



Сергій ШЕВЧЕНКО,
доцент кафедри екології та біологічної освіти Хмельницького
національного університету, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок військових дій та шляхи їх відновлення (на прикладі села Красносілка Хмельницької області)

Сучасні воєнні дії негативно впливають на стан природного середовища, зокрема на ґрунтовий покрив. Забруднення ґрунтів токсичними елементами, вибуховими речовинами та важкими металами є одним із найбільш стійких наслідків збройних конфліктів.

Ґрунт, як основний компонент біосфери, виконує функцію фільтра, що забезпечує очищення води, збереження біорізноманіття та підтримку родючості. Порушення його структури призводить до деградації екосистем, втрати продуктивності та підвищення екологічних ризиків.

Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на оцінку ступеня забруднення ґрунтів у районах, що зазнали впливу вибухів боєприпасів і падіння безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Раніше подібні екологічні проблеми досліджувалися після конфліктів на Балканах, у Сирії та Іраку, де фіксувалося зростання концентрацій свинцю, кадмію, міді, ртуті та цинку у десятки разів порівняно з природним фоном. В Україні ці питання набувають критичного значення через широкомасштабні бойові дії, що призводять до локального забруднення земельних ресурсів.

Метою пропонованої роботи є оцінка вмісту важких металів у ґрунтах села Красносілка Старокостянтинівської міської територіальної громади, які зазнали впливу бойових дій, а також розробка заходів щодо їх екологічного відновлення. Результати дослідження мають практичне значення для подальшого планування рекультиваційних заходів у поствоєнний період.

Дослідження проводилися у трьох контрольних точках на території села Красносілка, де було зафіксовано падіння БПЛА різних типів. Вибір проб здійснювався у місцях вибухів (у межах кратерів) та на контрольних ділянках, розташованих на відстані 100 м від епіцентрів.

Ґрунтові проби відбирали з глибини від 0 до 20 см, висушували, просіювали та аналізували за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Показники порівнювали із гранично допустимими концентраціями (ГДК), визначеними нормативами ДСТУ 4770.1–4770.9:2007.

Результати дослідження проб ґрунтів, відібраних у точці № 1, що розташована на східній околиці села, наведено в таблиці 1. Аналіз показав, що концентрації важких металів (свинець, кадмій, хром, ртуть) не перевищують встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК). Однак, порівняно з контрольними зразками, зафіксовано суттєве зростання їхнього вмісту.

Таблиця 1. Концентрація важких металів у ґрунті в першій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху (фонова), мг/кг	Перевищення відносно фону, разів
Свинець	6,0	3,20	2,300	1,39
Кобальт	5,0	0,01	0,01	1,00
Кадмій	0,7	0,50	0,32	1,56
Мідь	3,0	0,062	0,06	1,03
Цинк	23,0	0,32	0,32	1,00
Нікель	4,0	0,29	0,18	1,61
Марганець	140,0	9,95	9,50	1,05
Хром	0,05	0,05	0,03	1,66
Миш'як	2,0	0,11	0,09	1,22
Ртуть	2,1	1,03	0,15	6,87

Зокрема, вміст свинцю перевищує контрольний рівень у 1,4 раза, кадмію – у 1,6 раза, хрому – у 1,67 раза (при цьому його концентрація дорівнює ГДК), а ртуті – у 6,87 раза. Такі показники свідчать про локальне забруднення ґрунтового середовища, що могло виникнути внаслідок термічного руйнування матеріалів корпусу безпілотної, згорання палива або вибухових компонентів.

Незважаючи на те, що отримані концентрації не перевищують критичних меж для екосистеми, наявність тенденції до зростання вмісту токсичних елементів вказує на необхідність проведення повторного моніторингу через певний період часу. Це дозволить оцінити динаміку розсіювання або акумуляції важких металів у верхньому шарі ґрунту та визначити потенційну небезпеку для довкілля і населення прилеглих територій.

Результати аналізу ґрунтів, відібраних на місцях падіння безпілотних літальних апаратів у точці № 2, розташованій у південно-західній частині села Красносілка, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Концентрація важких металів у ґрунті в другій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху (фонова), мг/кг	Перевищення відносно фону, разів
Свинець	6,0	6,50	3,70	1,76
Кобальт	5,0	0,50	0,35	1,42
Кадмій	0,7	0,85	0,45	1,89
Мідь	3,0	0,33	0,29	1,14
Цинк	23,0	12,56	3,58	1,83
Нікель	4,0	1,56	0,85	3,51
Марганець	140,0	114,69	68,25	1,68
Хром	0,05	0,06	0,01	6,00
Миш'як	2,0	1,32	0,85	1,55
Ртуть	2,1	3,43	1,12	3,06

Таблиця 2 демонструє, що в зоні утворення вирви внаслідок падіння БПЛА перевищено гранично допустимі концентрації важких металів: ртуть – >1,63 ГДК, кадмій – 1,21 ГДК, хром – 1,2 ГДК, свинець – 1,08 ГДК. Концентрації цинку та марганцю не перевищують нормативів, проте значно перевищують показники контрольної точки (відповідно у 3,5 та 1,7 раза).

Результати досліджень ґрунтів з місць падання безпілотних літальних апаратів у точці № 3 (рисунок 1) на півночі села Красносілка наведені в таблиці 3.



Рисунок 1. Точка відбору проб ґрунту №3 на місці падіння БПЛА

Згідно з даними таблиці 3, концентрації важких металів у ґрунтах точки № 3, розташованої на північній частині села Красносілка, не перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК). Водночас у ґрунті зафіксовано підвищені рівні свинцю, марганцю, миш'яку та ртуті. Особливо помітне перевищення концентрацій свинцю, миш'яку та ртуті порівняно з контрольною точкою: свинець – у 21 раз, миш'як – у 7,33 раза, ртуть – у 12,3 раза.

Таблиця 2. Концентрація важких металів у ґрунті в третій точці падіння БПЛА

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху (фонова), мг/кг	Перевищення відносно фону, разів
Свинець	6,0	4,88	0,23	21,22
Кобальт	5,0	0,15	0,14	1,07
Кадмій	0,7	0,04	0,041	0,97
Мідь	3,0	0,2	0,2	1,00
Цинк	23,0	3,6	2,9	1,24
Нікель	4,0	0,37	0,35	1,05
Марганець	140,0	51,90	51,00	1,01
Хром	0,05	0,01	0,01	1,00
Миш'як	2,0	0,88	0,12	7,33
Ртуть	2,1	1,11	0,09	12,33

На рисунку 2 представлені узагальнені дані щодо концентрацій важких металів у районах вибухів на території Хмельницької області. Аналіз показує, що внаслідок бойових дій найвищі концентрації свинцю, цинку та ртуті спостерігаються в зоні вибухів на ділянці № 2, розташованій у південно-західній частині села.



Рисунок 2. Зведені дані стосовно важких металів, що мають найвищу концентрацію у межах села Красносілка, мг/кг

Враховуючи критичний характер ситуації, що виникла внаслідок бойових дій поблизу села Красносілка, виникає нагальна потреба у визначенні ефективних заходів для подолання забруднення ґрунтів.

Для зменшення екологічного навантаження та відновлення функцій ґрунтового покриву пропонується комплексна програма рекультивції, яка включає фізичні, хімічні та біологічні методи очищення. Одним із найбільш перспективних напрямів є біологічна ремедіація – використання живих організмів для знешкодження забруднювачів.

Фіторемердіація базується на здатності рослин поглинати важкі метали через кореневу систему з подальшим їх накопиченням у біомасі. До ефективних фіторемердіантів

належать соняшник, ріпак, гірчиця, люпин, конюшина. Використання таких культур сприяє поступовому очищенню ґрунту, а зібрана біомаса підлягає термічній утилізації. Для посилення ефекту очищення рекомендується застосовувати мікробні біопрепарати, що активують процеси розкладу токсичних сполук.



Консервація територій із високим рівнем забруднення є важливою частиною екологічної політики. Доцільним є надання таким ділянкам статусу природоохоронних територій до моменту стабілізації хімічного складу ґрунтів. Додатково рекомендується впровадження сидеральних культур для збагачення ґрунту органічною речовиною та підтримки мікробіологічної активності.



Висновки. Внаслідок падіння БПЛА на території села Красносілка Старокостянтинівської міської територіальної громади зафіксовано підвищення концентрацій свинцю, кадмію, ртуті, хрому, нікелю та цинку. Перевищення гра-

нично допустимих концентрацій становить від 1,2 до 1,6 разів для окремих металів.

Найвищий рівень забруднення виявлено у південно-західній частині села Красносілка, де концентрація ртуті перевищує норматив у 1,63 рази, а кадмію – у 1,21 рази.

Для екологічного відновлення ґрунтів рекомендовано застосування біологічних методів, зокрема фітореMediaції, мікробних біопрепаратів і сидеральних культур. Території з високим рівнем токсичності доцільно тимчасово консервувати або перевести у статус природоохоронних земель.

Використані джерела

1. Балує С. А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балує, В. В. Медведєв, Л. І. Воротинцева // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8. – С. 5–11.
2. 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.
3. Василюк О. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Василюк, К. Норенко. – Львів: Манускрипт, 2019 – 68 с.
4. 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.
5. 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.
6. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України / А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокіна – Київ: ГО – Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. – 154 с.
7. 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>
8. Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://salo.li/38A1eb0>.
9. 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.
10. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://salo.li/9D13f2c>.
11. Рекультивация та фітомеліорація / В. П. Кучерявий та ін. Львів: Світ, 2006. – 116 с.
12. Порядок консервації земель від 19.01.2022 р. № 35. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://salo.li/cADeAdB>.