

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



«АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ»

Збірник матеріалів
Міжнародна науково-практична конференція
науково-педагогічних працівників та молодих науковців



Одеса 2025

DOI <https://doi.org/10.37000/7738387135>

УДК: 637.05:614.31

Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 2-3 жовтня 2025р., Одеса: Одеський державний аграрний університет, 2025. 567 С.

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного аграрного університету (протокол №2 від 30 жовтня 2025 р.)

УДК 631.41:623.565.5

**ПРОСТОРОВІ ПАРАМЕТРИ РОЗПОДІЛУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
У ҐРУНТАХ ЗОН ВИБУХІВ МІН І СНАРЯДІВ**

Віктор МИХАЙЛЮК, доктор географічних наук, професор кафедра геодезії,
землеустрою та земельного кадастру, e-mail mykhailiukv@osau.edu.ua

Одеський державний аграрний університет,
м. Одеса, Україна

Вивчення наслідків вибухів боєприпасів на хімічний стан ґрунтів є надзвичайно актуальним завданням, оскільки вони можуть спричиняти довготривалі зміни у їх складі та властивостях. Вибухи можуть призводити як до локального забруднення ґрунту важкими металами та іншими хімічними елементами, що входять до складу боєприпасів, так і до механічного перемішування ґрунтових горизонтів, змінюючи просторовий розподіл елементів, які вже присутні у ґрунті. Розуміння цих процесів має важливе значення для оцінки екологічних ризиків, планування заходів з рекультивації та прогнозування довгострокових змін у довкіллі

У власних дослідженнях ми запропонували термін *бомбова ерозія ґрунтів* для позначення сукупності процесів, що виникають унаслідок вибухів боєприпасів. Вона поєднує локальне вибухове зрізання ґрунту з утворенням вирв і формуванням кавернозного рельєфу, переміщенням і розсіюванням ґрунтової маси, відслоненням у

вирвах глибших горизонтів із меншим вмістом органічної речовини та елементів живлення, а також із бомботурбацією і трансформацією агрофізичних властивостей ґрунту [1]. **З огляду на це, коректна оцінка забруднення можлива лише з урахуванням того, що бомбова ерозія формує ґрунтовий покрив із аномальними структурними елементами, які зумовлюють просторову і глибинну нерівномірність складу і властивостей ґрунтів.**

Наукові дослідження на деокупованих територіях України зафіксували значне перевищення фонових рівнів забруднюючих речовин. При цьому було встановлено, що важливою особливістю процесу воєнного забруднення ґрунтів є його локалізований характер: формування так званих «гарячих точок» у вирвах від вибухів снарядів, місцях згорілої техніки та лініях окопів. Зокрема, у таких точках в межах сіл Благодатне, Киселівка, Васильки та Максимівка Миколаївського району Миколаївської області виявлено надзвичайно високі перевищення фонового вмісту міді (у 8,8-81,19 разів) і кадмію [4]. Дослідження у Сумській області також підтвердили формування виразних локальних аномалій. Концентрації свинцю тут перевищували фоновий рівень удвічі, ртуті – у 2-3 рази, тоді як кадмій і арсен в окремих випадках сягали 4-5-кратного перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) [5]. Інші роботи, проведені в цьому регіоні, показали, що в зонах бойових дій рівень свинцю та цинку може перевищувати природний фон у десятки разів, а мідь і нікель – у кілька разів порівняно з контрольними ділянками [3]. Такі результати свідчать про формування небезпечних геохімічних аномалій у зоні вибухів.

Важливі просторові особливості забруднення виявлені в Харківській області, де максимальні концентрації рухомих форм важких металів зафіксовано не в центрі вирви від 152 мм снаряду, а на відстані 40-50 м від епіцентру. Це спостереження ставить під сумнів поширене припущення, що найвищий рівень забруднення зосереджений тільки у місці вибуху. Зазначене підкреслює необхідність відбору проб не лише безпосередньо у вирвах, а й на прилеглий території [2].

Метою цього дослідження є аналіз просторових особливостей розподілу хімічних елементів у вирвах, що утворилися внаслідок підриву мін і снарядів.

Відбір зразків ґрунту проведено в правобережній частині Херсонської області у серпні 2023 р. Обстежено вирви, утворені внаслідок детонацій 122/152 мм артилерійських снарядів (вирви 7, 8) та протитанкових (ТМ-62) і протипіхотних (ПМН-2) мін (відповідно вирви 1-3 і 4-6) під час бойових дій у 2022 р (локації 2, 7, 8) і під час розмінування у 2023 р (локації 1, 3-6). У центрі кожної вирви відбирали одиничний поверхневий зразок з шару 0-15 см. На відстанях 1, 2 та 3,5 м (у великій вирві № 3 – також на 5-6 м) взято змішані кругові проби, сформовані з 6-8 одиничних зразків; аналогічно відібрано проби в горизонтах 15-30 та 30-45 см. Контрольні змішані проби отримано на віддаленні 50-750 м. Дослідження проведені: - у межах ареалів темно-каштанових ґрунтів – вирви 1 (46°44'38,41"; 32°11'59,59"), 7 (46°45'03,07"; 32°12'43,61"), 8 (46°45'03,13"; 32°12'42,43"), в тому числі у вирві № 2 (46°44'34,53"; 32°12'51,24"), розташованій на відстані 9 м від бровки і 14 від осі зрошувального каналу; - лучно-каштанових ґрунтів балки Білозерка – вирва 3 (46°42'54,45"; 32°24'27,30"); - чорноземів південних – вирва 6 (47°13'06,77"; 33°27'05,82"); - лучних ґрунтів на заплавної терасі р. Інгулець – вирви 4 (47°19'58,44"; 33°15'26,36"), 5 (47°19'57,92"; 33°15'27,92"). Визначення хімічних елементів проведено за допомогою витяжки 1Н НСІ з подальшим аналізом на атомно-абсорбційному спектрофотометрі відповідно до МВВ 31-497058-016-2003. Визначено валові концентрації свинцю (Pb), кадмію (Cd), ртуті (Hg), арсену (As), міді (Cu), цинку (Zn), нікелю (Ni), мангану (Mn), бору (B) та рухомої форми молібдену (Mo). Для інтерпретації отриманих даних застосовано індекс забруднення P_i ($P_i = C/ГДК$), фактор забруднення K_f ($K_f = C/C_{фон}$, де фон – літературні регіональні значення), коефіцієнт перевищення місцевого контролю K_k ($K_k = C_{вирва}/C_{контроль}$) та індекс сумарного забруднення PLI (геометричне середнє значень K_k по вибраних елементах).

Кк обрано базовими показниками для РІІ через відсутність однозначних даних про регіональні фонові концентрації хімічних елементів.

Встановлено, що у більшості проб валові концентрації досліджуваних елементів не перевищували нормативних значень ГДК, але проявлялася просторова неоднорідність у вигляді локалізованих перевищень контрольних значень.

Валове значення Рb у всіх пробах було нижче ГДК (32 мг/кг); $P_i = 0,15-0,47$. За фоном чорноземів південних (12,3 мг/кг) більшість проб мали $K_f < 1$. Водночас на локації № 2 у горизонті 0-15 см $K_f = 1,3-1,5$, а в 30-45 см – до 2,0; Кк у деяких горизонтах досягав 2,0.

Валовий вміст Cd в усіх пробах був нижчим за ГДК (3 мг/кг); $P_i = 0,08-0,38$. При фоні 0,3-0,5 мг/кг більшість $K_f < 1$, але вирва № 2 у шарі 0-15 см показала $K_f = 3,9$. Порівняно з контролем Cd перевищувався в окремих пробах в 2-4 рази.

Концентрації Hg лежали в діапазоні 0,01-0,02 мг/кг при ГДК 2,1 мг/кг. Відношення до фонового значення 0,02 мг/кг дало $K_f = 1,3-2,5$ у частині проб, переважно на локації № 2. Порівняння з контролем показало відсутність системного накопичення Hg у вирвах 1, 3 і 5.

Вміст As перевищував ГДК (2 мг/кг) на всіх локаціях, проте у більшості зразків він був меншим за фонове (5 мг/кг) значення. Його рівень не перевищував контрольні показники на відповідних локаціях, за винятком ґрунтів на локації № 2, де вміст був вищим у 1,8-2,6 рази.

Cu не перевищував ГДК (55 мг/кг); $P_i = 0,04-0,25$. За регіональним фоном чорноземів (6,4 мг/кг) K_f становив 1,1-3,7, а при порівнянні із загальноукраїнським фоном (20 мг/кг) перевищення були менш виражені.

Zn у пробах був нижчим за ГДК (100 мг/кг); $P_i = 0,02-0,35$. Водночас вирва № 2 вирізнялася чітким локальним накопиченням – Кк у центрі досягав 4,5-6.

Валовий вміст Ni був нижчим за ГДК (85 мг/кг); $P_i = 0,04-0,19$, K_f за фоном Степу (25 мг/кг) становив 0,2-0,6.

Mn не перевищував ГДК (1500 мг/кг); $K_f = 0,3-0,6$, але у вирві № 2 на глибині 30-45 см відзначено Кк = 1,4-1,7.

Бор у більшості проб був нижчим за ГДК (30 мг/кг); перевищення зафіксовано у вирві № 5 (0-15 см) та у приканальній зоні № 2, де Кк становив 4-7.

Рухома форма Мо була загалом дефіцитною відносно фонового значення 2 мг/кг.

Розрахунок РІІ дозволив ранжувати ділянки: вирва № 2 (вибух кількох ТМ-62 у приканальній зоні з порушеними темно-каштановими ґрунтами) має РІІ = 1,99 (локально підвищене техногенне навантаження); вирви № 6 (вибух ПМН-2 у чорноземах південних) і № 7 (вибух артилерійського снаряду 122/152 мм у темно-каштановому ґрунті) – 1,12 та 1,17 (помірний вплив); вирви № 1 (вибух ТМ-62 у темно-каштановому ґрунті), № 3 (вибух кількох ТМ-62 у лучно-каштановому ґрунті) та № 8 (вибух артилерійського снаряду 122/152 мм у темно-каштановому ґрунті) – РІІ < 1 (0,93; 0,95; 1,00), що відповідає фоновим умовам.

Аналіз хімічного складу ґрунту у вирві № 1 демонструє, що концентрації Рb, Cd, As, Zn у центрі вирви, а також на прилеглому просторі (2,25 м від її кромки), є нижчими, ніж на контрольній ділянці, розташованій на відстані 50 м (рис. 1). Наприклад, вміст Рb у центрі вирви становить 12,0 мг/кг, тоді як на контролі – 13,5 мг/кг. Аналогічно, вміст Zn у центрі вирви (8,6 мг/кг) значно нижчий, ніж на контролі (11,3 мг/кг). У той же час, використовуючи дані контролю локації № 2 (в глибині сусіднього поля без видимих ознак порушення поверхні і профілю ґрунту – див. табл.), бачимо протилежну картину – перевищення у вирві вмісту усіх хімічних елементів. Це може свідчити, що існуючий розподіл хімічних елементів в зоні вибухів протитанкових мін визначається комплексом факторів, насамперед локальними особливостями вмісту хімічних елементів у ґрунтах.

У вирві № 2 зафіксовано аномально високі концентрації майже всіх досліджуваних елементів як у центрі, так і на відстані 1 м від її кромки порівняно з

контрольною ділянкою (рис. 2). Вони не можуть бути пояснені виключно впливом вибуху. Це припущення ґрунтується на порівнянні з вирвами № 1 і № 3, які були утворені аналогічними боєприпасами (ТМ-62), але не демонструють такого ж рівня забруднення. При цьому, високі концентрації елементів у вирві № 2 є найвищими з усіх досліджуваних локацій. Це вказує на те, що сам вибух не є домінуючим фактором. Розташування вирви № 2 у порушеному ґрунті, поблизу зрошувального каналу, та наявність ознак оглеювання у викинутому вибухом матеріалі свідчать про те, що високі концентрації елементів є результатом попереднього, довоєнного техногенного впливу. Оглеювання, що відбувається в умовах надмірної вологості та анаеробіозу, може сприяти мобілізації та перерозподілу важких металів у ґрунтовому профілі. Періодичне підтоплення з каналу могло змінювати фізико-хімічні умови ґрунту (зокрема, рН та окисно-відновний потенціал), що впливає на доступність та фіксацію металів.

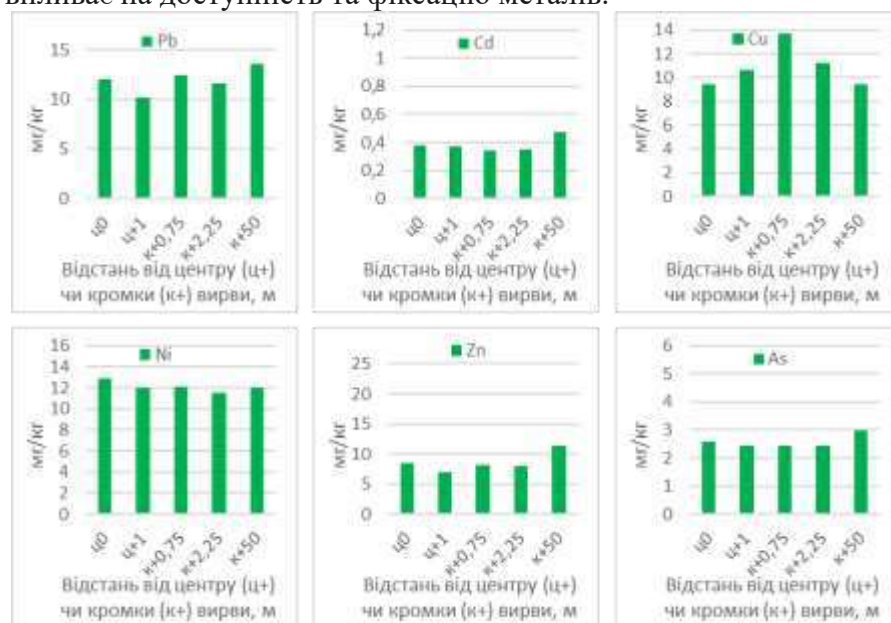


Рис. 1. Просторовий розподіл хімічних елементів у зоні вирви № 1

Концентрації хімічних елементів у центрі вирви № 3 та на прилеглої ділянці не демонструють значного відхилення від фонових значень (рис. 3). Зміни вмісту свинцю, цинку, арсену, кадмію та міді є незначними та не мають чітких закономірностей підвищення чи зниження. Така відсутність значного хімічного забруднення, незважаючи на великий розмір вирви (діаметр 7 м, глибина 2 м), свідчить про те, що сам по собі вибух не завжди є єдиним і домінуючим фактором, що визначає хімічний стан ґрунту. У цьому випадку сильний вибух кількох протитанкових мін міг призвести до максимального розсіювання речовин, а не їх локального накопичення.

Вирва № 6, утворена вибухом кількох протипіхотних мін, демонструє накопичення свинцю та, виразно, цинку у центрі вирви (рис. 4). Це свідчить про те, що вибухи меншого масштабу можуть призводити до локалізованого забруднення через менше розсіювання викинутого вибухом ґрунту.

Отримані дані демонструють, що початкові, фонові концентрації хімічних елементів значно варіюють залежно від особливостей території дослідження (типу ґрунту, виду господарського використання, попереднього техногенного впливу тощо). Це свідчить, що неможливо зробити узагальнюючі висновки щодо забруднення ґрунтів у результаті вибухів боєприпасів без врахування локальних геохімічних особливостей.

Порівняння вирв № 1, 2, та 3, утворених аналогічним типом боєприпасу (ТМ-62), свідчить про те, що ідентичний боєприпас може мати абсолютно різний вплив на хімічний склад ґрунту. Порівняно з контролем у вирві № 1 спостерігається менша концентрація елементів, у вирві № 3 є незначні коливання, а у вирві № 2 – аномальне підвищення. Це вказує на те, що тип боєприпасу є лише одним із факторів, і його вплив критично залежить від початкових ґрунтових умов (як у випадку вирви № 2) та фонового

хімічного складу. Водночас, менший масштаб вибуху протипіхотної міни ПМН-2 (вирва № 6) призвів до чіткого локалізованого підвищення вмісту Pb та Zn у центрі вирви, що підтверджує, що забруднення може бути пов'язане безпосередньо з компонентами самого боєприпасу, незалежно від масштабів вибуху. Більш того, вибухи малої потужності можуть сприяти накопиченню хімічних елементів через менше розсіювання ґрунтової маси.

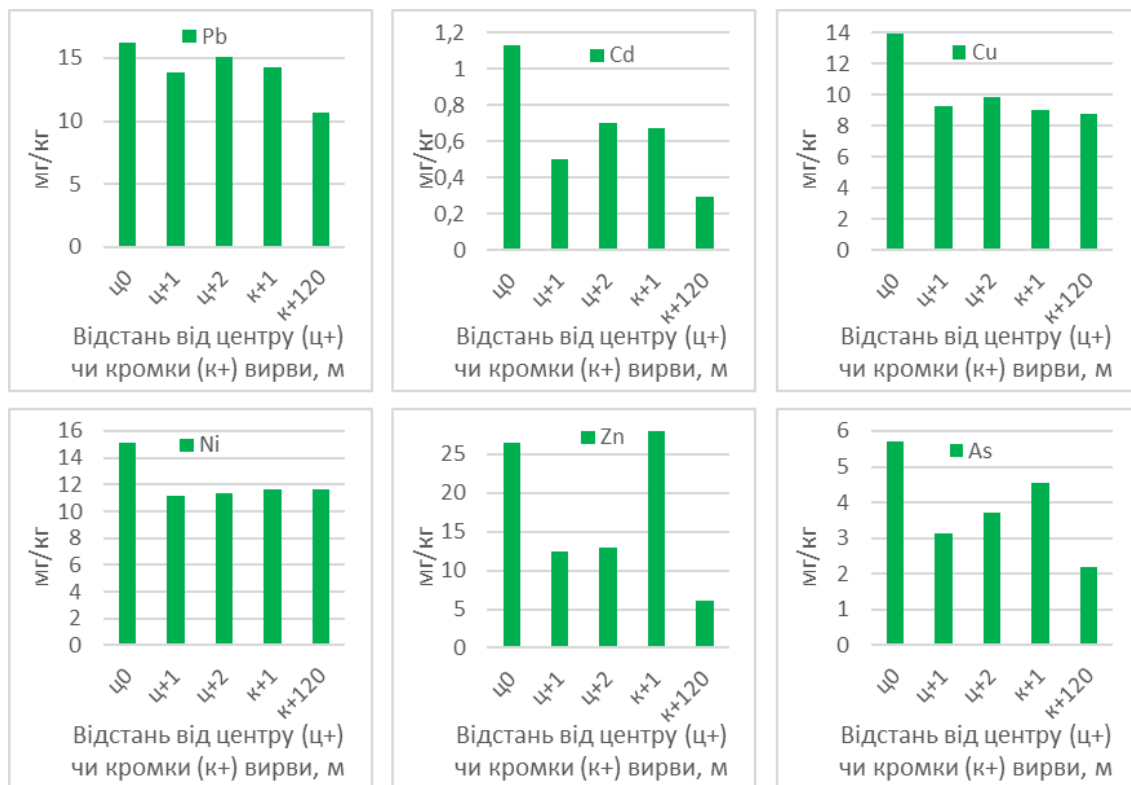


Рис. 2. Просторовий розподіл хімічних елементів у зоні вирви № 2

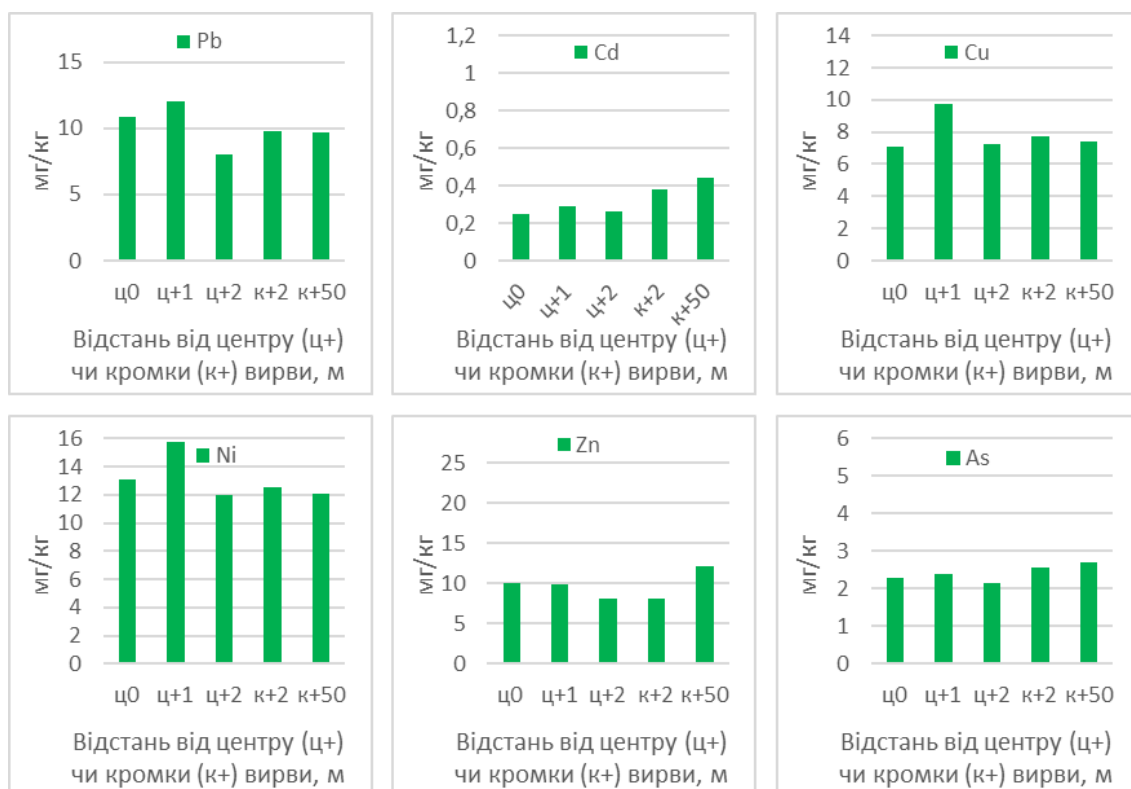


Рис. 3. Просторовий розподіл хімічних елементів у зоні вирви № 3

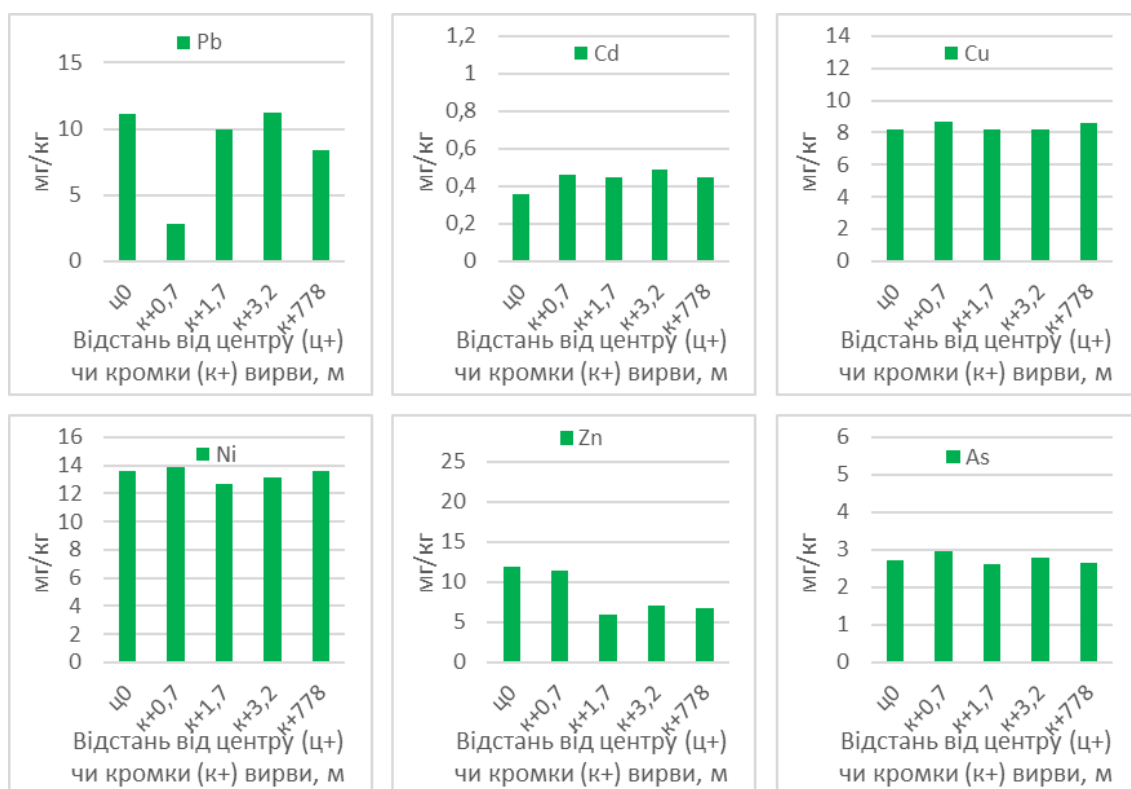


Рис. 4. Просторовий розподіл хімічних елементів у зоні вирви № 6

Вміст гумусу є ключовим показником поглинальної здатності ґрунту. Аналіз даних не виявив суттєвого взаємозв'язку між вмістом гумусу та концентрацією важких металів у вирвах (табл.). Це вказує на те, що роль органічної речовини не є єдиним фактором у накопиченні хімічних елементів у ґрунтах вирв. У той же час, наприклад, у вирві № 6 високий вміст гумусу у центрі (4,1%) і підвищена концентрація Pb та Zn міг сприяти фіксації елементів, що осіли після вибуху відносно невеликої потужності. Таким чином, органічна речовина та її внесок у поглинальну здатність ґрунту відіграють певну роль, проте не здатні компенсувати вплив довоєнних забруднень (див. вирва № 2).

Таблиця.

Взаємозв'язок між вмістом гумусу та концентрацією хімічних елементів у ґрунті

№ локації	Точка відбору	Вміст гумусу, %	Вміст хімічних елементів, мг/кг					
			Pb	Cd	Cu	As	Ni	Zn
1	Центр вирви	2,3	12,0	0,4	9,4	2,6	12,9	8,6
	Контроль	3,1	13,5	0,5	9,5	3,0	12,0	11,3
2	Центр вирви	2,6	16,2	1,1	13,9	5,7	15,1	26,6
	Контроль	3,3	10,6	0,3	8,8	2,2	11,7	6,1
3	Центр вирви	1,9	10,9	0,2	7,1	2,3	13,1	10,0
	Контроль	4,0	9,7	0,4	7,4	2,7	12,1	12,1
6	Центр вирви	4,1	11,1	0,4	8,2	2,7	13,6	11,8
	Контроль	4,1	8,4	0,4	8,6	2,6	13,6	6,7

Одним із важливих наслідків вибуху боєприпасу є ускладнення картини вже існуючого розподілу хімічних елементів у ґрунтах. Це виразно демонструється просторовим розподілом елементів у вирві № 2, де вони значно перевищують як фонові значення на цій же ділянці, так і концентрації, виміряні у інших вирвах. Наприклад, вміст цинку (Zn) у центрі вирви № 2 (26,5 мг/кг) є більш ніж у 4 рази вищим, ніж на контролі (6,1 мг/кг) і значно вищим за значення в центрах інших вирв: 8,6 мг/кг у вирві № 1, 10,0 мг/кг у вирві № 3 та 11,8 мг/кг у вирві № 6.

Аномально високі концентрації хімічних елементів у вирві № 2 явно є результатом техногенного впливу, що передував воєнним діям. Розташування вирви всього за 14 м від зрошувального каналу та наявність ознак оглеювання вказують на надмірне тут зволоження (підтоплення) та анаеробні умови. При зміні окисно-відновного потенціалу поведінка важких металів змінюється: деякі елементи, зокрема Cd та Zn, можуть утворювати розчинні комплекси і мігрувати, або, навпаки, осаджуватися у вигляді нерозчинних сульфідів. Вибух на цій ділянці не стільки спричинив забруднення, скільки підняв на поверхню та перемішав вже забруднені ґрунтові шари.

У цілому, просторовий аналіз розподілу хімічних елементів показав концентричну структуру: максимуми Кк зазвичай концентруються в епіцентрі вирви з поступовим спадом на периферії. Водночас геоморфологічні умови, наявність (вплив) зрошуваних каналів та земляні роботи до воєнних дій модулюють картину, іноді призводячи до асиметричних та повторних піків (приклад – Zn у вирві № 3). Локація № 2 (поблизу зрошувального каналу) демонструє найвиразніші аномалії через порушення профілю і глеюваті включення з глибших горизонтів.

Отримані дані свідчать, що детонації забезпечують формування локалізованих геохімічних аномалій. Основними механізмами можуть бути: внесення металевих уламків та продуктів детонації, сорбційні особливості глеюватих включень, зміни величини рН і вмісту органічної речовини по окремих горизонтах, які впливають на мобільність елементів, але, у першу чергу, підняття глибинного матеріалу на окремих локаціях, де спостерігається підвищений вміст хімічних елементів. Тому більший вміст Cd і Zn у зоні зрошувального каналу свідчить про важливість місцевих гідрологічних умов і минулої діяльності (земляних робіт під час будівництва каналу).

Головне: середні концентрації хімічних елементів не перевищують ГДК (окрім арсену), але виявлені локальні перевищення у 2-6 разів відносно контролю створюють потенційний ризик біоаккумуляції у рослинній біомасі.

Висновки

1. Просторові параметри розподілу хімічних елементів: аналіз отриманих даних показує, що не існує універсальної закономірності у просторовому розподілі хімічних елементів у ґрунті після вибуху боєприпасу. Вміст елементів у вирвах порівняно з контролем може бути меншим чи не однозначними (вирва 1), однакоvim (вирва 3), так і значно більшим (вирва 2) порівняно з локальним фоновим вмістом. Це свідчить про складний характер розподілу хімічних елементів в зонах вибухів боєприпасів.

2. Роль типу боєприпасу та ґрунтових умов: результат вибуху критично залежить від початкових властивостей ґрунту (тип ґрунту, локальний фоновий вміст елементів, наявність довоєнних господарських впливів) і лише частково від типу мін, вплив яких досліджувався. Вибух протипіхотної міни (ПМН-2) спричинило виразне локалізоване забруднення чорнозему південного цинком (можливо через незначне розсіювання ґрунтової маси), тоді як потужні вибухи протитанкових мін (ТМ-62) демонструють варіативні результати, що залежать від локальних умов.

3. Вплив довоєнних техногенних факторів: аналіз даних по локації (вирві) № 2 підтверджує, що аномально високі концентрації хімічних елементів є результатом попереднього техногенного впливу, а не наслідком самого вибуху. Вибух у цьому випадку виступає як фактор, що «переміщує» існуюче забруднення ґрунтів у приканальній зоні, роблячи його більш помітним.

4. Взаємозв'язок органічної речовини та хімічних елементів: при бомбовій ерозії земель у вирвах відслонюються менш гумусовані горизонти ґрунтів. Незважаючи на те, що вміст органічної речовини є важливим фактором вбирної здатності ґрунту, його роль не є домінуючою і прямолінійною. Вплив органічної речовини може бути перекритий наслідками попереднього техногенного забруднення або специфікою ґрунтових процесів. Зниження вмісту гумусу у зоні вибуху, що призвело до зниження вмісту елементів у вирвах № 1 та № 3, не спостерігається у вирві № 2, де інші фактори (техногенний вплив) стали визначальними.

Список використаних джерел

1. Михайлюк В.І. Особливості розподілу органічної речовини і елементів живлення при бомбовій ерозії ґрунтів. *Сучасні тенденції розвитку геодезії, землеустрою та природокористування: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (м. Одеса, 13-14 червня 2024 р.)*. ОДАУ, Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії. Одеса, 2024. С. 13-18. URL: <https://osau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/10/Zbirnyk-tez-konf-13-14.06.2024.pdf#page=13> (дата звернення: 16.09.2025).
2. Обстеження ґрунтового покриву земельних ділянок, які зазнали впливу бойових дій на території Дергачівської територіальної громади Харківського району Харківської області. Технічний звіт з обстеження ґрунтового покриву земельних ділянок, які зазнали впливу бойових дій на території Дергачівської територіальної громади Харківського району Харківської області. ДУ «Держґрунтохорона». Київ. 2023. 79 с. URL: https://www.ioqu.gov.ua/literature/tech_zvit/3.pdf (дата звернення: 10.09.2025).
3. Сироватко В.О., Жученко С. І., Романова С.А., Грищенко О. М. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. *Сучасний стан ґрунтового покриву України в умовах збройної агресії російської федерації: збірник тез Міжнародної науково-пр. конф. (Харків, 20 жовтня 2022 р.)*. [Електронне видання]. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2022. С. 131-135. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2024/12/zbirnyk-tez-1.pdf> (дата звернення: 12.09.2025).
4. Тонха О., Меньшов О., Літвінов Д., Бондар К., Глазунова О., Літвінова О., Піковська О., & Забалуєв В. (2025). Оцінка рівнів забруднення ґрунтів півдня України, пошкоджених воєнними діями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(108), 30-38. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.04> (дата звернення: 15.09.2025).
5. Samilyk, M., Synenko, T. (2025). Assessment of the impact of military actions on the safety of soil and agricultural products. *EUREKA: Life Sciences*, 2, 60–67. URL: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2025.003879>