

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-76>

УДК 502.55:504.054:631.42

ШЕВЧЕНКО СЕРГІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7558-255X>e-mail: shevchenkos@khnmu.edu.ua**СФРЕМОВА ОЛЬГА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8153-1150>e-mail: yefremovaoo@khnmu.edu.ua**ШЕВЧУК НАТАЛІЯ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4298-205X>e-mail: shevchukni@khnmu.edu.ua**СТОПНЮК РОМАН**

Хмельницький національний університет

e-mail: shevchukni@khnmu.edu.ua

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УНАСЛІДОК ПАДІННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЯК ОБ'ЄКТУ ЕКОЛОГІЧНОГО ІНСПЕКТУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ СЕЛА КРАСНОСІЛКА СТАРОКОСТЯНТИНІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ)

У роботі здійснено еколого-геохімічну оцінку забруднення ґрунтів унаслідок падіння БПЛА, виявлено формування локалізованих зон інтенсивного забруднення важкими металами та розроблено рекомендації щодо екологічного інспектування та біологічної рекультивції забруднених територій.

Ключові слова: забруднення ґрунтів, безпілотні літальні апарати (БПЛА), важкі метали, екологічне інспектування, моніторинг довкілля, фіторе mediaція, агро екосистеми, рекультивация, фітомеліорація.

SHEVCHENKO SERGIY, YEFREMOVA OLHA, SHEVCHUK NATALIYA, ROMAN STOPNYK

Khmelnitskyi National University

ASSESSMENT OF SOIL CONTAMINATION CAUSED BY UNMANNED AERIAL VEHICLE FALLS AS AN OBJECT OF ENVIRONMENTAL INSPECTION (CASE STUDY OF KRASNOSILKA VILLAGE, STAROKOSTIANTYNIV URBAN TERRITORIAL COMMUNITY)

The article presents a comprehensive eco-geochemical evaluation of soil contamination resulting from the fall and detonation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Krasnosilka village, Starokostiantyniv urban territorial community. Intensive military activity has led to the formation of localized pollution zones containing residues of fuels, lubricants, explosive compounds, composite materials and metal fragments. Field sampling and laboratory analysis revealed elevated concentrations of heavy metals – particularly lead, cadmium, chromium, arsenic, mercury and iron – compared to background levels, with several toxicants exceeding Maximum Permissible Concentrations. These findings confirm the emergence of highly contaminated micro-sites that pose risks to agroecosystems through reduced soil fertility, impaired biological activity and potential bioaccumulation of pollutants in agricultural products. The study highlights the need for systematic environmental inspection, including spatially differentiated sampling, assessment of biological toxicity, and continuous monitoring of contaminant migration. Based on the obtained results, the paper proposes an integrated set of environmental mitigation and restoration measures. Priority is given to cost-effective biological remediation strategies, such as phytoremediation using metal-accumulating crops and the application of microbial biotechnologies to restore soil microbiota. For critically damaged areas, temporary land conservation is recommended to prevent further ecological degradation. The research provides scientifically grounded recommendations for improving environmental inspection procedures and establishing an effective system for post-war soil rehabilitation in agricultural landscapes.

Keywords: soil contamination, unmanned aerial vehicles (UAVs), heavy metals, environmental inspection, environmental monitoring, phytoremediation, agroecosystems, recultivation / reclamation, phytomelioration.

Стаття надійшла до редакції / Received 18.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Забруднення ґрунтів унаслідок падіння безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні становить актуальну екологічну проблему, що потребує системного наукового аналізу. Інтенсивне використання дронів у військових та цивільних операціях супроводжується потраплянням у ґрунт уламків конструкцій, залишків пального, мастильних матеріалів, вибухових речовин та металевих компонентів, що призводить до комплексного негативного впливу на фізико-хімічні властивості ґрунтів та біологічне різноманіття. Наслідком таких забруднень є зниження родючості ґрунтів, накопичення токсичних речовин у екосистемах та потенційні ризики для здоров'я населення, що ускладнює відновлення аграрних угідь і природних екосистем. У науковому та практичному аспектах дана проблема обумовлює потребу у розробці ефективних методів моніторингу, оцінки ризиків та рекультивції забруднених ділянок, а також у створенні функціональної системи екологічного інспектування, здатної забезпечити своєчасне виявлення та мінімізацію шкоди довкіллю. Розв'язання цього завдання є критично важливим для формування науково обґрунтованих підходів до охорони ґрунтів, розроблення нормативно-правових механізмів регулювання та забезпечення сталого управління екологічними ризиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні дослідження, присвячені екологічним наслідкам падіння та руйнування безпілотних літальних апаратів, свідчать про формування локальних зон техногенного забруднення, пов'язаних із компонентами двигунів, паливно-мастильними матеріалами, вибуховими речовинами та елементами електроніки. У науковій літературі описано вплив вибухових пристроїв, авіаційних палив, композитних матеріалів і літій-іонних батарей на якісний стан ґрунтів, зокрема підвищення концентрацій важких металів (Cu, Zn, Fe, Al), залишків вибухових сполук, поліароматичних вуглеводнів та нафтопродуктів. Наявні роботи з військової та техногенної екології також демонструють, що вибухові події часто спричиняють порушення верхнього ґрунтового горизонту, зміну мікробіологічної активності та формування короткотривалих, але інтенсивних забруднених плям [1–5].

Водночас дослідження, що безпосередньо стосуються падіння БПЛА в населених пунктах України, залишаються поодинокими та фрагментарними. У більшості випадків описані лише окремі епізоди без системного аналізу складу забруднювачів, просторової структури впливу та його динаміки в часі. Недостатньо вивченими залишаються питання взаємодії різнорідних токсикантів – металів, продуктів горіння композитів, мастил та залишків вибухових речовин – у ґрунтовому середовищі. Також відсутні чіткі методичні підходи до екологічного інспектування таких територій, які б враховували особливості локального розсіювання домішок і потребу швидкої оцінки ризиків [6–9].

У зв'язку з цим зростає потреба у комплексних польових дослідженнях, що дозволили б встановити характерні типи забруднення, визначити їхню інтенсивність і глибину проникнення у ґрунтовий профіль, а також адаптувати інспекційні процедури до реальних умов. Представлене дослідження спрямоване на заповнення цих прогалин шляхом аналізу забруднення ґрунтів у місці падіння безпілотного літального апарата, зіставлення отриманих даних із нормативами та розроблення рекомендацій для оперативного екологічного контролю [10–20].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження характеру та масштабів забруднення ґрунтів, що виникає внаслідок падіння та руйнування безпілотних літальних апаратів на території села Красносілка Старокостянтинівської міської територіальної громади. Робота спрямована на встановлення потенційних екологічних ризиків, оцінку наслідків для довкілля та визначення підходів до екологічного інспектування таких випадків.

Для досягнення мети передбачається виконати такі завдання:

- визначити перелік небезпечних компонентів, що можуть потрапляти у ґрунт у результаті їх падіння, горіння чи руйнування;
- провести оцінку фактичного стану ґрунтів на досліджуваній території та виявити характерні забруднювачі;
- оцінити ризики для екосистем, населення та об'єктів господарювання;
- окреслити рекомендації щодо екологічного інспектування, відбору проб, моніторингу та подальших заходів зі зменшення негативних наслідків.

Отримані результати дозволять сформулювати науково обґрунтовані висновки щодо впливу падіння безпілотних апаратів на якість ґрунтів та визначити ефективні підходи до державного екологічного контролю у подібних ситуаціях.

Виклад основного матеріалу

У межах села Красносілка внаслідок падіння безпілотних літальних апаратів основним проявом трансформації ґрунтового покриву стало формування кратерів у місцях їхнього падіння. Такі порушення спричиняють локальне хімічне забруднення та накопичення небезпечних залишків – зокрема фрагментів розірваних або нерозірваних боєприпасів.

Дослідження рівня забруднення важкими металами – свинцем, кобальтом, кадмієм, міддю, цинком, нікелем, марганцем, хромом, миш'яком і ртуттю – проводилося на території Красносільського старостинського округу в умовах техногенного навантаження. Відбір зразків здійснено у трьох просторово відокремлених точках: точка № 1 – у східній частині села, точка № 2 – у південно-західній, а точка № 3 – у північній (рисунок 1).

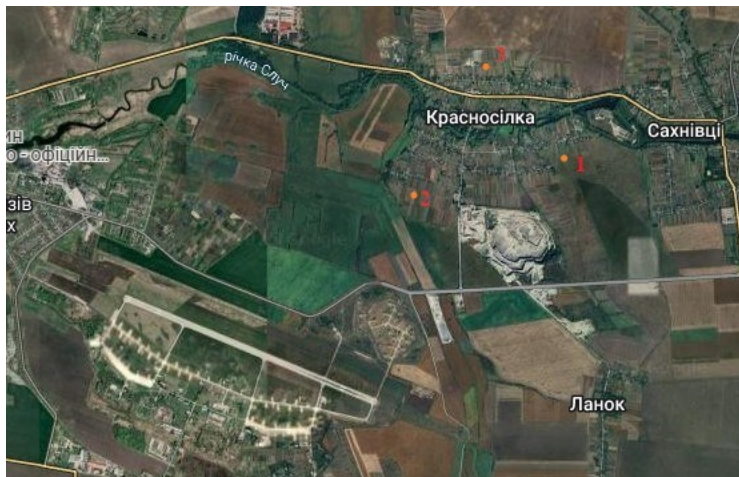


Рис. 1. Місця відбору ґрунтів для аналізу на території села Красносілка

Ґрунтові проби збиралися безпосередньо з ділянок падіння БПЛА різних типів. Контрольні (фонові) зразки відбиралися на відстані 100 м від вибухового кратера, на ґрунтах того ж типу. Маршрутні обстеження були спрямовані на визначення репрезентативних точок для відбору проб та на просторову оцінку масштабів і характеру забруднення.

Фізико-хімічні аналізи виконувалися з метою встановлення вмісту та концентрацій важких металів у ґрунті, для чого застосовувався спектральний метод. Лабораторні дослідження здійснювалися на базі приватного підприємства «Незалежний центр лабораторних досліджень «Еталон»» у місті Хмельницькому.

Для визначення вмісту рухомих форм важких металів використовували метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до чинних державних стандартів, що регламентують процедури оцінювання якості ґрунтів. Зокрема:

- вміст рухомих сполук свинцю (Pb) визначали за ДСТУ 4770.9:2007;
- кобальту (Co) – згідно з ДСТУ 4770.5:2007;
- кадмію (Cd) – відповідно до ДСТУ 4770.3:2007;
- міді (Cu) – за ДСТУ 4770.6:2007;
- цинку (Zn) – згідно з ДСТУ 4770.2:2007;
- нікелю (Ni) – за ДСТУ 4770.7:2007;
- заліза (Fe) – відповідно до ДСТУ 4770.4:2007;
- марганцю (Mn) – за ДСТУ 4770.1:2007;
- хрому (Cr) – відповідно до ДСТУ 4770.8:2007.

Визначення вмісту ртуті (Hg) та миш'яку (As) проводилося після відповідної пробопідготовки відповідно до ДСТУ ISO 11466:2001, а подальші вимірювання концентрацій виконувалися згідно з методикою ДСТУ ISO 16772:2005.

Для опрацювання результатів лабораторних вимірювань застосовували статистичні методи, що дозволило визначити статистично значущі відмінності між рівнями забруднення на різних досліджуваних територіях. Отримані результати дали змогу встановити просторові закономірності розподілу важких металів та окреслити критичні зони екологічного ризику.

Отримані результати аналізу ґрунтів у точці № 1, розташованій у східній частині села, подано в таблиці 1. Згідно з наведеними даними, вміст важких металів у ґрунтах на місці вибуху не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК). Водночас встановлено, що рівні свинцю, кадмію, хрому та ртуті є вищими порівняно з контрольними показниками. Перевищення становить від 1,4 рази для свинцю до 6,87 разів для ртуті. Крім того, концентрація хрому на ділянці вибуху досягає ГДК, перевищуючи контрольне значення у 1,67 рази.

Таблиця 1

Концентрація важких металів у ґрунті у першій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	3,20	2,300	139,13
Кобальт	5,0	0,01	0,01	100
Кадмій	0,7	0,50	0,32	156,25
Мідь	3,0	0,062	0,06	103,33
Цинк	23,0	0,32	0,32	100
Нікель	4,0	0,29	0,18	161,11
Марганець	140,0	9,95	9,50	104,74
Хром	0,05	0,05	0,03	166,67
Миш'як	2,0	0,11	0,09	122,22
Ртуть	2,1	1,03	0,15	686,67

Результати аналізу ґрунтів, відібраних у точці № 2, що знаходиться у південно-західній частині села Красносілка, подано в таблиці 2 (рисунк 2).

Таблиця 2

Концентрація важких металів у ґрунті у другій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху, (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	6,50	3,70	175,68
Кобальт	5,0	0,50	0,35	142,86
Кадмій	0,7	0,85	0,45	188,89
Мідь	3,0	0,33	0,29	113,80
Цинк	23,0	12,56	3,58	183,53
Нікель	4,0	1,56	0,85	350,84
Марганець	140,0	114,69	68,25	168,04
Хром	0,05	0,06	0,01	600,00
Миш'як	2,0	1,32	0,85	154,93
Ртуть	2,1	3,43	1,12	306,25

Аналіз даних таблиці 2 показує, що у зоні формування вирви, спричиненої падінням БПЛА, зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) низки важких металів, зокрема свинцю, кадмію, хрому та ртуті. Найбільше відхилення від нормативу встановлено для ртуті – понад 1,63 раза. Дещо нижчі, але також суттєві перевищення характерні для кадмію (1,21 раза), хрому (1,2 раза) та свинцю (1,08 раза).



Рис. 2. Точка № 2 відбору проб ґрунту на місці падіння БПЛА (листопад 2024 року)

Водночас, хоча вміст цинку та марганцю у ґрунтах не перевищує нормативних значень ГДК, їхні концентрації істотно підвищені порівняно з показниками контрольної ділянки: рівень цинку є вищим у 3,5 раза, а марганцю – у 1,7 раза.

Результати аналізу ґрунтів, відібраних у точці № 3, розташованій у північній частині села Красносілка (рисунок 3), подано в таблиці 3.



Рис. 3. Точка № 3 відбору проб ґрунту на місці падіння БПЛА (жовтень 2024 року)

Таблиця 3

Концентрація важких металів у ґрунті у третій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху, (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	4,88	0,23	2121,74
Кобальт	5,0	0,15	0,14	107,14
Кадмій	0,7	0,04	0,041	97,57
Мідь	3,0	0,2	0,2	100
Цинк	23,0	3,6	2,9	124,14
Нікель	4,0	0,37	0,35	105,71
Марганець	140,0	51,90	51,00	101,76
Хром	0,05	0,01	0,01	100
Миш'як	2,0	0,88	0,12	733,3
Ртуть	2,1	1,11	0,09	1233,3

Дані, представлені в таблиці 3, свідчать, що загальна концентрація важких металів у ґрунтах точки № 3, розташованої на північній частині села Красносілка, не перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК). Водночас у ґрунті зафіксовано підвищені рівні свинцю, марганцю, миш'яку та ртуті. Особливо слід підкреслити, що концентрації свинцю, миш'яку та ртуті на місці вибуху значно перевищують показники контрольної ділянки: для свинцю – у 21 раз, для миш'яку – у 7,33 раза, для ртуті – у 12,3 раза.

На рисунку 4 подано узагальнені дані щодо концентрацій важких металів у районах вибухів на території Хмельницької області. Аналіз цього рисунка показує, що найбільші рівні свинцю, цинку та ртуті були зафіксовані в зоні вибухів точки № 2, розташованої у південно-західній частині села.

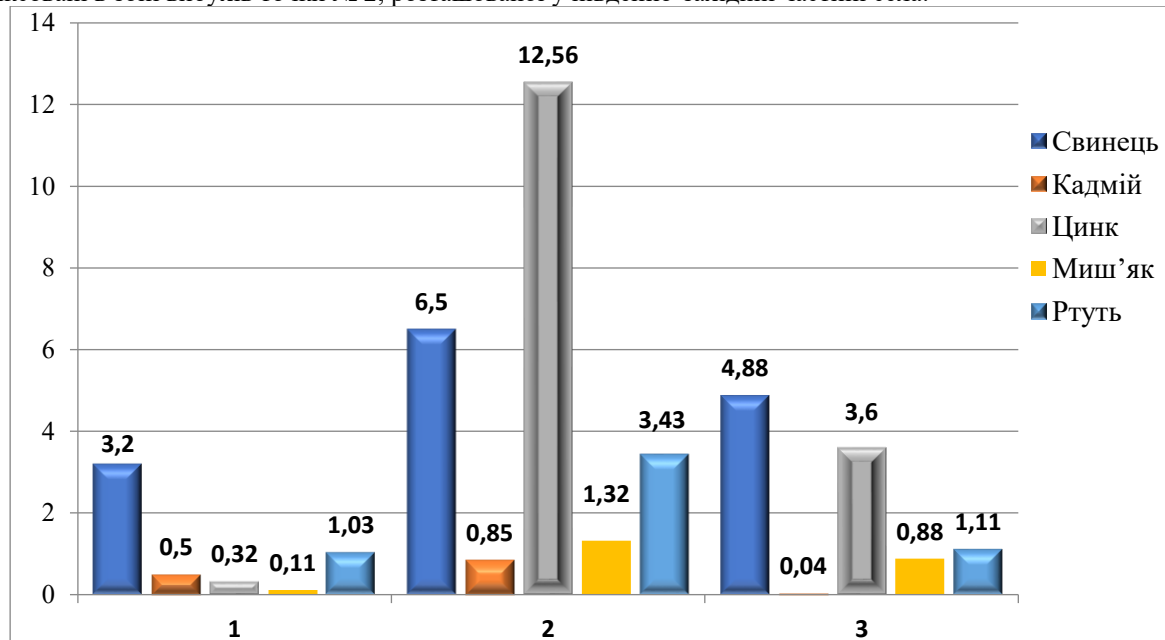


Рис. 4. Зведені дані стосовно важких металів, що мають найвищу концентрацію у межах села Красносілка, мг/кг

Рисунок 5 ілюструє рівень забруднення марганцем на території села Красносілка, зокрема в зонах вибухів та на контрольній ділянці, із порівнянням із гранично допустимими концентраціями (ГДК). Згідно з цим рисунком, хоча концентрація марганцю на місцях вибухів не перевищує нормативні значення, спостерігається суттєве перевищення фонових показників у точці № 2 – майже у 1,7 раза, що може свідчити про вплив військових дій на стан ґрунтів.

Залізо є одним із найпоширеніших елементів у природному середовищі та відноситься до елементів III класу небезпеки. У природі воно зустрічається у трьох хімічних формах, серед яких найбільш шкідливою для навколишнього середовища є форма оксидів заліза (іржі). Результати хімічного аналізу вмісту заліза в ґрунтах, що зазнали впливу військових дій на території Хмельницької області, наведені в таблиці 4 (рисунок 6).

Таблиця 4

Вміст заліза у ґрунті в результаті військових дій на території Хмельницької області, мг/кг

Точка відбору	У місці вибуху	Поза зоною впливу вибуху, (фонова концентрація)	Відсоток до фонові концентрації, %
1	11,13	7,53	147,8
2	28,62	8,15	351,2
3	15,15	12,24	123,8

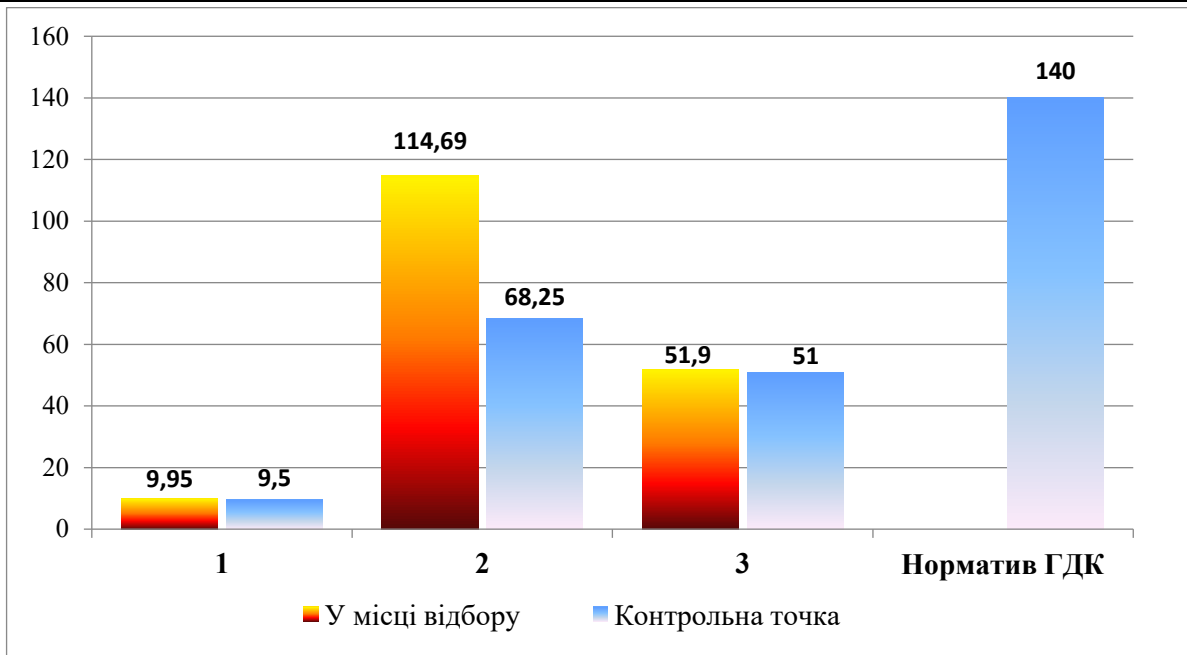


Рис. 5. Дані забруднення марганцем на території села Красносілка у місці вибухів та контрольній ділянці у порівнянні з нормативом ГДК, мг/кг

Вміст валових форм заліза в пробах ґрунту з зон падіння безпілотних літальних апаратів та ракет коливався від 11,11 до 28,62 мг/кг ґрунту, тоді як за межами зони бойових дій цей показник становив від 7,53 до 12,24 мг/кг. Перевищення фонових значень було зафіксовано у всіх трьох відібраних зразках.

Середній рівень заліза на забруднених територіях села Красносілка перевищував фонові показники у 1,97 раза. Найвищий ступінь забруднення ґрунту зафіксовано в пробі з точки № 2, де вміст заліза перевищував фоновий рівень у 3,51 раза.



Рис. 6. Місце падіння БПЛА типу «Shahed-136» біля села Красносілка

Забруднення ґрунтів унаслідок падіння БПЛА в селі Красносілка, хоча здебільшого не перевищує загальноприйнятих ГДК, створює значні локальні ризики через істотне підвищення концентрацій важких металів та інших токсикантів порівняно з фоновими показниками.

У місцях падіння відбувається потрапляння в ґрунт уламків, залишків пального, мастильних матеріалів, вибухових речовин та металевих компонентів. У точці № 2 зафіксовано перевищення ГДК для ртуті (понад 1,63 раза), кадмію (1,21 раза), хрому (1,2 раза) та свинцю (1,08 раза). Спостерігається суттєве перевищення фонових концентрацій, що свідчить про інтенсивне локальне забруднення. Наприклад:

- свинець: перевищення фону до 21 раза (точка № 3);
- ртуть: перевищення фону до 12,3 раза (точка № 3) і до 6,87 раза (точка № 1);
- залізо: перевищення фону до 3,51 раза (точка № 2).

Окрім того, формування кратерів внаслідок падіння БПЛА порушує верхній ґрунтовий горизонт. У кратерах можуть накопичуватися фрагменти розірваних або нерозірваних боєприпасів, що становить пряму небезпеку.

Накопичення токсичних речовин (особливо важких металів) у ґрунтах сільських територій створює потенційні ризики для здоров'я населення через їхнє потрапляння в харчовий ланцюг. Наслідком забруднень є зниження родючості ґрунтів, що ускладнює відновлення аграрних угідь та природних екосистем.

Ефективне відновлення територій, забруднених внаслідок падіння БПЛА, вимагає комплексного підходу, що поєднує інспектування, лабораторну діагностику та застосування економічно обґрунтованих методів рекультивації.

Екологічне інспектування має бути першим і найважливішим етапом, що забезпечує достовірність подальших рішень. Необхідне проведення комплексної еколого-геохімічної оцінки ґрунтів у поствоєнних ландшафтах. Ця оцінка повинна включати аналіз не лише перевищення ГДК, а й кумулятивної оцінки ступеня пошкоджень ґрунтового покриву для визначення придатності ділянки до подальшого використання. Проби мають відбиратися безпосередньо з ділянок падіння БПЛА (вибухових кратерів), де концентрація токсичних речовин є максимальною. Фонові (контрольні) зразки слід відбирати на відстані щонайменше 100 м від зони впливу вибуху, обов'язково на ґрунтах одного типу. Обов'язкове проведення діагностики біологічної активності та фітотоксичності ґрунтів у лабораторних умовах. Це дозволить виявити не лише наявність хімічних речовин, але й їхній фактичний негативний вплив на живі організми та рослини.

Моніторинг повинен бути системним і охоплювати як просторові, так і часові аспекти забруднення. Необхідно встановити характерні типи забруднення, їхню інтенсивність і глибину проникнення у ґрунтовий профіль. Це дозволить розробити локалізовані карти забруднення. Забезпечити системний аналіз складу забруднювачів та його динаміки в часі для оцінки ефективності проведених рекультиваційних заходів та швидкості природної деградації токсикантів. Впровадити обов'язковий контроль за накопиченням токсичних речовин (важких металів) у сільськогосподарській продукції, вирощеній на потенційно забруднених або прилеглих територіях, для мінімізації ризиків для здоров'я населення. Наявність локальних зон інтенсивного забруднення вимагає розробки ефективних методів моніторингу та рекультивації.

Основні напрямки рекультивації території, яка зазнала забруднення внаслідок військових дій чи падіння БПЛА, повинні охоплювати групи методів та стратегію консервації для найбільш пошкоджених ділянок.

Сучасні підходи до обробки забруднених ґрунтів включають фізичну (стабілізація, захоронення, електролітична технологія), хімічну (екстракція, вилугування, іммобілізація) та біологічну ремедіацію. Для територій із помірним рівнем забруднення, особливо на сільськогосподарських угіддях, найбільш перспективними та економічно вигідними є біологічні методи. Серед них ключовим є фіторемердіація (зокрема фітоекстракція), що використовує рослини (соняшник, ріпак, бобові) для поглинання та нейтралізації токсичних елементів, як-от важкі метали. Додатково застосовують мікробні біотехнології та біопрепарати для стимуляції розкладу токсичних сполук та відновлення корисної мікробіоти ґрунту.

Для відновлення родючості земель сільськогосподарського призначення необхідно впроваджувати ощадливі технології обробітку ґрунту (strip-till, no-till), ретельно планувати сівозміни, використовувати сидерати та багаторічні трави, а також вносити органічні добрива (гноєві компости). Оскільки високозатратні методи не завжди є економічно доцільними, для земель із найбільшими пошкодженнями (понад 75 %) найбільш ефективною стратегією є консервація. Цей підхід передбачає припинення господарської діяльності та вилучення земель з обігу, що забезпечує природне відновлення екосистем.

Перед вибором оптимальної методики рекультивації необхідне проведення комплексної еколого-геохімічної оцінки ґрунтів та діагностики їхньої біологічної активності й фітотоксичності. Вибір технології залежить від характеру та ступеня забруднення, цільового призначення ділянки та економічної обґрунтованості обраного методу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведене дослідження підтверджує, що падіння безпілотних літальних апаратів призводить до формування локалізованих зон інтенсивного техногенного забруднення ґрунтів, які характеризуються значним підвищенням концентрації важких металів (свинець, кадмій, ртуть, хром, залізо) та інших токсичних компонентів порівняно з фоновими рівнями. Хоча у більшості випадків не було перевищення загальнодержавних гранично допустимих концентрацій (ГДК), зареєстроване істотне підвищення фонових значень створює прямі ризики для агроекосистем через зниження родючості та потенційне накопичення

токсичних речовин у харчовому ланцюзі, що вимагає негайного та систематичного екологічного інспектування та впровадження заходів з рекультивації.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на систематичну, комплексну еколого-геохімічну оцінку поствоєнних ландшафтів, включаючи моделювання довгострокової динаміки міграції та біоаккумуляції специфічних контамінантів із залишків БПЛА. Пріоритетом є розробка та оптимізація економічно вигідних біологічних методів ремедіації (фіторемердіація, мікробні біотехнології) для великомасштабного відновлення земель. Необхідним є також нормативно-методичне забезпечення процесів відновлення, включаючи розробку чітких критеріїв для класифікації пошкоджень та визначення стратегій консервації критично забруднених і пошкоджених сільськогосподарських угідь.

Література

1. Балюк С. А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, Л. І. Воротинцева // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8. – С. 5–11.
2. Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure : Considering toxic and flammable compounds / Peter J. Bugryniec [et al.] // Journal of Energy Storage. – 2024. – Vol. 87. – Article 111288.
3. Takahashi K. Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar – soil characterisation and its verification by a field test / K. Takahashi, H. Preetz, J. Igel // J. Appl. Geophys. – 2011. – № 73. – P. 368–377.
4. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. – Київ : ГО – Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. – 32 с.
5. Василюк О. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Василюк, К. Норенко. – Львів : Манускрипт, 2019 – 68 с.
6. Weber A.K. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course / A. K. Weber, D. I. Bannon, J. H. Abraham, R. B. Seymour, P. H. Passman // J. Occup. Environ. Hyg. – 2020. – № 17 (11–12). – P. 598–610.
7. Khan K.Y. Bioavailability and bioaccessibility of Cd in low and high Cd uptake affinity cultivars of Brassica rapa ssp. Chinensis L. (Pakchoi) using an In vitro gastrointestinal and physiologically-based extraction test. Commun / K. Y. Khan, P. J. Stoffella, Y. Feng // Soil Sci. – 2020. – Plan 51 (1). – P. 28–37.
8. Rehman K. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences / K. Rehman, F. Fatima, I. Waheed, M.S.H. Akash // J. Cell. Biochem. – 2018. – № 119 (1). – P. 157–184.
9. Baraquoni, N. A. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: long-term changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks / N.A. Baraquoni, S.R. Qouta, S.Y. Diab // Int. J. Environ. Res. Publ. – 2020. – Health 17 (18). – P. 6698.
10. Manduca P. Long term risks to neonatal health from exposure to war-9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in Gaza, Palestine / P. Manduca, N. Al Baraquoni, S. Parodi // Int. J. Environ. – 2020. – Health 17 (7). – P. 2538.
11. Rylott E. L. Right on target: using plants and microbes to remediate explosives / E.L. Rylott, N.C. Bruce. – Int. J. – 2019. – Phytoremediation 21 (11). – P. 1051–1064.
12. Via S. M. Phytoremediation of Explosives. In: Shmaefsky B. (eds) Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences Springer, Cham. – 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_8 (дата звернення 10.11.2025).
13. Рибалова О.В. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів важкими металами. Проблеми надзвичайних ситуацій / О. В. Рибалова, О. В. Бригада, О. О. Бондаренко, Є.О. Макаров. – 2019. – № 1(29). – С. 79–99.
14. Наказ Міністерства охорони здоров'я № 1595 від 14.07.2020 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 16.11.2025).
15. Кумбер Є. «Ніде у світі з таким не стикалися». Росія застосувала проти України всі наявні типи ракет – Повітряні сили [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/raketni-udari-po-ukrajini-rosiya-vikoristovuye-vsi-tipi-raket-ale-pochinaye-ekonomiti-dorogi-50256188.html> (дата звернення: 21.11.2025).
16. Петрович О. Військові шрами на українських полях, або Як відновити аграрний ландшафт після бомбардування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://latifundist.com/blog/read/2884-vijskovi-shrami-na-ukrayinskih-polyah-abo-yak-vidnoviti-agrarnij-landshaft-pislya-bombarduvannya> (дата звернення: 21.11.2025).
17. Крайнюков О. М. Оцінка впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин / О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька, Ю. Ю. Черкашина // Young Scientist. Сер. Біологічні науки. – 2020. – № 4 (80). – С. 244–252.
18. Рекультивація та фітомеліорація / В. П. Кучерявий та ін. Львів : Світ, 2006. – 116 с.
19. Порядок консервації земель від 19.01.2022 р. № 35. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.05.2025).

20. Іванішена Т. В. Сучасні підходи у дослідженні якості ґрунтів внаслідок забруднення військовими діями / Т. В. Іванішена, П. І. Лепікаш // *Перспективи розвитку науки, освіти і суспільства в контексті євроінтеграції: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Ізмаїл, 31 жовтня 2024 р.): у 2 ч. Ізмаїл : ЦФЕНД, 2024. – С. 41–44.*

References

1. Baliuk S. A. Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho yii ravnia / S. A. Baliuk, V. V. Medvediev, L. I. Vorotyntseva // *Visnyk aharnoi nauky*. – 2017. – № 8. – С. 5–11.
2. Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure : Considering toxic and flammable compounds / Peter J. Bugryniec [et al.] // *Journal of Energy Storage*. – 2024. – Vol. 87. – Article 111288.
3. Takahashi K. Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar – soil characterisation and its verification by a field test / K. Takahashi, H. Preetz, J. Igel // *J. Appl. Geophys* – 2011. – № 73. – P. 368–377.
4. Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu / O. Holubtsov, L. Sorokina, A. Splodytel, S. Chumachenko. – Kyiv : HO – Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiia», 2023. – 32 s.
5. Vasyliuk O. Vplyv viiskovoi diialnosti na pryrodu Ukrainy: posibnyk / O. Vasyliuk, K. Norenko. – Lviv : Manuscript, 2019 – 68 s.
6. Weber A.K. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course / A. K. Weber, D. I. Bannon, J. H. Abraham, R. B. Seymour, P. H. Passman // *J. Occup. Environ. Hyg.* – 2020. – № 17 (11–12). – P. 598–610.
7. Khan K.Y. Bioavailability and bioaccessibility of Cd in low and high Cd uptake affinity cultivars of Brassica rapa ssp. Chinensis L. (Pakchoi) using an In vitro gastrointestinal and physiologically-based extraction test. *Commun. K. Y. Khan, P. J. Stoffella, Y. Feng // Soil Sci.* – 2020. – Plan 51 (1). – P. 28–37.
8. Rehman K. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences / K. Rehman, F. Fatima, I. Waheed, M.S.H. Akash // *J. Cell. Biochem.* – 2018. – № 119 (1). – P. 157–184.
9. Baraquoni, N. A. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: long-term changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks / N.A. Baraquoni, S.R. Qouta, S.Y. Diab // *Int. J. Environ. Res. Publ.* – 2020. – Health 17 (18). – P. 6698.
10. Manduca P. Long term risks to neonatal health from exposure to war-9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in Gaza, Palestine / P. Manduca, N. Al Baraquni, S. Parodi // *Int. J. Environ.* – 2020. – Health 17 (7). – P. 2538.
11. Rylott E. L. Right on target: using plants and microbes to remediate explosives / E.L. Rylott, N.C. Bruce. – *Int. J.* – 2019. – *Phytoremediation* 21 (11). – P. 1051–1064.
12. Via S. M. Phytoremediation of Explosives. In: Shmaefsky B. (eds) *Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences* Springer, Cham. – 2020. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_8 (data zvernennia 10.11.2025).
13. Rybalova O.V. Novyi metod otsinky ryzyku dlia zdorovia naseleння vid zabrudnennia gruntiv vazhkykh metalamy. Problemy nadzvychainykh sytuatsii / O. V. Rybalova, O. V. Bryhada, O. O. Bondarenko, Ye. O. Makarov. – 2019. – № 1(29). – С. 79–99.
14. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia № 1595 vid 14.07.2020 «Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh rehovyn u gruntі». – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (data zvernennia: 16.11.2025).
15. Kumber Ye. «Nide u sviti z takym ne stykalsia». Rosiia zastosuvala proty Ukrainy vsi naiavni typy raket – Povitriani syly [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/raketni-udari-po-ukrajini-rosiya-vikorisovuye-vsi-tipi-raket-ale-pochinaye-ekonomiti-dorogi-50256188.html> (data zvernennia: 21.11.2025).
16. Petrovych O. Viiskovi shramy na ukrainskykh poliakh, abo Yak vidnovyti ahraryi landshaft pislia bombarduvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://latifundist.com/blog/read/2884-vijskovi-shrami-na-ukrayinskih-polyah-abo-yak-vidnoviti-agramij-landshaft-pislya-bombarduvannya> (data zvernennia: 21.11.2025).
17. Krainiukov O. M. Otsinka vplyvu vazhkykh metaliv na fotosyntezuiuchy aparat roslin / O.M. Krainiukov, I. A. Kryvytska, Yu. Yu. Cherkashyna // *Young Scientist. Ser. Biologichni nauky*. – 2020. – № 4 (80). – С. 244–252.
18. Rekultivatsiia ta fitomelioratsiia / V. P. Kucheriavyyi ta in. Lviv : Svit, 2006. – 116 s.
19. Poriadok konservatsii zemel vid 19.01.2022 r. № 35. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 24.05.2025).
20. Ivanishena T. V. Suchasni pidkhody u doslidzhenni yakosti gruntiv vnaslidok zabrudnennia viiskovymy diiamy / T. V. Ivanishena, P. I. Lepikash // *Perspektyvy rozvytku nauky, osvity i suspilstva v konteksti yevrointehratsii: zbirnyk tez dopovidei mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Izmail, 31 zhovtnia 2024 r.): u 2 ch. Izmail : TsFEND, 2024. – С. 41–44.*