti	150 разів понад фону [13]

Узагальнення наведених даних дозволяє констатувати, що домінуючими забруднювачами є свинець, кадмій та цинк, а найбільш

високі рівні перевищення нормативів зафіксовано в регіонах інтенсивних бойових дій. Просторовий розподіл забруднення має осередко-

вий характер, що пов'язано з локалізацією вибухів, горінням військової техніки та руйнуванням інфраструктури.

Разом із тим сучасний стан вивчення мілітарного забруднення ґрунтів в Україні характеризується фрагментарністю. Це зумовлено об'єктивними чинниками: триваючими бойовими діями, мінною небезпекою та обмеженими ресурсами для проведення суцільного лабораторного контролю. Більшість досліджень фокусуються на фіксації «свіжих» слідів воєнного впливу, тобто на визначенні концентрацій токсикантів безпосередньо після вибухів або пожеж

Суттєвою науковою прогалиною залишається відсутність комплексних досліджень, що відображають стан ґрунтового покриву значних територій (окремих полів, фермерських господарств або громад) через певний час після завершення активної фази бойових дій.

Сільськогосподарський обробіток ґрунту призводить до перерозподілу зон забруднення, що утворилися навколо вирв, по всій площі поля. Це створює ефект «розмивання» екстремальних концентрацій, але водночас збільшує загальну площу забруднених угідь, де продукція може накопичувати токсиканти у кількостях, що перевищують санітарні норми.

У цьому контексті особливий науковий інтерес становить Харківська область як один із найбільш постраждалих регіонів України. Значна частина її території зазнала активних бойових дій у 2022 році. Зафіксовано понад 420 615 мілітарних кратерів [6], що свідчить про потенційно масштабний характер техногенного навантаження на ґрунтовий покрив. Деокупація більшості територій створила передумови для проведення польових і лабораторних досліджень, що відобразилося у зростанні кількості наукових публікацій (табл. 2).

Таблиця 2

Аналіз забруднення ґрунтів Харківської області важкими металами

Table 2

Analysis of Kharkiv region soil contamination with heavy metals

Локація / Тип об'єкта	Елемент	Рівень забруднення
с. Мала Рогань (Гелікоптер)	Cd	Перевищення ГДК у 38,6 раза [6]
с. Рогань (Танк Т-72Б3)	Cu	Перевищення ГДК у 62,39 раза [4]
Богодухівський р-н (Танк Т-80)	Pb	Перевищення ГДК у 78,8 раза [4]
Вільхівська громада (Поля)	Cd	Перевищення ГДК у 5,6 раза [9]
с. Федорівка (Кратер 122 мм)	Pb	Вміст 1,9 раза понад фоновий рівень [6]
Оскільська громада (Кратери)	Zn, Sr	Найвищі концентрації в кратерах авіабомб [6]

Аналіз літератури показує, що найвищі рівні забруднення зафіксовано на місцях горіння бронетехніки, падіння літальних апаратів або ж у мілітарних вирвах [4]. Так, на місці падіння гелікоптера у с. Мала Рогань (Роганська територіальна громада) концентрація кадмію перевищила ГДК у 38,6 раза, а міді - у 8,8 раза понад фон [6].

У Вільхівській громаді у локаціях бомбтурбації зафіксовано, що вміст кадмію перевищив ГДК у 5,6–8,5 раза, міді - до 6,4 раза [9]. У Богодухівському районі під уламками танка Т-80 зафіксовано екстремальне перевищення ГДК свинцю - у 78,8 раза [7].

Таким чином, результати наявних досліджень свідчать про значні рівні локального мілітарного забруднення ґрунтів важкими металами в різних регіонах України, зокрема в Харківській області. Встановлено

істотні перевищення нормативних показників у місцях вибухів, горіння військової техніки та падіння літальних апаратів. Водночас дослідження мають переважно фрагментарний і точковий характер, що не дозволяє повною мірою оцінити масштаби просторового перерозподілу токсикантів та їх довгостроковий вплив на агроландшафти.

Метою роботи є апробація методологічних підходів до екологічного аудиту потенційно забруднених ґрунтів агроландшафтів, що зазнали впливу бойових дій.

Дослідження проводили у 2025 році на базі дослідного полігону в Роганській територіальній громаді Харківської області. Методологія базувалася на поєднанні дистанційного дешифрування космічних знімків для ідентифікації вирв та наземного обстеження ґрунтів полігону. У ході попередніх

досліджень на території полігону було зафіксовано 92 проява бомботурбації, що обумовило щільність виврв 1,63 од/га.

Відібрано 12 ґрунтових проб за регулярною сіткою (шар 0–20 см) та одну фонову пробу для визначення природного гео

хімічного фону. Аналітичні дослідження включали визначення вмісту рухомих форм Cd, Cu, Cr та Pb в амонійно-ацетатній витяжці (рН 4,8) методом атомно-абсорбційної спектроскопії згідно з ДСТУ 4770.1-9:2007 [25].

### Результати дослідження та обговорення

Дослідження проведено у 2025 році на території Роганської територіальної громади (РТГ), яка розташована в Харківському районі Харківської області (рис. 1). Громада займає площу 77,07 км<sup>2</sup>, а її населення станом на 2016 рік становило понад 16 тисяч осіб [21]. Адміністративним осередком є смт Рогань.

Природні умови території характеризуються рівнинним рельєфом та домінуванням чорноземів звичайних легкосуглинкових на лесових породах. Гідрографічна мережа представлена річкою Роганка (басейн Сіверського Дінця). Рослинний покрив формують переважно листяні ліси з вкрапленнями хвойних порід, а також розгалужена система полезахисних смуг.

Оскільки 65% території громади складають сільськогосподарські угіддя, аграрний сектор є базовим для економіки РТГ. За таких умов моніторинг пошкоджень земель, спричинених бойовими діями, є фундаментальним фактором для подальшої стабілізації та розвитку регіону.

Об'єктом дослідження обрано сільськогосподарське поле, яке надалі визначено як «дослідний полігон» (рис. 1).

Згідно карти агропромислових груп ґрунтів, що надана USAID АГРО у рамках співпраці з Харківським національним університетом імені В.Н. Каразіна вся територія дослідного полігону представлена одним ґрунтом – чорнозем типовий важкосуглинковий середньогумусний (шифр 54е).

Відмітимо, що ці ґрунти відносяться до особливо цінних груп ґрунтів загальнодержавного значення [22].

Ключовим завданням робіт визначено вивчення мілітарного забруднення ґрунтів важкими металами. При виборі місць відбору проб враховувалася інтенсивність бойових дій, що тривали на даній території у 2022 році [16]. Показником антропогенного впливу на дослідному полігоні слугувала щільність виврв, що утворилися внаслідок влучань боєприпасів (рис. 2) [23].



Рис.1 – Місце розташування дослідного полігону

Fig. 1 – Location of the test site



Рис.2 – Місце розташування дослідного полігону

Fig. 2 – Location of the test site

У червні 2025 року на полігоні було відібрано 12 ґрунтових проб з верхнього горизонту (0–20 см). Відбір здійснювався за регулярною сіткою з кроком 50 м (рис. 2). Процедура відбору відповідала вимогам ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб» [24]. Для формування об'єднаної проби застосовувався метод «конверта», відбір проводився за допомогою пластикової лопатки для запобігання вторинному забрудненню.

Для порівняльного аналізу у вересні 2025 року було відібрано фонову пробу (точка № 22) на ділянці, де не зафіксовано наслідків бойових дій (рис. 3). Дана точка розташована на значній відстані від потенційних джерел забруднення важкими металами, зокрема від Кільцевої дороги, яка є джерелом постійного техногенного впливу через інтенсивний рух автотранспорту. Це програмне забезпечення з відкритим вихідним ко-



Рис. 3 - Місце відбору фонові проби (т.№ 22)

Fig. 3 - Location of background sample collection (item No. 22)

дом функціонує на основі архітектури настільної геоінформаційної системи QGIS, що забезпечує повну сумісність польових і камеральних етапів роботи. Застосування значеного інструментарію дозволило реалізувати безперервний цикл обробки геоданих шляхом прямої інтеграції попередньо налаштованого проєкту в польові умови.

У відібраних зразках визначали вміст кадмію (Cd), міді (Cu), хрому (Cr) та свинцю (Pb). Аналітичні дослідження проводили на базі Лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Аналіз виконували відповідно до вимог ДСТУ 4770.1–9:2007 [25]. Визначали вміст рухомих форм металів у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Упродовж 2022–2023 років проведено дешифрування наслідків бойових дій у Харківському районі Харківської області на основі матеріалів дистанційного зондування Землі [16]. За результатами роботи сформовано геоінформаційну базу даних вирв, утворених унаслідок детонації боєприпасів. Загалом у межах досліджуваної території ідентифіковано 15 588 місць влучань. На основі проведеного геоінформаційного аналізу розроблено серію картографічних матеріалів, що відображають щільність влучань як на рівні адміністративного району в цілому, так і в розрізі окремих територіальних громад [16, 23]. Отримані карти не лише візуалізують інтенсивність бомботурбації, а й слугують аналітичною основою для оцінки потенційного рівня забруднення ґрунтів важкими металами. Припускається, що зростання кількості вирв на одиницю площі корелює з підвищенням ризику техногенного забруднення території.

Концепція дослідження передбачає виділення тестових полігонів із різною інтенсивністю бомботурбації для проведення детальних просторових обстежень. У межах польових робіт здійснюють відбір ґрунтових проб з подальшим лабораторним визначенням вмісту важких металів. Отримані результати стануть основою для розроблення ландшафтно-трансферної функції, що забезпечить можливість екстраполяції встановлених рівнів забруднення на інші території зі

схожими показниками інтенсивності бомботурбації.

Оцінка забруднення ґрунтів проводилася на прикладі полігону площею 53 га (рис. 1). Встановлено, що досліджуваний агроландшафт зазнав значного мілітарного впливу. За результатами дешифрування космічних знімків встановлено локалізацію вирв (рис. 2). Аналіз просторового розподілу свідчить, що основний вплив зосереджений у центральній частині поля площею 11,3 га, де зафіксовано 92 влучання [23]. Таким чином, щільність вирв на цій ділянці становить 8,14 од./га. Щільність вирв для всього поля становить 1,63 од./га.

Відбір проб проводився за такою логікою: 9 точок розташовувались за регулярною мережею в потенційно забрудненій зоні (рис. 2). Точка №1 розташована за межами зони влучань на відстані 40 м від кільцевої автодороги з інтенсивним трафіком. Це дозволяє оцінити рівень забруднення, спричинений викидами автотранспорту. Точка №8 розміщена за аналогічних умов (40 м від дороги), проте в межах ділянки, що зазнала обстрілів. Порівняння цих точок дає змогу розмежувати вплив транспортного та воєнного чинників.

Точка №12 обрана на умовно чистій ділянці полігону, віддаленій від основних джерел антропогенного впливу. Точка №22 (фонова) закладена на суміжному полі, яке не зазнало мілітарного впливу, для визначення природного геохімічного фону.

Слід зауважити, що локалізація точок відбору не прив'язувалася до центрів окремих кратерів. Метою було визначення площинного «розмитого» забруднення, яке формується внаслідок подальшого сільськогосподарського обробітку. Оскільки з 2022 року поле перебуває в інтенсивній експлуатації, перемішування верхнього шару ґрунту технікою сприяє розподілу забруднювачів по всій площі масиву.

У таблиці 3 представлено результати агрохімічного аналізу вмісту рухомих форм важких металів (Cd, Cr, Cu, Pb) у 12 точках відбору на дослідному полігоні та в одній фоневій точці. Порівняння проводилося з гранично допустимими концентраціями (ГДК) згідно з постановою № 1325 від 15.12.2021 [26]. Аналіз даних свідчить, що у жодній із відібраних проб на дослідному по-

Таблиця 2

Концентрації важких металів у ґрунтах полігону, мг/кг

Table 2

Heavy metal concentrations in landfill soils, mg/kg

№ проби	Коментар	Кадмій (Cd)	Хром (Cr)	Мідь (Cu)	Свинець (Pb)
1	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,084	0,727	0,415	1,974
2	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,01	0,688	0,161	1,228
3	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,16	1,022	0,21	2,248
4	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,005	0,835	0,161	0,5
5	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,005	0,444	0,305	0,817
6	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,01	0,816	0,072	0,525
7	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,005	0,658	0,327	1,129
8	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,01	0,994	0,182	0,768
9	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,005	0,716	0,199	0,291
10	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,02	0,555	0,474	0,992
11	Полігон (потенційно забруднена зона)	0,002	0,77	0,545	0,869
12	Полігон (умовно чиста зона)	0,034	0,714	0,656	2,542
22	Фонові проба	0,01	0,408	0,257	0,062
ГДК	Гранично допустима концентрація	0,7	6	3	6

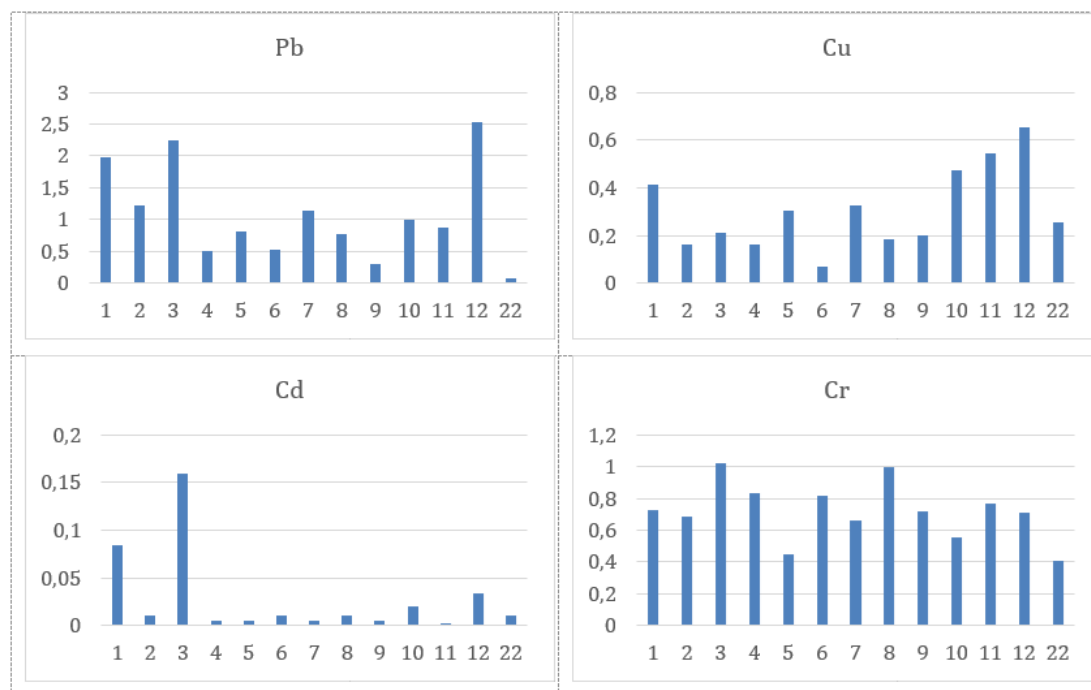


Рис.4 – Концентрації важких металів у ґрунтах полігону, мг/кг

Fig. 4 – Heavy metal concentrations in landfill soils, mg/kg

лігоні вміст досліджуваних важких металів не перевищує нормативів ГДК. Всі отримані значення є суттєво нижчими за граничні рівні.

Незважаючи на відповідність санітарним нормам, концентрації металів на полігоні (рис.4), включно з «умовно чистою» зоною

(т.№12) помітно перевищують показники фонові точки № 22. Зокрема концентрації Pb на полігоні варіюють від 0,291 мг/кг до 2,542 мг/кг, тоді як фон становить лише 0,062 мг/кг. Уміст Cr на полігоні коливається від 0,444 мг/кг до 1,022 мг/кг при фоні 0,408 мг/кг. Такої

чіткої картини не складається для Cu та Cd, тут на полігоні присутні проби ґрунту з концентраціями, які менші за фон.

Але в цілому можна зробити висновок про наявність на полігоні підвищеного антропогенного навантаження. Детальний аналіз наведених даних буде проведений у наступному розділі.

Низькі показники концентрації забруднювачів на досліджуваному полігоні можуть бути обумовлені декількома чинниками. По-перше, специфіка проведеного аналізу передбачала визначення лише рухомих форм важких металів, тоді як значна частина елементів може залишатися у зв'язаному стані, не переходячи у витяжку.

По-друге, суттєвий вплив мають фактор часу та інтенсивність агротехнічних заходів: оскільки поле перебуває в активному обробітку з 2022 року, регулярні механічні операції призвели до інтенсивного перемішування верхнього шару ґрунту. Це спричинило так званий ефект «розбавлення», за якого локальні пікові концентрації речовин у місцях вибухів були рівномірно розподілені на значно більший об'єм ґрунтової маси, що зрештою нівелювало гостроту мілітарного впливу.

Можливі й інші пояснення. Зокрема точка № 12, яка вважалась умовно чистою несподівано показала максимальні значення по вмісту Pb = 2,542 мг/кг та Cu = 0,656 мг/кг. Це ставить під сумнів гіпотезу про те, що забруд-

нення зосереджене виключно в зоні бомботурбації. Можливо, це наслідок нерівномірного внесення агрохімікатів у минулому або природної геохімічної аномалії.

Це підтверджує і той факт, що точки, розташовані в зоні найвищої щільності вилив (№№ 4, 5, 6), демонструють досить низькі рівні забруднення (Pb у межах 0,5–0,8 мг/кг). Винятком є точка № 3, де зафіксовано сплеск вмісту кадмію (0,160 мг/кг) та високий рівень свинцю (2,248 мг/кг). Це може вказувати на безпосередню близькість до епіцентру розриву специфічного типу боеприпасу.

Не підтвердилася гіпотеза про сумарний вплив «війна + дорога». Якщо точка №1 (тільки дорога) має високий вміст Pb (1,974 мг/кг), то точка №8 (дорога + війна) має значно нижчий вміст Pb (0,768 мг/кг). Це підтверджує домінування фактору механічного перемішування ґрунту над фактором локального накопичення.

Високі показники в умовно чистій зоні (точка 12) вимагають додаткового вивчення історії використання поля (добрива, склади палива в минулому тощо), оскільки мілітарний чинник не може бути єдиним поясненням такої варіабельності.

З огляду на те, що вміст рухомих форм токсикантів не перевищує ГДК, ризик транслокації важких металів у рослинну продукцію на даному полі можна оцінити як низький. Відповідно можна обережно прогнозувати,

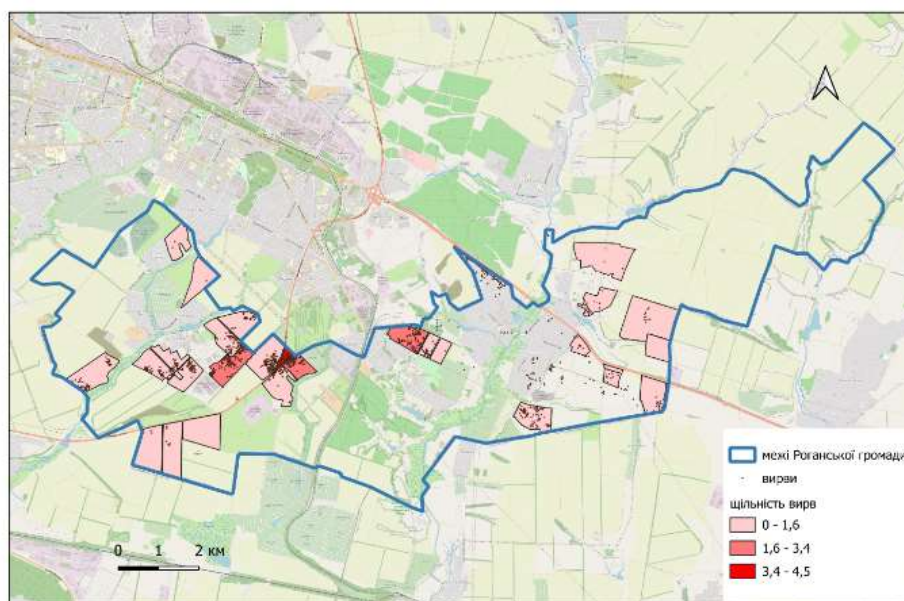


Рис. 5 – Зонування агроландшафтів Роганської громади за щільністю проявів бомботурбації

Fig. 5 – Zoning of the Rohanskyi community agrolandscapes by density of bomb damage manifestations

що й інші агроландшафти з подібним рівнем мілітарного впливу матимуть схожий рівень забруднення.

На рис. 5 представлена карта зонування агроландшафтів Роганської громади за щільністю проявів бомботурбації. Виділені лише поля на яких зафіксовані наслідки вибухів. Усі вони розділені на 3 категорії відповідно до щільності вивв і, вірогідно, відповідно ступню потенційного хімічного забруднення. Спираючись на отримані дані можна вважати, що можливе значне забруднення ґрунтів важкими металами може спостерігатися лише на 4 полях громади, на яких щільність вивв більше 1,6 од/га.

### Висновки

Результати аналізу рухомих форм важких металів (Cd, Cr, Cu, Pb) у ґрунтах дослідного полігону Роганської громади свідчать, що жодне зі значень не перевищує встановлених нормативів ГДК. Це дозволяє прогнозувати низький ризик негайного потрапляння токсикантів у сільськогосподарську продукцію на даній ділянці.

Незважаючи на відповідність ГДК, зафіксовано суттєве перевищення показників фонові точки. Особливо це стосується свинцю (Pb), концентрація якого на полігоні (до 2,542 мг/кг) у десятки разів вища за природний фон (0,062 мг/кг), та хрому (Cr), що підтверджує наявність антропогенного навантаження мілітарного походження.

Незважаючи на локальний характер, проведені дослідження формують методичне підґрунтя для системного моніторингу ґрунтів Харківського району. Сформована база геоданих уможливило районування території за інтенсивністю обстрілів, що слугує основою для подальших польових обстежень на вміст важких металів у межах кожної виділеної зони.

Отримані результати сприятимуть розробці ландшафтно-трансферної функції для екстраполяції даних про рівні забруднення на території з подібними показниками бомботурбації.

Низькі концентрації металів у ґрунтах може бути пояснені інтенсивним сільськогосподарським обробітком поля, що триває з 2022 року. Регулярна оранка призвела до механічного перемішування верхнього шару ґрунту, внаслідок чого локальні пікові концентрації в епіцентрах вибухів були рівномірно розподілені по всій площі масиву.

На основі отриманих даних розроблено карту зонування агроландшафтів Роганської громади. Встановлено, що потенційне значне забруднення ґрунтів може спостерігатися лише на 4 полях громади, де щільність влучань перевищує 1,6 од/га. Ця модель слугує основою для розробки ландшафтно-трансферних функцій та екстраполяції даних на інші деокуповані території.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

**Внесок авторів:** автори зробили рівний внесок у цю роботу.

### Декларація про використання ШІ

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

### Список використаної літератури

1. Yashchenko L., Androshchuk O., Vasylenko L., Chornoivan Y. Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 1. P. 18–27. <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>
2. Дмитренко О. В., Дем'янюк О. С., Погоріла Л. П. та ін. Екотоксикологічна оцінка дерново-підзолистого ґрунту за впливу бойових дій. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 4. С. 89–96. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/293758>
3. 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. С. 136–149. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>
4. Solokha M., Melnyk O., Cannon N. et al. Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 995. Art. 180105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.180105>

5. Novakovska I., Belousova N., Hunko L. Land degradation in Ukraine as a result of military operations. *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum*. 2025. Vol. 24, no. 1. P. 129–145. <https://doi.org/10.31648/aspal.9788>
6. Bonchkovskiy O., Ostapenko P., Bonchkovskiy A., Shvaiko V. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 964. Art. 178594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
7. Solokha M. et al. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, no. 10. Art. 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
8. Fedenko V. S. Transformation of vegetation under the conditions of the impact of military actions on the natural environment in Ukraine: A review. *Ecology and Noospherology*. 2023. Vol. 34, no. 2. P. 101–107. <https://doi.org/10.15421/032315>
9. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України. Київ, 2023. 137 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/zabrudnennia-zemel-vnaslidok-rosii.html>
10. Bezsonnyi V., Nekos A., Soldatenko M. et al. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, no. 10 (125). P. 50–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289025>
11. Lovynska V. et al. Monitoring Heavy Metals and Metalloids in Soils and Vegetation by Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, no. 17. Art. 3221. <https://doi.org/10.3390/rs16173221>
12. Лепікаш П. І. Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області внаслідок хімічного забруднення в умовах воєнного стану: кваліфікаційна робота магістра. Хмельницький, 2024. 81 с. URL: <https://elar.khmmu.edu.ua/handle/123456789/17490>
13. Чайка Т. О., Короткова І. В. Напрями та технології відтворення родючості ґрунтів в Україні в післявоєнний період. *Агробіологія*. 2023. № 1. С. 142–156. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-1-142-156>
14. Sytar O., Taran N. Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – a review. *Journal of Central European Agriculture*. 2022. Vol. 23, no. 4. P. 881–887. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603>
15. Купінець Л. Є. Методичні підходи до розрахунку репарацій за шкоду, заподіяну продуктивним сільськогосподарським землям у результаті збройної агресії. *Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення*: монографія / за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера, М. І. Ромащенко. Київ: Аграрна наука, 2024. Розд. 3. С. 97–131. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>
16. Ачасов А. Б., Немошкалов О. М., Селіверстов О. Ю. Дистанційний моніторинг наслідків бойових дій на території Харківської області. *Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення*: монографія / за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера, М. І. Ромащенко. Київ: Аграрна наука, 2024. Розд. 2. С. 97–131. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>
17. Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А., Чумаченко С. Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ, 2023. 32 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>
18. Petrushka K., Petrushka I., Yukhman Y. Assessment of the Impact of Military Actions on the Soil Cover at the Explosion Site by the Nemerov Method and the Pearson Coefficient: Case Study of the City of Lviv. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, no. 10. P. 77–85. <https://doi.org/10.12911/22998993/170078>
19. Petrushka K., Petrushka I., Holdrych A. Dynamics of heavy metals migration in the soil as a consequence of military actions. *Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, no. 2. P. 109–115. <https://doi.org/10.23939/ep2024.02.109>
20. Bulba I., Drobitko A., Zadorozhnyi Y., Pismennyi O. Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27, no. 7. P. 107–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107>
21. Роганська селищна військова адміністрація: офіційний сайт. URL: <https://roganska-gromada.gov.ua/>
22. Про затвердження переліку особливо цінних груп ґрунтів: наказ Держкомзему України від 06 жовт. 2003 р. № 245. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0996-03#Text>
23. Ачасов А. Б., Селіверстов О. Ю., Дядін Д. В., Седов А. О. Дистанційний моніторинг наслідків бойових дій на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2023. № 28. С. 71–82. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-06>
24. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004. Київ, 2005. 5 с. URL: <https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4287-2004-yakist-gruntu.-vidbirannya-prob.pdf>
25. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1-9:2007. Київ, 2009. 117 с. URL: [https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=58849](https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58849)
26. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин: постанова Кабінету Міністрів України від 15 груд. 2021 р. № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-п#Text>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2026  
Стаття рекомендована до друку 22.05.2026

Переглянуто 19.05.2026  
Опубліковано 30.05.2026

**A. B. ACHASOV<sup>1</sup>**, DSc (Agriculture), Prof.,  
Head of the Department of Ecology and Environmental Management  
e-mail: [achasov@karazin.ua](mailto:achasov@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

**O. M. NEMOSHKALOV<sup>1</sup>**,  
PhD Student of the Department of Ecology and Environmental Management  
e-mail: [alnemo7024@gmail.com](mailto:alnemo7024@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0005-8275-7553>

<sup>1</sup>*V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4, Svobody Square Kharkiv, 61022, Ukraine*

## SOIL CONTAMINATION OF MILITARY AGROLANDSCAPES

**Purpose.** Testing methodological approaches to the environmental audit of potentially contaminated soils of agricultural landscapes affected by hostilities.

**Methods.** Field, analytical, decoding of satellite images to identify craters, atomic absorption spectrophotometry method.

**Results.** Studies of the ecological and geochemical state of soils of agricultural landscapes affected by hostilities were conducted in 2025 on the basis of a research site in the Rohansk territorial community of the Kharkiv region. Based on the analysis of publications on military soil contamination, the use of GIS and remote sensing to identify bomb-turbation zones was justified. Deciphering of satellite images was combined with field sampling and determination of mobile forms of Cd, Cr, Cu, Pb. Exceedance of background content without exceeding the MPC was established. A zoning map of agricultural landscapes of the Rohansk community was developed.

**Conclusions.** The proposed zoning of agricultural landscapes by bomb-turbation density for assessing potential contamination serves as a model for developing landscape transfer functions and extrapolating data to other deoccupied territories.

**KEYWORDS:** *military agrolandscape, soil contamination, heavy metals, bomboturbation, craters, remote sensing, GIS technologies*

### Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

**Authors Contribution:** all authors have contributed equally to this work

### AI Statement

The work does not use artificial intelligence resources.

### References

1. Yashchenko, L., Androshchuk, O., Vasylenko, L., & Chornoivan, Y. (2025). Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*, 15(1), 18–27. <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>
2. Dmytrenko, O. V., Demianiuk, O. S., Pohorila, L. P., et al. (2023). Ecotoxicological assessment of sod-podzolic soil under the impact of military actions. *Agroecological journal*, (4), 89–96. <http://journalagroeco.org.ua/article/view/293758>
3. Zaitsev, Y. O., Hryshchenko, O. M., Romanova, S. A., & Zaitseva, I. O. (2022). Impact of military actions on the content of total forms of heavy metals in soils of Sumy and Okhtyrka districts, Sumy region. *Agroecological journal*, (3), 136–149. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>
4. Solokha, M., Melnyk, O., Cannon, N., et al. (2025). Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of the Total Environment*, 995, Article 180105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.180105>
5. Novakovska, I., Belousova, N., & Hunko, L. (2025). Land degradation in Ukraine as a result of military operations. *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum*, 24(1), 129–145. <https://doi.org/10.31648/aspal.9788>
6. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., & Shvaiko, V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*, 964, Article 178594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
7. Solokha, M., et al. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), Article 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>

8. Fedenko, V. S. (2023). Transformation of vegetation under the conditions of the impact of military actions on the natural environment in Ukraine: A review. *Ecology and Noospherology*, 34(2), 101–107. <https://doi.org/10.15421/032315>
9. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *Land contamination as a result of Russia's aggression against Ukraine*. Kyiv: NGO “Center for Environmental Initiatives ‘Ecoaction’”. Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/zabrudnennia-zemel-vnaslidok-rosii.html>
10. Bezsonnyi, V., Nekos, A., Soldatenko, M., et al. (2023). Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10(125)), 50–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289025>
11. Lovynska, V., et al. (2024). Monitoring heavy metals and metalloids in soils and vegetation by remote sensing: A review. *Remote Sensing*, 16(17), Article 3221. <https://doi.org/10.3390/rs16173221>
12. Lepikash, P. I. (2024). *New approaches to the study and forecasting of soil quality in Khmelnytskyi region under chemical contamination in martial law conditions* (Master's thesis). Khmelnytskyi National University. Retrieved from <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/17490>
13. Chaika, T. O., & Korotkova, I. V. (2023). Directions and technologies for restoring soil fertility in Ukraine in the post-war period. *Ahrobiolohiia*, (1), 142–156. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-1-142-156>
14. Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – A review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 881–887. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603>
15. Kupinets, L. Ye. (2024). Methodological approaches to calculating reparations for damage caused to productive agricultural lands as a result of armed aggression. In S. A. Baliuk, A. V. Kucher, & M. I. Romashchenko (Eds.), *Soil cover of Ukraine under military actions: Status, challenges, and restoration measures* (Chap. 3, pp. 97–131). Kyiv: Ahrarna Nauka. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>
16. Achasov, A. B., Nemoshalov, O. M., & Seliverstov, O. Yu. (2024). Remote monitoring of the consequences of hostilities in Kharkiv region. In S. A. Baliuk, A. V. Kucher, & M. I. Romashchenko (Eds.), *Soil cover of Ukraine under military actions: Status, challenges, and restoration measures* (Chap. 2, pp. 97–131). Kyiv: Ahrarna Nauka. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>
17. Holubtsov, O., Sorokina, L., Splodytel, A., & Chumachenko, S. (2023). *Impact of Russia's war against Ukraine on the condition of Ukrainian soils: Results of analysis*. Kyiv: NGO “Center for Environmental Initiatives ‘Ecoaction’”. Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>
18. Petrushka, K., Petrushka, I., & Yukhman, Y. (2023). Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson coefficient: Case study of the city of Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 24(10), 77–85. <https://doi.org/10.12911/22998993/170078>
19. Petrushka, K., Petrushka, I., & Holdrych, A. (2024). Dynamics of heavy metals migration in the soil as a consequence of military actions. *Environmental Problems*, 9(2), 109–115. <https://doi.org/10.23939/ep2024.02.109>
20. Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnyi, Y., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, 27(7), 107–117. <https://doi.org/10.48077/sci-hor7.2024.107>
21. Rohanska Settlement Military Administration. (2026). Official website. Retrieved from <https://roganska-gromada.gov.ua/>
22. State Committee for Land Resources of Ukraine. (2003, October 6). On approval of the list of especially valuable soil groups (Order No. 245). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0996-03#Text>
23. Achasov, A. B., Seliverstov, O. Yu., Diadin, D. V., & Siedov, A. O. (2023). Remote monitoring of the consequences of hostilities in Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series “Ecology”*, (28), 71–82. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-06>
24. State Standard of Ukraine. (2005). *Soil quality. Sampling (DSTU 4287:2004)*. Kyiv. Retrieved from <https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4287-2004-yakist-gruntu.-vidbirannya-prob.pdf>
25. State Standard of Ukraine. (2009). *Soil quality. Determination of mobile compounds of manganese (zinc, cadmium, iron, cobalt, copper, nickel, chromium, lead) in soil in ammonium acetate buffer extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry (DSTU 4770.1-9:2007)*. Kyiv. Retrieved from [https://online.bud-standart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=58849](https://online.bud-standart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58849)
26. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021, December 15). On approval of maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils (Resolution No. 1325). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-п#Text>

The article was received by the editors 18.04.2026  
The article is recommended for printing 22.05.2026

The article was revised 19.05.2026  
This article published 30.05.2026