

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ ВИРВ, ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ВИРВ,
РІВНІВ ТА ХАРАКТЕРУ ЗАБРУДНЕННЯ, КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ
ЗАБРУДНЕНЬ ВИБУХОВИМИ РЕЧОВИНАМИ ТА МЕТАЛАМИ**

КИЇВ

2024

Рекомендації розроблені на основі результатів науково-дослідної роботи по темі № РН/65-2024 в межах задекларованої тематики "Центр трансферу технологій штучного інтелекту для відновлення сільськогосподарських земель"

Тонха О.Л., Глазунова О.Г., Забалуєв В.О., Літвінов Д.В., Піковська О.В., Забалуєв С.В., Паренюк О.Ю. Науково-методичні рекомендації щодо класифікації вирв, визначення об'єму вирв, рівнів та характеру забруднення, кількісних параметрів забруднень вибуховими речовинами та металами.. К.: НУБіП України, 2024. 82 с.

Схвалено науковою радою НДІ рослинництва та ґрунтознавства НУБіП України (протокол № від листопада 2024 р.).

Автори:

доктор с.-г. наук, професор **Тонха О.Л.**

доктор педаг. наук, професор **Глазунова О.Г.**

доктор с.-г. наук, професор **Забалуєв В.О.**

доктор с.-г. наук, професор **Літвінов Д.В.**

кандидат с.-г. наук, доцент **Піковська О.В.**

кандидат. с.-г. наук, доцент **Забалуєв С.В.**

кандидат. біол. наук, доцент **Паренюк О.Ю.**

Рецензенти:

доктор с.-г. наук, професор **Булигін С.Ю.**

доктор с.-г. наук, професор **Балаєв А.Д.**

У методичних рекомендаціях на основі теоретичного і практичного узагальнення літературних джерел висвітлено рекомендації з відбору зразків ґрунту, методики для розрахунку рівнів забруднення важкими металами і залишками вибухових речовин на землях, що зазнали мілітарної деградації внаслідок збройної агресії росії. Науково обґрунтовано нормування екологічного ризику і навантаження на порушені землі внаслідок воєнних дій. Методичні рекомендації призначені для фахівців державних установ, які відповідають за формування державної політики у галузі охорони і раціонального використання земель, землевласників і землекористувачів, керівників сільськогосподарських підприємств.

Підписано до друку 23.11.2024 р.

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 5,0

Наклад 100 пр.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
2. ХАРАКТЕРИСТИКА МІЛІТАРНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ	17
3. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ МІЛІТАРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ	24
3.1. Схеми відбору проб ґрунту за мілітарного забруднення	24
3.3. Контроль за забрудненням ґрунтів	52
3.4. Оцінювання стану ґрунтів	54
3.5. Оцінювання небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами	55
3.6. Санітарні та біологічні показники оцінювання стану ґрунтів	60
3.7. Класифікація ґрунтів за впливом хімічних забруднюючих речовин	61
3.8. Гігієнічне оцінювання ґрунтів населених пунктів	65
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73

ВСТУП

Вторгнення росії в Україну та військові дії пошкоджують ґрунтову поверхню і призводять до її забруднення. За інформацією прем'єр-міністра України Д. Шмигала, на сьогодні в Україні потенційно забруднена воєнними діями територія складає близько 139 тис. кв. км. Через заміновані поля економіка зазнає 11,2 млрд. доларів щорічних збитків [57]. Під впливом воєнних дій перебуває більше 15 млн. га земель, де поширені процеси деградації ґрунтів, руйнації ґрунтового покриву. Постраждали майже всі типи ґрунтів, при цьому найбільш постраждалий тип ґрунтів – чорноземи. У зоні бойових дій у різний час опинилося понад 5 млн. га чорноземів, що зумовило їх мілітарну деградацію різної інтенсивності та спрямованості – фізичну, фізико-хімічну, механічну, хімічну, біологічну [56].

Причому, до фізичної деградації призводять такі воєнні дії, як бомбардування, артилерійські обстріли, вибухи та рух і горіння військової техніки, а також проведення воєнних операцій. Унаслідок цього відбуваються процеси переущільнення, зміна структурно-агрегатного стану ґрунту, розвиток ерозійних процесів, зсуви, механічне руйнування ґрунтового покриву. Механічна деградація передбачає педотурбації ґрунту внаслідок механічного переміщення шарів ґрунту при ритті окопів, облаштування оборонних фортифікаційних споруд і ін. робіт.

Хімічна деградація призводить до забруднення як верхнього шару, так і усього гумусованого профілю ґрунту хімічними залишками від вибухових речовин, нафтопродуктів, важких металів, радіоактивних матеріалів тощо. Це може призвести до зниження родючості ґрунтів та забруднення ґрунтових вод, що обумовлює негативні наслідки для на сільськогосподарського виробництва, довкілля та здоров'я людей.

Фізико-хімічна деградація призводить до значних змін у ґрунтовому вбирному комплексі, зміни реакції ґрунтового середовища та зменшення буферної здатності ґрунту.

Біологічна деградація спричинена різними видами воєнних дій, що призводить до негативного впливу на біорізноманіття ґрунтів . Це може бути викликано знищенням природних середовищ, екосистем та життєвих форм, які залежать від певного типу ґрунту. Ці механізми впливу воєнних дій на ґрунти можуть мати довготривалі наслідки, і відновлення пошкоджених ґрунтів може зайняти багато часу та ресурсів. Однак наукові розробки в області моніторингу та еколого-геохімічної оцінки стану ґрунтів в умовах військових конфліктів мають фрагментарний характер. Це зумовлює необхідність вирішення проблеми геохімічного аналізу й оцінки екологічного стану територій, які зазнали руйнувань через воєнні дії.

Метою представленого дослідження є визначення стратегій з оцінки еколого-геохімічного стану у зонах ведення активних бойових дій з урахуванням регіональних ландшафтно-геохімічних умов та типів природокористування. У центрі уваги рекомендації з відбору зразків ґрунту за мілітарного забруднення території, методики для розрахунку рівнів забруднення важкими металами і залишками вибухових речовин на землях, які зазнали забруднення чи прямого фізичного пошкодження.

Рекомендації спрямовані на представлення детального розуміння неоднорідності забруднюючих речовин у ґрунті та його важливості для відбору проб ґрунту та прийняття рішень. Рекомендації на національному і регіональному рівнях розроблені на основі попереднього вивчення наслідків війни в Україні, що ще триває.

1. ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про занепокоєння громадськості та науковців щодо негативного впливу воєнних дій на ґрунти України. Збитки від забруднення навколишнього середовища, викликаного війною, оцінюється в десятки млрд євро, значна частина яких необхідна для ліквідації наслідків ґрунтового забруднення. Внаслідок війни під загрозою опинилися близько 30% площ усіх природоохоронних територій України. Це становить загрозу для стратегічних цілей збереження біорізноманіття, призводить до зниження потенціалу поглинання парникових газів і посилює процес опустелювання [59, 64].

Деякі дослідники вказують і на безпосередню руйнівну дію на ґрунтовий покрив різних механічних впливів. Зокрема, бомбардування та риття тунелів і траншей також негативно впливають на ґрунт, обумовлюючи посилення процесів деградації та формування шляхом зміни складових компонентів ґрунтового покриву [71]. Не менш руйнівну дію, яка викликає ерозію ґрунту, зменшуючи або знищуючи рослинність і ґрунтовий покрив, мають пожежі. Серед заходів з першочергового відновлення таких земель після розмінування є мульчування, а тих, що зазнали значних руйнувань – біологічна рекультивация земель [72, 74].

Для розробки ефективних заходів важливо провести детальне обстеження і якісну оцінку стану постраждалих територій. Більшість науковців вказують на важливості проведення геоінформаційного моніторингу земель [40, 48, 55]. Окремим завданням держави стає відновлення постраждалих внаслідок російської військової агресії територій, для успішної реалізації якого теж є необхідним залучення карт та геоінформаційних технологій [11]. Детальне вивчення супутникових знімків дозволило визначити залежність між площею зони бомботурбації і діаметром кратера (залежно від калібру і типу боєприпасів) [30].

Інтенсивність забруднення залежить від місця розташування місцевості, розвитку промисловості та ходу військових дій. На сході країни активні бойові дії призвели до значного забруднення ґрунтів важкими металами та нафтопродуктами: у Харківській області забруднення кадмієм зросло на 200%; Херсонська та Запорізька області показали зростання розливів нафти на 139% та 156%; все з серйозними наслідками для здоров'я населення та навколишнього середовища.

Як зазначено у дослідженнях Солоха та ін. (2024) уламки знищеної військової техніки, боєприпасів і залишків пального призводять до багатофакторної шкоди ґрунтовій системі, викликаючи локальне та глобальне забруднення та втрати ґрунтових ресурсів. У всіх досліджених випадках спостерігалась механічна, хімічна та фізична деградація ґрунту. Це проявилось у змінах гранулометричних фракцій на місцях вибухів, горіннях та місцях забруднення важкими металами. Спалювання обладнання призвело до збільшення фракції піску (2,0–0,05 мм) у 1,2–1,8 рази та зменшення фракції глини (<0,002 мм) у 1,1–1,2 рази. Рівні забруднення ґрунту важкими металами значно перевищували санітарні норми, при цьому найвищі рівні забруднення спостерігаються для Pb, Zn і Cd. На всіх ділянках ураження відбулися зміни в структурі мікробіому і пригніченні активності мікробіологічних процесів (зменшення в 1,2 разів), зменшення мікробної біомаси (зменшення в 2,1 разів). Також спостерігалась висока токсичність ґрунту (99,8%) [47].

Ряд дослідників [15, 16] зазначають, що для реального визначення впливу військових дій на стан навколишнього середовища, в тому числі ґрунтів, необхідна більш детальна інформація про військову техніку, яка використовується під час війни, кількість і масштаби надзвичайних подій та їх екологічні наслідки. Оцінка рівня мікрозабруднення ґрунту металами на сході України показала, що промислові регіони знаходяться в критичному стані. За даними моніторингу ОБСЄ в Україні за новою методикою оцінюють сліди забруднення ґрунту металами.

Оцінка небезпеки рівня забруднення слідами металів у ґрунті дозволить зробити науково обґрунтоване рішення про черговість виконання природоохоронних заходів. Використання запропонованого методичного підходу сприятиме отриманню порівнянних даних в оцінці рівня забруднення ґрунту та визначення територій для безпечного рекреаційного використання або вирощування сільськогосподарських культур.

З метою виявлення впливу на навколишнє середовище бойових дій, на замовлення Проекту ОБСЄ Лабораторією басейнового моніторингу басейнового управління водних ресурсів в 2016 році досліджено хімічний склад ґрунтів та донних відкладів на територіях, які постраждали від війни. Зафіксовано систематичне перевищення у 1,1-1,3 раза по ртуті, ванадію, кадмію, нерадіоактивному стронцію та гамма-випромінюванню. За окремими показниками фоновий рівень зазвичай перевищував при максимальному коефіцієнті 1,2 до 2, лише в окремих випадках – взяті проби у містах Слов'янськ і Щастя – було перевищено в 7-17 разів [15].

Необхідна уніфікована та комплексна наукова основа, яка б належним чином охоплювала низку забруднюючих речовин. У зонах військового впливу знайдено численні токсичні елементи. Багато з них (такі як Pb, Hg, As, Cd, Cu та ін.) зазвичай зустрічаються у підвищених концентраціях у зонах військового впливу. Хоча їх концентрації були надзвичайно високими в деяких випадках, рухливість токсичних елементів, а не загальна концентрація, повинна бути головною проблемою при характеристиці місця. Хімічні види забруднюючих речовин і біодоступність, які безпосередньо впливають на результати здебільшого не враховувалися, тому їх слід належним чином інтегрувати в процес оцінки для отримання більш точних результатів у майбутньому [18].

Поєднання різноманітних факторів впливу на ґрунти призводить до виникнення кумулятивного негативного ефекту. А наслідком таких впливів є втрата буферності ґрунту, здатність до відновлення, втрата гумусу і зниження природної родючості. Це все призводить до знищення рослинності, порушення ґрунтового покриву, нестачі природного зволоження та опустелювання. В

результаті рівень біоти також різко скорочується. Дуже негативним моментом є те, що забруднюючі речовини можуть переміщатися. Найчастіше міграція забруднюючих речовин відбувається через підземні води, які мають здатність утримувати важкі метали шляхом вибіркового поглинання (адсорбції). на рухливість вибухових речовин і важких металів впливають тип ґрунту, вміст органічної речовини в ньому, вологість, мікробіологічна активність [19].

У результатах досліджень Дмитренко та ін. (2023) виявлено пошкодження ґрунтового покриву на землях сільськогосподарського та лісового призначення, а також деградацію ґрунту внаслідок застосування мінометів, що підтверджено підвищенням вмісту важких металів (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb) у шарі ґрунту 0–20 см через рік після артилерійських обстрілів. На відстані 2,5 м від краю вирв отримано підвищення валового вмісту Zn, Ni, Cr — в 1,1–1,2 раза, Pb — в 1,1–1,6 раза, Cu в 1,5–1,8 раза. На відстані 30 м від вирв виявлено високий валовий вміст цинку (151–155 мг/кг), свинцю (43–44), хрому (39–41), нікелю (24–28), міді (17–18), кадмію (2–3 мг/кг). Відмічено перевищення вмісту рухомих форм важких металів безпосередньо у кратері вирв та на відстані до 30 м у середньому в 3–9 разів. Найвищі показники коефіцієнта концентрації важких металів у ґрунті встановлено в середньому для цинку — 6–14 кларків від фону, хрому — 7–9 кларки, свинцю — 4–8 кларків. Виявлено перевищення ГДК у ґрунті навколо вирв за вмістом хрому на 7–26%, нікелю — на 15–21%. Зафіксовано незначне перевищення рівня ГДК за вмістом свинцю в ґрунті на 3–6%. За вмістом у ґрунті міді (0,1–0,3 ГДК), цинку (0,2–0,4 ГДК), кадмію (0,4–0,6 ГДК) і свинцю (0,5–1 ГДК) через рік після обстрілу цих територій відсутнє перевищення ГДК [61].

При застосуванні озброєння хімічні сполуки, гази, металеві уламки від снарядів і військової техніки викликають різні процеси деградації [30, 31]. Оскільки території ураження бронетехніки, як правило, розташовані на сільськогосподарських угіддях, виникає необхідність їх обов'язкового моніторингу та наукового супроводу для подальшої рекультивації. В дослідженнях Solokha M. та ін. зазначається, що найбільше забруднення ґрунтів

відмічено Pb, Zn і Cd. Крім того, вибухи та піроліз бронетехніки мають значний вплив на мезобіоту ґрунту (з токсичністю для ґрунтових черв'яків на рівні 94,9% смертності за 5 днів) та рослин (фітотоксичність ґрунту — 99,8%). Таким чином, отримані результати вказують на наявність складних взаємодій між різними факторами ґрунтового середовища після вибуху, які можуть викликати непередбачувані зміни в структурі та функції мікробних угруповань і мезофауни [47].

Bardgett [4] відзначає прямий і опосередкований вплив війни на ґрунти. Зруйновані, забруднені важкими металами, токсичними діоксинами, нафтою та радіоактивними елементами ґрунти у багатьох випадках залишаються непридатним для використання. Зростаючий попит на їжу в поєднанні з тиском на навколишнє середовище, пов'язаним зі змінами клімату, посилюватиме тиск на ґрунт, що потенційно може призвести до майбутніх воєн. Є ряд праць, які присвячені ще впливу Першої світової війни на ґрунти. Багато територій в Європі, які зазнали забруднення важкими металами та хімічними речовинами. Так, були порушені ґрунтові горизонти внаслідок бомбардувань. Можна спостерігати екологічний вплив війни на монокультурні ліси та численні кратери, які все ще присутні [34].

Втрат від війни зазнала і економічна екосистема українського сільськогосподарського сектору, зокрема від полів до експортних ринків. Найбільш шкідливими факторами при цьому є значне зниження площ сільськогосподарських угідь (через вторгнення та активні військові дії, мінування російськими загарбниками полів), дестабілізація внутрішнього ринку, руйнування інфраструктури [35]. Військова агресія російської федерації проти України завдала українському народу неабияких втрат. Велика частина земель сільськогосподарського призначення, зазнали значних пошкоджень. За очевидності екологічної шкоди, оцінка земель потребує нових підходів, адже повний обсяг збитків та шкоди докільню залишається невідомим [36].

Родючість ґрунтів необхідно буде відновлювати і поліпшувати на насамперед пошкоджених війною територіях України. Високородючі ґрунти є стійкими та здатні до самовідновлення. Проте такий процес досить тривалий — 10—20 років і більше залежно від стану ґрунту та умов зволоження зони. Також повоєнне відновлення ґрунтів України, зокрема Херсонської і Миколаївської областей, що мали зрошувальні системи, для поліпшення потребуватиме ґрунтового очищення і меліоративних заходів щодо зменшення вмісту солей і важких металів [37].

Під час воєнних дій внаслідок механічного впливу на ґрунтовий покрив відбувається ущільнення і перемішування шарів ґрунту, що призводить до порушення водного режиму ґрунту, зниження його родючості та інтенсифікації процесів вітрової та водної ерозії. Внаслідок хімічного впливу воєнних дій відбувається зміна природних параметрів ґрунтового покриву під впливом забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок використання зброї та військової техніки. Внаслідок вибухів та стрільб ґрунти також забруднюються важкими металами. Внаслідок фізичного впливу відбувається зміна фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок вібрації та дії високих температур. Якісний комплексний моніторинг стану земель потребує значних коштів, але його потрібно провести якомога швидше [38, 39].

Вибухові речовини є мілітарним забруднювачем ґрунту, які є токсичними та можуть спричинити несприятливий вплив на навколишнє середовище. Під час вибуху раптово виділяється значна кількість енергії. Це вивільнення енергії може розсіюватися у вигляді вибухових хвиль, руху уламків або випромінюванням теплового та іонізуючого випромінювання. Сучасні вибухові речовини або енергетичні матеріали є азотовмісними органічними сполуками з потенціалом самоокислення до малих газоподібних молекул (N_2 , H_2O і CO_2).

Вибухові речовини класифікуються як первинні або вторинні на основі їх сприйнятливості до ініціювання. Первинні вибухові речовини дуже сприйнятливі до ініціації та часто використовуються для запалювання вторинних вибухових речовин, таких як тротил (2,4,6-тринітролуол),

гексоген (1,3,5-тринітро-1,3,5-тріазинан), НМХ (1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7-тетразокан) і тетрил (N-метил-N,2,4,6-тетранітроанілін). Тротил, вибухові речовини швидкої дії (RDX) і вибухові речовини з високим ступенем плавлення (НМХ) є найбільш поширеними вибуховими речовинами в ґрунті. Усі вони є популярними матеріалами, які використовуються військовими, і через неправильне поводження та методи утилізації ці речовини та їхні похідні забруднюють навколишнє середовище до рівня, який загрожує здоров'ю людей, худоби, дикої природи та цілих екосистем. Додаткові джерела забруднення включають механічну обробку вибухових речовин, лиття та затвердіння, лабораторні випробування та відкрите спалювання/відкриту детонацію (ОВ/ОД) застарілих боєприпасів. Боєприпаси, що не вибухнули (UXO) у результаті військових операцій у всьому світі, також становлять серйозну екологічну загрозу через викид токсичних речовин від корозійних боєприпасів, на додаток до ризиків, пов'язаних із потенційною можливістю нещасного випадку детонація. Кілька європейських країн зараз мають справу з проблемою неконтрольованого скидання в море або захоронення на землі старих, застарілих боєприпасів [27].

Завдяки розчинності у воді тротилу (130 мг/л), гексогену (42 мг/л), октогену (5 мг/л) і петну (43 мг/л), дискретні частинки утворюються в результаті детонації низького порядку може повільно розчинятися з часом, що призводить до постійного викиду вибухонебезпечних сполук у ґрунтові води, поверхневі води, морське середовище або підповерхневий ґрунт протягом тривалих періодів часу [24]. Продукти трансформації тротилу мають більший потенціал для транспортування через їхню більшу розчинність у воді порівняно з вихідною сполукою.

Окремим забруднювачем, на думку Taylor et al. (2004), є вибухові речовини нового покоління, такі як нечутливі бризантні вибухові речовини (ІНЕ), що викликають занепокоєння через їхню токсичність і закріпленням в ґрунті порівняно зі звичайними вибуховими речовинами. Молекула ІНЕ складаються з комбінацій застарілих вибухових речовин, таких як 2,4-

динітроанізол (DNAN), і енергетичних матеріалів, які раніше не використовувалися, таких як 3-нітро-1,2,4-тріазол-5-он (NTO) [50].

Доля та транспорт сполук ІНЕ залежать від складу ґрунту та властивостей ґрунту і може призвести до хімічного забруднення підземних водних систем. Відомо, що RDX є найстабільнішою сполукою в ІНЕ (Lent, 2019; Temple et al., 2019), і високостійким до мікробної деградації, що підтверджено низькою швидкістю деградації, який мав найвищий мікробний вміст. Таким чином, ІНЕ менш імовірно переносяться до нижніх шарів ґрунту та підземних вод [20, 31].

Ця суміш замінює використання Comp B, оскільки вона менш чутлива до ненавмисного удару, на DNAN, які замінюють TNT, оскільки вона безпечніша під час виробничих процесів [7].

Дослідження Persico et al. (2022) показали, що в ґрунті були наявні слідові концентрації вибухових сполук у ґрунті після трьох повних детонацій 155-мм снаряда, наповненого литою сумішшю з 53 % NTO, 32 % DNAN і 15 % RDX. Екстраполяція залишкової концентрації на 100 детонацій становила 370 мг/кг. Розрахунок гострої токсичності LD₅₀ (летальна доза, яка, за оцінками, вбиває 50 % населення) становив NTO >5000 мг/кг, DNAN 199 мг/кг і RDX 59 мг/кг, що вказує на важкі наслідки для навколишнього середовища.

Дослідження Chatterjee та ін. (2017) продемонстрували екологічний вплив традиційних вибухових речовин, таких як 2,4,6-тринітротолуол (тротил) і гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-тріазин (RDX), на функціонування ґрунту та водних екосистем та біорізноманіття [10].

Тейлором та ін. [50], що близько 2% (за масою) 155-мм снаряду, начиненого тротилом, залишилося у вигляді залишків на поверхні ґрунту після детонації високого порядку (тобто «повного»), що означає 140 г залишків вибухівки на снаряд. Якщо снаряд зазнає детонації низького рівня, до 3 кг тротилу може осісти на навколишню територію. Розчинення частинок, викликане дощем, починає процес, у результаті якого водні розчини можуть потрапляти в ґрунт і ґрунтові води як забруднювачі. Дані балансу маси

показали, що тротил у пробах води становить лише близько однієї третини тротилу, втраченого з шматків.

Clausen та ін. [12] оцінили розчинення 2,4-динітротолуолу (2,4-ДНТ) та 2,6-динітротолуолу (2,6-ДНТ) із складу палива М1 (87,6 % нітроцелюлози, 7,3 % 2,4-ДНТ), 0,57 % 2,6-ДНТ, 1,06 % дифеніламін, 3,48 % дибутилфталату) та їх подальше транспортування в ґрунті. Розчинення М1 було обмежено дифузиею ДНТ з внутрішньої частини гранули, що призводило до експоненціального зниження швидкості розчинення з часом. Крім того, фотоліз може давати більш токсичні побічні продукти.

Дослідження поверхні ґрунту за стрільби зі 120-мм танків виявлені на відстані 75 м 2,4-DNT, і NG. Заряди, які використовуються в 155-мм гаубицях, можуть бути однобазовими для відпрацювання цілей на короткій дистанції або комбінацією однобазових і потрійних баз для стрільби на більшій дальності [28].

Військовими розробляються нові нечутливі боєприпаси, щоб мінімізувати гостру небезпеку, пов'язану з ненавмисною детонацією боєголовок. Два компоненти, які часто використовуються в складах боєприпасів, мають обмежені дані про токсичність, тобто 3-нітро-1,2,4-тріазол-5-он (NTO) і 2,4-динітроанізол (DNAN). Нещодавно були завершені дослідження оральних гострих, підгострих і субхронічних захворювань. Основним несприятливим ефектом від субхронічного перорального впливу NTO була гіпоспермія, яка мала дозозалежну тенденцію. Ефекти від впливу ДНК включають зниження маси тіла, анемію та нейротоксичність. Рівні професійного впливу (OEL) нещодавно були розроблені для NTO та DNAN [20].

Якщо бомба, що містить вибухівку Н-6 не зазнала детонації низького порядку, то концентрації RDX, як правило, низькі. RDX і HMX з С4, як правило, є залишками, присутніми в найвищих концентраціях у діапазонах підриву, де вибухівка С4 використовується для вибуху невеликих отворів. перевірте бомби, щоб переконатися, що вони не містять вибухових речовин перед переробкою.

RDX, як правило, є залишком, присутнім у найвищій концентрації в діапазонах руйнування EOD через використання C4 для знищення нечистот та інших предметів, що містять вибухові речовини. Концентрації іноді можуть бути низькими в мг/кг у поверхневих ґрунтах на цих ділянках. RDX і HMX, здається, є найбільш рухливими з енергетичних сполук, присутніх на тренувальних полігонах. Це справедливо як для низхідної міграції через ґрунтовий профіль, так і для наземного стоку. Це узгоджується з результатами, опублікованими щодо енергетичних сполук у підземних водах [12].

Забруднення ґрунтового середовища зазвичай оцінюють шляхом оцінки якості ґрунту, хоча наразі процедури зосереджені на вирощуванні сільськогосподарських культур для потреб сільськогосподарських угідь, а не на впливі на навколишнє середовище. Ґрунт «уособлює різницю між виживанням і зникненням більшості наземних видів життя» і є «життєво важливою живою системою» [14], де фізичні, хімічні та біологічні властивості забезпечують належне функціонування системи. Індeksi якості ґрунту (SQI) були розроблені спеціально для цієї мети, щоб оцінити «здоров'є» ґрунту.

Компостування може бути економічним методом для відновлення забруднених 2,4,6-тринітротолуолом (тротилом) ґрунтів. Однак дані свідчать про те, що тротил під час процесу перетворюється на продукти невідомої токсичності, а його метаболіти мають лише незначну мутагенність у високих дозах в одному або обох аналізах мутагенності. Хоча компостування може знизити рівень тротилу у матеріалі, небезпека, пов'язана із забрудненими тротилом ґрунтами, ймовірно, нижча, але все ще невизначена [27].

Індeksi якості ґрунту (SQI) оцінюють і застосовують до фізичних, хімічних і біологічних параметрів, які є важливими для підтримки цілісності ґрунту для його цільового призначення, тобто сільського господарства [4].

Отже, в умовах воєнного стану економічні, екологічні й соціальні виклики продовольчого забезпечення України та світу істотно загострилися. Одним із таких викликів є істотне посилення актуальної проблеми деградації земель і ґрунтів, спричинене збройною агресією. Питання підвищення

ефективності використання земельних ресурсів є складовою частиною єдиної державної еколого-економічної політики, яка забезпечує раціональне використання, охорону та управління земельними ресурсами. Порушення екологічно збалансованого співвідношення між категоріями земель, зменшення території унікальних степових ділянок, надмірна розораність території та військові дії загострили проблему деградації ґрунтів, а висока інтенсивність бойових дій на окремих ділянках поставила під сумнів безпечність використання земель, що безпосередньо постраждали від військового впливу.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МІЛІТАРНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

З початком війни до категорії деградованих земель слід віднести і земельні ділянки, на яких унаслідок воєнних дій відбулася активізація одного або кількох видів деградації (механічної, фізичної, хімічної, фізико-хімічної, пірогенної та ін.).

Такі землі зазнали:

- механічної деградації (порушення ґрунтового профілю, винос на поверхню та перемішування ґрунтової маси та ґрунотворної породи, поширення на територію, яка перевищує в кілька разів площу порушення, поява невластивих природному ґрунту включень військового походження);
- фізичної деградації (переущільнення, знеструктурування);
- хімічної деградації (забруднення);
- фізико-хімічної деградації (дегуміфікація, підкислення, підлуження);
- біологічної деградації (зменшення біорізноманіття, забруднення біотоксинами, хвороботворними бактеріями і вірусами та ін.).

Отже, у сукупності ці всі види складають новий тип деградації ґрунтів – воєнний (мілітарний). Антропогенно керованим чинником негативного впливу на ґрунти є руйнівний вплив воєнних дій, які узагальнено можна поділити на:

фізичні - руйнування ґрунтового профілю внаслідок будівництва фортифікаційних споруд і бойових дій (утворення вирв від різних снарядів), ущільнення через рух воєнної техніки та розмінування території;

хімічні — потрапляння у ґрунт від детонації снарядів різних видів та потужностей низки забруднювальних речовин, таких як важкі метали, нітроароматичні вибухові речовини, фосфорорганічні нервово-паралітичні речовини, діоксини або радіоактивні елементи, а також забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами, застосування хімічної зброї;

біологічні - застосування біологічної зброї - збудників смертельних для людей хвороб, отруювання джерел води, вивільнення трупних отрут у місцях стихійних або масових поховань.

Негативність цих чинників посилюється пірогенним впливом, що полягає у випалюванні/вигоранні поверхні ґрунту, що також посилює вірогідність розвитку вітрової та водної ерозії. Переуцільнення ґрунту призводить до втрати зниження родючості і врожаю впродовж наступних років. Ці впливи суттєво розповсюджені на орних землях внаслідок ведення бойових дій, насамперед в регіонах, де відбувалися і відбуваються позиційні бої, де війська знаходяться понад один місяць. На таких землях фіксується затримка росту і розвитку рослин порівняно з непорушеними ґрунтами.

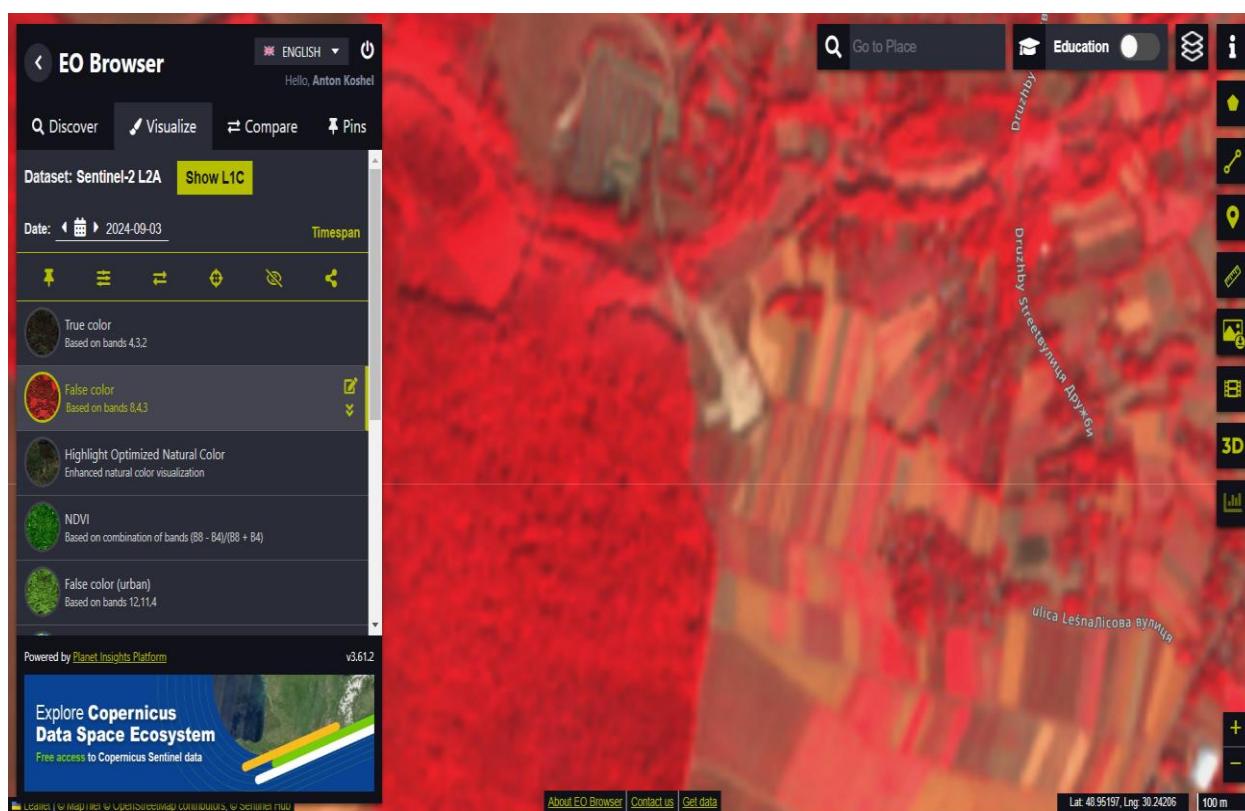


Рисунок 1. Використання ресурсу EO Browser для дистанційного зондування території, яка підлягає рекультивації

Дослідження з вивчення наслідків переуцільнення на ґрунти та розвиток культурних рослин, а також на урожайність культур, ще продовжуються. Також ґрунти у зонах ведення бойових дій містять різну кількість включень – снарядів та їх уламків, які, хоч і є відносно інертними, проте перешкоджають проведенню обробітку ґрунту, можуть зберігати вибухові уражуючі властивості.

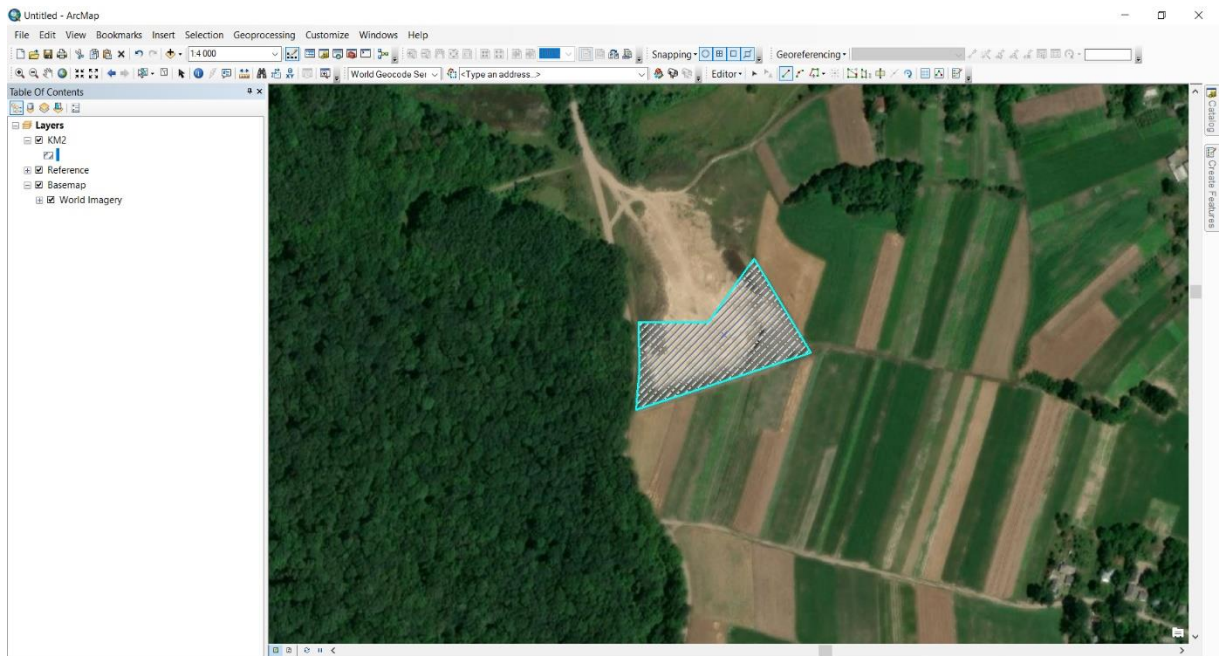


Рисунок 2. Фрагмент картографічного об'єкту, виконаного з використанням програмного забезпечення ArcMap та картографічного забезпечення Imagery для виконання проекту землеустрою щодо рекультивації порушених земель

Для проведення розмінування території використовують обладнання з ланцюговим і фрезерними робочими органами. Ефективність використання того чи іншого робочого органу залежить від мінеральнічного і гранулометричного складу ґрунту. У табл. 1 наведено рекомендації щодо використання робочих органів машин для розмінування залежно від типу ґрунту і гранулометричного складу

Таблиця 1. Рекомендації щодо використання робочих органів машин для розмінування залежно від типу ґрунту і його гранулометричного складу

№ з/п	Марка машини	Тип робочого органу	Тип ґрунту			
			Дерново - підзолисті	Сірі лісові	Чорноземні	Каштанові
1.	DOK-ING MV-4	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
2.	DOK-ING MV-10	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
		фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
3.	GCS-200	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
		фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
4.	PT-300	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
		фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
5.	Armtrac 400	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
		фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
6.	Mine Wolf MW-370	фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
7.	Revival P	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
8.	DIGGER	фрезерний	3	3	3, 4	3, 4
9.	Bozena-4	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	3, 4
10.	Bozena-5+	ланцюговий	1, 2, 3	2, 3	2, 3, 4	3, 4
11.	KOMATSU D85MS-15	фрезерний	3	3	2, 3, 4	3, 4
12.	NIKKEN BM307-V16	фрезерний	3	3	2, 3, 4	3, 4
13.	NIKKEN BM307-V24	фрезерний	3	3	2, 3, 4	3, 4
14.	NIKKEN BM307-V35	фрезерний	3	3	2, 3, 4	3, 4

Ґрунти за гранулометричним складом:

1 - піщані; 2 – супіски; 3 – суглинки; 4 - глинисті



Рисунок 3. Використання машин для розмінування з ланцюговим робочим органом (фото ДСНС)

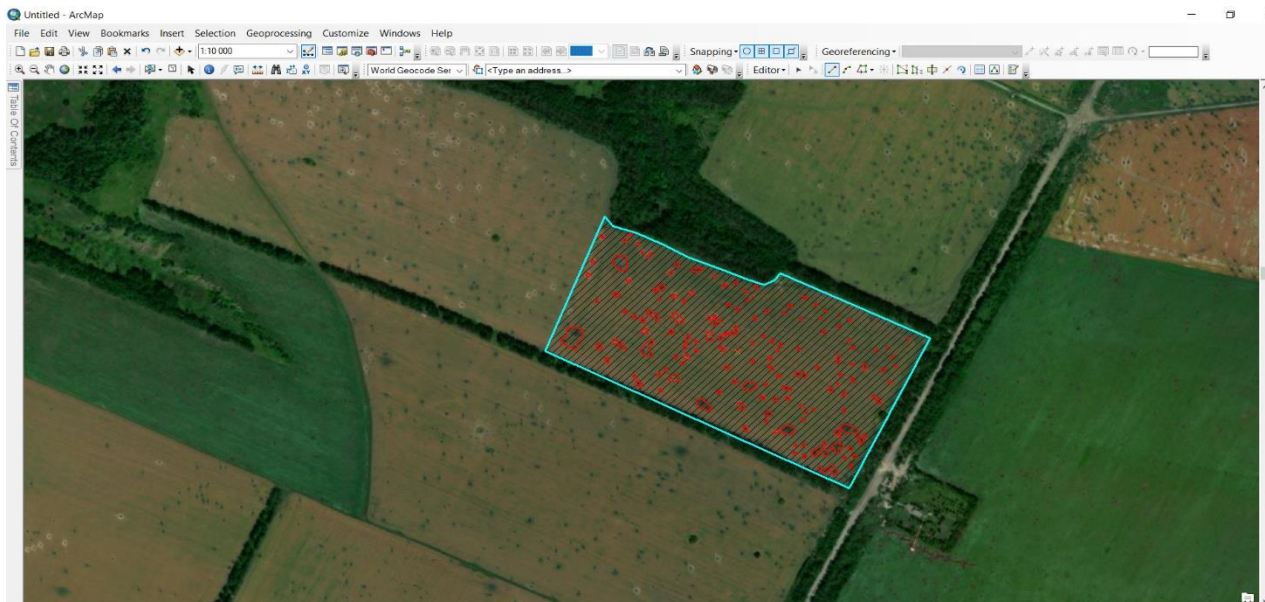


Рисунок 4. Визначення пошкоджених земельних територій внаслідок бойових дій, які підлягають рекультивації

Після проведення розмінування, відбирають зразки ґрунту одним із методів залежно від типу снарядів і неоднорідності території дослідження, визначають об'єм вирв і вибирають методи та стратегію рекультивації.



Рисунок 5. Супутниковий знімок наслідків бойових дій
(<https://www.uadamage.com/>)



Рисунок 6. Визначення об'ємів вирви (автори - команда UADamage, Олена Паренюк)



Рисунок 7. Забруднення територій внаслідок бойових дій (автори - команда UADamage, Олена Паренюк)

3. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ МІЛІТАРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ

3.1. Схеми відбору проб ґрунту за мілітарного забруднення

Забруднювачі в ґрунті та інших твердих середовищах часто розподіляються нерівномірно за територією дослідження. Звичайні підходи до відбору проб ґрунту, які не враховують цю неоднорідність, можуть призвести до завищеної або заниженої оцінки концентрації забруднюючих речовин, що призведе до помилок у прийнятті рішень.

Під час дослідження забруднення потрібно визначити вибірку даних, концентрації речовин, на які відстані вони можуть бути поширені або глибиною від джерела [75-81]. Інформація з такої вибірки може бути використана як вхідні дані для уточнення меж зони експозиції (DU). SU визначають масштаб вибірки для відбору зразків ґрунту (ISM) та оцінки концентрації, тоді як DU визначають масштаб рішення на основі цієї вибірки. Одним із застосувань SU є збір інформації про середні концентрації забруднюючих речовин у ґрунті в підзонах DU, де концентрації в ґрунті, як підозрюється, відрізняються на основі CSM.

Однак такий підхід може бути невідповідним для місця зберігання боєприпасів, де є або були присутні елементи радіусу дії (райони ураження цілей, лінії вогню тощо) під час викиду забруднення. Для таких ділянок DU повинні бути визначені для кожної області, що представляє унікальний профіль вивільнення, щоб допомогти у характеристиці ділянок щодо природи та масштабу (N&E). Припускається, що площа та глибина ПВ мають відносно однорідні концентрації забруднюючих речовин або вони вже продемонстровані пілотними дослідженнями, що є результатом подібних механізмів вивільнення джерела або механізмів розсіювання.

Крок 3 DQO: ідентифікація вхідної інформації. У міру розробки плану вибірки та аналізу команда проекту повинна оцінити, яка конкретна інформація

потрібна для оцінки цілей дослідження. Зокрема, при розробці підходу до вибірки вони повинні враховувати конкретну мету кожної частини зібраних даних. Зразки можна зібрати від DU або SU, але віднесення зони відбору проб до тієї чи іншої категорії залежить від того, для чого вона буде використовуватися.

Щоб зібрати значущі дані для вихідних територій, команда проекту може використовувати історичну інформацію про місце, аерофотознімки, супутникові зображення та інші історичні джерела, щоб допомогти визначити території, які необхідно дослідити. Для оцінки впливу необхідно розробити CSM (етап 1 DQO) та інтегрувати його з характеристиками ресурсів/середовища існування на ділянці, яка потенційно зазнає впливу. DU вихідної області.

Грунтові проби відбирають і досліджують для того, щоб визначити взаємозалежні фізичні, хімічні, біологічні і радіологічні параметри. Відбирання проб проводиться, коли неможливо дослідити ґрунтову товщу цілком. Відібрані проби повинні якомога повніше відбивати властивості того цілого, яке буде охарактеризоване, і щоб це забезпечити, потрібно зробити все можливе, щоб проби не зазнавали жодних змін в інтервалі між відбиранням проб і їхнім досліджуванням [22].

Існують такі типи проб:

- порушені проби (масово-пропорційне відбирання проб, проби, отримані без будь-якої спроби зберегти структуру ґрунту - зв'язок між частками ґрунту слабшає, і вони розділяються в процесі відбирання проб.);
- непорушені проби (пропорційне об'єму відбирання проб, проби отримані з використанням методу, призначеного для збереження структури ґрунту).

Відбирання проб багатофазних систем, таких як ґрунт, що містить воду чи газ, які природно не належать ґрунту, може бути особливо проблематичним [6].

Перш ніж розробити програму відбору проб, потрібно визначити мету, тому що вона є головним визначальним фактором, наприклад, положення і щільності точок відбору проб, часу відбору проб, методів відбору, наступної обробки і аналітичних вимог; від складання і виконання відповідної програми відбору проб залежить, чи досягне дослідження ґрунту цілком своїх цілей [9].

Основні цілі відбору ґрунтових проб:

- відбір проб для визначення загальної якості ґрунту;
- відбір проб для підтримки юридичної чи контролюючої дії;
- відбір проб як частина оцінки небезпеки чи ризику.

Діагональні схеми спрямовані на оцінку забруднення і однорідність розподілу речовин, придатні тільки для однорідно розвинутих площ. З частин площі, які мають відхилення, проби мають відбиратися окремо, рекомендується застосування більше ніж однієї діагоналі (наприклад, рівнобіжні чи Х-форма); відстань між точками відбору проб однакова для кожної діагоналі, тобто на більш коротких діагоналях менше точок відбору проб: вибір точки відбору проб не залежить від місцевих характеристик. Точки бажано встановлювати, вимірюючи відстань кроками [62].

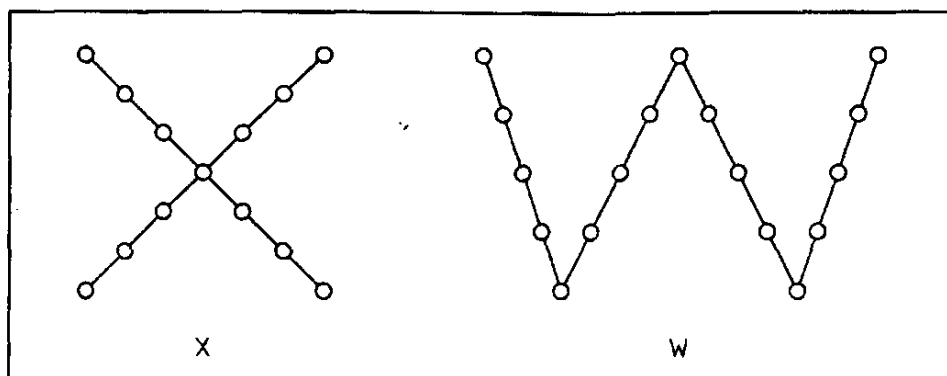


Рисунок 8. Схеми відбору проб ґрунту методом діагоналей

Схема відбору проб за зигзагоподібним перетинанням робиться для площ, на яких здійснюється постійний моніторинг, щоб одержати інформацію про довгострокові зміни унаслідок впливу людини в межах обраних ділянок [27].

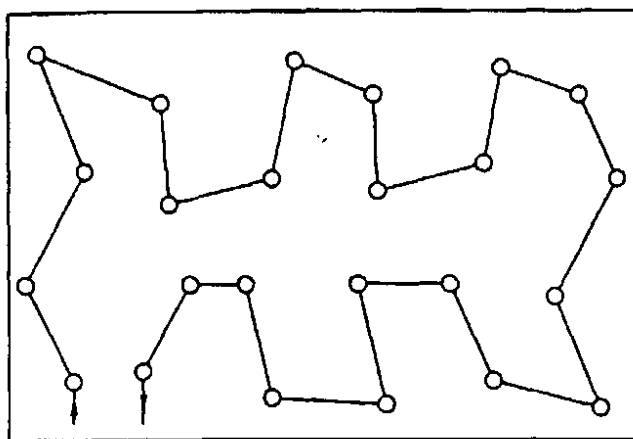


Рисунок 9. Схема відбору проб за зигзагоподібним перетинанням

Порядок дій за відбору проб методом обертових діагоналей:

- а) вибрати репрезентативну площу приблизно в 1000 м²;
- б) розділити цю площу на чотири квадрати, кожний по 250 м²;
- с) у межах кожного квадрата провести по дві діагоналі, уздовж кожної з яких буде отримано дев'ять проб;
- д) відібрати проби відповідно до певних вимог;
- е) підготувати комплексні зразки 1, 2, і 3 шляхом:
 - змішування одиничних проб на позиціях 1, 4, 7, 10, 13, і 16, щоб дати комплексний зразок 1;
 - змішування одиничних проб на позиціях 2, 5, 8, 11, 14, і 17, щоб дати комплексний зразок 2;
 - змішування одиничних проб на позиціях 3, 6, 9, 12, 15, і 18, щоб дати комплексний зразок 3;
- ф) обертальний відбір проб на площі може проводитися шляхом:
 - узяття проб у перетинаннях точок відбору проб (позиції від 1 до 18 на рисунку 10);
 - обертання діагоналей за годинниковою стрілкою навколо центра квадрата кроками по 22,5 ° так, щоб у цілому могло бути виконано чотири серії відбору проб у незмінних положеннях.

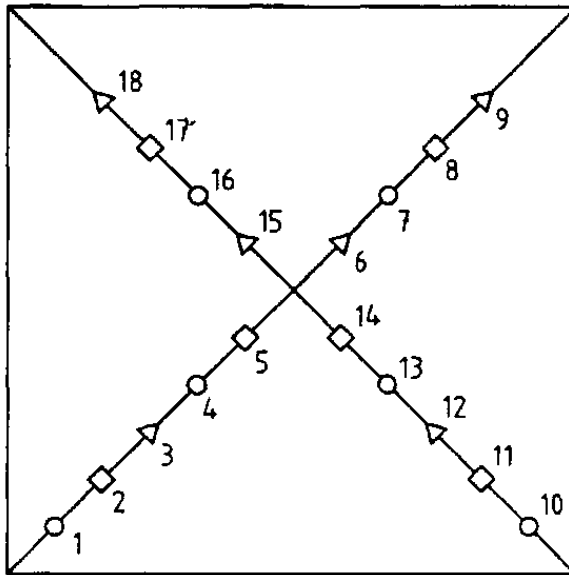


Рисунок 10. Схема відбору проб за методом обертових діагоналей для районів постійного моніторингу

Коли снаряди вибухають, ці детонації призводять до утворення кратера в ґрунті при чому розмір вирв залежить від фізичних властивостей ґрунту. Іноді снаряд може спрацювати без детонації, що призведе до надводного або підповерхневого UXO. На ділянках, де ґрунт кам'янистий або дуже твердий, багато з цих предметів UXO можна побачити на поверхні. У відносно невеликій кількості випадків снаряд частково детонує під час удару, що призводить до так званої детонації низького порядку. У цьому випадку витрачається лише частина вибухової речовини, іноді залишаючи значну частину вибухової речовини в розірваній оболонці або поблизу неї. Іноді детонація високого порядку відбувається досить близько до поверхневого предмета, що не вибухнув, і предмет розірветься без детонації або з детонацією низького порядку.

Відбір проб ґрунту проводився в районах стрільб зі 105-мм гаубиць. Виявлено, що паливо, яке використовується для цих гармат, є одноосновним, а 2,4-ДНТ є залишком з найвищою концентрацією в усіх випадках. Ми не намагалися визначити концентрацію NC, оскільки він є полімерним і не створює проблеми для міграції за межі ділянки, що є головною проблемою для енергетичних залишків. Крім того, немає підтверджених методів для цієї

сполуки, якщо вона диспергована в ґрунтовій матриці. Оскільки гранатометні стрільби невеликі, складені зразки, що складаються з 30 інкрементів, були визнані достатніми для отримання репрезентативних зразків поверхневих ґрунтів. На протитанкових ракетних стрільбах основним залишком у поверхневих ґрунтах у районі цілі є октоген із октолу, який використовується як бризантна вибухова речовина в бойовій частині 66-мм ракет М72. Градієнт концентрації присутній у поверхневих ґрунтах відносно відстані від цілей. Концентрації октогену в поверхневих ґрунтах поблизу цілей зазвичай становлять від сотень до низьких тисяч мг/кг, а концентрація тротилу становить приблизно одну соту від концентрації октогену. Високий вміст октогену в ґрунті на протитанкових ракетних полігонах можна пояснити високою швидкістю руйнування та розриву ракет М72. Для відбору проб область удару повинна бути розділена на зони поблизу цілей, а також зони перед і позаду цілей. Просторова неоднорідність концентрацій залишків у цих місцях є високою, і для того, щоб отримати репрезентативні зразки, необхідно брати багаторазові проби з мінімум 30 приростами. -базова ракета, що використовується в 66-мм ракетах М72. Основне відкладення залишків відбувається за лінією вогню внаслідок зворотного удару цієї зброї. Концентрації, що вищі за низький відсотковий рівень, іноді виявляються в ґрунті на відстані до 25 м за лінією вогню. NG також знаходиться між лінією вогню та мішенню, але концентрація, як правило, на кілька порядків нижча, ніж за лінією вогню. Було встановлено, що багаторазові зразки забезпечують адекватну характеристику зразків із зон удару та вогневих точок на полігонах протитанкових ракет.

Оскільки залишки в цих зразках в основному присутні у вигляді частинок пропеленту, зразки повинні бути оброблені з використанням більших сит (10 меш, 2 мм), ніж рекомендовано в методах SW846 8330 і 8095. Ми також рекомендуємо ретельно подрібнити зразки за допомогою механічної шліфувальної машини перед відбором частин, щоб зберегти їх. репрезентативність частини зразка, яка буде використана для екстракції та

аналізу. Більшість загальна площа артилерійських полігонів, віддалених від вогневих точок і цілей, не забруднена залишками енергетичних сполук. На вогневих точках артилерії та мінометів енергетичними залишками зазвичай є або 2,4-DNT, або NG, залежно від типу палива, що використовується для конкретної вогневої платформи. Залишки можуть відкладатися на відстані до 100 метрів перед дульним зрізом. Для 105-мм гаубиць основним виявленим залишком є 2,4-DNT, який може накопичуватися в діапазоні мг/кг для фіксованих вогневих точок. Залишки однобазового палива, що використовується з цією зброєю, поширюються в основному у вигляді згорілих або незгорілих волокон порошу. Залишки відкладень від 155-мм гаубиць і мінометів – це в основному природний газ від дво- або трибазних палив. Здається, що НГ не накопичується до таких високих концентрацій, як для 2,4-DNT з одноосновних палив. Залишки пропеленту осідають на поверхні ґрунту, і найвищі концентрації залишаються на поверхні, якщо ґрунт не порушується. Як NG, так і 2,4-DNT осідають у матриці NC-волокна, тим самим, ймовірно, обмежуючи їх біодоступність і здатність до вимивання. Більшість детонацій боєприпасів поблизу цілей на дальності дії є детонаціями високого порядку, і, як виявили Hewitt et al. (2003), здається, вони відкладають дуже мало залишків. Основне відкладення енергетичних залишків відбувається через низькі (часткові) детонації, які можуть відкладати шматки чистої вибухової речовини. Залишкові концентрації в сотні або тисячі мг/кг часто знаходяться на поверхні ґрунту поруч із цими детонаціями. Основними залишками є тротил і гексоген із військового тротилу та композиція В, основні вибухові речовини, які використовуються в мінометах і артилерійських снарядах. Розподіл залишків у зоні ареалу, де відбуваються детонації, найкраще описується як випадково розподілені точкові джерела. Деякі з цих точкових джерел можуть бути спричинені детонаціями низького порядку, які є результатом удару поверхневих предметів, що не розірвалися. Наразі виявлення цих точкових джерел є візуальним, але ведуться дослідження, щоб спробувати розробити можливість виявлення майже в реальному часі. Збір репрезентативних зразків

у зонах, які піддаються цим частковим вибухам, є серйозною проблемою, і підходи, що використовують багатокрокову вибірку, не є адекватними. Основними залишками, присутніми на полігонах бомбардування, є, як правило, тротил із тритоналу, який використовується як бризантна вибухівка в більшості бомб. Концентрації можуть становити від десятків до сотень часток на мільйон у воронках від бомб і поблизу них, де відбуваються детонації низького порядку.

Круглі сітки придатні для окреслення обмежених областей забруднення, таких як резервуари для зберігання, але також і вказувати наявність впливу навколо регіонального джерела викидів, наприклад, випадіння промислових підприємств. Відбір проб виконується в секціях концентричних кіл (радіуси яких залежать від передбачуваної площі забруднення) і за лініями восьми головних точок компаса [27].

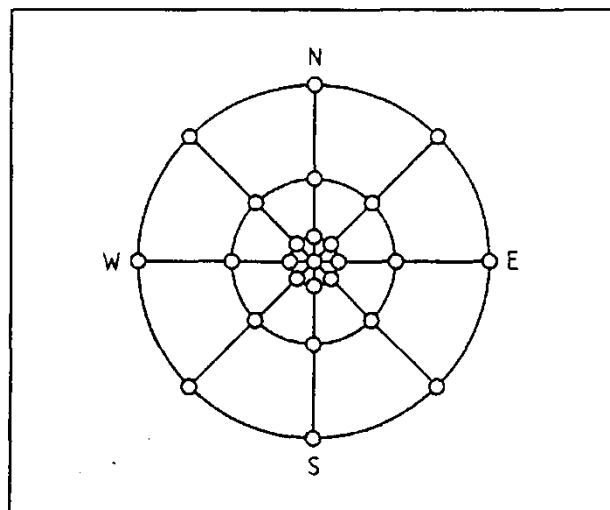


Рисунок 11. Схема відбору зразків ґрунту методом «круглої сітки»



Рисунок 12. Вирва від розриву міни



Рисунок 13. Механічне пошкодження цілісності ґрунтового тіла з локальним хімічним забрудненням від вибуху снаряду

Відбір проб, заснований на методі круглих сіток, може забезпечувати отримання різноманітної інформації, а саме:

- ✓ щодо концентрацій речовини в центрі сітки (максимальні значення);
- ✓ щодо розподілу забруднення (розміри окремої площі зі збільшеним забрудненням);
- ✓ форма розподілу забруднення.

Недоліками відбору проб ґрунту за методом круглих сіток, є:

- ✓ зіркоподібне (радіальне) місце розташування точок відбору проб є практичним, але не оптимальним. Обертання концентричних кіл на $22,5^\circ$ призводить до більш високої якості схеми;
- ✓ відношення щільності точок відбору восьми проб близько до центра і точок відбору восьми проб на більшій відстані у будь-якому випадку не може бути оптимальним;
- ✓ круглі сітки припускають однорідний розподіл забруднення в усіх напрямках, а такого не буває;
- ✓ круглі сітки звичайно не застосовуються для взяття комплексних зразків.

За систематичного відбору проб ґрунту (так званих «правильних сіток») розміри сітки залежать від необхідного ступеня деталізації. Зазначений інтервал може змінюватись залежно від мети відбору проб. Цей метод використовують як для дослідження забруднення ґрунту, так і з метою визначення рівня родючості ґрунту [18].

Якщо застосовуємо методику правильної сітки, то потрібно провести статистичний аналіз результатів дослідження і розрахунки коефіцієнту варіації показників.

Перевага методу «правильної сітки» полягає в тому, що її легко розміщати, а розміри сітки легко змінювати. Легко також і виконувати інтерполяцію між точками відбору проб, повертатися до сітки і виконувати

більш детальний відбір проб на певних площах з метою встановлення локальних джерел забруднення [62]. Використання даного методу дозволяє установити точки відбору проб на перетині ліній сітки.

Рендомізований метод відбору проб використовується у випадках передбачуваного нерівномірного розташування забруднених зон. Однак за використання цього методу охоплення території дослідження виходить нерівномірним, а інтерполяція між точками відбору проб дещо ускладнюється.

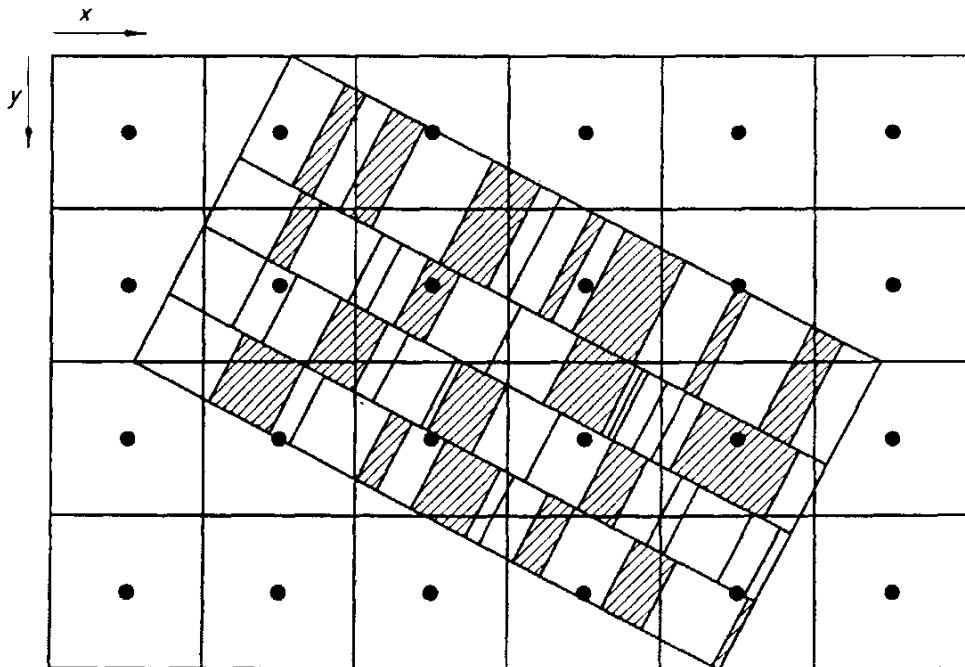


Рисунок 14. Правильний розподіл точок відбору проб на правильній сітці (Ключ забруднення)

Точки відбору проб у межах ділянки відбираються з використанням випадкових чисел, що можуть бути знайдені по таблицях, включених у посібники зі статистики, або можуть бути отримані за допомогою комп'ютерних програм [18].

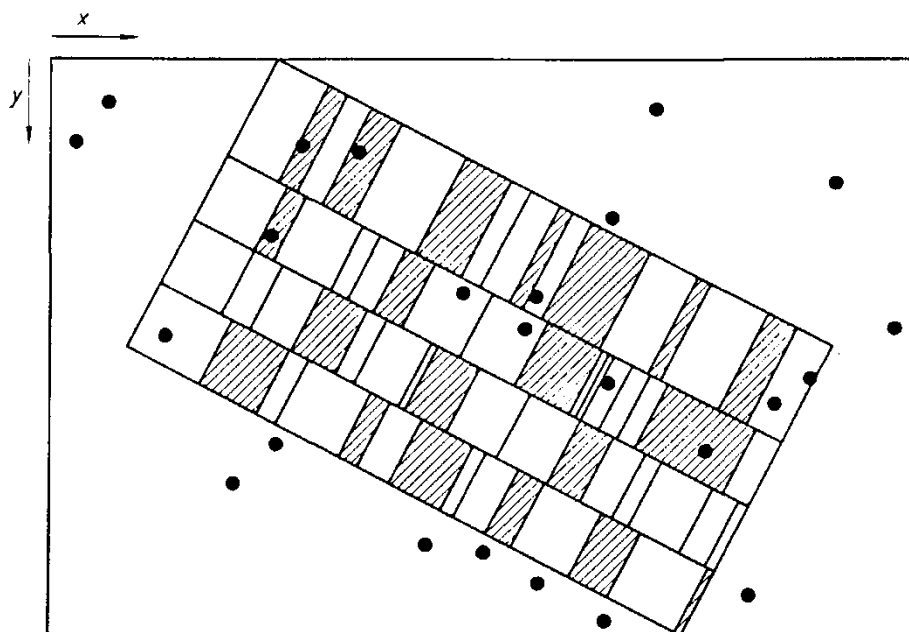


Рисунок 15. Схема рендомізованого відбору проб ґрунту без сітки

Стратифікований рендомізований відбір проб здійснюється таким чином: ділянка розподіляється на велику кількість чарунок сітки, і в кожній з них вибирається певна кількість рендомізовано розподілених точок відбору проб. Недоліком методу є складнощі щодо інтерполяції між точками відбору проб, адже наступний відбір проб з ділянки для ідентифікації забруднених місць, заснований на первісних точках відбору проб, є утрудненим [62].

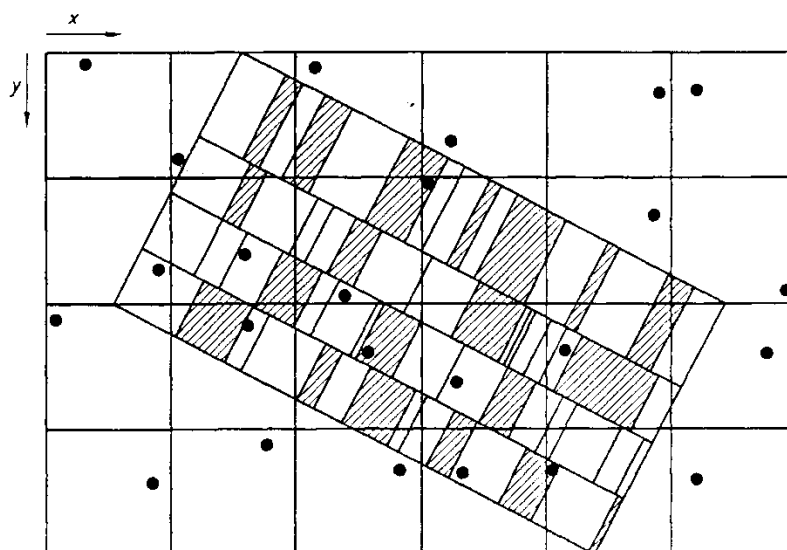


Рисунок 16. Схема стратифікованого рендомізованого відбору проб

Нелінійний рендомізований метод відбору проб. За цим методом лише одна з двох координат вибирається випадково. Метод має недоліки щодо інтерполяції між точками відбору проб, адже наступний відбір проб з ділянки для ідентифікації забруднених місць, заснований на первісних точках відбору проб, є ускладненим [62].

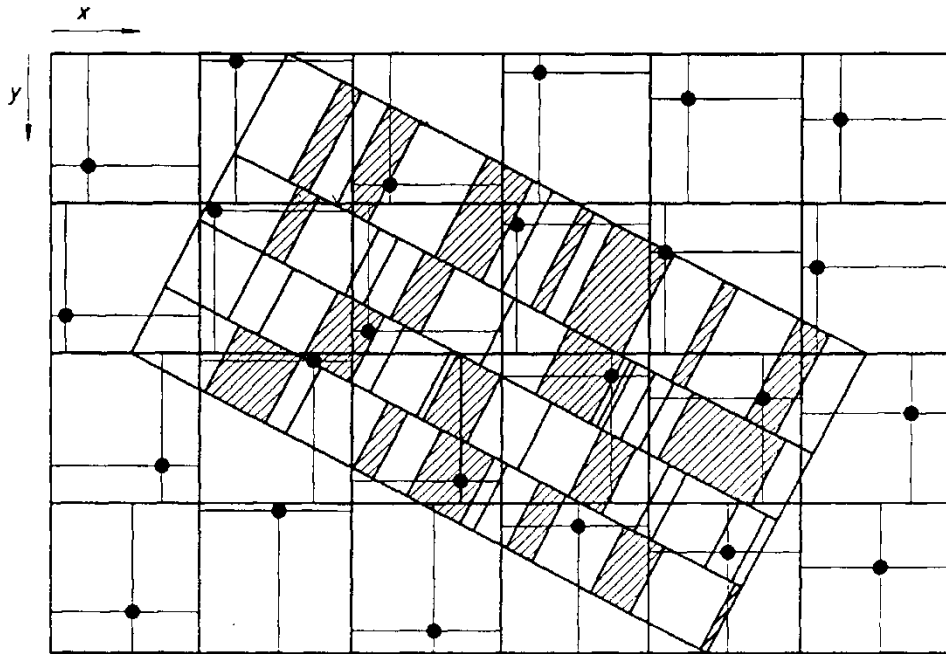


Рисунок 17. Схема нелінійного рендомізованого відбору проб ґрунту за правильною сіткою [62]

Метод систематичного відбору проб ґрунту за не прямокутною сіткою використовується у випадку використання рівносторонньої трикутної сітки. Із кожною точкою сітки граничать три точки сітки на унікальній відстані d_x . При цьому не існує інших суміжних точок. Вільна відстань між пов'язаними суміжними точками, на якій не відбираються проби, має радіус

$$r = \frac{dx}{3} \cdot \sqrt{3}$$

На круглій площі (A) проби не відбираються, тому

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot \frac{d_x^2}{3}$$

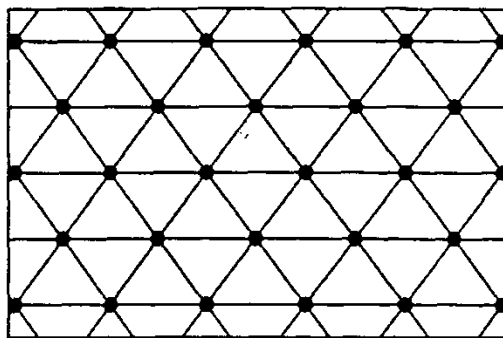


Рисунок 18. Метод відбору проб з використанням трикутної сітки

Метод відбору проб ґрунту уздовж лінійного джерела. Типи залишків, їх концентрації та розподіли відрізняються залежно від типу стрільби та використовуваного боєприпасу. Найбільша концентрація хімічних залишків для всіх зон удару пов'язана з детонаціями, які поширюють частинки та більші рештки вибухової речовини над поверхнею ґрунту. Детонації низького порядку відбуваються або під час навчання з використання ручних гранат, або за локального роздування вибухових решток за допомогою вибухівки С4. Вибухівка С4, яка використовується для підриву заряду гранати, містить 91% військового RDX, з яких близько 10% становить октоген. Основними енергетичними залишками на стрільбищі ручних гранат є гексоген і тротил із складу В, заряд вибухівки в осколкових гранатах М67 і С13. Для діапазонів, де нещодавно відбулася часткова детонація, концентрації, як правило, знаходяться в діапазоні низьких значень (мг/кг), а розподіл є більш просторово однорідним, ніж в інших типах діапазонів впливу, завдяки тисячам окремих детонацій, які постійно перерозподіляють залишки. Використовується у випадку, якщо забруднення має лінійний характер. Відбір проб рекомендується здійснювати на відстані x один від іншого вище лінії. Наступні проби відбирають на більших відстанях (наприклад $2x$) паралельно лінії [24].

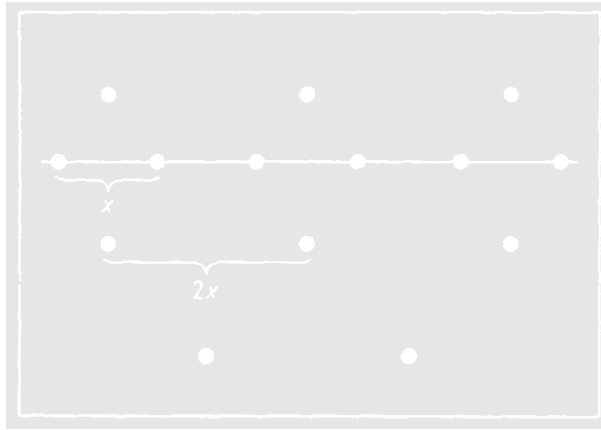


Рисунок 19. Схема відбору проб ґрунту уздовж лінійного джерела забруднення

Методика відбору проб ґрунту представлена у ДСТУ 4287:2004, відповідно до якої усе поле потрібно поділити на рівномірні квадрати (5 га 20 га, або скільки Ви вирішите) з центрів яких відбирається одна проба. Далі потрібно для себе пронумерувати ділянки, щоб Ви потім узнали який зразок відповідає який точці або зробити GPS прив'язку. Наприклад, точки 001, 002 будуть відповідати першій точці відбору, яка знаходиться з правого краю поля (див. Стрілка). Якщо на центр поля приходить виключка (замокає ділянка або не типова), то проба відбирається рядом із ним.

"N", "S", "W" і "X" схеми відбору проб використовуються в сільськогосподарському (садівничому) дослідженні землі. Розподіл ґрунтових компонентів є відносно гомогенним, за контур такої схеми береться велика кількість проб, які потім можуть бути зсіпані і змішані, щоб одержати один зразок для аналізу. При цьому загальна середня проба (яка віддається на аналіз) складалася з 14-20 точкових, які відібрані буром або лопатою з кола радіусом 3 м з глибини 0-30 см. Діагональна схема відображена на рисунку 20

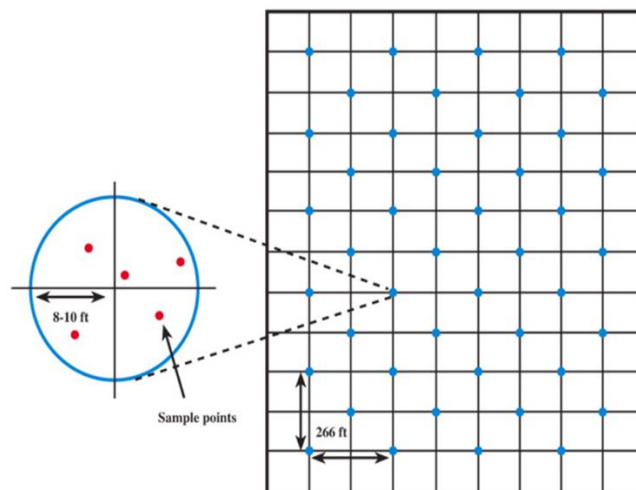


Рисунок 20. Схема відбору зразків забрудненого ґрунту

Зразок ґрунту відбираються окремо з кожної глибини в коробочку або поліетиленовий пакет. Кожен зразок ґрунту оснащується биркою в який ручкою (не олівцем зазначається (господарство, область, район, поле, зразок №, глибина відбору, дата відбору). Бирку краще до ґрунту не класти (пакет у пакет і між ними бирку). Зразки у лабораторії зберігають за температури 4-8⁰ С.

Зверніть увагу, що для оцінки забруднення окрім зразків з забрудненої території (вирви, стоянки техніки, капоніри тощо) відбирається також контрольна проба ґрунту [67] - проба, відібрана за межею зони забруднення на суміжній сформованій (несформованій) земельній ділянці з цільовим призначенням або видом угідь, аналогічними із забрудненою земельною ділянкою. У разі відсутності такої суміжної земельної ділянки проба відбирається на найближче розташованій від зони забруднення сформованій (несформованій) земельній ділянці з цільовим призначенням або видом угідь, аналогічними із забрудненою земельною ділянкою.

3.2. Класифікація деградаційних змін у ґрунтах, обумовлених воєнними діями

Враховуючи специфіку та характер впливу чинників війни на стан і якість ґрунтів, пропонується класифікація їх деградаційних змін, яка має свої особливості та відміни порівняно з наведеною в ДСТУ 7874 (2015).

Воєнні дії, як антропогенно керований чинник, можуть спричиняти масштабну некеровану деградацію ґрунтів, що ускладнює, а в гіршому випадку – унеможлиблює виконання ґрунтом їх біосферно-екологічних та/або продуктивних функцій. Вирішення цієї проблеми потребує впровадження комплексу заходів з їх рекультивації з можливою консервацією на певний період часу з метою мінімізації чи усунення цього негативного впливу. Тому комплекс природоохоронних і меліоративних заходів щодо відтворення родючості ушкоджених ґрунтів має бути адресним і обґрунтованим. В його основу мають бути покладені результати контролю за станом ґрунтових ресурсів на основі оцінювання масштабів і ступеня їх мілітарної деградації.

Під терміном «відновлення земель» слід розуміти законодавчо забезпечену систему заходів, спрямованих на повернення землям якісного стану, який був погіршений через дію антропогенних (у тім числі воєнних дій) або природних (стихійних) чинників, завдяки поверненню втраченої здатності виконувати притаманні ґрунтам функції, що впливають з їх основного цільового призначення шляхом здійснення рекультивації порушених земель, консервації і меліоративним заходам.

Ґрунтові ресурси, що підлягають відновленню, зумовлені унікальними їх властивостями, а саме:

- ✓ обмеженістю у просторі й постійністю місцезнаходження, що вимагає їх раціонального використання;
- ✓ неможливістю створення працею людини усіх компонентів ґрунтових ресурсів у значних обсягах;
- ✓ функціонуванням за законами живих організмів;
- ✓ взаємодією з іншими природними об'єктами.

Окрім цих основних характеристик, ґрунти мають й інші унікальні особливості, а саме:

здатність до відновлення й навіть підвищення свого якісного стану внаслідок здійснення відповідних заходів;

природну неоднорідність, що визначається різними типами ґрунтів залежно від їх зонального розташування і ін.

У табл. 2 наведено класифікацію деградаційних змін у ґрунтах, спричинених війною за типами і видами деградацій, механізмами впливу й характером.

Таблиця 2. Класифікація деградаційних змін у ґрунтах, спричинених війною

Тип деградації	Вид деградації	Механізм впливу та/або характер змін
1	2	3
Механічна (профілеруйнвальна)	Механічні руйнування: лінійні площинні	Деформація морфологічної будови профілю, переміщення горизонтів ґрунту цілеспрямованої дії через будівництво фортифікаційних споруд; локальні вирви від снарядів різного діаметра та глибини, зсуви й осідання
	Включення мілітарного походження	Наявність у масі ґрунту решток органічного та/або предметів промислового походження через воєнні дії
Фізична	Ущільнення	Через рух важкої воєнної техніки
	Деструктуризація: диспергування консолідація	Через рух важкої воєнної техніки, вибухову силу здетонованих снарядів, забруднення паливно-мастильними матеріалами
	Зміни водного та температурного режиму	Через механічне переміщення / змішування верхніх горизонтів з нижніми шарами або випалювання поверхні ґрунту
Хімічна	Дегуміфікація	Втрати органічного вуглецю, зміна його якісних характеристик внаслідок випалювання або переміщування горизонтів ґрунту різної гумусованості

	Дистрофізація	Погіршення трофічного статусу ґрунту через зменшення вмісту елементів живлення або їх залучення у вигляді токсичних сполук чи їх складових
Хімічна	Засолення	Збільшення вмісту солей
	Забруднення	Паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами, різними хімічними речовинами від детонації снарядів різних видів та потужностей, через застосування хімічної зброї
Фізико-хімічна	Підкислення Підлуження Осолонцювання Декальцинація	Зміна складу обмінно-увібраних катіонів через надходження відповідних сполук або перемішування горизонтів ґрунту чи їх вивертання
Біологічна	Дефоліація	Повна або часткова втрата рослинного покриву
	Девертебрація та зниження чисельності мезофауни	Скорочення чисельності землеріїв, чисельності та видового різноманіття мезофауни
	Зниження мікробіологічної та ферментативної активності	Через комплексний вплив чинників воєнних дій
	Погіршення санітарного стану	В епідеміологічному та хімічному відношенні через надходження екзогенних хімічних або біологічних речовин
	Токсичність ґрунту	Перевищення летальної дози токсичних речовин різного походження (токсину, патогену)

Радіаційна	Радіоактивне забруднення	Забруднення штучними радіонуклідами
------------	--------------------------	-------------------------------------

Оцінювання мілітарної деградації ґрунтів здійснюють за змінами параметрів показників відносно початкових значень (якщо на пошкодженому полі були відібрані ґрунтові зразки до початку бойових дій) та за відсутності початкових - відносно еталонних значень.

У якості еталонних значень для оцінювання мілітарної деградації ґрунтів можна застосовувати (за пріоритетністю):

- ✓ параметр непошкодженого недеградованого ґрунту з аналогічними факторами ґрунтоутворення, розташованого найближче до досліджуваного;
- ✓ модальний параметр, який найчастіше спостерігають в аналогічних (відповідно до класифікації) ґрунтах;
- ✓ оптимальний параметр ґрунту за ДСТУ 4362.

Пропонуються такі ступені поширення типів деградації ґрунтів окремої земельної ділянки (поля) внаслідок збройної агресії:

- ✓ деградація відсутня або практично відсутня - менше 10 % площі поля;
- ✓ деградація слабо виражена - 10-25 % площі поля;
- ✓ деградація помірно виражена - 25,1-50 % площі поля;
- ✓ деградація сильно виражена - 50,1-75 % площі поля;
- ✓ деградація катастрофічна - понад 75 % площі поля.

Для оцінювання мілітарної деградації ґрунтів запропоновано використовувати найбільш репрезентабельні та інтегральні показники, які найповніше характеризують тип деградації ґрунтів.

Класифікаційні критерії та оцінювання ступеня деградації ґрунтів, спричиненої бойовими діями, показники оцінювання деградаційних процесів за типами деградації ґрунтів наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Система класифікації та оцінювання ступеня деградації ґрунтів, спричиненої бойовими діями внаслідок збройної агресії РФ
(В.Соловей, М. Захарова, О.Найдюнова, І. Пліско, К. Смірнова, М. Солоха, 2023)

Деградація		Вид	Показник оцінювання	Ступінь деградації					Нормативні посилання
Тип	Підтип			відсутня	слабо виражена	помірно виражена	сильно виражена	катастрофічна	
Механічна	Мілітарна	Зменшення глибини профілю	Зменшення, %	≤10	10-25	25-35	35-50	≥50	
		Зменшення вмісту гумусу	Зменшення вмісту гумусу, %	≤5	5-10	10-15	15-20	≥20	ДСТУ 7872: 2015
		Утворення вирв, траншей, ям	Морфологічна характеристика, % від глибини профілю ґрунту	≤10	10-30	30-50	50-70	≥70	
		Утворення насипу	Морфологічна характеристика, % від глибини профілю ґрунту	≤10	10-30	30-50	50-70	≥70	
		Антропогенна скелетність	Мілітарні уламки, %	≤5	5-10	10-15	15-20	≥20	
Фізична	Мілітарна	Погіршення фізичних властивостей	Перевищення рівнової щільності ґрунту, %	≤10	10-20	20-30	30-40	≥40	
		Стійкі зміни гранулометричного складу	Зменшення вмісту фізичної глини, %	≤5	5-15	15-25	25-32	≥32	ДСТУ 7872: 2015
			Збільшення вмісту фізичного піску, %	≤5	5-15	15-25	25-32	≥25	

Деградаційні процеси у ґрунтах обумовлюють погіршення їх властивостей, що зумовлено зміною умов ґрунтоутворення внаслідок господарської діяльності людини або природних процесів, стимульованих цією діяльністю, і супроводжується втратою ґрунтами екологічних і продуктивних функцій, у результаті чого зростатиме ризик недоотримання сільськогосподарської продукції.

В умовах ведення воєнних дій широкого розповсюдження в Україні набули різні види деградації, зокрема механічна та фізична. Руйнування, пов'язані із сучасною війною, є особливо катастрофічними через масштаби та тривалість війни. Ці збурення великої величини радикально змінюють форму ландшафту, обмежуючи здатність повертатися до початкового стану.

Воєнні дії призводять до прямого знищення ґрунтово-рослинного покриву, в результаті чого відбувається механічна та фізична деградація і, як наслідок, – зниження або втрата родючості ґрунтів. Основні причини та наслідки механічної та фізичної деградації, що виникає через ведення воєнних дій, узагальнено у таблиці 4.

Таблиця 4. Причини та наслідки механічного та фізичного впливу на ґрунти внаслідок ведення воєнних дій

Причина	Наслідки
1	2
Переміщення колісної та гусеничної військової техніки, рух військових підрозділів	Ущільнення ґрунту (до 1,4-1,5 г/см ³ , особливо у верхньому шарі ґрунту 0-15 см)
	Зміна структури ґрунту
	Зниження загальної пористості ґрунту
	Ризик поширення водної та вітрової ерозії

1	2
Будівництво наземних і підземних захисних споруд - траншеї, окопи, бліндажі, сховище бойових снарядів та паливно-мастильних матеріалів (порушення та переміщення або видалення ґрунтового матеріалу)	Зміна фізичних характеристик рельєфу (зсуви, осідання, заболочування)
	Зміна гідрологічної поведінки поверхневих і підземних водних систем
	Знищення рослинного покриву
	Унеможливлення обробітку земель
Бомби та снаряди	Утворення кратерів та воронки, які заповнюються дощовими і талими водами та стають осередками розвитку несприятливих певному ґрунту процесів
	Руйнування послідовності ґрунтових горизонтів
	Ущільнення ґрунту по стінках воронки
	Механічне засмічення ґрунту гільзами, осколками, пакувальним матеріалом з-під боєприпасів, мастильними речовинами
	Ерозія ґрунту від вибухів
Вібрація під час ведення бойових дій (імпульси та вибухові хвилі від вибухів боєприпасів та стрільби з різної зброї чи роботи військової техніки)	Ущільнення ґрунту
	Зміна мікрорельєфу
	Просідання поверхні
	Утворення порожнин у ґрунті
Закопування протитанкових і протипіхотних мін	Збурення ґрунту
	Забруднення залишками вибухових речовин, засмічення металевими та пластиковими уламками
	Унеможливлення обробітку земель
	Вилучення земель зі складу сільськогосподарських угідь (до повного розмінування)

2	2
Процес розмінування	Руйнування гумусового шару
	Зміна гранулометричного та агрегатного стану
	Ущільнення ґрунту важкою розміновувальною технікою
	Втрата рослинного покриву
	Втрата водоутримувальної здатності та розвиток ерозії ґрунту
Пожежі у посівах або лісах	Ризик поширення ерозії на схилах та
	Обмеження проникнення води
	Втрата урожаю

Механічна деградація (пошкодження) ґрунтів обумовлена зниженням якості ґрунту, що проявляється у механічній деформації ґрунтового покриву під час переміщення колісної та гусеничної військової техніки, тимчасової чи довготривалої дислокації військових підрозділів, будівництва наземних і підземних захисних споруд, утворення кратерів від бомбардування, мінування та розмінування територій, будівництва оборонної інфраструктури тощо.

Механічні пошкодження ґрунтів у результаті ведення воєнних дій обумовлена різними чинниками: переміщенням і маневруванням важкої військової техніки, будівництвом укріплень, різноманітними вибухами боєприпасів, що спричиняють порушення верхнього шару ґрунту, та ін. Ці дії призводять до зниження родючості ґрунту, деградації всього природного ландшафту.

До механічного руйнування ґрунтів призводять також створення фортифікаційних споруд (риття окопів, бліндажів, влаштування бойових позицій). Це характерно для стрільбищ, танкових полігонів та ін. Крім того, ґрунти засмічуються і забруднюються різноманітними металевими відходами у вигляді гільз, вибухових речовин, а також боєприпасів, які не розірвалися.

Останні являють велику небезпеку для життя людини та навколишнього природного середовища.

У місцях облаштування польових таборів, привалів і казарм територія полігонів найчастіше засмічується промасленим сміттям та ганчір'ям, пакувальними матеріалами з-під боєприпасів, маскувальним матеріалом, комунально-побутовими відходами, детергентами, пестицидами тощо.

Механічна деформація ґрунтів у результаті військових дій супроводжується складними процесами: стисненням твердих часток, стисненням води та повітря, що знаходяться в порах ґрунту, руйнуванням зв'язків між частками та їхнім взаємним зміщенням, зміною товщини плівок води та віджиманням вільної води з пор ґрунту. Ущільнений унаслідок механічного впливу ґрунт стає більш стійким до подальшого воєнного впливу в умовах постійної нестачі продуктивної вологи.

Механічна деградація проявляється у вигляді розтріскування та переміщення ґрунту, посилення його неоднорідності, знищення рослинності, що призводить до посилення розвитку вітрової ерозії.

Велику шкоду завдають воєнні дії саме сільськогосподарським угіддям, особливо ріллі, що відображається у знищенні родючого шару ґрунту. Це створює ризики для продовольчої безпеки у світі, яка є глобальним сучасним пріоритетом та складовою формули миру України.

Отже, механічні порушення ґрунтів і ґрунтового покриву внаслідок ведення воєнних дій потребують проведення додаткових ґрунтово-географічних досліджень, картографування ґрунтового покриву пошкоджених територій, вивчення властивостей порушених ґрунтів, їхнього агроекологічного оцінювання з метою поліпшення їх стану.

За оцінками ООН, ґрунти та рослини у постраждалих від війни районах зазнають як прямого, так і непрямого впливу, що обґрунтовує необхідність розробки обов'язкової програми рекультивації і реабілітації ґрунтів після закінчення бойових дій та проведення моніторингу пошкоджених ґрунтів.

Фізичну деградацію ґрунтів визначають як комплекс процесів, які викликають руйнування, переміщення та відкладення частинок і маси ґрунту, спрощення будови і мікробудови ґрунту й негативні зміни його режимів (водного, повітряного та температурного), що являє найбільшу небезпеку (Медведев, 2013). Це процес зміни фізичних параметрів ґрунту, зокрема щільності будови, структурно-агрегатного складу, між- та внутрішньоагрегатної пористості. Зазвичай, фізична деградація є неминучим супутником незбалансованого та надмірно інтенсивного використання ґрунтів, але у сучасних умовах додатковим чинником розвитку фізичної деградації ґрунтів є ведення воєнних дій на території країни.

Діагностичні ознаки фізичної деградації проявляються у переущільненні ґрунту, втраті структури, її якості, утворенні в поверхневому прошарку брил, кірки і тріщин, а в основі орного шару - плужної підшви, зниженні між- і внутрішньоагрегатної пористості, формуванні нехарактерних для природних ґрунтів преференційних потоків вологи.

Нормативи для діагностики й оцінювання фізичної деградації за показниками структурності та щільності будови для ґрунтів суглинкового і легкоглинистого гранулометричного складу наведено у таблиці 5. Переущільнення ґрунту виникає через рух та маневри колісної або гусеничної важкої військової техніки, внаслідок чого збільшується щільність будови ґрунту та зменшується його пористість. Негативний вплив проходів важкої техніки по полю лише посилюється за умов збільшення вологості ґрунту, що призводить до збільшення глибини ущільнення в профілі ґрунту та підсилення розвитку ерозійних процесів, замулення або заболочення місцевості.

За розповсюдженістю фізична та механічна деградація внаслідок воєнних дій проявляється:

Таблиця 5. Нормативи для діагностики та оцінювання фізичної деградації за показниками структурності та щільності будови (Медведев та ін., 2020)

Показник	Недеградований ґрунт	Ступінь деградації		
		слабкий	середній	сильний
Структурно-агрегатний склад:				
уміст повітряно-сухих агрегатів 10-0,25 мм, %	>70	60-70	40-60	<40
уміст водостійких агрегатів > 0,25 мм, %	>45	35-45	25-35	<25
Рівноважна щільність будови, г/см³:				
важкі ґрунти	<1,3	1,3-1,4	1,4-1,6	>1,6
легкі ґрунти	<1,3	1,3-1,5	1,5-1,6	>1,6

- **регіонально** – у межах окремих масивів, адміністративних областей (нині найбільш ураженими є території Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської, Миколаївської, Харківської, Сумської, Чернігівської та Київської областей);
- **локально** – у точках вибухів після масового ракетного обстрілу всієї країни або в місцях збитих крилатих ракет.

Існуючі підходи щодо нормування техногенних забруднень у ґрунті, оснований на оцінюванні впливу кількості забруднювача на комплекс показників за тими або іншими критеріями. Ґрунт найбільш інтенсивно акумулює забруднення, що надходять на його поверхню й, утримуючи частину з них, віддає інше контактуючим середовищам з різною енергією, що залежить від різноманітних причин. Залежно від властивостей ґрунту й сучасної динаміки ґрунтових процесів, техногенні забруднювачі, що попадають в ґрунт розкладаються, виносяться за межі ґрунтового профілю, втрачають токсичність або, навпаки, накопичуються в доступних формах, перетворюються в більш токсичні сполуки, порушують нормальне функціонування ґрунтової біоти, а отже, і всієї ґрунтової системи.

Тому поряд із вивченням стабільності речовини в різних типах ґрунтів, її впливу на мікробіоценоз, умов метаболізму, необхідно визначити ступінь і умови її міграції в навколишньому середовищі.

При санітарно-гігієнічному нормуванні забруднюючих речовин враховуються показники шкідливості: транслокаційний – лімітуючий перехід нормованої забруднюючої речовини в рослину; міграційний водний – лімітуючий перехід нормованої забруднюючої речовини у водне середовище; міграційний повітряний – лімітуючий перехід нормованої забруднюючої речовини в повітря; загальний санітарний – визначає здатність ґрунту до самоочищення.

У всіх випадках експериментального розроблення гранично допустимих концентрацій (ГДК) у ґрунті забруднювачів лімітуючим показником була транслокація (перехід) речовини з ґрунту у рослини.

Якщо для певної речовини не встановлено ГДК, то для нормування використовують значення фонових концентрацій цієї речовини.

3.3. Контроль за забрудненням ґрунтів

Контроль за забрудненням ґрунтів базується на перевірці відповідності концентрацій забруднюючих речовин установленими нормами і вимогами у вигляді ГДК або фонових концентрацій. При контролі рівня забруднення ґрунтів хімічні речовини відповідно до ГОСТ 17.4.2.01–83 «Охорона природи. Ґрунти. Класифікація хімічних речовин для контролю забруднень» за ступенем небезпеки поділяють на три класи:

- 1 клас – високо небезпечні;
- 2 клас – помірно небезпечні;
- 3 клас – мало небезпечні.

Показники, за якими встановлюють клас небезпеки речовин наведені в таблиці 6.

Таблиця 6. Критерії класів небезпечності хімічних речовин у ґрунтах

Показник	Норма для класів безпеки		
	1 клас	2 клас	3 клас
Токсичність, ДЛ50, мг/кг	< 200	200–1000	> 1000
Персистентність у ґрунті, міс.	> 12	6–12	< 6
ГДК, мг/кг	< 0,2	0,2–0,5	> 0,5
Міграція	Мігрують	Слабо мігрують	Не мігрують
Персистентність у рослинах, міс.	> 3	1–3	< 1
Вплив на харчову цінність сільськогосподарської продукції	Сильний	Помірний	Немає

Із хімічних речовин, що потрапляють у ґрунт із викидами, скидами, відходами, до 1–го класу віднесені миш'як, кадмій, ртуть, селен, цинк, фтор, бензапірен; 2–го – бор, кобальт, нікель, молібден, сурма, хром; 3–го – барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенон.

Вибухові речовини оцінюються також відповідно до «Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» [67].

Таблиця 7. Коефіцієнти небезпечності забруднюючих речовин (Кн)
[67]

Група небезпечності	Ступінь безпеки	Перелік забруднюючих речовин (показників вимірювань), що відповідають групі небезпечності*		Кн
I	Надзвичайно небезпечні (ГДК/ОДК < 0,2 мг/кг)	Бенз-а-пірен Кадмій** Миш'як Нафта Нафтопродукти*** Ртуть	Селен Свинець Стирол Фенол Фтор Цинк	4,0

II	Дуже небезпечні (ГДК/ОДК 0,2-0,5 мг/кг)	Бензол Бор Кобальт Ксилоли Мідь Молібден	Нікель Сірководень Сурма Толуол Хром	3,0
III	Помірно небезпечні (ГДК/ОДК > 0,5 мг/кг)	Аніонні поверхневоактивні речовини (АПАР) Ацетальдегід Барій Ванадій Вольфрам Марганець Нітрати	Стронцій Сульфати Формальдегід	2,5
IV	Інші (рівні ГДК/ОДК не встановлені)	Амоній Хлориди		1,5

Забруднення ґрунтів, як і інших середовищ, є комбінованим, у зв'язку із чим при хімічному контролі забруднення виникає необхідність виділити пріоритетні забруднювачі речовини, що підлягають контролю у першу чергу. При визначенні яких ураховують класи небезпеки речовин. У випадку відсутності можливості обліку всього комплексу хімічних речовин, що забруднюють ґрунт, оцінювання здійснюють за найнебезпечнішими речовинами, тобто речовинами, що належать до більш високого класу небезпеки.

3.4. Оцінювання стану ґрунтів

Оцінювання стану ґрунтів може проводитись залежно від їх змін природно-техногенними процесами та за ступенем забрудненості.

У першому випадку використовуються ґрунтові критерії (табл. 7), що відображають погіршення властивості ґрунтів. Ці критерії пов'язані як з природними екологічними процесами, так і з антропогенною діяльністю людини, що прискорює процес деградації ґрунтового покриву.

Таблиця 8. Оцінювання стану ґрунтів залежно від їх змін природно-техногенними геологічними процесами

Показник	Зона екологічного стану			
	екологічної норми	екологічного ризику	екологічної кризи	екологічного лиха
Вміст гумусу, % від початкового	> 90	90–70	70–30	< 30
Площа вторинно засолених ґрунтів, %	< 5	5–20	20–50	> 50
Глибина змитості ґрунтових горизонтів, % ґрунтового профілю	< 10	10–30	30–50	> 50
Площа підґрунтових порід, % від загальної площі	< 5	5–10	10–25	> 25
Площа повітряної ерозії, %	< 5	10–20	20–40	> 40

3.5. Оцінювання небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами

Метод композитного індексу P_i базується на використанні показників забруднення навколишнього середовища. Індекс Немерова (P_s) і екологічний індекс ризику (RI) рівнів у вибраному ґрунті зразки були використані для оцінки забруднення ґрунту з (НМ). Референсні значення (середні значення концентрації важких металів у ґрунті) досліджуваних металів, які використовувалися як фон, були взяті з Райлі та Честера (1971) наведені у таблиці 9.

Таблиця 9. Референтні значення важких металів, які використовуються для аналізу базової лінії (мг/кг)

Елемент	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ti
Гранично допустимі концентрації (мг/кг)	0.2	100	55	75	12.5	70	5.7

Метод комплексного індексу Немерова (P_s) враховує всі індивідуальні оціночні фактори, а також домінантні значення.

Бонітет досліджуваного ґрунту проводили за допомогою зведеного індексу (індекс Немерова) за (Liang et al., 2011). За методом композитного індексу P_i використано, що найкраще відображає показники забруднення навколишнього середовища:

$$P_i = C_i / C_{ref}$$

де: P_i – одиничний індекс забруднення;

C_i – середня концентрація (НМ) за трьома місцями відбору проб;

C_{ref} вказує референтне значення оцінки.

Метод комплексного індексу Немерова (P_s) враховує всі індивідуальні оціночні фактори з (2), а також підкреслює домінанту негативного впливу на навколишнє середовище елементів, які присутні у зразках.

$$P_s = \frac{\sqrt{P_{ave}^2 - P_{max}^2}}{2}$$

де: P_{ave} — середнє значення окремого P_i з усіх металів;

P_{max} – максимальне значення окремого P_i , індекс забруднення всіх металів.

Якість ґрунтового середовища згідно до рівнів індексу Немерова класифікується на п'ять рівнів (Cheng et al., 2007):

- $P_s < 0,7$ – безпечна зона;
- $0,7 \leq P_s < 1,0$ – зона попередження;
- $1,0 \leq P_s < 2,0$ – слабо забруднена територія;
- $2,0 \leq P_s < 3,0$ – помірно забруднена територія;

- $P_s > 3,0$ – сильно забруднена територія.

Метод індексу RI, запропонований Hakanson (1980) для оцінки забруднення важкими металами з точки зору седиментології було застосовано для оцінки рівня забруднення важкими металами в ґрунтах внаслідок бойових дій як розрахувати екологічні ризики відповідно до їх токсичний вплив на навколишнє середовище (Qu et al., 2004).

У дослідженнях Qingjie et in., 2008 індекси забруднення важкими металами в ґрунтах і відкладеннях були класифіковані як два типи єдиного індексу та інтегрованого індексу геоаккумуляції, а контрольні значення для розрахунку окремих індексів були розділені на фонові рівні та порогові значення забруднення. Вісім інтегральних показників було розділено на дві групи. Одна група підходить для одиничних індексів нормального розподілу, включаючи суму, середнє, середньозважене, векторний модуль та індекси забруднення Немерова, а інша – для логарифмічного нормального розподілу, включаючи індекси забруднення продукту, корінь із добутку та зваженого енергетичного продукту.

Використовуючи фонові рівні як контрольні значення, було встановлено п'ять класів забруднення, а також запропоновано термінологію для єдиного та комплексного показників для уніфікації результатів оцінки [64].

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

$$E_r = T_r^i * P_i$$

де: E_r – індивідуальний коефіцієнт потенціалу екологічного ризику,

T_r – коефіцієнт токсичності металу.

Коефіцієнти токсичності для Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn і Ti були відповідно 30, 2, 5, 5, 5 (Hakanson, 1980).

Нормування значень екологічного ризику проводили за методикою Riyad Al-Anbariet in., (2015) наведені у таблицях 10 і 11.

Таблиця 10. Значення показників екологічного ризику (Riyad Al-Anbariet in., 2015)

Er	Індивідуальний коефіцієнт потенціалу екологічного ризику
$Er < 40$	Низький -Низький коефіцієнт потенціалу і екологічний ризик
$40 \leq Er < 80$	Середній – помірний коефіцієнт і потенційний екологічний ризик
$80 \leq Er < 160$	Значний - значний коефіцієнт потенційний екологічний ризик
$160 \leq Er < 320$	Високий – потенціал високого ризику
$Er \geq 320$	Дуже високий - дуже високий екологічний ризик

Таблиця 11. Граничні значення інтегрального (RI)

RI	Комплексний потенційний екологічний ризик
$RI < 90$	Низький потенційний екологічний ризик
$90 \leq RI < 180$	Помірний потенційний екологічний ризик
$180 \leq RI < 360$	Високий потенційний екологічний ризик
$360 \leq RI < 720$	Дуже високий потенційний ризик для навколишнього середовища
$RI \geq 720$	Суттєво дуже високий екологічний ризик потенціал

Дослідження Petrushka та ін. (2023) показали, що визначення індексу екологічного ризику кожного елемента на основі Немерова показують дуже високий рівень забруднення ($Ps=48,64$), що перевищує допустиме значення $Ps>3$ у 15 разів. Найвищий екологічний ризик (Er) створюється кадмієм (Cd) і така послідовність: $Cd > Cu > Pb > Ni > Zn > Cr > Ti$. Враховуючи мінімальних

значень потенційного екологічного ризику (PI), лише два елементи характеризувались низьким коефіцієнтом потенційного екологічного ризику ($PI < 40$) — титан і хром. Всі інші досліджувані елементи були значущі та дуже високі значення потенціал екологічного ризику.

У цілому, під час оцінювання небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами враховують такі положення:

1) небезпека забруднення тим вища, чим більший фактичний рівень вмісту (C) контрольованих у ґрунті речовин перевищує ГДК, тобто чим більше значення коефіцієнта небезпеки $K_0 = C/\text{ГДК}$ перевищує 1;

2) небезпека забруднення тим вища, чим вищий клас небезпеки контрольованих речовин;

3) оцінювання небезпеки забруднення будь-яким токсикантом повинна проводитися з урахуванням буферності ґрунту, що впливає на рухливість хімічних елементів, що визначає їхній вплив на контактуючі середовища.

Під буферністю ґрунту розуміють сукупність властивостей ґрунту, що визначають його бар'єру функцію, яка обумовлює рівні вторинного забруднення хімічними речовинами контактуючих із ґрунтом середовищ — рослинності, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря. Основними компонентами, що створюють буферність є: тонко дисперсні мінеральні частки, що визначають її механічний склад; органічна речовина (гумус) і реакція середовища — рН. Небезпека забруднення тим більша при тому самому значенні K_0 (коефіцієнта небезпеки), чим менше значення рН (чим кисліший ґрунт), тим менше вміст у ньому гумусу, чим легший його механічний склад. Наприклад, можна розташувати ґрунти в порядку зростання небезпеки забруднення: чорноземи — суглинки — дерновий — підзолистий ґрунт — супіщаний — дерново — підзолистий.

Систему контролю забруднення ґрунтів на основі гігієнічної регламентації (ГДК) не можна визначити досконалою. Зустрічаються певні труднощі в інтерпретації й об'єктивному оцінюванні забруднення ґрунту

комплексом токсичних або інших речовин, для яких не розроблені нормативи ГДК. У цих випадках рівень хімічного забруднення порівнюють із фоновим.

Серед усіх забруднювачів ґрунту потрібно більше уваги приділяти тим речовинам, які відіграють велику роль у забрудненні біосфери, мають високу стабільність, рухливість, розчинність, тому головне значення має не валова кількість хімічних речовин у ґрунті (важких металів), а форми сполук, які існують у даному середовищі. Найбільш рухливими є хімічні елементи: хлор, бром, фтор, натрій, кальцій, магній, барій.

Найбільш важливим у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва є оцінювання пестицидного забруднення ґрунтів. Прояв токсичних ефектів пестицидів та інших хімічних речовин у ґрунті й процеси їх накопичення залежать від ряду факторів: об'ємів і строків внесення, властивостей пестициду (токсичності, стійкості, здатності до кумуляції, сорбції), механічного складу й структури ґрунту, наявності органічних речовин, рН, вологості та інше.

3.6. Санітарні та біологічні показники оцінювання стану ґрунтів

Під санітарним станом розуміють сукупність фізико – хімічних і біологічних властивостей ґрунту, що визначають її безпеку в епідеміологічному та гігієнічному відношеннях (ГОСТ 17.4.2.01–81). У перелік контрольованих показників входять санітарно – бактеріологічні, санітарно – гельмінтологічні й санітарно – ентомологічні показники. До них належать такі:

- санітарне число (відношення азоту білкового до загального органічного азоту);
- показники концентрацій амонійного та нітратного азоту, хлоридів;
- залишкової кількості пестицидів та інших речовин (важких металів, нафти й нафтопродуктів, фенолів, сірчистих сполук), канцерогенів, радіоактивних речовин, макро – і мікродобрив, термофільних бактерій, бактерій групи кишкової палички, патогенних мікроорганізмів, яєць і личинок гельмінтів і мух.

Перелік показників для різних видів землекористування (населених пунктів, курортів і зон відпочинку, зон джерел водопостачання, територій підприємств, сільськогосподарських угідь, лісів) відрізняється. У чистих ґрунтах організми, які характеризують санітарно-бактеріологічні показники, відсутні; їх присутність указує на специфічне органічне, фекальне й інші види забруднень.

Біологічні показники характеризують здатність ґрунту до самоочищення, що визначається насамперед активністю ґрунтової мікрофлори та ґрунтових тварин, фізико – хімічними умовами та властивостями ґрунту. Антропогенний впливи (внесення добрив, обробка пестицидами, режим меліорації й осушення), а також фактори навколишнього середовища (температура, опади, топографія території) впливають на активність ґрунтової мікрофлори та фауни. В екологічних дослідженнях ґрунтів використовують різні біологічні показники: «подих», показники целюлозо розкладаючої активності, активність ферментів (фосфатази, дегідрогенази), кількість грибів, дріжджів та інше. Як правило, застосовують кілька показників, тому що їхня чутливість до різних забруднюючих речовин істотно розрізняється. Ознакою біологічної деградації в результаті токсичного впливу є зниження рівня активності мікробної маси. Як комплексний показник забруднення ґрунту використовують показник фіто токсичності. Це тестовий інтегральний показник, який визначають за властивостями забрудненого ґрунту придушувати проростання насіння, ріст і розвиток, вищих рослин. Зниження числа проростків насіння порівняно з контролем при біотестуванні вважають показником наявності фітотоксичності ґрунту.

3.7. Класифікація ґрунтів за впливом хімічних забруднюючих речовин

За ступенем забруднення відповідно до ГОСТу 17.4.3.06–86 «Охорона природи. Ґрунти. Загальні вимоги й класифікація ґрунтів за впливом на них хімічних забруднюючих речовин» ґрунти поділяють на:

- 1) сильно забруднені;
- 2) середньо забруднені;
- 3) слабо забруднені.

Якщо ґрунт містить забруднюючі речовини в кількостях, які у кілька разів перевищує ГДК, має низьку біологічну продуктивність і сильно змінені фізико – механічні, хімічні і біологічні характеристики, у результаті чого вміст хімічних речовин у вирощуваних культурах перевищує встановлені нормативи, ґрунт відносять до **сильно забруднених**. Якщо перевищення ГДК у ґрунті є, але не викликає помітних змін її властивостей, ґрунт відносять до **середньо забрудненого**. Якщо вміст хімічних речовин не перевищує ГДК, але вище природного фону, ґрунт вважають **слабо забрудненим**.

Ранжування приводять за ГДК хімічних речовин у ґрунтах або їх фоновим вмістом (якщо ГДК не розроблено), а також за іншими показниками. Розраховують кілька показників.

Коефіцієнт концентрації забруднюючої речовини:

$$K_c = C_i / C_{\text{ф}},$$

де K_c – коефіцієнт концентрації хімічної речовини;

C_i – фактичний вміст хімічної речовини в ґрунті;

$C_{\text{ф}}$ – середня фонові концентрація хімічної речовини у розглянутому районі.

Замість фонові концентрації можна використовувати величину ГДК, у цьому випадку визначається коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження

$$K_i = C_i / \text{ГДК};$$

Інтегральний показник поелементного забруднення ґрунту:

$$K_{\text{сi}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{фi}}}$$

де K_{ci} – інтегральний показник поелементного забруднення ґрунту;

C_i – концентрації забруднюючих речовин, що контролюється;

C_{fi} – фоновий вміст забруднюючих речовин;

Коефіцієнт зворотної реакції ґрунтів на динаміку забруднення:

$$K_p = (A - A_f) / A_f$$

де A і A_f – параметри, які контролюється в забрудненій і фоновій пробах.

За ступенем стійкості до хімічних забруднюючих речовин виділяють три ранги стійкості ґрунтів:

- 1) дуже стійкі;
- 2) середньо стійкі;
- 3) малостійкі.

Таблиця 12. ГДК та фонові значення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb за визначення в буферній ацетатно-амонійній витяжці

Елемент	Марганець, Mn	Мідь, Cu	Цинк, Zn	Кадмій, Cd	Свинець, Pb	Нікель, Ni	Хром, Cr
Рухомі форми (вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином рН 4,8), мг/кг							
Гранично допустима концентрація (ГДК)							
	140	3	23	0,7	6	4	6
ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ							
За фоном України (рівень забруднення)							
Рівень забруднення	(ф) - фон	(сл) - слабкий	(пом.) - помірний	(сер.) - середній	(під.) - підвищений	(вис.) - високий	(д.в.) – дуже високий

Визначено основні показники, якими характеризується ступінь стійкості ґрунту до хімічних речовин. Стійкість характеризується і залежить від таких показників: гумусовий стан ґрунту, кислотно-основними властивостями, біологічною активністю, окислювально-відновними властивостями, катіонно-обмінними властивостями, рівнем ґрунтових вод, частиною речовин у розчинній формі. Короткочасну зміну властивостей ґрунтів діагностують за динамікою вологості, за рН, складом ґрунтових розчинів, подихом ґрунтів, вмістом доступних рослинам живильних речовин. Показники довгострокових змін – за 5–10 років і більше: вміст гумусу, відношення вуглецю гумінових кислот до вуглецю фульвокислот, ерозійні втрати ґрунту, структурний стан, склад обмінних катіонів, загальна лужність, кислотність, вміст солей.

Результати аналізу усередині кратера, був чорнозем південний представлені в табл. 13.

Таблиця 13. Вміст рухомих форм важких металів в середині кратера за вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином (рН 4,8), мг/кг

Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr
<u>10,57</u> (ф)	<u>8,723</u> (д.в.)	<u>2,258</u> (ф)	<u>0,16</u> (сл.)	<u>2,634</u> (сер.)	<u>3,2</u> (сл.)	<u>65,3</u> (д.в.)
<u>31,8</u> (ф)	<u>0,318</u> (ф)	<u>1,832</u> (ф)	<u>0,128</u> (сл.)	<u>1,075</u> (сл.)	<u>3,1</u> (сл.)	<u>38,7</u> (сер.)

В середині кратера отримано перевищення за вмістом рухомих форм міді, свинцю і хрому.

Таблиця 14. Вміст рухомих форм важких металів в середині капоніра за вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином (рН 4,8), мг/кг (1 - група зразків, насичених нафтою; 2 – без ознак вуглеводнів)

	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr
1	<u>34,13</u> (ф)	<u>24,49</u> (д.в.)	<u>44,16</u> (д.в.)	<u>8,30</u> (д.в.)	<u>155,73</u> (д.в.)	<u>2,40</u> (сл.)	<u>4,00</u> (ф)
2	<u>48,05</u> (ф)	<u>132,14</u> (д.в.)	<u>49,98</u> (д.в.)	<u>13,30</u> (д.в.)	<u>177,34</u> (д.в.)	<u>4,60</u> (пом.)	<u>6,20</u> (ф)

Аналіз вмісту рухомих форм важких металів показав дуже високий вміст у середині капонірів міді, цинку, кадмію і свинцю.

3.8. Гігієнічне оцінювання ґрунтів населених пунктів

Оцінювання небезпеки забруднення ґрунту населених пунктів визначається:

епідеміологічною значущістю забрудненого хімічними речовинами ґрунту;

забруднений ґрунт є джерелом вторинного забруднення приземного шару атмосферного повітря і при її безпосередньому контакті з людиною;

значущістю ступеня забруднення ґрунту як індикатора забруднення атмосферного повітря.

Необхідність урахування епідеміологічної небезпеки ґрунту населених пунктів обумовлена тим, що зі збільшенням хімічного навантаження зростає епідемічна небезпека ґрунту. У забрудненому ґрунті на фоні зменшення представників ґрунтових мікробіоценозів (антагоністів патогенної кишкової мікрофлори) і зниження її біологічної активності відзначається збільшення позитивних знахідок патогенних ентеробактерій і геогельмінтів, що були більш стійкі до хімічного забруднення ґрунту, чим представники природних ґрунтових мікробіоценозів. Оцінювання рівня епідемічної небезпеки ґрунту населених пунктів проводиться за схемою, розробленою на основі імовірного перебування патогенних ентеробактерій і ентеровірусів. Критерієм епідемічної безпеки є відсутність патогенних агентів у досліджуваному об'єкті. Оцінювання небезпеки забруднення ґрунту на основі ГДК мають ряд недоліків:

1) не враховуються ефекти накопичення забруднюючої речовини у результаті переходу з одного середовища в інше, при переміщенні по трофічному ланцюгу, а також процеси трансформації при міграції;

2) санітарно-гігієнічні норми застосовуються у разі, коли вторинні природні процеси не є визначальними, що обмежує можливості їх використання;

3) підходи орієнтовані на напівлетальні дози, а потім граничні концентрації; залежності доза – час – ефект, на підставі яких розробляються ГДК, близькі між собою в діапазоні високих доз та істотно розрізняються в діапазоні низьких доз;

4) ГДК встановлюються в експерименті переважно на пацюках і мишах, які найбільш стійкі до токсикантів, а тому можливість екстраполяції їх на організм людини дуже сумнівна.

Таблиця 15. Оцінювання епідемічної небезпеки ґрунтів населених пунктів

Категорія забруднення	Об'єкт	Показник забруднення (клітини/г. ґрунту)				
		кишкові палички	ентерококки	патогенні ентеро-бактерії	ентеро-віруси	гельмін-ти
Чиста	Зони підвищеного ризику: дитячі садки, ігрові майданчики, зони санітарної охорони водойм	1–9	1–9	–	–	–
Забруднена		10 і вище	10 і вище	+	+ –	+ –
Чиста	Санітарно-захисні зони	1 – 99	1 – 99	–	–	–
Забруднена		100 і вище	100 і вище	+	+	+

Оцінювання рівня хімічного забруднення ґрунтів як індикатора несприятливого впливу на здоров'я населення проводиться за показниками, розроблених при сумісних геохімічних і геогігієнічних дослідженнях навколишнього середовища міст.

У випадку полікомпонентної техногенної аномалії розраховується сумарний показник забруднення за формулою:

$$\text{СПЗ} = \sum_{i=1}^n Ki - (n - 1)$$

де n – число компонентів, які враховуються.

Оцінювання небезпеки забруднення ґрунту комплексом металів за Z_c проводиться за оціночною шкалою (табл. 12).

Таблиця 16. Орієнтована шкала оцінювання небезпеки забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення (Z)

Категорія забруднення ґрунтів R	Величина (Z)	Зміни показників здоров'я населення у вогнищах забруднення
Припустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворюваності дітей і мінімальна частота функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16–32	Збільшення загальної захворюваності
Небезпечна	32–132	Збільшення загальної захворюваності, числа дітей, які часто хворіють, дітей із хронічними захворюваннями, порушеннями функціонального стану серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Більше 128	Збільшення захворюваності дитячого населення; порушення репродуктивної функції жінок (збільшення токсикозу вагітності, числа передчасних пологів, мертвонароджуваності, гіпотрофій немовлят)

Градації оціночної шкали розроблені на основі вивчення показників стану здоров'я населення, що проживає на територіях з різним рівнем забруднення ґрунтів.

Отже, при санітарно-гігієнічному нормуванні забруднюючих речовин враховуються показники шкідливості: транс локаційний, міграційний водний, міграційний повітряний, загальний санітарний. При розробці ГДК у ґрунті забруднювачів лімітуючим показником є транслокація речовини з ґрунту у рослини. Якщо для певної речовини на встановлено ГДК, то для нормування використовують значення фонових концентрацій цієї речовини.

Під час контролю забруднення ґрунтів хімічні речовини поділяють на три класи:

1 клас – високо небезпечні,

2 клас – помірно небезпечні,

3 клас – мало небезпечні.

Оцінювання стану ґрунтів може проводитись залежно від їх змін природно-техногенними процесами та за ступенем забрудненості. Небезпека забруднення тим вища, чим більше фактичний рівень вмісту контрольованих у ґрунті речовин перевищує ГДК; чим вищий клас небезпеки контрольованих речовин.

Оцінювання небезпеки забруднення будь-яким токсикантом повинно проводитися з урахуванням буферності ґрунту, що впливає на рухливість хімічних елементів, що визначає їхній вплив на контактуючі середовища.

За ступенем забруднення ґрунти поділяють на:

сильно забруднені,

середньо забруднені,

слабко забруднені.

За ступенем стійкості до хімічних забруднюючих речовин виділяють три ранги стійкості ґрунтів:

✓ дуже стійкі,

✓ середньо стійкі,

✓ малостійкі.

Три компоненти, що характеризують вибухову суміш, NTO, DNAN і RDX, мають розрахований гострий LD₅₀ (смертельна доза, яка, за оцінками, вбиває 50 % населення) відповідно >5000 мг/кг, 199 мг/кг і 59 мг/кг відповідно (Lent, 2019), що обґрунтовує необхідність попередньої оцінки будь-якого вибухового залишку в ґрунті, щоб запобігти будь-якому потенційному впливу та уникнути серйозних наслідків для рецепторів навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Отже, військові дії пошкоджують ґрунтову поверхню і призводять до її забруднення. Для розробки ефективних заходів важливо провести детальне обстеження і якісну оцінку стану постраждалих територій. Забруднювачі в ґрунті та інших твердих середовищах часто розподіляються нерівномірно за територією дослідження. Звичайні підходи до відбору проб ґрунту, які не враховують цю неоднорідність, можуть призвести до завищеної або заниженої оцінки концентрації забруднюючих речовин, що призведе до помилок у прийнятті рішень.

Під час дослідження забруднення потрібно:

- провести геоінформаційний моніторинг земель і супутниковий аналіз території;
- визначити розмір порушень (морфометрія, амплітуда антропогенних форм рельєфу, площа, зайнята порушеними ділянками);
- підібрати метод відбору зразків ґрунту на забруднених територіях;
- визначити вибірку даних, концентрації речовин, на які відстані вони можуть бути поширені або глибиною від джерела;
- вид забруднення (комплексний коефіцієнт);
- інженерно-геологічних параметрів території (тип, реакція ґрунтового середовища і засоленість ґрунтів, режим і джерела живлення ґрунтових вод, природних форм рельєфу);
- властивостей ґрунтів території.

При оцінюванні небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами необхідно враховувати такі положення:

- 1) небезпека забруднення тим вища, чим більший фактичний рівень вмісту (С) контрольованих у ґрунті речовин перевищує ГДК, тобто чим більше значення коефіцієнта небезпеки $K_0 = C/\text{ГДК}$ перевищує 1;

2) небезпека забруднення тим вища, чим вищий клас небезпеки контрольованих речовин;

3) оцінювання небезпеки забруднення будь-яким токсикантом повинна проводитися з урахуванням буферності ґрунту, що впливає на рухливість хімічних елементів, що визначає їхній вплив на контактуючі середовища.

Забруднення ґрунтів, як і інших середовищ, є комбінованим, у зв'язку із чим при хімічному контролі забруднення виникає необхідність виділити пріоритетні забруднювачі речовини (важкі метали і вибухові речовини), що підлягають контролю у першу чергу. При визначенні яких ураховують класи небезпеки речовин відповідно до «Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» (2022).

При оцінці вибухових речовин потрібно враховувати також їх метаболіти. Вибухова суміш, NTO, DNAN і RDX, має розрахований гострий LD₅₀ (смертельна доза, яка, за оцінками, вбиває 50 % населення) відповідно >5000 мг/кг, 199 мг/кг і 59 мг/кг.

За результатами експериментальних даних і аналізу території з Миколаївської області у середині капонірів отримано дуже високий вміст міді, цинку, кадмію і свинцю вміст рухомих форм важких металів, а у кратері - отримано перевищення за вмістом рухомих форм міді, свинцю і хрому.

Пропозиції й рекомендації щодо відновлення ґрунтів, які зазнали механічних і фізичних деградацій унаслідок воєнних дій на території України можуть бути використані:

- у науково-дослідній сфері – для подальшого теоретичного дослідження проблем забезпечення відновлення земель;

- при розробці пропозицій щодо внесення змін до чинного законодавства, які будуть спрямовані на вдосконалення правового забезпечення відновлення земель;

- у сфері практичної діяльності – для підвищення ефективності проведення відновлення земель й ефективної реалізації норм земельного права;

- у навчальному процесі – під час викладання відповідних спецкурсів, при підготовці навчальних програм, підручників, навчальних, методичних та довідкових посібників.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Agricultural War Damages, Losses, and Needs Review. Issue 3. April 2023. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/05/RDNA2.pdf>
2. Al-Adili A.S. 1998. Geotechnical Evaluation of Baghdad Soil Subsidence and Their Treatments. Thesis, University of Baghdad.
3. Baliuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovei V.B., Smirnova K.B., Momot H.F., Levin A.Y. Impact of Armed Aggression and Hostilities on the Current State of the Soil Cover, Assessment of Damage and Losses, Restoration Measures: Scientific Report; Brovin: Kharkiv, Ukraine. 2022. 102p.
4. Bardgett Richard. Soil and War. Earth Matters: How soil underlies civilization (Oxford, 2016; online edn, Oxford Academic, 12 Nov. 2020), <https://doi.org/10.1093/oso/9780199668564.003.0010>
5. Bavrovska N., Koshel A., Tykhenko O. Збалансоване використання сільськогосподарських земель, що постраждали внаслідок бойових дій в Україні, як передумова сталого розвитку. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2024. № 1. С. 49-58. <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.04>
6. Belli P., Bernabei R., Boiko R.S. et al. Search for double beta decay of ^{136}Ce and ^{138}Ce with HPGe gamma detector // Nuclear Physics A, Volume 930, August 27, 2014, Pages 195-208.
7. Braida, W. J., Wazne, M., Ogundipe, A., Tuna, G. S., Pavlov, J., Koutsospyros, A., & Balok, V. (2012). Transport of nitrotriazolone (NTO) in soil lysimeters. Proceedings of Protection and Restoration of the Environment XI.
8. Broomandi P, Guney M, Kim JR, Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. Sustainability. 2020; 12(21):9002. <https://doi.org/10.3390/su12219002>
9. Certini G., Scalenghe R., Woods W. 2013. The impact of warfare on the soil environment. Earth-Science Reviews, 127 (2013) 1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>.

10. Chatterjee, S., Deb, U., Datta, S., Walther, C., & Gupta, D. K. (2017). Common explosives (TNT, RDX, HMX) and their fate in the environment: Emphasizing bioremediation. *Chemosphere*, 184, 438-451.
11. Cheng J.L., Shi Z., Zhu Y.W. 2007. Assessment and Mapping of Environmental Quality in Agricultural Soils of Zhejiang Province, China. *Environmental Sciences*, 19, 50-54. [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(07\)60008-4](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(07)60008-4).
12. Clausen, J., J. Robb, D. Curry, and N. Korte (2004) A case study of contaminants on military ranges: Camp Edwards, Massachusetts, USA. *Environmental Pollution*, 129: 13–21.
13. Depountis N, Michalopoulou M, Kavoura K, Nikolakopoulos K, Sabatakakis N. Estimating Soil Erosion Rate Changes in Areas Affected by Wildfires. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020; 9(10):562. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100562>
14. Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, 15(1), 3-11.
15. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine. OSCE. Kyiv: VAITE. 2017. 88 p. https://www.osce.org/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf
16. Galante E. , T. Temple, M. Ladyman, P.P. Gill The UK Ministry of Defence project orientated environmental management system (POEMS) Propellants, Explos., Pyrotech., 42 (1) (2017), pp. 36-43, [10.1002/PREP.201600193](https://doi.org/10.1002/PREP.201600193).
17. GIS and Data Analysis in Times of Conflicts for Social Reforms. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/gis-data-analysis-times-conflicts-social-reforms-rainbow-atlas-8gmnf>
18. Hakanson L. 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
19. Harari S., Annesi-Maesano I. The war in Ukraine is an environmental catastrophe [http://dx.doi.org/10.5588/ijtld.22.0603](https://doi.org/10.5588/ijtld.22.0603)

20. Heiderscheidt Drew. The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe, The Undergraduate Research Journal at the University of Northern Colorado: 2018.Vol. 7 : No. 3 , Article 3.
<https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3>

21. Hewitt A.D. , T.F. Jenkins, M.E. Walsh, M.R. Walsh, S. Taylor RDX and TNT residues from live-fire and blow-in-place detonations Chemosphere, 61 (6) (2005), pp. 888-894, 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.04.058.

22. Hewitt, A.D., T.F. Jenkins, T.A. Ranney, J.A. Stark, M.E. Walsh, S. Taylor, M.R. Walsh, D.J. Lambert, N.M. Perron, N.H. Collins, and R. Karn (2003) Estimates for explosives residues from the detonation of Army munitions. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Hanover, New Hampshire, Technical Report ERDC/CRREL TR-03-16.

23. ISO 10381-1:2002 Soil quality - Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programmes (Якість ґрунту - Відбір проб - Частина 1: Настанови щодо складання програм відбору проб)

24. ITRC. (2012). Technical and regulatory guidance incremental sampling methodology. Incremental Sampling Methodology, 191.

25. Jenkins, T.F., A.D. Hewitt, C.A. Ramsey, S.R. Bigl, Kevin Bjella, and D. Lambert (in press) Sampling studies at an Air Force bombing range impact area. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Hanover, New Hampshire, ERDC Technical Report.

26. Jenkins, T.F., A.D. Hewitt, M.E. Walsh, T.A. Ranney, C.A. Ramsey, C.L. Grant, and K.L. Bjella (2005) Representative sampling for energetic compounds at military training ranges. Environmental Forensics, 6: 45–55.

27. Jenkins T.F. , A.D. Hewitt, C.L. Grant, S. Thiboutot, G. Ampleman, M.E. Walsh, T.A. Ranney, C.A. Ramsey, A.J. Palazzo, J.C. Pennington Identity and distribution of residues of energetic compounds at army live-fire training ranges Chemosphere, 63 (8) (2006), pp. 1280-1290, 10.1016/j.chemosphere.2005.09.066

28. Johnson, M. S., Eck, W. S., & Lent, E. M. (2017). Toxicity of insensitive munition (IMX) formulations and components. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 42(1), 9-16.
29. Jwan Al-doski, Shattri.B Mansor, Helmi Zulhaidi Mohd Shafri. War Impacts Studies Using Remote Sensing. *Journal of Applied Geology and Geophysics* Volume 1, Issue 2 (2013), PP 11-15.
https://www.researchgate.net/publication/359364783_War_Impacts_Studies_Using_Remote_Sensing
30. Kumar M., Sahu A. P., Sahoo N., Dash S.S., Raul S.K., Panigrahi B. Global-scale application of the RUSLE model: a comprehensive review. *Hydrological Sciences Journal*. 2022. 67(5), P. 806–830.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2021.2020277>
31. Lent, E. M. (2019). *Toxicology Assessment of IMX-104: Toxicology Report No. S. 0012411b-18*.
32. Mariia Mykhailova, Olha Yatsenko, Yuliia Zavadska, Oksana Afanasieva, Rainer Haas. The War in Ukraine and Its Impact on Global Agricultural Trade. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. Volume 74, Issue 2, 91–105, 2023. DOI: 10.2478/boku-2023-0008.
<https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/boku-2023-0008>
33. Masindi V., Muedi Kh. L. Environmental Contamination by Heavy Metals. 2018. – Chap. 7. – P. 115-132 DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
34. Oleh Skydan, Vitalii Dankevych, Rachael D. Garrett, Olha Nimko. The state of the agricultural sector in Ukraine during wartime: The case of farmers. *Scientific horizons*. 2023. 26(6), 134-145. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.134>
35. Olha Tykhenko, Andrii Martyn, Ruslan Tykhenko, Ivan Openko, Oleksandr Shevchenko, Oleg Tsvyakh, Anatoliy Rokochynskiy, Pavlo Volk. Impact of Comparative Assessment of Soil Quality on Determining the Value of Agricultural Land (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024; 25(4):252-261. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198426384&origin=resultslist>

36. Ostapenko P., O. Bonchkovskiy, V. Shvaiko, A. Bonchkovskiy. War and soils in Ukraine: how to estimate soil losses? Ukrainian Researchers Society. Kyiv. 2022. <https://hromady.org/wp-content/uploads/2023/03/War-and-soils-in-Ukraine.pdf>
37. Parakhnenko V.H., Zadorozhna O.M., Liakhovska N.O., Blahopoluchna A.H. Environmental assessment of chemical pollution of soils as a result of the war. Таврійський науковий вісник № 131. 2023. С. 367-373. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/131_2023/46.pdf
38. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. 2022. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. Science of the Total Environment, 837 (2022) 155865. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
39. Petrushka, K., Petrushka, I., Yuxhman, 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>.
40. Pham Tung Gia, Degener Jan, Kappas Martin. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. International Soil and Water Conservation Research. Volume 6, Issue 2, June 2018, Pages 99-110.
41. Qu J., Yuan V., Wang X., Shao P., Cong, Q. 2004. Distribution of heavy metals, chemical fractions and ecological risks around a molybdenum mine in Liaoning Province, China. Vitamins and Trace Elements, 1(3), 1-6.
42. Riley J.P., Chester, R. 1971. Introduction to Marine Chemistry. Academic Press, London.
43. Riyadh Al-Anbari, Abdul Hameed M.J. Al Obaidy, Fatima H. Abd Ali. 2015. Pollution loads and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil affected by various anthropogenic activities. International Journal of Advanced Research, 3(2), 104-110.

44. Russia's war in Ukraine: price and opportunity cost of Demining land of small-scale agricultural producers. August 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/Mining-brief_Final-1.pdf
45. Rybalova Olha, Korobkova Hanna, Chynchyk Oleksandr, Stryzhak Tatyana, Bondar Oleksandr. Environmental assessment of soil contamination by trace metals. 2022. P. 306-312. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17229/1/Environmental%20assessment%20of%20soil%20contamination%20by%20trace%20metals.pdf>
46. Shumilova O., Tockner, K., Sukhodolov A., Khilchevskyi V., De Meester L., Stepanenko S., Trokhymenko G., Hernández-Agüero J.A., Gleick P. Impact of the Russia–Ukraine Armed Conflict on Water Resources and Water Infrastructure. *Nat. Sustain.* 2023, 6, 578–586.
47. Solokha M, Demyanyuk O, Symochko L, Mazur S, Vynokurova N, Sementsova K, Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024; 13(10):1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
48. Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine / [O. L. Tonkha, T. A. Nurek, Y. S. Kravchenko та ін.]. – Warszawa: Monograph, 2021. – 118 p.
49. Stanley J.K. , G.R. Lotufo, J.M. Biedenbach, P. Chappell, K.A. Gust Toxicity of the conventional energetics TNT and RDX relative to new insensitive munitions constituents DNAN and NTO in *Rana pipiens* tadpoles *Environ. Toxicol. Chem.*, 34 (4) (2015), pp. 873-879, 10.1002/etc.2890.
50. Taylor, S., A. Hewitt, J. Lever, C. Hayes, L. Perovich, P. Thorne, and C. Daghljan (2004) TNT particle size distributions from detonated 155-mm howitzer rounds. *Chemosphere*, 55: 357–367.
51. Terebukh A, Pankiv N, Roik O. Integral Assessment of the Impact on Ukraine's Environment of Military Actions in the Conditions of Russian Aggression. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023;24(3):90-98. doi:10.12912/27197050/157569.

52. Walter Leal Filho, Mariia Fedoruk, João Henrique Paulino Pires Eustachio, Anastasiia Splodytel, Anatoliy Smaliychuk, Małgorzata Iwona Szyrkowska-Jóźwik. The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. Volume 364, July 2024.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479724013859>

53. Zentelis R. , S. Banks, J.D. Roberts, S. Dovers, D. Lindenmayer Managing military training-related environmental disturbance *J. Environ. Manag.*, 204 (2017), pp. 486-493, 10.1016/j.jenvman.2017.09.029.

54. Адамів С. Руйнування ґрунтового покриття внаслідок ведення військових дій. *Scientific Collection «InterConf»*. 2024 (198). С. 369–375. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/6044>

55. Ачкасов А., Попович Наталія, Віліна Пересадько, Тенгіз Гордезіані. Геоінформаційне забезпечення геопорталів територіальних громад: довоєнні реалії й післявоєнні перспективи. *Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2024, випуск 60. С. 124-136. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/24204/21949>

56. Балюк С. А. Оцінка впливу війни на чорноземі як передумова відновлення їхньої родючості [Електронний ресурс] / С. А. Балюк // Агропортал. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroportal.ua/blogs/ocinka-vplivu-viyni-na-chornozemi-yak-peredumova-vidnovlennya-jihnoji-rodyuchosti>.

57. В Україні заміновано майже 139 тисяч кв. км території — Шмигаль [Електронний ресурс] // Суспільне. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://suspilne.media/893279-v-ukraini-zaminovano-majze-139-tisa>.

58. Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Бакланова Т. В., Пилипенко Т. В. Шляхи поліпшення ґрунтового покриття після припинення збройної агресії за умови обмеження ресурсного забезпечення. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Екологічний вимір. Реалії впливу збройної агресії на ґрунтовий покрив України»*. Київ. 25 липня 2023 року. С. 39-42.

59. Гопцій Дмитро, Анопрієнко Тетяна. Забруднення земель в Україні внаслідок війни: оцінка масштабів проблеми та пошук шляхів її вирішення. Екологічна і біологічна безпека в умовах війни: реалії України. Збірник матеріалів науково-практичної конференції (Україна, Київ, 19-20 липня 2023 р.). Київ. 2023. С. 43-49.

60. Ґрунтові деградації і технології відтворення родючості ґрунтів: навчальний посібник для підготовки фахівців ОС "Магістр" зі спеціальності 201 "Агрономія / В. О. Забалуєв, А.Д.Балаєв, О.Л.Тонха, О.В.Піковська; За ред. В. О. Забалуєва. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. 240 с. <https://dglib.nubip.edu.ua/handle/123456789/10634>.

61. Дмитренко ОВ, Дем'янюк ОС, ЛП Погоріла Екотоксикологічна оцінка дерново-підзолистого ґрунту за впливу бойових дій. - Агроекологічний журнал, 2023. -№4. С.89-96.

62. ДСТУ 10.3.81-6-2001. Якість ґрунту. Відбір проб. – К. : Держспоживстандарт України, 2002.– 17 с.

63. Зібцев С. В., Сошенський О. М., Голдаммер Й. Г. та ін. Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами. WWF-Україна, 2022. 148 с.

64. Кузьменко В.О., Третяк Н.М., Чорнай В.І., Яриш І.Ю. Воєнний екоцид в Україні як згубний наслідок застосування російських ракет та снарядів. Scientific works of State Scientific Research Institute of AME TC, 2024, Iss. 1(19). С. 62-70. DOI: 10.37701/dndivsovt.19.2024.08. URL: <https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/377/348>

65. Кучер А. В., Кучер Л. Ю. Економічна оцінка екологічних наслідків війни для території України. Наукова молодь – потенціал відновлення України: зб. матер. всеукр. наук. семінару (м. Івано-Франківськ, 25 травня 2022 р.). Київ: ДУ «ІГНС НАН України», 2022. С. 41–43.

66. Лойко С.В. Орендні земельні відносини у сільському господарстві Житомирської області. Економіка АПК. 2019. № 1. С. 89–95.

67. Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану [Електронний ресурс] // Верховна рада. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#n14>.

68. Моніторинг якості ґрунтів /[Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буліний О.В., Тонха О.Л.] Підручник. К.: НУБіП України, 2019. 449 с.

69. Наумчук В. Стратегії відновлення та рекультивації земель після воєнних конфліктів. Актуальні проблеми економіки. 2024. № 7 (277). С. 240-248. https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/07/7.24._topic_Viktor-Naumchuk-239-248.pdf

70. Пацев І.С., Барабаш О.В., Пацева І.Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми Житомирщини. Екологічні науки № 5(50). С. 114-120. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/5/16.pdf>

71. Руденко М.В., Третяк Н.М., Маренич А.І. Маркетингові дослідження впливу російської агресії на стан аграрного сектора України. Економіка. Менеджмент. Бізнес. 2024. №2(45). DOI:10.31673/2415-8089.2024.010505

72. Шевченко О. Війна в Україні може призвести до екологічної катастрофи, що зачепить Європу та Азію. URL: <https://greenpost.ua/news/vijna-v-ukrayini-mozhe-pryzvesty-do-ekologichnoyikatastrofy-shho-zachepyt-yevropu-ta-aziyu-i43937>

73. Шульга М. В., Шульга А. М. Актуальні правові проблеми охорони земель в Україні. Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди «Право». 2023. Випуск 37. С. 137.

74. Яких екологічних наслідків зазнала Україна за час війни окрім збитків від підриву Каховської ГЕС. 20 Червня 2023. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/yakih-ekologichnih-naslidkiv-zaznala-ukrayina-za-chas-viyni-okrim-zbitkiv-vid-pidrivu-kahovskoyi-ges/> (дата звернення: 14.11.2024).

75. USEPA. 2002a. 40 CFR §260.10 – HAZARDOUS WASTE MANAGEMENT SYSTEM: GENERAL. In 40 CFR §260.10

76. USEPA. 2002b. Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites. Office of Emergency and Remedial Response.

77. USEPA. 2002c. Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection EPA QA/G-5S. edited by Office of Environmental Information. Washington, DC. .

78. USEPA. 2002d. Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for Use in Developing a Quality Assurance Project Plan.

79. USEPA. 2002e. Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for Use in Developing a Quality Assurance Project Plan.

80. USEPA. 2002f. “Method 5035A (SW-846): Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples.”

81. USEPA. 2002g. RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance. Planning, Implementation, and Assessment. Solid Waste and Emergency Response (5305W).