

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-28>

УДК 911.9:504.5

Польові дослідження мілітарних забруднень ґрунтів агроландшафтів важкими металами

Григорій Денисик¹,  <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>, e-mail: grygden@ukr.net

д. геогр. н., професор, кафедра географії та туризму

Сергій Запотоцький²,  <https://orcid.org/0000-0002-3515-4187>, e-mail: zapototsk@knu.ua

д. геогр. н., професор, декан географічного факультету, кафедра економічної та соціальної географії

Віктор Самойленко²,  <https://orcid.org/0000-0002-0327-1477>, e-mail: viksam1955@gmail.com

д. геогр. н., професор, ст. наук. співробітник навчально-наукової лабораторії екології ландшафту LandscapeLabKNU

Людмила Білоус²,  <https://orcid.org/0000-0002-1851-7951>, e-mail: bilouslf@knu.ua

к. геогр. н., доцент, зав. кафедри фізичної географії та геоecології

Євген Циганок²,  <https://orcid.org/0000-0002-4595-2705>, e-mail: e.tsiganok@knu.ua

д. філософії (географія), асистент кафедри фізичної географії та геоecології

Костянтин Гура²,  <https://orcid.org/0009-0004-8942-1254>, e-mail: kostiantyn.gura@gmail.com

д. філософії (технології захисту довкілля), керівник Центру сталих рішень GreenLabsKNU

Олександр Галаган²,  <https://orcid.org/0000-0003-1449-3638>, e-mail: halahanoo@knu.ua

к. геогр. н., зав. навчально-наукової лабораторії екології ландшафту LandscapeLabKNU

Марія Кандій²,  <https://orcid.org/0009-0007-9358-4277>, e-mail: mariakandij@knu.ua

аспірант кафедри фізичної географії та геоecології

Наталія Нагорна²,  <https://orcid.org/0009-0006-1936-0630>, e-mail: nagorna.nv21@knu.ua

магістрантка кафедри фізичної географії та геоecології

¹ Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Розглядається науково-прикладний потенціал методики ландшафтно-екологічного аналізу для обґрунтування стратегії польових досліджень мілітарних забруднень ґрунтів агроландшафтів важкими металами. Позиційно-динамічна ландшафтна територіальна структура, що змодельована із застосуванням інструментарію геопросторового аналізу відкритих даних, визначається як базова для синтезу інформації про агроландшафтне різноманіття територій. Агроландшафт править за об'єкт польових досліджень мілітарних забруднень ґрунтів. Зазначено, що ґрунти є визначальним складником агроландшафту, однак сценарії поведінки забрудників в довкіллі, а саме первинний та вторинний їхній розподіл, зумовлено властивостями цілісних, відособлених та відносно однорідних природно-виробничих систем. А отже риси формування і розвитку агроландшафтів з однаковою агровиробничою групою ґрунтів, розміщених в різних позиційно-динамічних і геоморфологічних умовах, суттєво різняться за складом, напрямком та інтенсивністю всіх фізико-хімічних процесів. Подано результати апробації розробленої стратегії польових досліджень ґрунтів агроландшафтів, отримані під час польових досліджень Шевченківської об'єднаної територіальної громади. Стратегія відбирання проб ґрунтів на обраних дослідних ділянках агроландшафту визначалась результатами аналізу досвіду подібного пробовідбору ґрунтів, які зазнали бомбтурбацій, камеральними передпольовими узагальненнями всіх передумов робіт in situ та експертно-аналітичними рішеннями в процесі польових досліджень. Окреслено потенціал екстраполяції отриманих результатів. Новизна проведених розвідок

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ :

Рукопис надійшов

2 січня 2026

Отримано після рецензування

7 лютого 2026

Затверджено до друку

25 травня 2026

Опубліковано онлайн

30 травня 2026

Ключові слова :

мілітарні забруднення, важкі метали, ландшафтно-екологічний аналіз, геопросторовий аналіз, позиційно-динамічні умови, стратегія польових досліджень ґрунтів, агроландшафт, екстраполяція результатів, відновлення ґрунтів

Як цитувати :

Денисик Григорій, Запотоцький Сергій, Самойленко Віктор, Білоус Людмила, Циганок Євген, Гура Костянтин, Галаган Олександр, Кандій Марія, Нагорна Наталія (2026). Польові дослідження мілітарних забруднень ґрунтів агроландшафтів важкими металами. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (64), 369–382. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-28>



© Григорій Денисик, Сергій Запотоцький, Віктор Самойленко, Людмила Білоус, Євген Циганок, Костянтин Гура, Олександр Галаган, Марія Кандій, Наталія Нагорна, 2026
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

визначається обґрунтованою та апробованою методикою, об'єктом і стратегією відбирання проб при польовому дослідженні мілітарного забруднення ґрунтів агроландшафтів. Результати дослідження є релевантними для запровадження ефективних програм дослідження й аналізу стану ґрунтів і використання цих результатів при розробці уніфікованої на рівні держави процедури вивчення і оцінки стану забруднених війною ґрунтів для їхнього відновлення.

Вступ

Згідно зі щорічним звітом «Російсько-українська війна: вплив на довкілля», станом на 13.09.2024 площа ґрунтів, які постраждали від воєнних дій, становить 20,8 млн м² [1]. 18% виробників рослинної продукції по країні та 38% у прифронтових регіонах (Херсонська область – 94%) повідомляють про забруднення полів мінами і нездетонованими боеприпасами [2].

«Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року» [3] визначає забезпечення стійкості як стратегічну ціль, співзвучну з такими цілями сталого розвитку ООН, як подолання бідності та голоду в умовах миру та справедливості [4]. Для реалізації стратегії виокремлено, зокрема, завдання проведення оцінки забруднення ґрунтів, організації систем їхнього моніторингу та надання рекомендацій щодо оптимальних шляхів відновлення [3].

Виконання зазначеного завдання має відбуватись у поєднанні з ландшафтно-екологічними дослідженнями агроландшафтного різноманіття територій та вивченням стану агроландшафтів. Важливим складником досліджень мілітарних забруднень ґрунтів агроландшафтів, серед них важкими металами, є польовий етап з відбиранням проб ґрунтів для лабораторних вимірювань. Обґрунтування стратегій польових досліджень мілітарно змінених ґрунтів агроландшафтів є нагальними та актуальним для наукових розвідок і вишукувань.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Науковий доробок ландшафтно-екологічного аналізу (далі, скорочено, ЛЕА) та агроландшафтних досліджень сформовано згідно з теоретико-методичними засадами: регіональних природознавчих досліджень території України [5]; ландшафтно-екології [6]; ландшафтно-екологічного аналізу природокористування та ландшафтного планування і проектування [7-11]; антропізації ландшафтів [12]; агроекології [13]; геохімії ландшафтів [14]; еколого-геохімічних досліджень міграції важких металів в агроландшафтах [15]; ландшафтно-екологічного геопросторового аналізу та моделювання [16, 17].

Зараз в Україні активно досліджується мілітарне забруднення ґрунтів. Зокрема, отримано досвід комплексних досліджень воєнного впливу на ґрунти, зважаючи на морфологічні та

морфометричні параметри рельєфу і сучасні геоморфологічні процеси та системи землекористування [18]. У 2023 р. видано «Методичні рекомендації з відбору проб ґрунту в зонах бойових дій» [19]. Державною установою «Інститут охорони ґрунтів України» у 2023 р. було проведено обстеження ґрунтового покриву ділянок, які зазнали впливу бойових дій [20]. Важливим є досвід досліджень мілітарного впливу снарядів різного типу на ґрунти [18, 21]. Результати аналізу наукового доробку досліджень мілітарного впливу на ґрунти дозволяють констатувати відсутність ґрунтовних праць з результатами вивчення агроландшафтів та змінених в їхньому складі ґрунтів.

Дослідження мілітарних забруднень ґрунтів виконуються у складі міжнародних проєктів. КНУ імені Тараса Шевченка у співпраці з Технологічним університетом Чалмерса (Швеція) та WWF-Україна за фінансової підтримки Шведського інституту виконує наукові дослідження за проєктом «RECOVER: Кліматично розумне відновлення сільського господарства на розмінованих територіях України» (далі, скорочено, проєкт RECOVER). Кінцевим завданням проєкту RECOVER є модельне оцінювання ймовірності мілітарного забруднення продукції агроландшафтів важкими металами за результатами та даними лабораторно-польових вимірювань відібраних проб ґрунту [22].

Результати моделювання переходу забруднювальних речовин з ґрунту до агропродукції, зокрема пшениці, розглянуто в низці праць [23-25]. Зокрема, вивчався перехід свинцю у пшеницю [23], вплив вмісту важких металів у ґрунті на перенесення кадмію з нього у пшеницю [24] та поглинання важких металів озимою пшеницею та фуражною кукурудзою [25].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Кабінет Міністрів України 14.07.2025 прийняв постанову № 844 «Про затвердження Порядку відбору проб ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення, очищених від вибухонебезпечних предметів» [26]. Пунктом 3 цієї постанови передбачено затвердити відповідні методичні рекомендації. Наразі даний документ не розроблено.

Досвід та методи польових досліджень ґрунтів в Україні регламентуються міжнародними та державними стандартами [27-33]. Зміст програми польових досліджень ґрунтів (далі, скорочено, Програма) регламентується стандартом ДСТУ ISO 10381-1:2004 [28], де і ви-

значаються її відповідні етапи, а саме: 1) визначення завдання всього дослідження, складання списку параметрів ґрунту, які заплановано дослідити; 2) збір та аналіз попередньої інформації про об'єкт польових досліджень; 3) обґрунтування стратегії відбирання проб (далі, скорочено, Стратегії); 4) відбирання проб; 5) підготовка звіту про відбирання проб. Визначена цим стандартом етапність є актуальною для досліджень мілітарних забруднень ґрунтів агроландшафтів. Однак етап Стратегії потребує науково-дослідної уваги до експериментально-експертних рішень в умовах мілітарних змін довкілля, зокрема й агроландшафтів.

Метою дослідження є розгляд питань пізнання агроландшафтного різноманіття території в результаті ЛЕА та обґрунтування, розробка і пілотна апробація Стратегії відбирання проб ґрунтів агроландшафтів, мілітарно змінених масованими бомбтурбаціями невкерованими авіаційними ракетами (далі – НАР) С-8, для лабораторних досліджень міри їхнього забруднення важкими металами.

Методи дослідження. Розробка Стратегії, як визначального етапу Програми, базувалась на результатах аналізу чинних національних і міжнародних стандартів відбору проб ґрунтів, галузевих інструкцій, спеціалізованих методичних рекомендацій для територій, зазнавших мілітарного впливу, та власних експертно-аналітичних досліджень, зокрема за проектом RECOVER.

За першим етапом Програми було визначено завдання всього дослідження, а саме вимірювання параметрів мілітарно змінених ґрунтів агроландшафту, необхідних для моделювання ймовірності забруднення посівів пшениці в разі її культивування в агроландшафті. Камеральний передпольовий етап дослідження потребував насамперед застосування системи аналітично-експертного прийняття рішень за результатами вивчення низки праць (див. аналіз попередніх публікацій) для вибору переліку параметрів ґрунтів агроландшафтів, важливих для визначення. Обраний таким чином перелік містить: вміст важких металів, а саме загальний вміст свинцю (Pb) і вміст свинцю екстрагованого EDTA (етилендіамінтетраоцтовою кислотою), загальний вміст міді (Cu) і цинку (Zn), загальний вміст та вміст обмінної форми кадмію (Cd); супутні для модельного оцінювання ймовірності мілітарного забруднення сільськогосподарської продукції параметри ґрунту, серед них рН, вміст ґрунтового кальцію (Ca) і органічної речовини та електропровідність.

Для обґрунтування і розробки стратегії дослідження ґрунтів агроландшафту за базову правила методика ЛЕА територій, а також підходи до геоінформаційного забезпечення територіальних громад, викладені у [34].

Система методів збору та аналізу попередньої інформації про об'єкт польових досліджень, на базі якого планувались обґрунтування та розробка Стратегії дослідження, була не детермінованою з об'єктивних безпекових причин. Дослідна ділянка обиралась ситуативно. Певна визначеність існувала стосовно об'єднано-територіальної громади (далі, скорочено, ОТГ), в межах якої було заплановано проведення польових досліджень. Відповідно, було зібрано та проаналізовано попередню інформацію та відкриті геопросторові дані про об'єкт польового дослідження, а саме Шевченківську ОТГ у Миколаївській області.

Камеральний передпольовий етап дослідження передбачав роботу на трьох масштабних територіальних рівнях: 1:100 000, 1:50 000 та 1:25 000. Було використано джерельну базу відкритих геопросторових даних, зокрема дані Публічної кадастрової карти України [35] для ідентифікації агровиборочних груп ґрунтів і дані радарного знімання SRTM [36] для аналізу цифрової моделі рельєфу (далі, скорочено, ЦМР) та моделювання елементів позиційно-динамічної ландшафтно-територіальної структури (далі, скорочено, ПД ЛТС).

За допомогою геоінформаційних технологій із застосуванням ГІС-інструментарію ArcGIS та QGIS було проведено геопросторовий аналіз ЦМР для синтезу позиційно-динамічних характеристик території дослідження та виділення парадинамічного району (далі, скорочено, ПДР), ландшафтних ярусів та ландшафтних смуг як складників ПД ЛТС. Останні виокремлюються за напрямом та інтенсивністю сучасних фізико-географічних процесів та є територіальним базисом виділення агроландшафтів.

Результати камерального передпольового етапу використовувалися для обґрунтування та розробки Стратегії відбирання проб ґрунтів агроландшафтів. При цьому було використано консультативні поради фахівців кафедри географії природничо-географічного факультету Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського та фахівців Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна [37]. Польовий етап дослідження містив насамперед рекогносцирувальне обстеження території досліджень з метою візуальної ідентифікації агроландшафту і локацій мілітарного впливу на нього (вирви вибухів, сліди пересування військової техніки, траншеї, насипи), оцінки ступеня механічного порушення ґрунтового покриву, попереднього візуально-аналітичного зонування агроландшафту за рівнем потенційного забруднення. Ідентифікація мілітарно трансформованих ділянок в межах конкретного агроландшафту відбувалася з використанням експертно-ана-

літичного методу, що базується на аналізі морфології форм вив, характеру механічних порушень ґрунтового покриття та геопросторової конфігурації зон ураження. У польових умовах відбиралися гніздові (композитні) проби шляхом змішування точкових проб (по 21 пробі). Розмір дослідної ділянки, схеми відбору проб на ділянці, маршрутний хід польового дослідження були обумовлені експертно визначеною методикою відбору проб ґрунту.

Відбирання проб ґрунтів агроландшафтів, яке є четвертим етапом Програми та підтримує дослідницьке завдання з апробації Стратегії, було заплановано реалізовувати за принципами достовірності та відтворюваності результатів: орієнтування точок пробовідбору за сторонами світу та фіксація координат кожної точки відбору проб за допомогою GPS-приймача. Важливою вбачалась і діяльність з фотозйомки точок відбору проб і характерних форм мілітарного впливу, фіксації розмірів та глибини воронок, документування стану ґрунтового покриття як індикатора ґрунтових змін. У процесі відбирання проб ґрунту за обов'язковий етап править їхнє маркування та пакування для транспортування, в цьому випадку до навчально-наукової лабораторії екології ландшафту кафедри фізичної географії та геоєкології LandscapeLabKNU географічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка.

За п'ятим етапом Програми було передбачено підготовку звіту про відбирання проб ґрунтів агроландшафтів і презентації висновків про перспективи екстраполяції результатів польових і лабораторних досліджень агроландшафту.

Наукова доцільність та потенціал ефективності і результативності польових і лабораторних досліджень мілітарного забруднення ґрунтів агроландшафтів зумовлює необхідність моделювання агроландшафтів та їхньої інформаційної інвентаризації як об'єкта дослідницьких ітерацій. Ландшафтно-екологічний аналіз здатен забезпечити можливість змодельовати агроландшафти як певні природно-виробничі генетико-морфологічні та процесно-функціональні цілісності, які характеризуються особливими та відносно однорідними ландшафтно-геохімічними та ландшафтно-геофізичними проявами. Такий аналіз забезпечує можливість репрезентативного відбирання проб ґрунтів агроландшафтів та синтезу інформації для екстраполяції результатів польових та лабораторних досліджень на подібні агроландшафти з таким самим мілітарним впливом. Більше того, ЛЕА продукує знання з географії та різноманіття агроландшафтів, що є основою розробки систем моніторингу та відновлення агровиробничих земель.

Результати дослідження. Ландшафтно-екологічний аналіз для моделювання агроландшафтів, як об'єктів польових досліджень мілітарного забруднення ґрунтів важкими металами, було проведено для Шевченківської ОТГ Миколаївського району Миколаївської області (рис. 1). Дослідження здійснювались, зокрема, в межах виконання завдань проекту RECOVER.

У Шевченківській ОТГ налічується 14 сіл та 7 селищ. Громада межує з Херсонською областю, розташована в середньостеповій та південностеповій підзонах степової зони та має

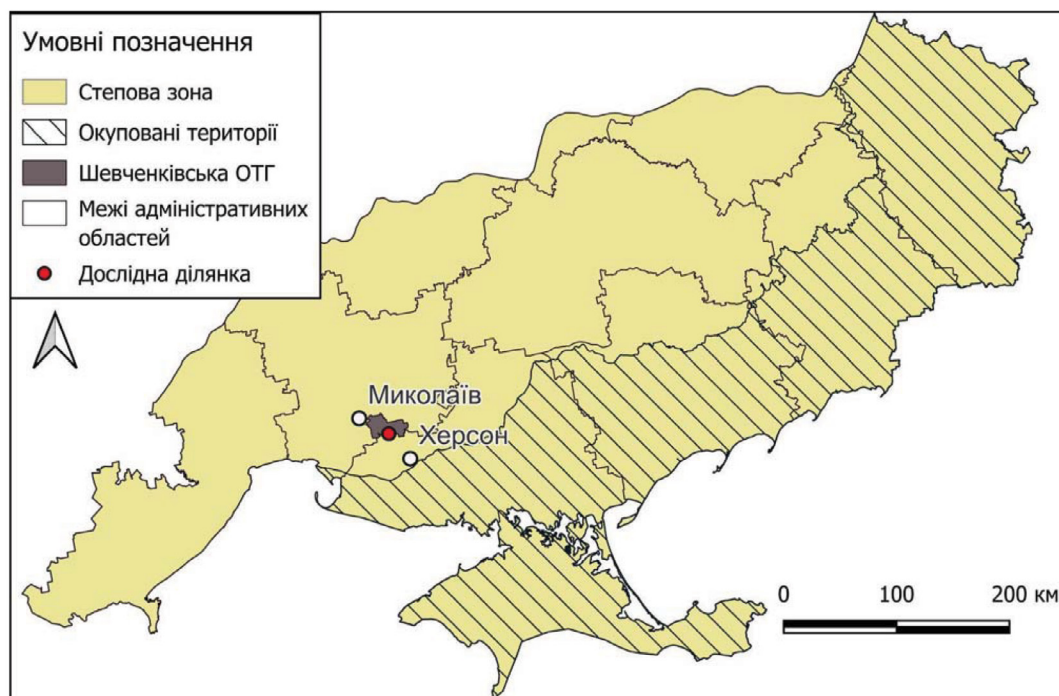


Рис. 1. Дослідні ділянки в межах степової зони та по відношенню до окупованої території України станом на 16.11.2025 за [38-40] / **Fig. 1.** Research areas within the steppe zone and in relation to the occupied territory of Ukraine as of 16.11.2025 according to [38-40]

агровиробничу спеціалізацію. Система сталого управління землекористуванням в ОТГ визначається територіальною структурою та різноманіттям агроландшафтів.

У ході ЛЕА, із застосуванням інструментарію ArcGIS та QGIS для геопросторового аналізу ЦМР, було отримано елементи ПД ЛТС, які визначають морфологію агроландшафтів та інтенсивність і напрямки їхніх позиційно-динамічних взаємодій.

Позиційно-динамічні риси територіальної організації агроландшафтів Шевченківської ОТГ сформовано речовинно-енергетичними потоками в басейнах р. Інгул та р. Веребичина (рис. 2). За результатами геопросторового аналізу ЦМР зазначених басейнів було виділено Інгуло-Веребичинський ПДР. Класифікація його ЦМР за методом середньоквадратичного відхилення дозволила виокремити в межах цього району ландшафтні яруси: I-й – пластово-денудаційних низовин (80-50 м), ускладнених суфозійно-просадковими процесами, раніше під типчаково-ковиловою та лучною рослинністю;

II-й – пластово-аккумулятивних низовин (50-30 м), ускладнених суфозійно-просадковими процесами, раніше під типчаково-ковиловою-полиноюю та лучною рослинністю; III-й – транслювіальний схилівий з ерозійними проявами, ускладнений ярами та балками під типчаково-ковиловою рослинністю; IV-й – трансаккумулятивний терасово-заплавний під лучною рослинністю (рис. 2).

Результативність оверлейного моделювання агроландшафтів I-го та II-го ландшафтних ярусів в межах Шевченківської ОТГ визначалась детальністю та достовірністю вихідних для моделювання моделей геотопів ландшафтних смуг, виділених за ухилами і висотами, та агровиробничих груп ґрунтів (рис. 2). I-й та II-й ландшафтні яруси континуально перетворені агровиробничою діяльністю і, відповідно, можуть бути визначені як агроландшафтні яруси ПДР з певним складом ландшафтних смуг (агроландшафтів). I-й агроландшафтний ярус ПДР розташований в середньостеповій підзоні Причорноморському середньостеповому

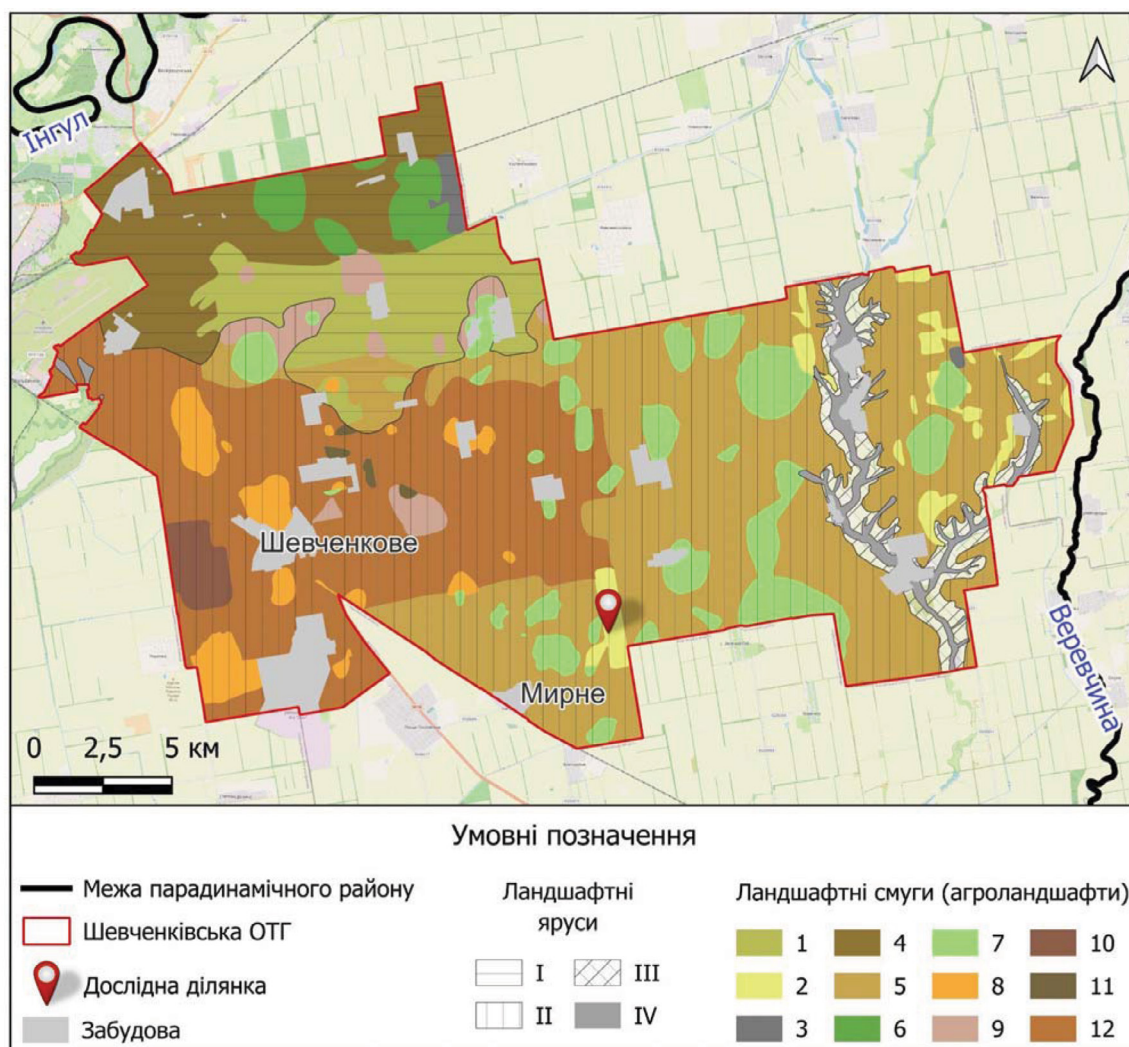


Рис 2. Агроландшафти Шевченківської ОТГ в межах позиційно-динамічної ландшафтно-територіальної структури / **Fig. 2.** Agrolandscapes of Shevchenkivska UTC within the positional-dynamic landscape-territorial structure

краї. У Шевченківській ОТГ цей ярус представлено Лівобережно-Інгульським районом Бузько-Дніпровської низовинної області [40]. Його зональними агроландшафтами є елювіальні плато пластово-денудаційних низовин з чорноземами південними малогумусними легкосуглинковими, місцями важкосуглинковими в комплексі із засоленими їхніми відмінами на лесах (1, 3, 4 на рис. 2). II-й агроландшафтний ярус ПДР розташовано в південнестеповій підзоні Причорноморсько-Приазовському краю. У Шевченківській ОТГ цей ярус представлено Посад-Покровсько-Білозерським районом Нижньобузько-Дніпровської низовинної області [40]. Його зональними агроландшафтами є елювіальні плато пластово-аккумулятивних низовин з каштановими, темно-каштановими малогумусними важкосуглинковими, місцями легкосуглинковими ґрунтами в комплексі із засоленими їхніми відмінами на лесах (10, 11, 12 на рис. 2) та чорноземними південними малогумусними важкосуглинковими, місцями легкосуглинковими ґрунтами в комплексі із засоленими їхніми відмінами на лесах (2, 5 на рис. 2).

Агроландшафтне різноманіття I-го ярусу ПДР в межах Шевченківської ОТГ формують ландшафтні смуги: елювіально-гідроморфні подових суфозійно-просадкових увігнутих пластово-денудаційних лесових низовин з лучно-чорноземними глеюватими і глейовими легкосуглинковими та важкосуглинковими ґрунтами в комплексі з лучними глейовими та солодами на лесах (6 на рис. 2) та, екотонно зумовлені, з лучно-каштановими глеюватими

і глейовими важкосуглинковими та легкосуглинковими ґрунтами в комплексі з солончаковими їхніми відмінами (9 на рис. 2). Агроландшафтне різноманіття II-го ярусу ПДР формують елювіально-гідроморфні смуги подових суфозійно-просадкових увігнутих пластово-аккумулятивних лесових низовин з лучно-каштановими глеюватими і глейовими важкосуглинковими та легкосуглинковими ґрунтами в комплексі з солончаковими їхніми відмінами (8, 9 на рис. 2) та з лучно-чорноземними глеюватими і глейовими важкосуглинковими та легкосуглинковими ґрунтами в комплексі з лучними глейовими та солодами (7 на рис. 2).

Польові дослідження ґрунтів було проведено на території агроландшафту елювіальних пластово-аккумулятивних лесових низовин з чорноземами південними вторинно підтопленими малогумусними важкосуглинковими на лесах в локації біля с. Мирне (2 на рис. 2).

Результати дослідження може бути екстрапольовано на такі ж самі агроландшафти II-го ярусу ПДР з аналогічним мілітарним впливом. На території Шевченківської ОТГ їхня площа становить 11,52 км².

Стратегія відбирання проб ґрунту агроландшафту, що зазнав мілітарного впливу НАР С-8, визначається: глибиною відбирання гніздових проб, схемами та способом відбирання таких проб, а також стандартизовано визначеними інструментарієм, способами маркування, пакування і транспортування зазначених проб.

Оптимальною для відбирання проб ґрунту було визначено глибину 1-5 см як найбільш імовірне депо досліджуваних мілітарних за-

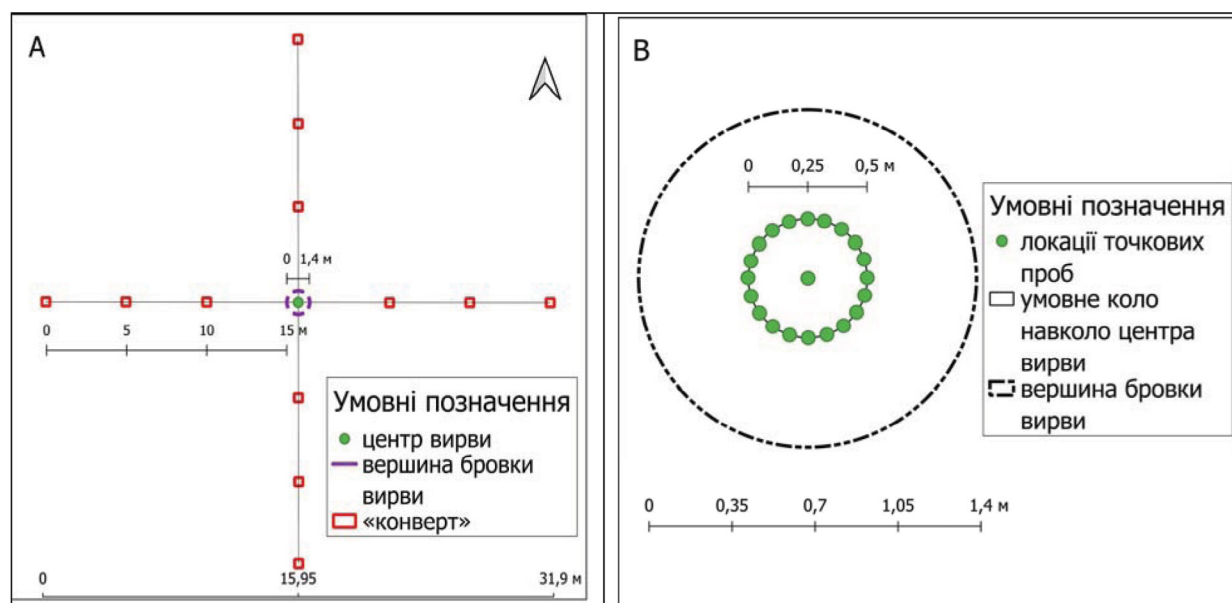


Рис. 3. Схема маршрутного ходу польового відбору проб ґрунту на дослідній ділянці довкола вирви (А) та схема відбору гніздової проби по колу в центрі вирви (В) /

Fig. 3. Scheme of the field research route run in the research plot around the crater (A) and scheme of circular cluster sampling in the center of the crater (B)

брудників ґрунту. Це зумовлено природними чинниками структурно-функціональної організації агроландшафтів, станом ділянки і засвідчено досвідом колег [18, 19]. Додатково брались до уваги і результати праці [21], де було детально проаналізовано особливості міграції забруднювальних речовин воєнного походження у ґрунтах. Автори цієї праці дійшли висновку, що органічна речовина та глиниста фракція ґрунту, що і притаманно дослідним ділянкам агроландшафту, істотно уповільнюють вертикальну міграцію важких металів за ґрунтовим профілем.

Для репрезентативності результатів дослідження та згідно з Інструкцією [41] було прийнято рішення про здійснення гніздового відбору проб ґрунту на дослідних ділянках. Гніздова проба визначається Державним стандартом [29] як «об'єднана проба, яку отримують шляхом змішування кількох точкових проб (або «гнізд»), відібраних в попередньо визначеній точці та навколо неї».

Прийняття рішення щодо кількісного складу точкових проб в гніздовій пробі також має регламентуватися результатами експертного аналізу дослідних ділянок. Було визнано за доцільне відбирати по 21 точковій пробі ґрунту для кожної гніздової проби на відповідних локаціях дослідних ділянок.

Попередній огляд та аналіз імовірних дослідних ділянок став ключовою передумовою обґрунтування схеми маршрутного ходу польового дослідження на кожній ділянці. Проведений аналіз досвіду пробовідбору ґрунтів, які зазнали бомбтурбацій [18, 19, 21], і камеральні передпольові узагальнення всіх передумов роботи *in situ* і дозволили розробити відповідну схему маршрутного ходу на дослідній ділянці (рис. 3, А). Вибір наведеної далі схеми маршрутного ходу польового відбору проб ґрунту пояснюється головним чином необхідністю обстеження невеликих за розмірами потенційних дослідних ділянок і відносно невеликою відстанню між мілітарними вирвами в агроландшафті.

Початковою точкою маршрутного ходу пробовідбору ґрунту на кожній дослідній ділянці було визначено днище вирви. Воно характеризує зону максимального осідання та потенційного накопичення дрібнодисперсного матеріалу після вибуху. До такого днища вирви має бути приурочено відбір першої гніздової проби. Далі маршрут має продовжуватися у чотирьох напрямках, орієнтованих за сторонами світу, через вершину бровки вирви. Така вершина як квазілінійний замкнений об'єкт облямовує значену бровку, яка виглядає як «міні-пагорб», що утворюється навколо вирви внаслідок викиду та перерозподілу ґрунтової маси під час

вибуху. Для кожного з напрямів від вершини бровки проби відбиралися на відстанях 5, 10 і 15 метрів (рис. 3, А). Це уможливило простеження поступових змін морфологічних та фізико-хімічних властивостей забрудненого ґрунту із віддаленням від епіцентру вибуху.

Наведена схема має забезпечити отримання репрезентативних даних про рівень мілітарного забруднення ґрунту дослідних ділянок важкими металами. Власне для польових робіт було передбачено визначити вже *in situ* 3 дослідні ділянки пробовідбору з орієнтовним розміром 40х40 м.

Локації відбору проб ґрунту на дослідних ділянках також мають бути експертно-визначеними. За такі локації було обрано: 1) *центр вирви*. Планувалось відібрати по одній гніздовій пробі з вирви. Кожну таку пробу, як вже зазначалось, має бути утворено шляхом об'єднання 21 точкової проби, з яких 1 відбиралася у центрі вирви, а 20 – за умовним колом, побудованим на відстані 0,25 м від цього центра (рис. 3, В); 2) *вершину бровки вирви*. Було передбачено відібрати 4 гніздові проби з кожної вирви, поєднаних зі сторонами світу (див. попередній текст). Точкові проби для кожної такої гніздової проби (21 пробу) має бути відібрано з кожної з чотирьох умовних дуг, утворених вершиною бровки вирви. Тобто мова має йти про північну, східну, південну та західну дуги з віднесенням однієї точкової проби до середини кожної дуги, а ще 20 точкових проб – по 10 в обидва боки від такої середини (рис. 4, А); 3) *локації в межах дослідної ділянки поза вирвою*. Було заплановано відібрати методом «конверта» за сторонами світу по 3 гніздові проби ґрунту для кожної сторони. Перша з цих проб розміщується за 5 метрів від перетнутої лінією обраного напрямку вершини бровки вирви, наступна – ще за 5 метрів і третя – ще за 5 метрів від попередньої (див. рис. 3, А). За таких умов на кожній дослідній ділянці було передбачено відібрати методом «конверта» 12 гніздових проб ґрунту. Схему відбору гніздових проб за цим методом подано на рис. 4, В. Згідно з останнім горизонтальна та вертикальна осі «конверта», проведені через перетин діагоналей «конверта» як квадрата зі сторонами по 0,5 м, ділять ці сторони навпіл. Ці осі при розміщенні «конвертів» за схемою рис. 3, А, відповідно збігаються з напрямками сторін світу: вертикальна з напрямком «північ – південь», а горизонтальна – з напрямком «схід – захід». Одиничні проби для отримання гніздової проби передбачалось відбирати в чотирьох кутах «конверта», в його центрі, який збігається з центроїдом цієї фігури, а також на сторонах та діагоналях «конверта» (рис. 4, В); 4) *локації фонових проб ґрунту*. Було також передбачено відібрати методом «конверта» дві

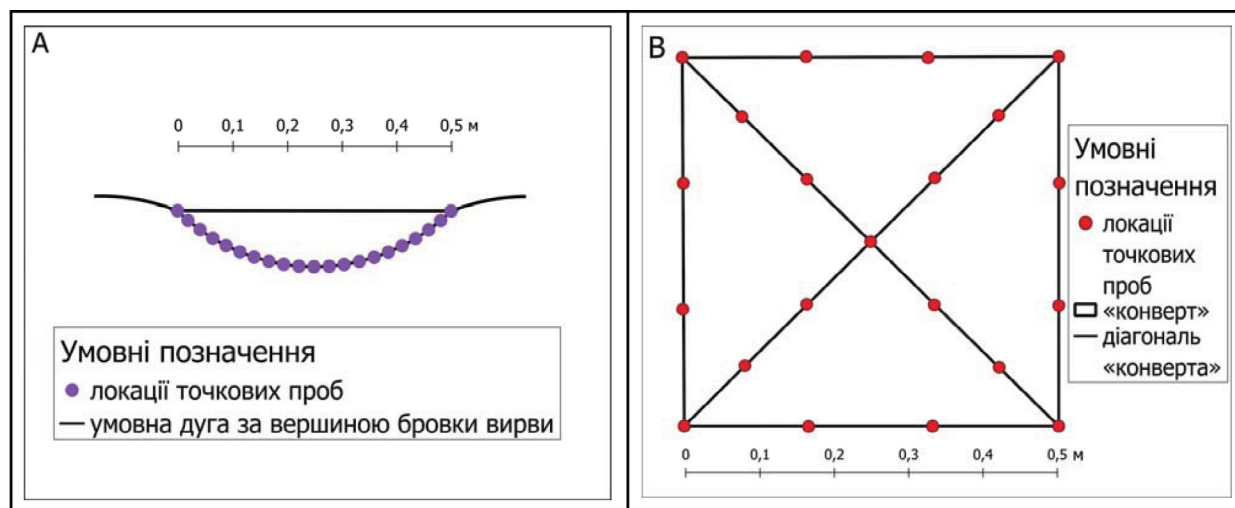


Рис. 4. Схема відбору точкових проб: для гніздової проби, розміщеної на кожній умовній дузі, утвореній вершиною бровки вирви (А) та для гніздової проби в межах дослідної ділянки поза вирвою (В) /

Fig. 4. Scheme of point sampling: for a cluster sample placed on each conventional arc formed by the top of the crater edge (A) and for cluster sample within the research plot outside the crater (B)

фонові гніздові проби з поверхні орного шару та з прикопки глибиною 0,45 м.

Отже, згідно з розробленою Стратегією, яка у цілому за змістом відповідає ймовірнісному систематичному геопросторовому скринінговому пробовідбору ґрунту [42, 43], було заплановано вивчити три дослідні ділянки з вирвами. На кожній з них доцільно відібрати 17 гніздових проб, а саме: 1 пробу з центру вирви, 4 з вершини бровки вирви та 12 з локацій в межах дослідної ділянки поза вирвою. Таким чином, за наявності трьох дослідних ділянок і зважаючи на 2 фонових пробовідбори, загалом було передбачено відбір 53 гніздових проб.

Апробацію розробленої Стратегії група дослідників КНУ імені Тараса Шевченка провела під час польових досліджень ґрунтів агроландшафту 5 вересня 2025 р. за бездощових погодних умов.

Дослідні ділянки характеризувалися рівнинним рельєфом, пригніченим рослинним покривом, ознаками вигорання та слідами розпорошених твердих запалювальних речовин, які було зафіксовано безпосередньо на поверхні ґрунту. Незначна кількість опадів, яка характерна для регіону дослідження, призвела до формування поверхневої кірки товщиною до 1 см на поверхні досліджуваних чорноземів важкосуглинкових, що додатково уповільнило їхній промивний режим і дію еолових процесів. Тимчасові водні потоки та ерозійні форми, які вони можуть спричинювати, на дослідних ділянках не спостерігалися. Також не було зафіксовано механічної обробки ґрунту цих ділянок на кшталт оранки, боронування тощо.

Агроландшафт, в межах якого вже *in situ* було визначено 3 дослідні ділянки для відбору гніздових проб ґрунту, був щільно мілітарно

пошкодженим, зокрема внаслідок бомбтурбацій НАР С-8. В агроландшафті спостерігалися вирви від знешкоджених таких ракет, подібні між собою за морфологічною будовою. Останнє і правило за критерій остаточного вибору дослідних ділянок, з площею кожної близько 1600 м², і маршрутного ходу польового дослідження, який становив 332 м (рис. 5). Експертно-польовий огляд дослідних ділянок підтвердив коректність попередньо прийнятого рішення при обґрунтуванні Стратегії щодо відбирання гніздових проб приповерхнево на глибині 1-5 см в орному шарі ґрунту. З одного боку, реальний стан дослідних ділянок засвідчив низьку ймовірність низхідної міграції важких металів, а отже і відповідного перерозподілу потенційних забруднень, спричинених мілітарним впливом. З іншого боку, доцільність зазначеної глибини пробовідбору було зумовлено також невеликим часовим проміжком від моменту знешкодження ракет до моменту відбирання проб. За інформацією фахівців з групи розмінування таке знешкодження відбувалося тротильовим зарядом у 400 г у вирві К1 і К3 29.07.2025, а у вирві К2 16.08.2025 (рис. 5).

У цілому, як і планувалося, було досліджено три ділянки з вирвами діаметром 1,4 м кожна та глибиною від вершини бровки вирви 0,454 м (вирва К1), 0,625 м (вирва К2) та 0,515 м (вирва К3) (рис. 5).

Локації гніздового відбору проб ґрунту були географічно прив'язані до цифрової картографічної основи за допомогою GPS-приймача Garmin GPSMAP 67 та координатно ідентифіковані на місцевості в системі координат UTM. Така прив'язка та ідентифікація забезпечила можливість наступного створення цифрових карт дослідження та, за потреби продовження

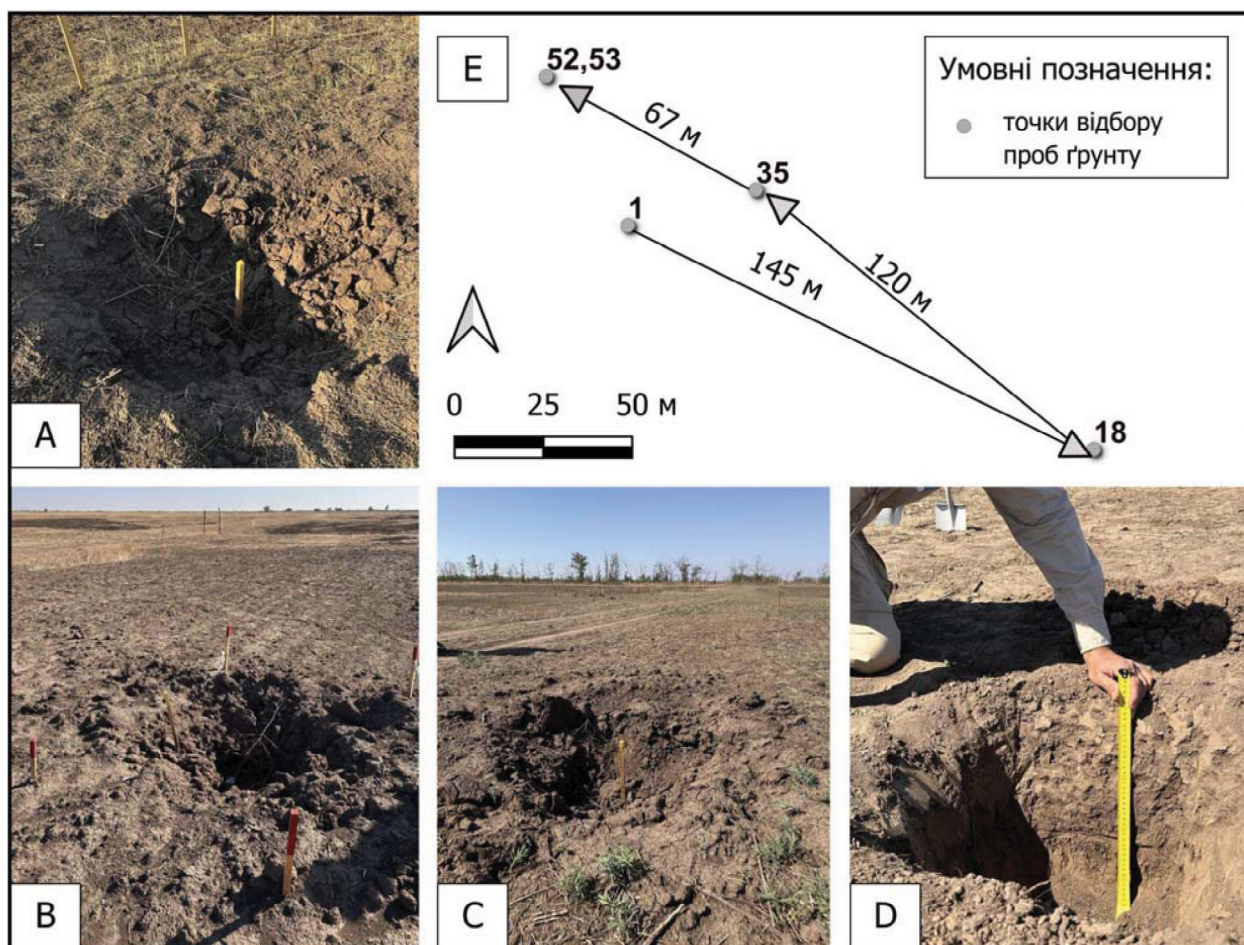


Рис. 5. Вирви обраних дослідних ділянок: А) першої (K1); В) другої (K2); С) третьої (K3) та D) локація фонові проби ґрунту. Е) схема маршрутного ходу польового дослідження 2025-09-05 /
Fig. 5. Craters of selected research plots: A) first (K1); B) second (K2); C) third (K3) and D) location of baseline soil sample. E) scheme of field research route run 2025-09-05

останнього, повторного знаходження локацій відбору проб.

Для маркування відібраних гніздових проб ґрунтів було застосовано етикетки для ідентифікації відібраного матеріалу із зазначенням відомостей, передбачених стандартами [27, 28]. Також, контролювалась вимога про те, що точки відбору проб мають знаходитися більше ніж в 50 м від доріг, лісосмуг і складів органічних і мінеральних добрив. При відборі гніздових проб їхнє вторинне забруднення було виключе-

не. Це було досягнуто за рахунок використання двох комплектів польових інструментів.

У польових умовах велась також окрема експлікаційна відомість (табл. 1).

У результаті польових досліджень було відібрано заплановані 51 гніздова проба ґрунтів на 3-х дослідних ділянках з вирвами та 2 таких фонових проби. Тобто у цілому було відібрано 53 гніздових проби як агрегація 1113 точкових проб ґрунту (рис. 6).

Вага кожної відібраної гніздової проби ґрунту становила близько 1 кг, зважаючи на те, що з ві-

Таблиця 1 / Table 1

Експлікація кластерних проб ґрунту /Cluster sampling explication

№	код	метод	№	код	метод	№	код	метод	№	код	метод
1	K1-D	за колом	14	K1-B4-W	лінійно	27	K2-B4-W	лінійно	40	K3-B2-S	лінійно
2	K1-B1-N	лінійно	15	K1-5-W	«конверт»	28	K2-5-W	«конверт»	41	K3-5-S	«конверт»
3	K1-5-N	«конверт»	16	K1-10-W	«конверт»	29	K2-10-W	«конверт»	42	K3-10-S	«конверт»
4	K1-10-N	«конверт»	17	K1-15-W	«конверт»	30	K2-15-W	«конверт»	43	K3-15-S	«конверт»
5	K1-15-N	«конверт»	18	K2-D	за колом	31	K2-B3-E	лінійно	44	K3-B3-E	лінійно
6	K1-B2-S	лінійно	19	K2-B1-N	лінійно	32	K2-5-E	«конверт»	45	K3-5-E	«конверт»
7	K1-5-S	«конверт»	20	K2-5-N	«конверт»	33	K2-10-E	«конверт»	46	K3-10-E	«конверт»
8	K1-10-S	«конверт»	21	K2-10-N	«конверт»	34	K2-15-E	«конверт»	47	K3-15-E	«конверт»

9	K1-15-S	«конверт»	22	K2-15-N	«конверт»	35	K3-D	за колом	48	K3-B4-W	лінійно
10	K1-B3-E	лінійно	23	K2-B2-S	лінійно	36	K3-B1-N	лінійно	49	K3-5-W	«конверт»
11	K1-5-E	«конверт»	24	K2-5-S	«конверт»	37	K3-5-N	«конверт»	50	K3-10-W	«конверт»
12	K1-10-E	«конверт»	25	K2-10-S	«конверт»	38	K3-10-N	«конверт»	51	K3-15-W	«конверт»
13	K1-15-E	«конверт»	26	K2-15-S	«конверт»	39	K3-15-N	«конверт»	52	Fon ho	«конверт»
									53	Fon He	«конверт»

дібраних проб було видалено візуально помітні рештки рослинності, елементи ґрунтової фауни та сторонні домішки, зокрема уламки боеприпасів. Пакування проб здійснювалось в поліетиленові пакети. Запакована в пакет ґніздова проба ґрунту розміщувалась ще в одному додатковому пакеті разом з маркувальною етикеткою.

Усі 53 ґніздові проби ґрунту було доставлено до навчально-наукової лабораторії екології ландшафту кафедри фізичної географії та геоecології LandscapeLabKNU географічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка. Відібрані проби було висушено в сухих і добре провітрюваних приміщеннях протягом 14 днів за температури не нижче +18°C та підготовлено для формування зразків для лабораторного дослідження.

Висновки

Польові дослідження мілітарного забруднення ґрунтів агроландшафтів є актуальними і важ-

ливими з точки зору обґрунтування, розробки та апробації відповідної Стратегії відбирання проб як етапу Програми таких досліджень. Унікальність презентованої процедури польових досліджень і результатів зумовлено застосуванням методології ландшафтно-екологічного аналізу та агроландшафтом як об'єктом, обраним для досліджень. Ґрунти є визначальним складником агроландшафту, однак сценарії поведінки забрудників в довкіллі, а саме первинний та вторинний їхній розподіл, зумовлено властивостями цілісних, відособлених та відносно однорідних природно-виробничих систем. До прикладу, досліджуваний агроландшафт 2 за рис. 2, що розташовано в II-му ландшафтному ярусі позиційно-динамічного району, є іншим та відмінним від агроландшафту 1 на рис. 2 з такою ж самою агровиробничою групою ґрунтів але в умовах I-го ландшафтного ярусу. А отже риси формування і прояву агроландшафтів з однаковою агровиробничою групою ґрунтів, розміщених в різних по-

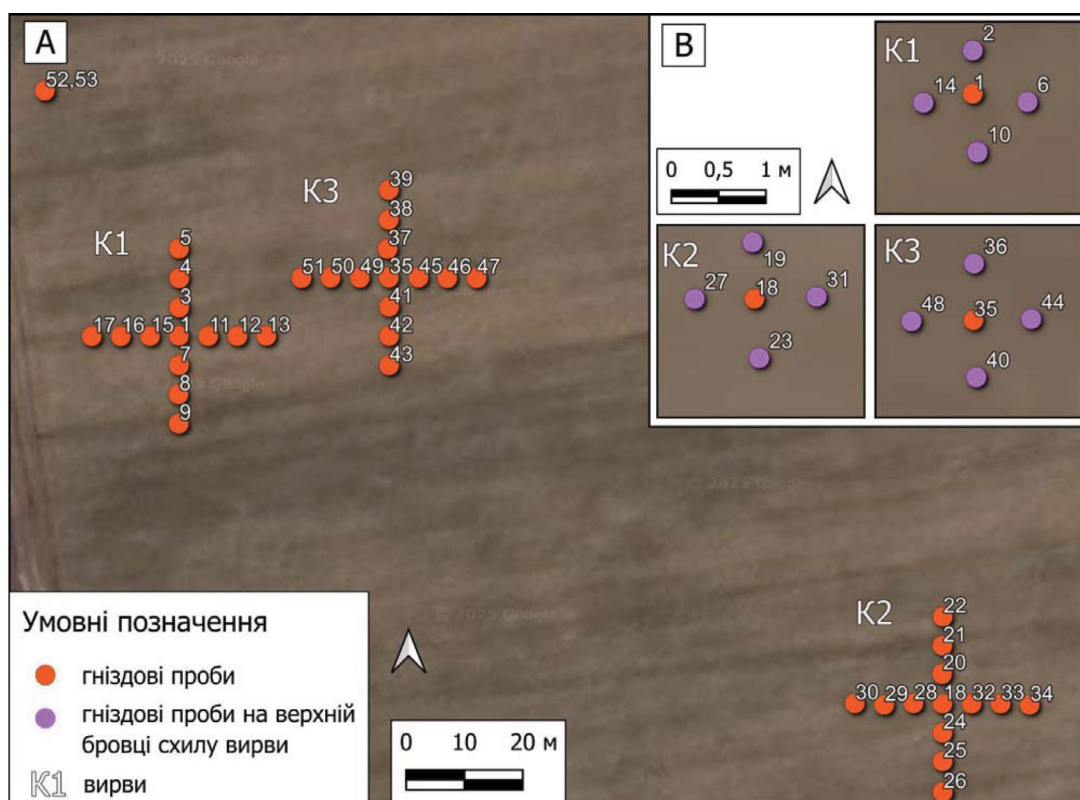


Рис. 6. Дослідні ділянки та локації відбирання проб ґрунту
Fig. 6. Research plots and soil sampling locations

зиційно-динамічних і геоморфологічних умовах, суттєво різняться за складом, напрямком та інтенсивністю всіх фізико-хімічних процесів. Для проведеного дослідження одна і та ж агропромислова група ґрунтів притаманна агроландшафтам як денудаційним так і акумулятивним низовин, які і зумовлюють її диференціацію на відповідні агроландшафти та різні об'єкти досліджень.

Стратегія відбирання проб ґрунтів на обраних дослідних ділянках агроландшафту визначалась результатами аналізу досвіду подібного пробовідбору ґрунтів, які зазнали бомбтурбацій, камеральними передпольовими узагальненнями всіх передумов польових робіт *in situ* та експертно-аналітичними рішеннями в процесі польового дослідження.

Отримані результати досліджень мілітарних забруднень важкими металами ґрунтів агроландшафту 2 на рис. 2, спричинених бомбтурбаціями НАР С-8, може бути екстрапольо-

вано на територію всього II-го ландшафтного ярусу позиційно-динамічного району для таких самих агроландшафтів з аналогічними мілітарними чинниками їхнього стану. На території Шевченківської об'єднаної територіальної громади площа агроландшафтів для потенційної екстраполяції результатів проведеного дослідження становить 11,52 км².

Таким чином, новизна проведених розвідок визначається обґрунтованою та апробованою методикою, об'єктом і Стратегією відбирання проб при польовому дослідженні мілітарного забруднення ґрунтів агроландшафтів, спричинених бомбтурбаціями НАР С-8. Результати дослідження є релевантними для запровадження ефективних програм дослідження й аналізу стану ґрунтів і використання цих результатів при розробці уніфікованої на рівні держави процедури вивчення і оцінки стану забруднених війною ґрунтів для їхнього відновлення.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту: автор підтверджує, що під час підготовки рукопису не використовувалися інструменти штучного інтелекту.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Declaration of use of generative artificial intelligence: The author confirms that no AI tools were used during the preparation of the manuscript.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

REFERENCES

1. Російсько-українська війна: вплив на довкілля. 2 видання. (2024). Київ: ТОВ «ТОП ЛІД». URL: <https://www.topleadprojects.com/eng-2024-ua-war-environmental-impact>
2. FAO. (2025). Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises – Findings of a nationwide survey, October–November 2024. Rome. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/1fe3c0a0-a41e-4d12-a414-d86be17c0187>
3. Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 листоп. 2024 р. № 1133-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skshvalennia-strategii-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-teritorii-v-ukraini-na-period-151124-1163>
4. Цілі сталого розвитку ООН. UNDP. <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>
5. Денисюк Г.І. (2012). Антропогенне ландшафтознавство: навч. посіб. Ч. І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство. Вінниця: «Едельвейс і К». 306.
6. Гродзинський М.Д. (2014). Ландшафтна екологія: підручник. К.: Знання. 550.
7. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. (2014). Геоекологічне обґрунтування проектів природокористування: підручник. К.: Альтерпрес. 414.
8. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. (2015). Конструктивно-географічні основи раціонального природокористування: підручник. К.: «Прінт Сервіс». 395.
9. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П., Муніч Н.В. (2014). Геоекологія: теоретичні та практичні аспекти: монографія. К.: Альтерпрес. 468.
10. Руденко Л.Г., Маруняк Є.О. (2012). Ландшафтне планування та його роль у вирішенні завдань сталого просторового розвитку України. Український географічний журнал. 1, 3–8.
11. Денисюк Г.І., Кізню А.Г., Канський В.С. (2023). Белігеративні ландшафти України. Український географічний журнал. 3 (123): 23–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023>
1. Russian-Ukrainian war: impact on the environment (2nd ed.). (2024). Kyiv: TOP LEAD. URL: <https://www.topleadprojects.com/eng-2024-ua-war-environmental-impact> [in Ukrainian]
2. FAO. 2025. Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises – Findings of a nationwide survey, October–November 2024. Rome. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/1fe3c0a0-a41e-4d12-a414-d86be17c0187>
3. On approval of the Strategy for the development of agriculture and rural areas in Ukraine for the period up to 2030 and approval of the operational action plan for its implementation in 2025–2027: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1133-r dated Nov 15, 2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skshvalennia-strategii-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-teritorii-v-ukraini-na-period-151124-1163> [in Ukrainian]
4. UN Sustainable Development Goals. UNDP. <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>
5. Denysyk, H.I. (2012). Anthropogenic Landscape Science: study guide. Part I. Global Anthropogenic Landscape Science. Vinnytsia: Edelweis and Co. 306. [in Ukrainian]
6. Hrodzynskiy, M.D. (2014). Landscape Ecology. Textbook. Kyiv: Znannia. 550. [in Ukrainian]
7. Shyshchenko P.H., Havrylenko O.P. (2014). Geoecological justification of nature management projects: a textbook. Kyiv: Alterpress. 414. [in Ukrainian]
8. Shyshchenko P.H., Havrylenko O.P. (2015). Structural and geographical foundations of rational nature management: a textbook. Kyiv: "Print Service". 395. [in Ukrainian]
9. Shyshchenko P.H., Havrylenko O.P., Munich N.V. (2014). Geoecology: theoretical and practical aspects: monograph. Kyiv: Alterpress. 468. [in Ukrainian]
10. Rudenko, L.H., Maruniak, Ye.O. (2012). Landscape planning and its role in solving tasks of sustainable spatial development of Ukraine. Ukrainian Geographical Journal, 1, 3–8. [in Ukrainian]
11. Denysyk, H. I., Kiziun, A. H., & Kanskiy, V. S. (2023). The Beligerative Landscapes of Ukraine. Ukr. Geogr. Zh. 3. 23–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023> [in Ukrainian]

12. Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2023). Assessment of landscape anthropization: textbook (electronic version). Kyiv: Nika-Tsentr. 320. https://www.researchgate.net/publication/370184278_Samoilenko_V_Dibrova_I_Assessment_of_landscape_anthropization_textbook_electronic_version_in_English_Kyiv_Nika-Tsentr_2023_320_p_ISBN_978-966-521-415-1
13. Kokhan, S., Burshtynska, K., Bykin, A., Bilous, L., Drozdovskiy, O., Temna, Y. (2024). Digital Farming Technologies: Modern State and Challenges. In: Zagorodny, A., Bogdanov, V., Zaporozhets, A. (eds) Nexus of Sustainability. Studies in Systems, Decision and Control, 559. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66764-0_13
14. Малишева Л.Л. (1998). Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій: монографія. Київ: «Київський університет». 267.
15. Єгорова Т.М., Моклячук Л.І. (2014). Еколого-геохімічні процеси міграції молібдену в агроландшафтах України. Агроекологічний журнал. 2, 17–25.
16. Самойленко В.М., Діброва І.О., Іванок Д.В. (2026). Геоекологічне моделювання: монографія (електронна версія). Київ: Ніка-Центр. 296. https://www.researchgate.net/publication/399488538_Samoilenko_VM_Dibrova_IO_Ivanok_DV_Geoeekologichne_modeluvannya_Monografiya2026
17. Bilous, L., Shyshchenko, P., Samoilenko, V., Havrylenko O. (2020). Spatial morphometric analysis of digital elevation model in landscape research. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020, 2020: 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo124>
18. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., Shvaiko, V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. Science of the Total Environment. 964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
19. Сплодитель А.О. (2023). Методичні рекомендації з відбору проб ґрунту в зонах бойових дій. Київ – Чернівці: Друк Арт. 40.
20. Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України». (2023). Технічний звіт з обстеження ґрунтового покриву земельних ділянок, які зазнали впливу бойових дій на території Дергачівської територіальної громади Харківського району Харківської області. Київ. 79. URL: https://media.iogu.gov.ua/literatura/tech_zvit/3.pdf
21. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С. Сорокіна Л. (2023). Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія». 154.
22. RECOVER. Climate-smart recovery of agriculture on demined land of Ukraine. URL: <https://www.recover-ukraine.com/eng>
23. Wu, X., Cai, Q., Xu, Q., Zhou, Z., Shi, J. (2020). Wheat (Triticum aestivum L.) grains uptake of lead (Pb), transfer factors and prediction models for various types of soils from China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111387>
24. Xu, J., Hu, C., Wang, M., Zhao, Z., Zhao, X., Cao, L., Lu, Y., Cai, X. (2022). Changeable effects of coexisting heavy metals on transfer of cadmium from soils to wheat grains. Journal of Hazardous Materials. 423, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127182>
25. Hough, R.L. Young, S.D. & Crout, N.M.J. (2003). Modelling of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn uptake, by winter wheat and forage maize, from a sewage disposal farm. Soil Use and Management, 19. 19-27.
26. Постанова № 844 Кабінету Міністрів України від 14 липня 2025 р. «Про затвердження Порядку відбору проб ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення, очищених від вибухонебезпечних предметів». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-poriadku-vidboru-prob-gruntiv-na-zemliakh-silskohospodarskoho-t140725>
27. ДСТУ 4287:2004. (2005). Якість ґрунту. Відбирання проб. Київ: Держспоживстандарт України. 9.
28. ДСТУ ISO 10381-1:2004. (2006). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1: Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT). Київ: Держспоживстандарт України. 36.
29. ДСТУ ISO 10381-2:2004. (2006). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2: Настанови щодо методів відбору проб (ISO 10381-2:2002, IDT). Київ: Держспоживстандарт України. 29.
12. Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2023). Assessment of landscape anthropization: textbook (electronic version). Kyiv: Nika-Tsentr. 320. https://www.researchgate.net/publication/370184278_Samoilenko_V_Dibrova_I_Assessment_of_landscape_anthropization_textbook_electronic_version_in_English_Kyiv_Nika-Tsentr_2023_320_p_ISBN_978-966-521-415-1
13. Kokhan, S., Burshtynska, K., Bykin, A., Bilous, L., Drozdovskiy, O., Temna, Y. (2024). Digital Farming Technologies: Modern State and Challenges. In: Zagorodny, A., Bogdanov, V., Zaporozhets, A. (eds) Nexus of Sustainability. Studies in Systems, Decision and Control, 559. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66764-0_13
14. Malysheva L.L. (1998). Landscape and geochemical assessment of the ecological state of territories: monograph. Kyiv: "Kyiv University". 267. [in Ukrainian]
15. Yehorova, T.M., Mokliachuk, L.I. (2014). Ecological-geochemical processes of molybdenum migration in agrolandscapes of Ukraine. Agroecological Journal. 2. 17–25. [in Ukrainian]
16. Samoilenko, V.M., Dibrova, I.O., Ivanok, D.V. (2026). Geoeological Modeling: monograph (electronic version). Kyiv: Nika-Tsentr, 296. URL: https://www.researchgate.net/publication/399488538_Samoilenko_VM_Dibrova_IO_Ivanok_DV_Geoeekologichne_modeluvannya_Monografiya2026
17. Bilous, L., Shyshchenko, P., Samoilenko, V., Havrylenko O. (2020). Spatial morphometric analysis of digital elevation model in landscape research. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2020: 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo124>
18. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., Shvaiko, V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. Science of the Total Environment. 964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
19. Splodytel, A.O. (2023). Methodological recommendations for soil sampling in war zones. Kyiv – Chernivtsi: Druk Art. 40. [in Ukrainian]
20. State Institution "Institute of Soil Conservation of Ukraine". (2023). Technical report on the survey of soil cover of land plots affected by military actions on the territory of Derhachi territorial community of Kharkiv district of Kharkiv region. Kyiv, 2023. 79. URL: https://media.iogu.gov.ua/literatura/tech_zvit/3.pdf [in Ukrainian]
21. Splodytel, A., Golubtsov, O., Chumachenko, S., Sorokina, L. (2023). Land contamination due to Russia's aggression against Ukraine. Kyiv: Public Association "Center for Environmental Initiatives "Ecoaction", 154. [in Ukrainian]
22. RECOVER. Climate-smart recovery of agriculture on demined land of Ukraine. URL: <https://www.recover-ukraine.com/eng>
23. Wu, X., Cai, Q., Xu, Q., Zhou, Z., Shi, J. (2020). Wheat (Triticum aestivum L.) grains uptake of lead (Pb), transfer factors and prediction models for various types of soils from China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 206. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111387>
24. Xu, J., Hu, C., Wang, M., Zhao, Z., Zhao, X., Cao, L., Lu, Y., Cai, X. (2022). Changeable effects of coexisting heavy metals on transfer of cadmium from soils to wheat grains. Journal of Hazardous Materials. 423, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127182>
25. Hough, R.L. Young, S.D. & Crout, N.M.J. (2003). Modelling of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn uptake, by winter wheat and forage maize, from a sewage disposal farm. Soil Use and Management, 19. 19-27.
26. On approval of the Procedure for soil sampling on agricultural lands cleared of explosive objects: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 844 dated July 14, 2025. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-poriadku-vidboru-prob-gruntiv-na-zemliakh-silskohospodarskoho-t140725> [in Ukrainian]
27. State Standard of Ukraine 4287:2004. (2005). Soil quality. Sampling. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 9. [in Ukrainian]
28. State Standard of Ukraine ISO 10381-1:2004. (2006). Soil quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programs (ISO 10381-1:2002, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 36 p. [in Ukrainian]
29. State Standard of Ukraine ISO 10381-2:2004. (2006). Soil quality. Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques (ISO 10381-2:2002, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 29. [in Ukrainian]

30. ДСТУ ISO 10381-3:2004. (2006). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 3: Настанови щодо безпеки (ISO 10381-3:2001, IDT). Київ: Держспоживстандарт України, 2006.
31. ДСТУ ISO 10381-4:2005. (2007). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4: Настанови щодо відбору проб у природних і сільськогосподарських ґрунтах (ISO 10381-4:2003, IDT). Київ: Держспоживстандарт України, 16.
32. ДСТУ ISO 10381-5:2009. (2018). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту (ISO 10381-5:2005, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ». 33.
33. ДСТУ ISO 10381-6:2015. (2022). Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6. Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в аеробних умовах для лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття (ISO 10381-6:2009, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ». 12.
34. Ачкасов А., Попович Н., Пересадко В., Гордезіані Т. Геоінформаційне забезпечення геопорталів територіальних громад: довоєнні реалії й післявоєнні перспективи. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», (60), 124-136. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-09>
35. Публічна кадастрова карта України. (2025). URL: <https://kadastruva-karta.com/>
36. U.S. Geological Survey. (n.d.). Earth Explorer. Retrieved January 31, 2026. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
37. Максименко Н. В., Балиук С. А., Кучер А. В., Пересадко В. А. Регіональні відмінності ґрунтів України для оцінки вартості екосистемних послуг. Український географічний журнал, 2022 (2): 19-31. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.019>
38. Map of the war in Ukraine. DEEPSTATEUATECH LLC. URL: <https://deepstatemap.live/#6/49.4383200/32.0526800>
39. The Humanitarian Data Exchange. OCHA Services. URL: <https://data.humdata.org/>
40. Національний атлас України. (2007). Інститут географії НАН України, ДНВП «Картографія». Київ, 440.
41. Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами, що затверджена наказом Державної служби з надзвичайних ситуацій України № 30 від 19.01.2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16#Text>
42. Havrylenko, O., Shyshchenko, P., Samoilenko, V., Bilous, L., Yesypchuk, D. (2021). Greening and development monitoring to create a comfortable urban environment. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", Kyiv, 2021: 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2009>
43. Samoilenko V., Bilous, L., Havrylenko, O. Dibrova I. (2021). Monitoring of anthropogenic impact in the Left Bank Dnipro and the Eastern Ukrainian regions. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XV International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment', Nov. 2021, 2021: 1-5. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2013>
30. State Standard of Ukraine ISO 10381-3:2004. (2006). Soil quality. Sampling. Part 3: Guidance on safety (ISO 10381-3:2001, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 24. [in Ukrainian]
31. State Standard of Ukraine ISO 10381-4:2005. (2007). Soil quality. Sampling. Part 4: Guidance on the procedure for sampling at natural and cultivated sites (ISO 10381-4:2003, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 16. [in Ukrainian]
32. State Standard of Ukraine ISO 10381-5:2009. (2018). Soil quality. Sampling. Part 5: Guidelines on the procedure for investigating urban and industrial sites for soil contamination (ISO 10381-5:2005, IDT). Kyiv: DP "UkrNDNTS". 33. [in Ukrainian]
33. State Standard of Ukraine ISO 10381-6:2015. (2022). Soil quality. Sampling. Part 6: Guidelines for the collection, processing and storage of soil under aerobic conditions for laboratory assessment of microbiological processes, biomass and diversity (ISO 10381-6:2009, IDT). Kyiv: DP "UkrNDNTS". 12. [in Ukrainian]
34. Achkasov, A., Popovych, N., Peresadko, V., & Gordeziani, T. (2024). Geoinformation support of geoportals of territorial communities: pre-war realities and post-war prospects. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology, (60), 124-136. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-09> [in Ukrainian]
35. The Public Cadastral Map of Ukraine. (2025). URL: <https://kadastruva-karta.com/> [in Ukrainian]
36. U.S. Geological Survey. (n.d.). Earth Explorer. Retrieved January 31, 2026. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
37. Maksymenko, N. V., Baliuk, S. A., Kucher, A. V., & Peresadko, V. A. (2022). Regional Differences of Soils of Ukraine to Assess the Cost of Ecosystem Services. Ukr. Geogr. Zh., 2, 19–31. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.019> [in Ukrainian]
38. Map of the war in Ukraine. DEEPSTATEUATECH LLC. URL: <https://deepstatemap.live/#6/49.4383200/32.0526800> [in Ukrainian]
39. The Humanitarian Data Exchange. OCHA Services. URL: <https://data.humdata.org/>
40. National Atlas of Ukraine. (2007). Institute of Geography at NAS of Ukraine; DNVP "Kartohrafiia". Kyiv. 440. [in Ukrainian]
41. Instruction on sampling and preparation of water and soil samples for chemical and hydrobiological analysis by hydrometeorological stations and posts. (2016). Approved by Order of the State Emergency Service of Ukraine No. 30 dated January 19, 2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16#Text> [in Ukrainian]
42. Havrylenko, O., Shyshchenko, P., Samoilenko, V., Bilous, L., Yesypchuk, D. (2021). Greening and development monitoring to create a comfortable urban environment. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", Kyiv, V.2021: 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2009>
43. Samoilenko V., Bilous, L., Havrylenko, O. Dibrova I. (2021). Monitoring of anthropogenic impact in the Left Bank Dnipro and the Eastern Ukrainian regions. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XV International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment', Nov. 2021, 2021: 1-5. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2013>

Field research on military contamination for soils of agricultural landscapes with heavy metals

Hryhorii Denysyk¹,  <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>, e-mail: grygden@ukr.net

DSc (Geography), Professor, Department of Geography

Serhii Zapototskyi²,  <https://orcid.org/0000-0002-3515-4187>, e-mail: zapototsk@knu.ua

DSc (Geography), Professor, Dean of the Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography

Viktor Samoilenko²,  <https://orcid.org/0000-0002-0327-1477>, e-mail: viksam1955@gmail.com

DSc (Geography), Professor, Senior Researcher at the Educational-Scientific Laboratory of Landscape Ecology LandscapeLabKNU

Liudmyla Bilous²,  <https://orcid.org/0000-0002-1851-7951>, e-mail: bilouslf@knu.ua

PhD (Geography), Associate Professor, Head of the Department of Physic Geography and Geoecology

Yevhen Tsyhanok²,  <https://orcid.org/0000-0002-4595-2705>, e-mail: e.tsiganok@knu.ua

PhD (Geography), Assistant at the Department of Physic Geography and Geoecology

Kostiantyn Hura²,  <https://orcid.org/0009-0004-8942-1254>, e-mail: kostiantyn.gura@gmail.com

PhD (Environmental Protection Technologies), Head of the Center for Sustainable Solutions GreenLabsKNU

Oleksandr Halahan²,  <https://orcid.org/0000-0003-1449-3638>, e-mail: halahanoo@knu.ua

PhD (Geography), Head of the Educational-Scientific Laboratory of Landscape Ecology LandscapeLabKNU

Mariia Kandii²,  <https://orcid.org/0009-0007-9358-4277>, e-mail: mariakandij@knu.ua

PhD Student, Department of Physic Geography and Geoecology

Natalia Nahorna²,  <https://orcid.org/0009-0006-1936-0630>, e-mail: nagorna.nv21@knu.ua

Master's Student, Department of Physic Geography and Geoecology

¹ Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnytsia, Ukraine

² Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

The aim of the research was to study the agrolandscape diversity of the territory through landscape-ecological analysis and substantiation, development and pilot testing of a Strategy for sampling soils of agrolandscapes militarily altered by massive bomb-turbation with uncontrollable aircraft missiles (UAM) S-8 for laboratory determination of extent for their contamination with heavy metals.

Methods. The methods of landscape-ecological analysis were used, namely those related to the analysis of nature management and landscape planning and design, anthropization of landscapes, agroecology, landscape geochemistry, ecological-geochemical studies of heavy metal migration in agricultural landscapes, landscape-ecological geospatial analysis and modeling. The methodology of geospatial analysis using the GIS tools ArcGIS and QGIS and the procedure of probabilistic systematic geospatial screening of soil sampling were also applied. The object of the field research was the simulated landscape tiers and strips of positional-dynamic structure and the war-affected agro-landscapes of the Shevchenkivska United Territorial Community (UTC) of the Mykolaiv region in Ukraine.

Results. The scientific-applied potential of the landscape-ecological analysis methodology for substantiating the strategy of field research on military soil contamination of agricultural landscapes with heavy metals was considered. The positional-dynamic landscape territorial structure, simulated using tools for open digital data geospatial analysis, is defined as the basis for synthesizing information on the agrolandscape diversity of territories. The results of the testing for the developed strategy of field research on soils of agricultural landscapes, obtained during field research in the Shevchenkivska UTC, are presented.

The uniqueness of the proposed field research procedure and results is due to the application of the methodology of landscape-ecological analysis and the agrolandscape as an object selected for research.

The soil sampling strategy at selected research sites of the agrolandscape was determined by the results of the analysis for experience with similar sampling of soils that had been subjected to bomb-turbation, by office-based pre-field generalizations of all prerequisites for *in situ* work, and by expert-analytical decisions during the field research.

The obtained results of research on military contamination of soils with heavy metals for the selected agrolandscape can be extrapolated to the territory of the entire studied landscape tier of the positional-dynamic area for the same agrolandscapes with similar military factors of their condition.

Conclusions. The novelty of the conducted investigations is determined by the substantiated and tested methodology, object and sampling strategy for field research of military contamination of agricultural landscapes soils. The research results are relevant for the implementation of effective research programs and analysis of soil condition and the use of these results in the development of a unified state-level procedure for studying and assessing the condition of war-contaminated soils for their recovery.

ARTICLE INFO

Manuscript received
2 January 2026

Revised manuscript received
7 February 2026

Manuscript accepted
25 May 2026

Available online
30 May 2026

Keywords:

military contamination, heavy metals, landscape-ecological analysis, geospatial analysis, positional-dynamic conditions, soil field research strategy, agrolandscape, extrapolation of results, soil recovery.

In cites:

Hryhorii Denysyk, Serhii Zapototskyi, Viktor Samoilenko, Liudmyla Bilous, Yevhen Tsyhanok, Kostiantyn Hura, Oleksandr Halahan, Mariia Kandii, Natalia Nahorna (2026). Field research on military contamination for soils of agricultural landscapes with heavy metal. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, (64), 369–382. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-28> [In Ukrainian]