Національна академія аграрних наук України
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова МОН України





Збірник
Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому Дню ґрунту 2025 (World Soil Day 2025)

«ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ ТА ПРИРОДООХОРОННІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ҐРУНТУ»

5 грудня 2025 року



УДК 631.4

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
(протокол № 21 від 15 грудня 2025 року)

Редакційна колегія:

Раїса ВОЖЕГОВА – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, директор Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Вячеслав ТРУБА – доктор юридичних наук, професор, ректор Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна

Рафік ІСЛАМ – доктор філософії, директор програми з ґрунтових, водних і біоенергетичних ресурсів, Державний університет Огайо, Колумбус, США

Людмила ГРАНОВСЬКА – доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НААН, завідувач відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроекосистем Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Алла СТОЯНОВА – голова депутатської групи «Аграрна Одещина» в Одеській обласній раді, членкиня правління Всеукраїнської аграрної ради, м. Одеса, Україна

Олексій ДАНЧУК – доктор ветеринарних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Маеті ДЖОРДЖЕ – доктор філософії, старший викладач кафедри охорони навколишнього середовища Національного університету Лесото, Масеру, Лесото

Вікторія ЯВОРСЬКА – доктор географічних наук, професор, декан геолого-географічного факультету Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, м. Одеса, Україна

Андрій БУЯНОВСЬКИЙ – кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри географії України, ґрунтознавства і земельного кадастру Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, м. Одеса, Україна

Павло ЛИХОВИД – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроекосистем Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Анатолій ТОМНИЦЬКИЙ – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, заступник директора з науково-виробничої роботи Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Валерій КОЗИРЄВ – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроекосистем Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Олена ПІЛЯРСЬКА – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувач відділу маркетингу та міжнародної діяльності Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса, Україна

Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Технологічні інновації та природоохоронні рішення для здоров’я ґрунту», присвяченої Всесвітньому дню ґрунту, м. Одеса, 5 грудня 2025 року. Одеса: ІКОСГ НААН, 2025. 140 с.

© Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України, 2025

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ДЕТОНАЦІЇ МІН І СНАРЯДІВ НА ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ: ПРОСТОРОВІ ТА ГЛИБИННІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ

Михайлюк В.І.,
доктор географічних наук, професор кафедри геодезії,
землеустрою та земельного кадастру
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

Вибухи мін і артилерійських снарядів є однією з найбільш руйнівних форм воєнного впливу на ґрунти і ґрунтовий покрив. Їх слід розглядати як окремий тип імпульсного техногенного впливу, що модифікує напрям ґрунтоутворення на локальному рівні. Утворення кратерів на поверхні з повним руйнуванням або перемішуванням існуючих горизонтів ґрунту традиційно описувався терміном *бомботурбація* [4]. Однак наявні дані свідчать, що бомботурбація є лише окремою складовою ширшого комплексу післявибухових ґрунтових трансформацій. Ключовим механізмом є явище, яке у наших дослідженнях окреслено терміном *бомбова ерозія ґрунтів* [1]. Йдеться про вибухове зрізання певного об'єму ґрунтової товщі з утворенням кратера і кавернозного мікрорельєфу, з відслоненням у вирві нижніх горизонтів ґрунту, викиданням, перемішуванням і розсіюванням ґрунтової маси. На відміну від класичних ерозійних процесів, бомбова ерозія має імпульсний характер, але також забезпечує перебудову структури ґрунтового покриву через формування зон видалення і зон акумуляції ґрунтової маси. Водночас найбільш виразна частина цієї структури (вирва і оточуючі кільцеві викиди) функціонують як граничні структурні елементи – утворення, що виникають поза природним процесом ґрунтотворення. В природі такими утвореннями є, наприклад, деревоповальні ями.

Дослідження демонструють, що вибухи впливають на ґрунтовий покрив у декількох взаємопов'язаних вимірах, у тому числі: у фізичному – через ущільнення, деструкцію структури та агрегатну трансформацію (спікання, укрупнення та фрагментацію агрегатів) [2], і в хімічному – через формування локальних аномалій хімічних елементів та просторову неоднорідність у вмісті органічної речовини й поживних елементів. Також встановлено, що детонація боєприпасів формує нову геохімічну структуру ґрунтового покриву через поєднання двох механізмів: привнесення матеріалу з корпусів боєприпасів та продуктів вибуху й підняття на поверхню ґрунтової маси, яка могла накопичити підвищені концентрації хімічних елементів унаслідок попередніх антропогенних впливів, зокрема порушення ґрунтів та їх підтоплення в приканальних зонах зрошуваних масивів [3].

У даному досліджені проведено три рівні аналізу фізичної і хімічної трансформації ґрунтів: 1. Просторовий аналіз властивостей ґрунту у радіальному напрямі від центру вибуху. 2. Профільний аналіз для встановлення глибинних закономірностей, пов'язані з бомботурбацією та вертикальним перерозподілом

ґрунтового матеріалу. 3. Порівняльний аналіз – різниця між вирвами, сформованими різними типами боєприпасів та в різних ґрунтових умовах, а також у різний час, що дало змогу порівняти вирви, які відрізнялися тривалістю поствибухового періоду – від «свіжих» до таких, що пройшли часткові процеси відновлення структури та перерозподілу елементів. Таке поєднання дозволило виявити комплексний характер деградації ґрунтів і визначити взаємозв'язок між їхніми фізичними й хімічними властивостями після вибухів боєприпасів.

Польові дослідження проводилися на деокупованій території правобережної частини Херсонської області. Досліджено декілька локацій, представлених вирвами різного генезису: вибухами артилерійських снарядів калібру 122/152 мм (локація № 8), протитанкових мін ТМ-62 (№ 1, 2, 3) і протипіхотних мін ПМН-2 (№ 6).

Частина вирв сформувалася безпосередньо під час бойових дій восени 2022 року (локації № 2, 8), інші – у результаті підривів під час розмінування влітку 2023 року (№ 1, 3, 6). Відбір зразків ґрунту виконувався в серпні 2023 року.

Ґрунтовий покрив представлений темно-каштановими й лучно-каштановими ґрунтами, а також чорноземами південними важкосуглинистого складу, що забезпечує широкий спектр природних умов для аналізу вибухового впливу.

Фізичну деградацію оцінювали за допомогою структурного аналізу методом сухого просіювання з виділенням агрегатів за стандартними фракціями. Розраховано індекси: коефіцієнт структурної деструкції (КСД) – співвідношення маси брилуватої (>10 мм) й пилуватої (≤0,25 мм) фракцій до агрономічно цінних агрегатів (0,25-10 мм); коефіцієнт грудкуватості (Кгруд) – частка фракції >10 мм у загальній масі ґрунту; структурність – відсоток агрегатів розміром 0,25-10 мм; індекс структурного спікання (ICC) – показник агломерації агрегатів як відношення маси брилуватої (>10 мм) до пилуватої (<0,25 мм) і, окремо, грудкуватої (<3 мм) фракцій, %.

Валові концентрації Pb, Cd, As, Cu, Zn, Ni визначали за допомогою стандартної методики із використанням 1N HCl та подальшим атомно-абсорбційним аналізом (МВВ 31-497058-016-2003).

Вибухи протитанкових мін не спричиняють істотних змін у гранулометричному складі ґрунтів, проте можуть змінювати співвідношення фракцій піску, пилу та глини внаслідок вибухової педотурбації, що викликає часткову інверсію горизонтів, особливо на ділянках із попередніми антропогенними порушеннями. Такий механізм найбільш виразно проявився у досліджуваній вирві № 2, утвореній в приканальній зоні, де виявлені ознаки порушення ґрунту при будівництві зрошуваного каналу (рис. 1).

Детонація мін і снарядів спричиняє різко виражену фізичну трансформацію ґрунтової структури, яка проявляється у масштабній перебудові агрегатів. Термічний вплив та деформація ґрунту у результаті тиску ініціюють агломерацію дрібних частинок і формування грубобрилуватих фракцій**,** що є характерною ознакою післявибухової деградації. При цьому встановлений просторовий градієнт агрегатної перебудови. У всіх «свіжих» вирвах (№ 1, 3, 6)

зафіксовано різке збільшення частки фракції >10 мм у центрі вибуху, що свідчить про домінування процесу спікання. Особливо показовою є вирва № 3, де фракція >10 мм у центрі зросла до 82,7% при 19,8% у контролі, а частка ≤0,25 мм зменшилася з 16,4% до 0,8% (рис. 2). Віддалення від епіцентру знижує вплив вибуху: на відстані 1-2 м інтенсивність структурної деструкції поступово зменшується, а на 3-3,5 м більшість показників наближається до контрольних значень.

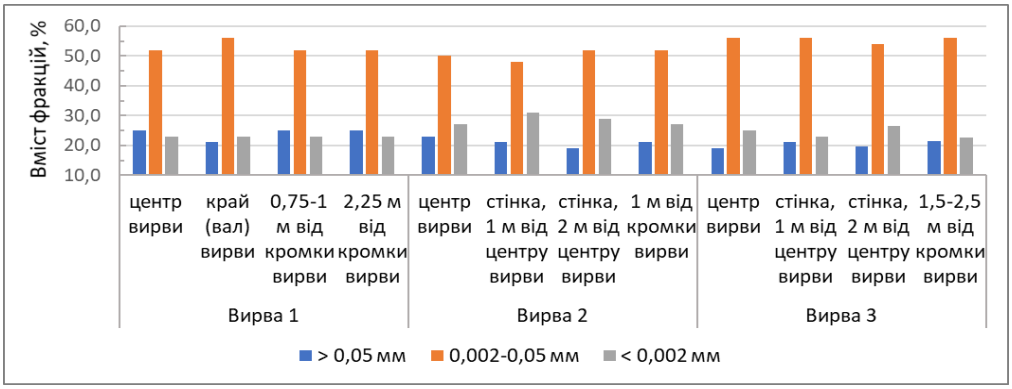


Рис. 1. Гранулометричний склад ґрунтів (шар 0-15 см) у вирвах, утворених при детонації протитанкових мін ТМ-62.

Розрахунок індексів (табл.) наочно демонструє масштабність структурної деградації . У центрі вирви № 3 показники виразно змінилися: КСД: ↑ у 8,3 раза; Кгруд: ↑ у 24 рази; структурність: ↓ на 74%; ІСС<3: ↑ у 43 рази; ІСС<0,25: ↑ у 86 разів.

Таблиця.

Інтегральні показники структурного стану ґрунту у вирві № 3

Показник	Центр вирви № 3 (0-15 см) порівняно з контролем
КСД	Збільшення у 8,3 рази
Кгруд	Збільшення у 24,0 рази
Структурність	Зменшення на 74,0%
ІСС<3	Збільшення у 43,0 рази
ІСС<0,25	Збільшення у 86,2 рази

У той же час, виявлені ознаки нестійкості спеченої структури і спроможність самовідновлення. У вирвах, що були утворенні за рік до відбору зразків (№ 2 і № 8), спостерігається фрагментація грубих агрегатів і часткове повернення до структури, наближеної до контрольної. Так, у вирві № 2, що сформувалася восени 2022 року, фракція >10 мм становила 29,6% (нижче, ніж у контролі – 35,9%); частка 0,25-10 мм була вищою за контроль. Подібна картина характерна і для вирви № 8 (артилерійський снаряд), де частка фракції >10 мм у центрі практично відповідала контролю (рис. 3).

Таким чином, вибухове спікання є процесом короткої тривалості, і його стабільність визначається поствибуховими умовами (розмокання, кріодеструкція, біологічне відновлення).

Глибинний аналіз виявив нелінійний характер розподілу агрегатів, що суперечить монотонним профілям, властивим природним ґрунтам. Найбільш показовий приклад – вирва № 3 на відстані 1 м від центру: 0-15 см: 73,2% >10 мм; 15-30 см: 34,3% >10 мм; 30-45 см: 65,7% >10 мм. Такий «зламаний» профіль пояснюється кількома механізмами: 1) бомботурбацією – переміщенням матеріалу з глибших шарів із меншою часткою гумусу і більшою часткою щільних агрегатів; 2) гравітаційним осипанням по стінках вирви, що переносить важчі агрегати до нижніх рівнів вирви; 3) ущільненням вибуховою хвилею, яка спричиняє агломерацію чи ущільнення агрегатів на певних глибинах, особливо у вологих нижніх горизонтах; 4) термічним висиханням, яке сприяє формуванню щільних блоків с поверхні. Інтенсивне тепло від вибуху спричиняє швидке випаровування вологи та подальше зв'язування частинок, що призводить до формування сухих крупних агрегатів.

Таким чином, глибинний профіль вирв складається з мозаїки різних структурних станів, що є ключовою ознакою фізичної деградації ґрунтів у межах новосворених вибухами гранично-структурних елементів.

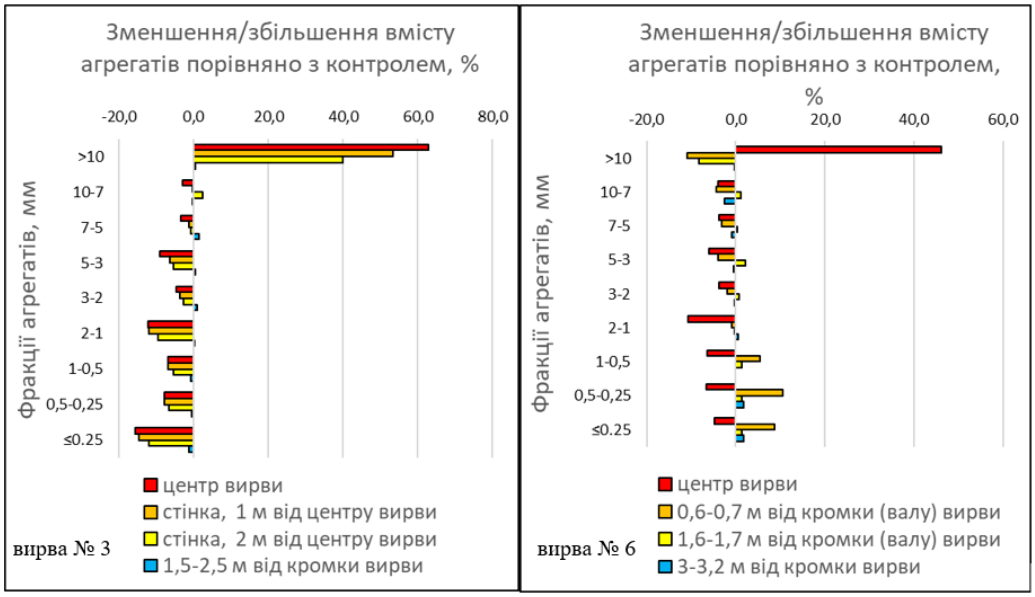


Рис. 2. Показники спікання агрегатів у поверхневому шарі (0-15 см) ґрунту вирви № 3, утвореної підривом декількох протитанкових мін ТМ-62, і вирви № 6, утвореної підривом декількох протипіхотних мін ПМН-2

Ключовою закономірністю зміни хімічного складу ґрунтового покриву після детонації є відсутність системного воєнно-техногенного забруднення при одночасній наявності локальних геохімічних аномалій, формування яких зумовлене як привнесенням хімічних елементів, так і поєднанням поствибухового підняття глибинного матеріалу та специфічних властивостей конкретної ділянки. У вирвах валові концентрації Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Mn, B та Mo були нижчими за ГДК. Арсен у всіх пробах перевищував норматив (2 мг/кг), хоча здебільшого залишався нижчим за регіональний фон (5 мг/кг).

Найбільш виразно перевищення фонових рівнів вмісту хімічних елементів спостерігалося у вирві № 2, утвореній підривом кількох протитанкових мін ТМ-62 у приканальній зоні. Тут виявлені найвищі концентрації майже всіх елементів. Наприклад, коефіцієнт перевищення контролю по Zn у центрі досягав 4,5–6, а індекс сумарного забруднення становив 1,99 – найбільше серед усіх локацій. Ключовим поясненням цього є попереднє забруднення ґрунту, спричинене техногенним впливом у межах зрошувального каналу через оглеювання глибоких горизонтів (спостерігалося нами), яке сформувало умови мобілізації металів, і через періодичне підтоплення, яке сприяло переносу та акумуляції елементів у глибинних горизонтах. Вибух просто виніс на поверхню ці шари, і хімічна аномалія у даному випадку не результатом привнесення забруднювачів, а наслідком вертикального підняття вже забрудненого матеріалу.

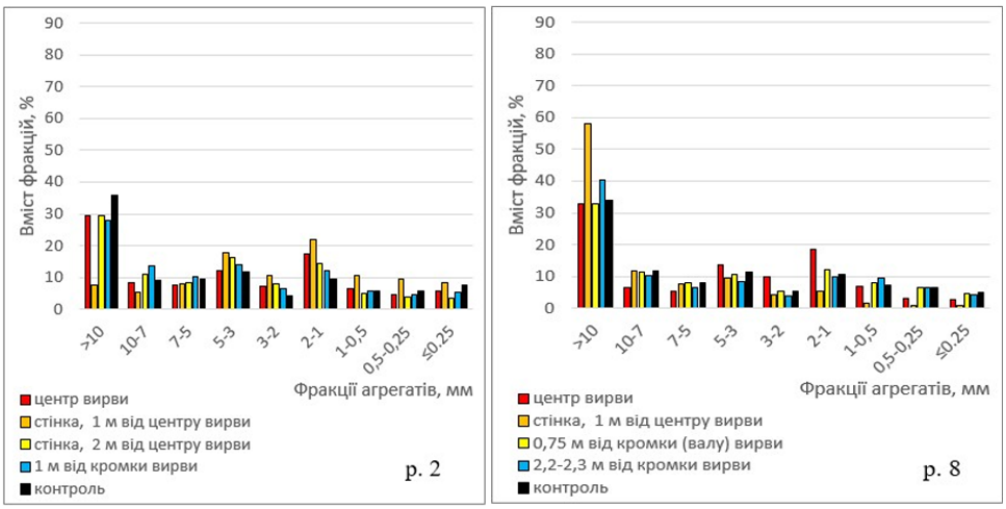


Рис. 3. Вміст фракцій повітряно-сухих агрегатів у поверхневому шарі (0-15 см) ґрунту вирв, утворених за рік до відбору зразків (№ 2 – підрив протитанкової міни ТМ-62, № 8 – детонація артилерійського снаряду 122 чи 156 мм)

Локальне накопичення Pb і Zn, Ni у центрі вибуху виявлено у відносно невеликій вирві, утвореної підривом декількох протипіхотних мін ПМН-2. Ймовірно, це результат менших масштабів розсіювання ґрунту та внесення компонентів самого боєприпасу.

Отже, геохімічний стан території після вибухів визначається передусім поєднанням двох груп чинників. По-перше, це характер до-вибухових антропогенних впливів (зрошення, підтоплення, рекультиваційні порушення, техногенне накопичення металів) у поєднанні з привнесенням хімічних елементів та фрагментів боєприпасів під час детонації мін і артилерійських снарядів. По-друге, підняттям на поверхню глибинного матеріалу та різними варіантами перемішування ґрунтів (бомботурбація, осипання, вибухове зрізання), що формують локальні та просторово неоднорідні геохімічні аномалії.

Ймовірно, ці групи чинників утворюють єдину систему взаємодії, в якій фізичні наслідки вибуху (зміна структури, спікання та укрупнення агрегатів, трансформація мікрорельєфу) безпосередньо впливають на характер і масштаб хімічних змін. Формування вирви із спеченою та укрупненою структурою

зменшує питому поверхню частинок, впливаючи на потенційну сорбційну здатність, змінює карбонатний профіль ґрунту і його окисно-відновні умови, що здатне впливати на рухомість і стабільність окремих металів, модифікувати гідрологічний режим на локальному рівні.

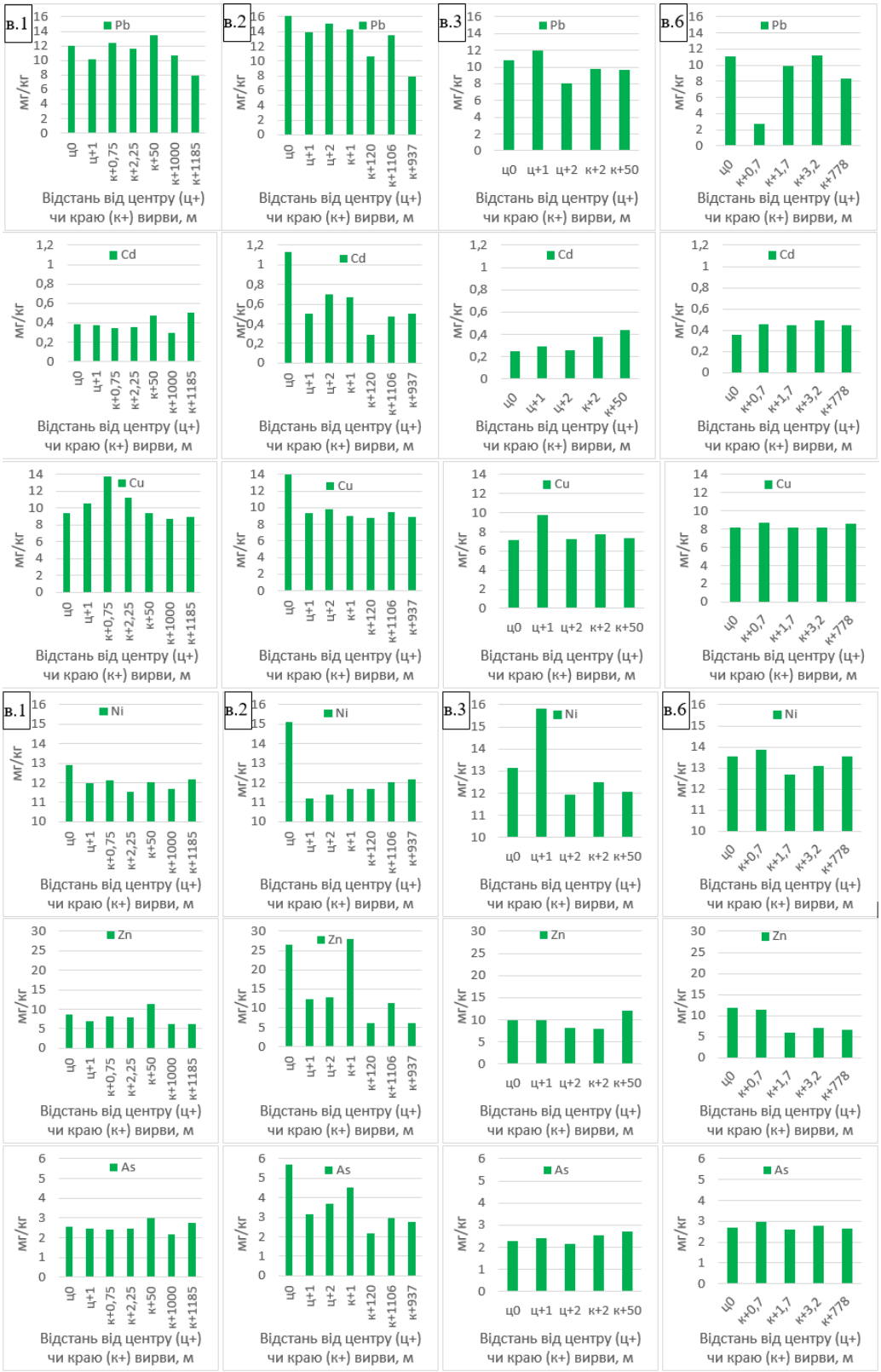


Рис. 4. Вміст валових форм хімічних елементів вирвах №№ 1, 2, 3, 6 порівняно з контрольними ділянками (шар ґрунту 0-10 см)

Таким чином, післявибухова трансформація ґрунтів не є виключно фізичним або виключно хімічним явищем. Вона являє собою синергетичну систему, у якій бомбова ерозія з елементами бомботурбації і деградації структури ґрунту спільно визначають просторово-геохімічну організацію ґрунтового покриву (рис. 5).

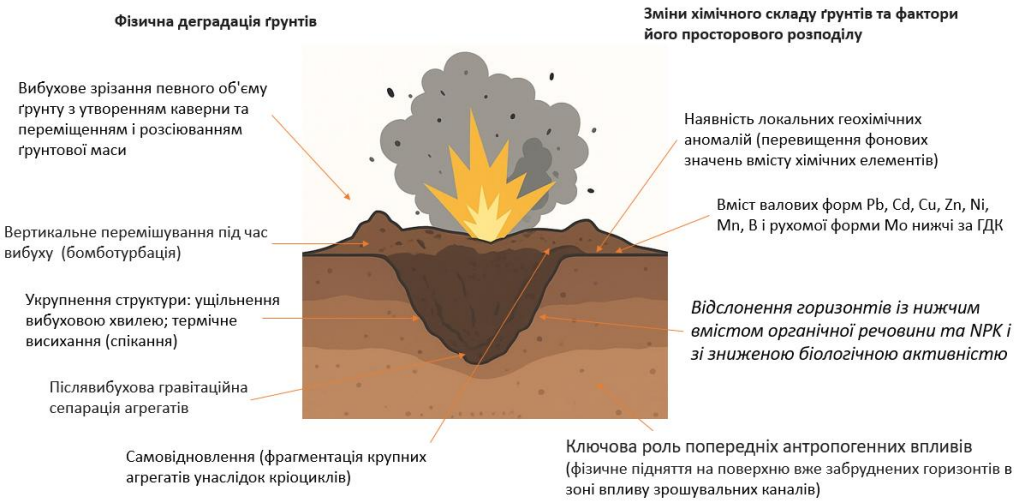


Рис. 5. Бомбова ерозія ґрунтів: механізми деградації

Для коректної оцінки наслідків бойових дій на ґрунтовий покрив необхідний інтегрований діагностичний підхід, що враховує просторову (від центру вирви до периферії) та глибинну (інверсія горизонтів) структуру і динаміку фізичних порушень, роль довоєнних і техногенних факторів, що визначають сучасний хімічний фон.

Список джерел:

1. Михайлюк В. Особливості розподілу органічної речовини і елементів живлення при бомбовій ерозії ґрунтів. Зб. матеріалів Міжнар. наук.-пр. конф. «*Сучасні тенденції розвитку геодезії, землеустрою та природокористування*», (м. Одеса, 13-14 червня 2024 р.). Одеса, 2024. С. 13-18.

2. Михайлюк В. Просторові параметри розподілу хімічних елементів у ґрунтах зон вибухів мін і снарядів. *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. С. 208-215.

3. Михайлюк В. Бомбова ерозія ґрунту: просторові та глибинні закономірності фізичної деградації. Генеза, географія та екологія ґрунтів. Збірник наукових праць Всеукраїнської наукової конференції «*Українське ґрунтознавство: традиції, виклики та перспективи*», присвяченої світлій пам'яті професора Степана Позняка (м. Львів, 3-4 жовтня 2025 року). Львів, 2025. Вип. 7. С. 138-148.

4. Hupy, Joseph & Schaetzl, Randall. Introducing "Bombturbation," A Singular Type of Soil Disturbance and Mixing. *Soil Science*. 2006. 171. 823-836. DOI: https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19