

МІЛІТАРНА ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

MILITARY DEGRADATION OF UKRAINIAN SOILS

УДК 631.4:504.61:335.01:528.9:004.92

Особливості картографування мілітарно деградованих ґрунтів на національному й регіональному рівнях

Ю. В. Залавський^а, В. В. Лебедь^б

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 26.11.2025 Отримано після доопрацювання 20.12.2025 Затверджено до видання 26.12.2025 Доступно онлайн 30.12.2025 <i>Ключові слова:</i> ґрунт; мілітарна деградація; картографування; ГІС; цифрове картографування ґрунтів; ДЗЗ	Представлено результати аналізування особливостей картографування мілітарно деградованих ґрунтів на національному та регіональному рівнях в Україні у контексті повномасштабної війни. Пошкодження ґрунтового покриву включають механічні ушкодження, ущільнення ґрунту пересуванням техніки, формування вибухових кратерів, локальне накопичення важких металів та продуктів детонації. Основна різниця між картами національного та регіонального рівнів полягає у масштабі, деталізації, точності та меті картографування: національні карти узагальнюють просторові тенденції деградації ґрунтів, а регіональні — надають детальну інформацію про конкретні типи, ступені та механізми пошкодження. На значній частині деокупованих територій обстеження не є можливим через небезпеку від мін та дронів. Порівняно з довоєнними роботами з виявлення деградації ґрунтів, сучасні дослідження мають значно вищу залежність від дистанційних методів, що зумовлено безпековими обмеженнями. Основну увагу приділено цифровим методам картографування, що включають геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та цифрове картографування ґрунтів (DSM). Автори оцінюють можливості використання супутникових даних середньої та високої роздільної здатності (Sentinel-2, Landsat, Sentinel-1 SAR) у поєднанні з польовими спостереженнями для кількісного оцінювання деградації. Представлено результати створення цифрових карт національного масштабу з оцінкою площ деградованих ґрунтів за 2023–2025 рр., а також регіональних карт на прикладі Харківської області та конкретної громади. Площа мілітарно деградованих ґрунтів України за цей період збільшилась удвічі, а номенклатура типів ушкоджень розширилась. Найбільше постраждали ґрунти групи «Black Soils» (~70 %). Автори підкреслюють, що інтегровані підходи, які поєднують ДЗЗ, ГІС і польову валідацію, а також стандартизація методик, легенд і системи даних, є ключовими для ефективного моніторингу мілітарної деградації ґрунтів на різних територіальних рівнях.

✉ yurazzz1984@gmail.com

ORCID: ^а0000-0002-4549-963X ; ^б0000-0002-1429-4121

Форма цитування: Залавський Ю. В., Лебедь В. В. Особливості картографування мілітарно деградованих ґрунтів на національному й регіональному рівнях. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2025. Вип. 99. С. 49–63. doi: 10.31073/acss99-06

1. Вступ

Повномасштабна війна на території України спричинила безпрецедентний за масштабами та інтенсивністю вплив на ґрунтовий покрив. Ураження ґрунтів унаслідок бойових дій мають багатокомпонентний характер і включають механічні руйнування профілю, ущільнення від пересування важкої військової техніки, формування вибухових кратерів (вирв), а також хімічне та біогеохімічне забруднення продуктами детонації, паливно-мастильними матеріалами та важкими металами [1–3]. У науковій літературі ці процеси узагальнюють терміном «мілітарна деградація ґрунтів».

З огляду на великі площі потенційно уражених територій та обмежені можливості суцільних польових обстежень, ключову роль у фіксації, аналізі та

інтерпретації таких змін відіграє цифрове картографування. Саме поєднання геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та методів Digital Soil Mapping (DSM) розглядається як основа сучасних підходів до оцінювання мілітарно деградованих ґрунтів на різних просторових рівнях — від локального до національного [4, 5].

У наукових працях останніх років сформовано уявлення про мілітарну деградацію як сукупність фізичних, хімічних та біологічних змін ґрунту, зумовлених безпосереднім або опосередкованим впливом воєнних дій [1, 6]. Фізична деградація проявляється у порушенні ґрунтової структури, руйнуванні горизонту А, розвитку ерозійних процесів і техногенного ущільнення. Хімічна складова охоплює локальне накопичення важких металів (Pb, Cu, Zn, Cr), нітросполук та залишків вибухових речовин. Біологічна деградація виражається у зниженні біологічної активності, деградації гумусового стану та зміні мікробіологічних процесів [2, 7].

Для картографування такої деградації дедалі частіше застосовують багаторівневі класифікації, які дозволяють розмежувати прямі вибухові ушкодження, вторинні механічні впливи та довготривале дифузне забруднення [6]. Така класифікаційна основа може бути необхідною передумовою створення узгоджених цифрових карт мілітарної деградації.

Більшість дослідників сходяться на тому, що супутникові дані є ключовим джерелом інформації для національного рівня оцінювання мілітарно деградованих ґрунтів [3, 5, 8]. Оптичні знімки Sentinel-2 та Landsat дозволяють фіксувати порушення рослинного покриву, випалені ділянки, зміну структури посівів і появу вибухових вирв. Аналіз часових рядів спектральних індексів (NDVI, NBR, SAVI) дає змогу відокремлювати воєнні аномалії від кліматично зумовлених змін [9]. Окрему увагу в літературі приділено застосуванню радарних даних Sentinel-1, які є менш чутливими до хмарності та дозволяють виявляти зміни мікрорельєфу й ущільнення ґрунту [10]. Комбінування оптичних і SAR-даних розглядається як перспективний напрям для підвищення надійності картографування ушкоджених територій на загальнодержавному рівні.

Методи DSM (цифрове картографування ґрунтів) є важливим інструментом переходу від якісного виявлення ушкоджень до кількісного оцінювання ступеня деградації ґрунтів [11]. Класичні роботи McBratney та ін. [12] заклали методологічні основи прогнозування ґрунтових властивостей на основі екологічних предикторів. У сучасних воєнних умовах ці підходи адаптують для реконструкції довоєнного стану ґрунтів і моделювання змін умісту гумусу, щільності будови та концентрацій забрудників [4, 13]. Застосування машинного навчання (Random Forest, Gradient Boosting, нейронні мережі) дозволяє поєднувати обмежені польові вимірювання з великою кількістю супутникових та ландшафтних змінних. У частині публікацій окремо наголошується на необхідності ретельної валідації моделей і врахування мультиколінеарності предикторів [11, 14].

Регіональні дослідження, виконані в Харківській, Київській та Херсонській областях, демонструють ефективність поєднання супутникового аналізу з цільовими польовими обстеженнями [2, 5, 15]. На рівні територіальних громад створюються детальні цифрові карти кратерів, зон ущільнення, потенційного хімічного забруднення та ризиків землекористування [1, 16]. Такі карти мають прикладне значення для планування розмінування, визначення придатності сільськогосподарських угідь та послідовності рекультиваційних заходів. Слід зазначити, що наявні оцінки мають попередній характер через обмеженість польових

даних у прифронтових районах. Водночас їх масштабування до національного рівня потребує уніфікації легенд, індикаторів і метаданих.

У звітах же FAO, JRC та CEOBS підкреслюється відсутність єдиної національної платформи просторових даних щодо мілітарно деградованих ґрунтів [3, 8, 17]. Фрагментарність джерел, різні методики відбирання проб і обробки даних ускладнюють порівняння результатів і побудову узагальнених карт. З огляду на це, дослідники пропонують створення модульної системи картографування з обов'язковими базовими шарами (фізичні ушкодження, потенційне забруднення, ризик мінування) та можливістю деталізації на регіональному рівні [4, 16].

Таким чином можна стверджувати, що цифрове картографування є ключовим інструментом оцінювання мілітарно деградованих ґрунтів України. Найбільш перспективними є інтегровані підходи, що поєднують дистанційне зондування, DSM та польову валідацію. Перехід від локальних кейсів до національної системи картографування потребує стандартизації методик, узгодження класифікацій і створення централізованої просторової інфраструктури.

Метою роботи є порівняння особливостей картографування мілітарно деградованих ґрунтів на національному, регіональному та локальному рівнях з урахуванням відмінностей у методах збору даних, джерелах просторової інформації, ступені деталізації та способах відображення деградаційних процесів на картах.

2. Об'єкти і методи досліджень

2.1. Об'єкти досліджень

Об'єктами всього дослідження є території ґрунтового покриття України, які зазнали мілітарного впливу внаслідок повномасштабних бойових дій, що проявляється у формі механічного порушення генетичних горизонтів ґрунтового профілю, зміни морфологічних фізичних, хімічних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів, забруднення продуктами вибухів та роботи військової техніки, а також трансформації землекористування.

На національному рівні об'єктом дослідження є вся територія України в межах зон активних і потенційних бойових дій, де мілітарна деградація ґрунтів розглядається як узагальнене просторове явище. На цьому рівні ґрунтовий покрив аналізується без детальної диференціації типів ґрунтів.

На регіональному рівні об'єктами дослідження є території адміністративної області (Харківська), району (Харківський), територіальної громади (Чкаловська), де мілітарна деградація ґрунтів розглядається у взаємозв'язку з ґрунтовим покривом, рельєфом і характером землекористування.

2.2. Методи досліджень

Дослідження виконано з використанням комплексу взаємодоповнювальних методів, які забезпечують аналіз і порівняння особливостей картографування мілітарно деградованих ґрунтів на різних просторових рівнях.

На першому етапі здійснено збір, аналіз та систематизацію просторових і тематичних даних, що використовуються для картографування мілітарно деградованих ґрунтів. До інформаційної бази увійшли матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), результати польових ґрунтових обстежень, існуючі ґрунтові картографічні матеріали, місцеві дані та відкриті геопросторові ресурси (DeepState,

ISW тощо). Особливої уваги приділено оцінці придатності джерел даних для використання на різних масштабних рівнях, з урахуванням їх просторової та часової роздільності.

Для ідентифікації ознак мілітарної деградації ґрунтів використано методи обробки супутникових знімків середньої та високої просторової роздільності. Аналіз включав попередню обробку даних, візуальну та напівавтоматизовану інтерпретацію зображень, а також застосування спектральних і текстурних ознак для виявлення порушених ділянок. Результати дистанційного аналізу використовувалися переважно на національному та регіональному рівнях для первинного виділення зон мілітарного впливу.

Ключовим методом дослідження є геоінформаційний аналіз, що включав інтегрування різнорідних просторових даних у середовищі ГІС (ArcGIS, QGIS, ArcGIS Online), просторову прив'язку, класифікацію та візуалізацію результатів. Застосовано методи цифрового картографування ґрунтів для формування тематичних карт мілітарної деградації, адаптованих до вимог відповідних масштабних рівнів. Особливої уваги приділяли вибору картографічних показників та способів їх узагальнення.

Для забезпечення порівняльності результатів застосовано методи просторового узагальнення та масштабною трансформації, які дозволяють адаптувати первинні дані до різних масштабів картографування. На національному рівні використовували узагальнені індикатори деградації, тоді як на регіональному та локальному рівнях збережено більшу деталізацію просторових об'єктів. Це дало змогу проаналізувати вплив масштабу на характер картографічного відображення процесів деградації ґрунту.

З метою виявлення відмінностей між національним, регіональним і локальним рівнями картографування проведено порівняльний аналіз створених карт та наявних картографічних матеріалів, розроблених в ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського». Аналізували підходи до класифікації форм деградації, ступінь деталізації, точність просторового відображення та інформаційну насиченість карт. Порівняльний підхід дозволив оцінити можливості та обмеження кожного масштабового рівня.

Для регіонального та локального рівнів картографування використано результати ґрунтових обстежень, польових спостережень та локальних вимірювань, які слугували основою для уточнення та верифікації картографічних результатів. Польові дані застосовували також для експертної оцінки достовірності інтерпретації дистанційних матеріалів.

3. Результати й обговорення

3.1. Національний рівень картографування

Починаючи з 2023 року, коли лінія бойових зіткнень відносно стабілізувалася, стало можливим провести оцінювання площ земель, що опинилися в епіцентрі бойових дій та зазнали серйозних ушкоджень. Саме тоді фахівці Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського створили карту впливу бойових дій на ґрунти України та підрахували орієнтовні площі уражених (та потенційно деградованих) ґрунтів, у тому числі із визначенням, які саме ґрунти зазнали найбільших ушкоджень. Слід зауважити, що в подальшому ця карта щороку зазнавала оновлення даних. Такі дослідження були проведені станом на 2023, 2024

та 2025 роки. Якщо подивитись на результати геообробки даних та оцінки за три роки, основна очевидна тенденція — збільшення площ деградації ґрунтів внаслідок воєнних дій (Рис. 1). Зокрема, орієнтовна площа деградованих ґрунтів у 2023 р. становила 950 тис. га. За період до 2024 р. площа збільшилась до майже 1,17 млн га. А в 2025 р. площа мілітарно деградованих ґрунтів становить близько 1,8 млн га. Нажаль, слід констатувати, що за три роки площа мілітарно деградованих ґрунтів України збільшилась майже у два рази. У структурі землекористування близько 55-60 % — це землі сільськогосподарського призначення.

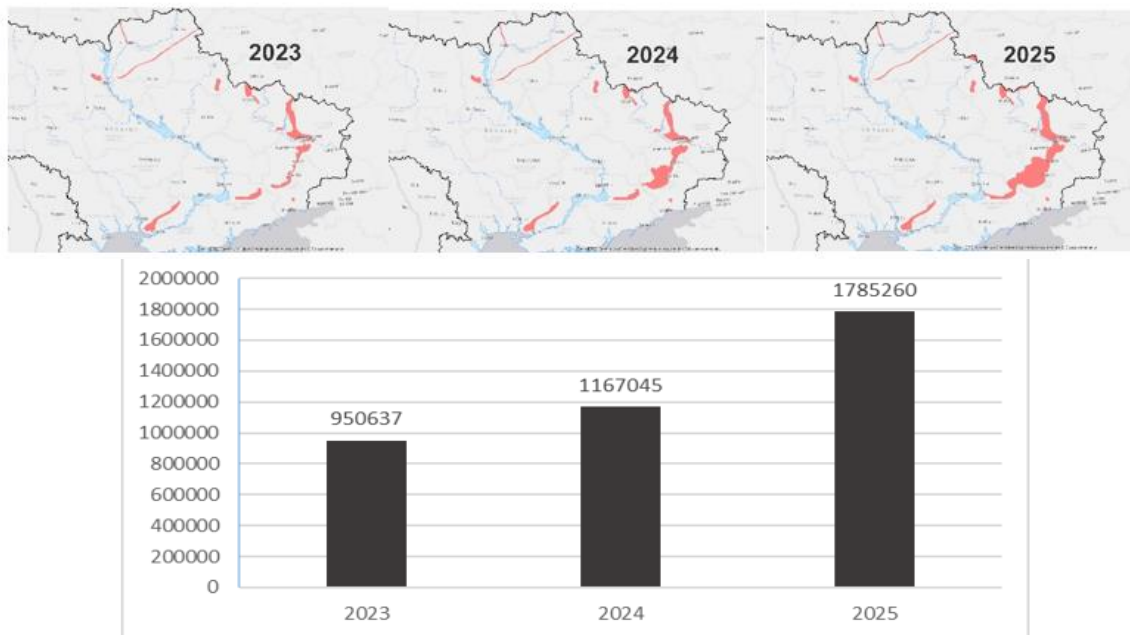


Рис. 1. Динаміка площі мілітарно деградованих ґрунтів України (га) у 2023–2025 рр.

На даний момент опубліковано версію, датовану кінцем 2025 р. (Рис. 2). Базовий масштаб карти 1:4 000 000. Картографічний матеріал акумулює в собі оцінку стану ґрунтового покриття в результаті мілітарного впливу, а саме зони активних бойових дій, «сірі» зони, окуповані та деокуповані території. Так, на основі геостатистичної обробки оцінено площі мілітарно-деградованих ґрунтів у межах адміністративних областей України. Визначено, що найбільшого впливу зазнали ґрунти Донецької та Харківської областей на площі 780 та 320 тис. га відповідно. Саме в цих областях відмічено послідовну пропорційну тенденцію зростання площ. Простежується також тенденція зростання площ у Запорізькій (144 тис. га) та Сумській (97 тис. га) областях. Але відчутне зростання відбулось саме у 2025 р. в зв'язку з поновленням активних наступальних дій військ рф. Особливої уваги заслуговують дані про появу мілітарно деградованих ґрунтів в Дніпропетровській області (більше 50 тис. га) у 2025 р., чого не було в попередні роки війни. В інших областях — Луганській, Київській, Чернігівській, Миколаївській, Херсонській, та Одеській зміни були незначні або не було зовсім.

Серед ґрунтів, що зазнали найбільшої деградації — чорноземи звичайні (близько 32 % від загальної площі мілітарно деградованих ґрунтів). Також значної деградації зазнали дернові та дерново-підзолисті ґрунти (16 %), чорноземи південні (15 %), чорноземи типові (9 %) і темно-каштанові ґрунти (8 %) та інші.



Рис. 2. Карта впливу бойових дій на ґрунти України (2025)

3.2. Регіональний рівень картографування

З початком повномасштабного вторгнення РФ у 2022 р., територія Харківської області стала місцем ведення активних бойових дій, особливо її північна частина. Саме тому першою картою мілітарного впливу, що була створена в ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», була карта впливу воєнних дій на ґрунти Харківського району (Рис. 3). Карту створено у 2022 р. для відображення первинного впливу бойових дій на ґрунтовий покрив та визначення типів мілітарної деградації ґрунтів. Масштаб карти 1:250 000 — характерний для більшості карт областей України. Ступінь деталізації дозволяє нам виділяти такі ділянки чи об'єкти, що неможливі на карті загальнонаціонального масштабу. Карта є комбінацією елементів ґрунтового покриву та різновидів воєнного впливу, що призводять до деградації. Завдяки даним ДЗЗ (Рис.4) та ортофотозйомки з дистанційно керованого літального апарату (ДКЛА) визначено основні місця та площі впливу бойових дій безпосередньо. Були ідентифіковані та відображені зони хімічного забруднення та вирви від снарядів, які чітко розрізняються у виділеному полігоні на рис. 4. Площа такого комбінованого типу ураження становила 6,8 тис. га. Ідентифіковано поля, що згоріли під час бойових дій, загальною площею майже 1,4 тис. га. Визначено місця ураження техніки та позицій військ РФ. Площа цих територій становила 0,7 тис. га. Всі ці зони знайшли відображення як площинні об'єкти. Лінійними ж об'єктами відображено місця ущільнення ґрунту внаслідок проходження військової техніки. Загальна площа впливу воєнних дій на ґрунти становила майже 8,9 тис. га. Підраховано, що найбільшого впливу серед ґрунтів району зазнали чорноземи опідзолені (51,5 %) та чорноземи типові середньогумусні (45,1 %), що разом становило 96,6 % від усього ґрунтового фонду, що опинився під впливом війни.

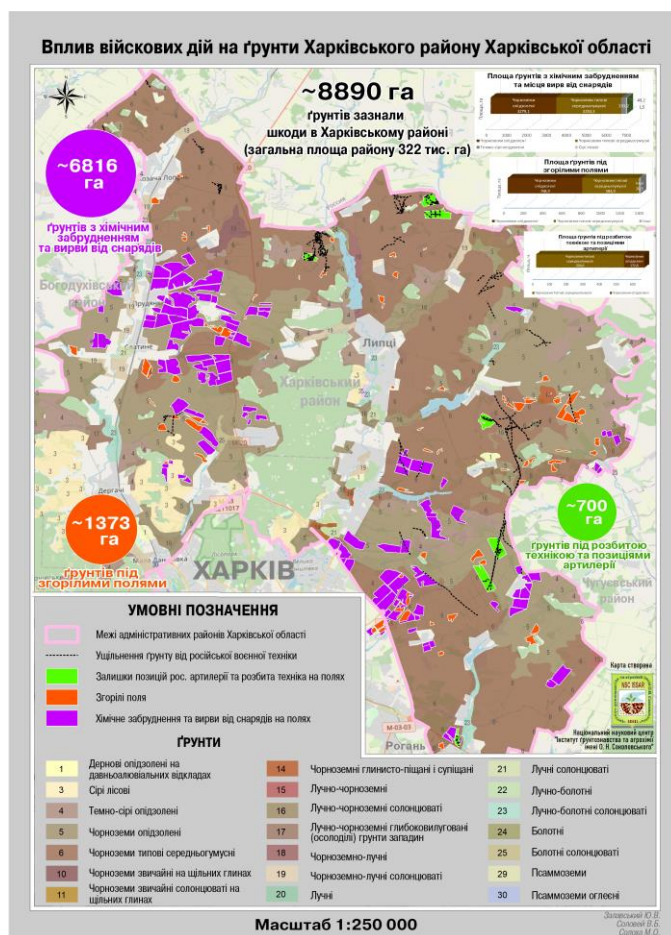


Рис. 3. Карта впливу воєнних дій на ґрунти Харківського району Харківської області (2022).



Рис. 4. Виявлення наслідків мілітарної деградації ґрунтів за даними Sentinel-2 (комбінація спектральних каналів "Agriculture").

З часом, коли значну частину територій Харківської області було звільнено від російських військ у 2023 р., з'явилася можливість дослідження деокупованих територій. Особливо це стосується наземних ґрунтових досліджень для більш детального вивчення мілітарної деградації. У зв'язку з цим командою дослідників ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» у 2023–2025 рр. проведено обстеження ґрунтів Чкаловської територіальної громади Чугувського району Харківської області з метою

виявлення впливу бойових дій на їх стан. Одним з основних виходів дослідження було створення набору карт сучасного стану ґрунтів з урахуванням тих чи інших зовнішніх факторів впливу, що дозволило отримати актуальну інформацію для подальших дій щодо ремедіації та рекультивації земель громади (Рис. 5). Набір карт створений на основі даних ДЗЗ, проведенням польових досліджень із відбором ґрунтових проб, ГІС-аналізу, архівних даних тощо [16, 18].

На початку досліджень була розроблена карта-версія ймовірно ушкоджених ґрунтів, яку в подальшому верифікували під час польового обстеження. Для оцінки сучасного стану ґрунтового покриву, попередньо створено карти ґрунтів, гранулометричного складу, вмісту органічного вуглецю, карти рН. Даний перелік карт дозволив знати диференціацію ґрунтів громади (26 підтипів ґрунтів). За даними гранулометричного складу ґрунти північно-західної частини громади значно «легші», там переважають параметри зв'язно-піщаного, супіщаного та легкоглинистистого гранскладу, завдяки чому інфільтрація забруднюючих речовин може бути більш інтенсивною з усіх шарів ґрунту. На більшій частині території громади переважають легкоглинисті ґрунти. Вміст органічного вуглецю загалом є високим — 2,0–3,5 %, хоча в місцях із легким гранскладом значення становлять близько 1 %.

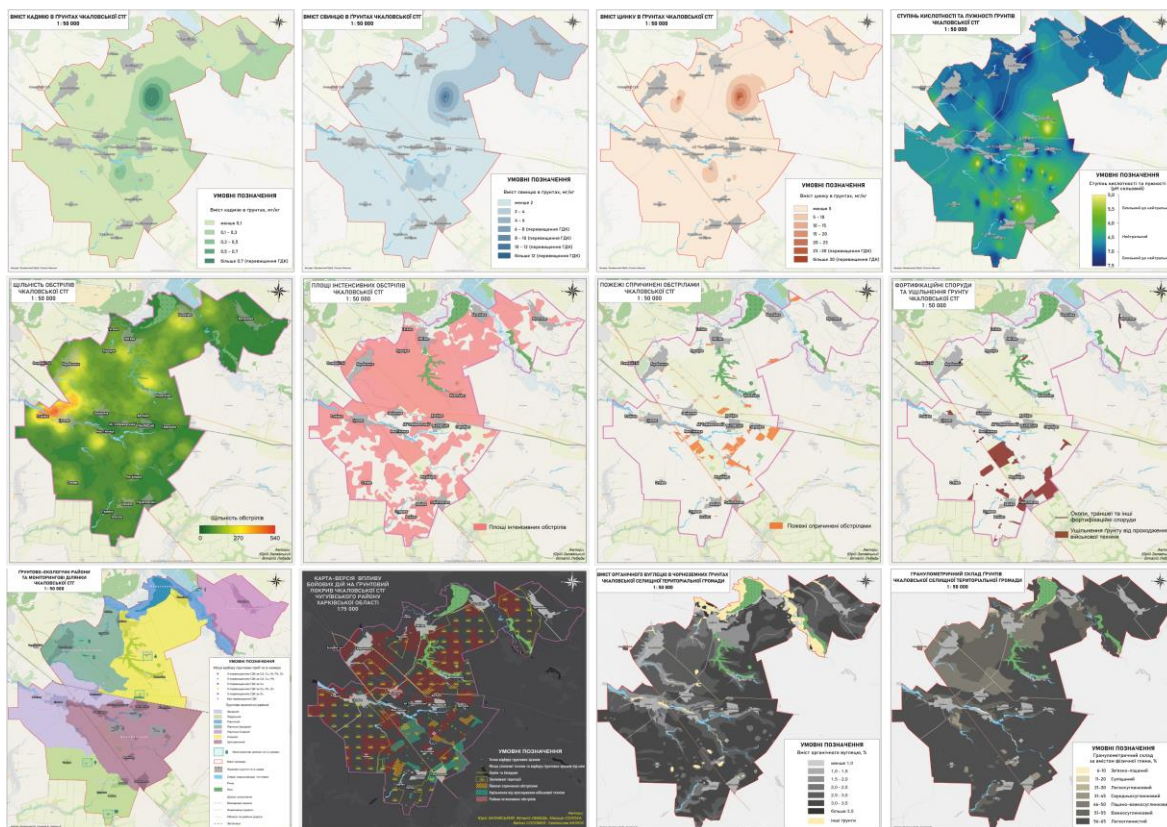


Рис. 5. Набір карт впливу бойових дій на характеристики ґрунтів Чкаловської громади [18].

На відміну від попередніх розробок карт впливу бойових дій, було значно розширено перелік показників, які необхідно визначити задля загальної оцінки стану ґрунтів громади. Карти умісту важких металів включали показники забруднення цинком, свинцем та кадмієм. Загальні перевищення ГДК були присутні, але не в настільки значних розмірах. Також створено блок карт, що відображають площі ураження земель. Визначено площі різної інтенсивності бойових дій, підраховано

щільність обстрілів, площі пожеж, спричинених обстрілами, площі ущільнення ґрунту, а також окопи, траншеї, фортифікаційні споруди. Так, наприклад найбільшу щільність обстрілів визначено на лінії, що умовно з'єднує села Гракове, Ртищівка і Коробчине, де знаходилась лінія оборони Збройних Сил України (ЗСУ). Однак це не знайшло відображення на картах умісту важких металів. Обґрунтування цього факту достатньо просте — значна частина громади досі залишається замінованою і є небезпечною для проведення наземних досліджень. Результуюча карта мілітарної деградації ґрунтів Чкаловської громади свідчить, що землі на площі близько 80 % зазнали воєнного впливу за півроку окупації та ведення активних бойових дій (Рис. 6).

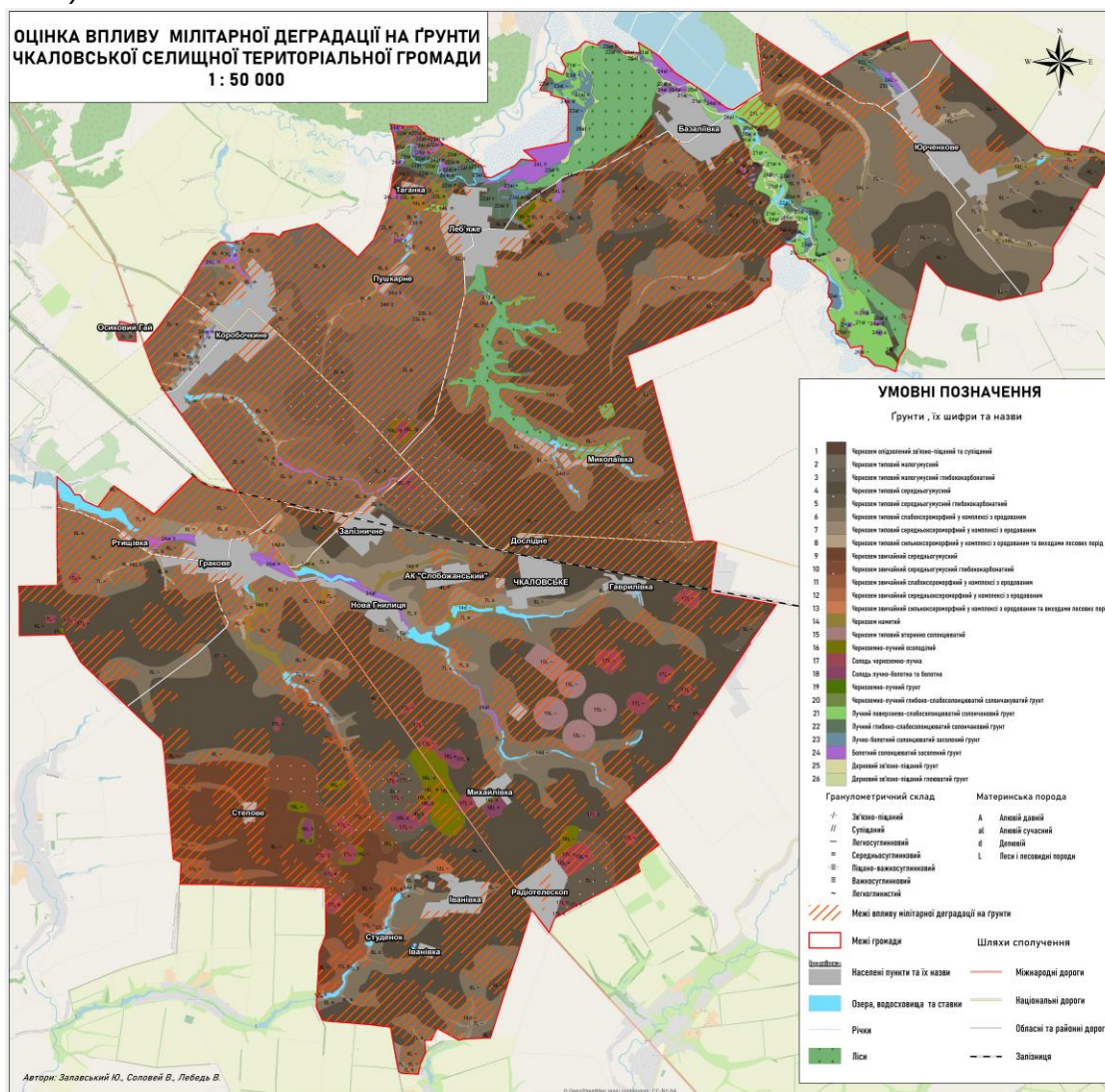


Рис. 6. Карта мілітарної деградації ґрунтів Чкаловської громади [18].

Основний тип ґрунту на території громади — чорноземи типові середньогумусні (85 % усього ґрунтового фонду), вони ж і найсильніше пошкоджені. Чорноземи типові середньогумусні є одними з найбільш родючих ґрунтів України, і звичайно, в своїй більшості є ґрунтами сільськогосподарського призначення. Отже можна стверджувати, що найбільш ушкодженими ґрунтами громади є саме сільськогосподарські землі.

Завершальним етапом робіт було районування за ґрунтово-екологічними показниками та визначення моніторингових ділянок — місць найбільшої концентрації мілітарного забруднення ґрунтів (Рис. 7). На території громади виділено 7 ґрунтово-екологічних районів та 10 моніторингових ділянок у п'ятих районах. Західний район, на даний момент не є безпечним для проведення детальних досліджень через замінованість, а в Північно-Східному бойові дії були майже відсутні як такі. Проведення досліджень на регіонально-локальному рівні не тільки дало відповіді на питання щодо впливу воєнних дій на ґрунти, а й поставило нові запитання і виклики щодо безпеки проведення будь-яких робіт в регіоні. А саме, найбільш пошкоджені території, де необхідно проводити дослідження, залишаються й досі (через 3 роки після деокупації) недоступними через мінну небезпеку.

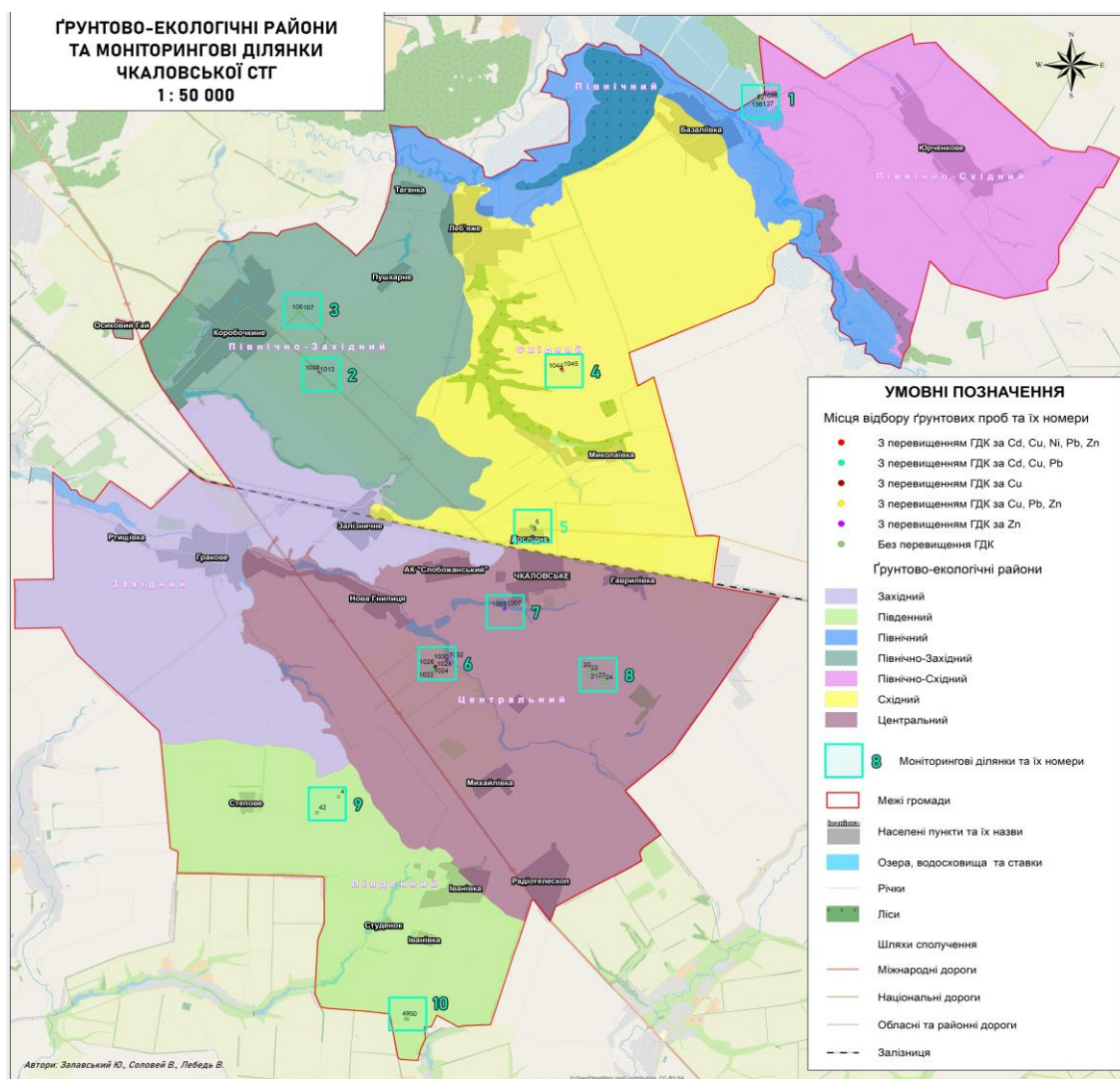


Рис. 7. Карта ґрунтово-екологічного районування та моніторингових ділянок [18].

3.3. Особливості картографічної складової оцінювання мілітарної деградації ґрунтів

Карти національного масштабу мілітарної деградації ґрунтів відображають узагальнену просторову картину впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив країни та

слугують інструментом стратегічного аналізу і державного планування. Вони базуються на інтеграції дистанційного зондування Землі, офіційної інформації про зони бойових дій і тимчасової окупації, матеріалів ґрунтових обстежень та експертних оцінок, що дозволяє виокремити території з різним рівнем деградації — від потенційно уражених до сильно порушених. Такі карти не фіксують детальні локальні зміни, але чітко показують загальні просторові закономірності, формують основу для національних програм моніторингу, визначення пріоритету відновлювальних заходів і оцінки довгострокових ризиків для продовольчої безпеки.

Джерела даних для карт національного рівня: супутникові дані середньої роздільності (Sentinel-2, Landsat); карти воєнної активності (DeepState, ISW); інтеграція національних даних ушкоджень (ДЧС, Міндовкілля); національні карти ґрунтів.

Типи об'єктів, що можуть бути відображені на картах національного масштабу: зони бойових дій (блоками або полігонами); орієнтовні класи деградації (забруднення, ерозія тощо); інтенсивність воєнного навантаження; масштабні антропогенні зміни.

Карти регіонального масштабу мілітарної деградації ґрунтів спрямовані на детальніше відображення наслідків воєнного впливу в межах окремих областей або фізико-географічних районів і орієнтовані на практичні потреби відновлення землекористування. На відміну від національних, вони спираються на більш щільну мережу польових обстежень, результати агрохімічного аналізу, локальні дані про типи воєнних ушкоджень та конкретні ґрунтові відміни. Це дає змогу ідентифікувати мозаїчність деградації, виділяти зони з критичним порушенням ґрунтового профілю, локальним забрудненням або механічним руйнуванням і обґрунтовувати адресні заходи рекультивації, розмінування та повернення земель у сільськогосподарське використання.

Враховуючи досвід розроблення регіональних карт можна встановити наступне. Джерелами даних на регіональному рівні можуть бути: супутникові знімки високої роздільної здатності (Махаг); ортофото з БПЛА (ДКЛА); польові обстеження і пробовідбір; великомасштабні та детальні регіональні карти ґрунтів (Серія карт великомасштабного обстеження ґрунтів України 1:200 000, карти агровиробничих груп ґрунтів у межах колишніх сільрад 1:10 000 та ін.); локальні дані громад; геофізичні дані; військові топографічні матеріали (за наявності доступу).

Об'єкти, що можуть бути відображені на регіональних картах: контури виврв; фортифікаційні споруди, укріпрайони; ділянки забруднення важкими металами тощо; детальна орографія порушених територій; деградовані агроландшафти; ділянки ущільнення ґрунту; заміновані поля; згорілі поля та ін.

Порівняння картографічної складової національного та регіонального масштабів узагальнено в таблиці (Табл.), де відображено ключові відмінності за метою картографування, точністю, роздільністю, джерельною базою та часовим аналізом. Національний рівень орієнтований на стратегічну оцінку збитків та виявлення пріоритетів щодо відновлення територій і формування державних та міжнародних звітів, що зумовлює використання узагальнених показників, середньої або низької просторової роздільності та супутникових і національних баз даних із характерною більшою похибкою. Регіональний масштаб, навпаки, спрямований на вирішення прикладних завдань — планування рекультивації, кадастрові обстеження та оцінку ризиків для громад і землекористувачів, що забезпечується високою просторовою деталізацією, чіткими межами об'єктів, залученням польових

досліджень, ортофотопланів і GPS-даних, а також можливість проведення детального покрокового часового аналізу.

Таблиця

Порівняльна характеристика національного і регіонального рівнів картографування мілітарної деградації ґрунтів

Національний рівень	Регіональний рівень
<i>Мета картографування</i>	
Оцінка національного масштабу збитків	Проекти відновлення ґрунтів
Пріоритизація областей для рекультивації	Ґрунтове обстеження земель
Формування державних програм з відновлення	Оцінка ризиків для фермерів та громад
Міжнародна звітність (FAO, UNEP, World Bank)	Основа планів рекультивації
<i>Точність і похибки</i>	
Оціночні межі деградації	Чіткі межі кратерів (вирв), траншей, забруднених ділянок
Знижена точність через хмарність, обмеження доступу та генералізацію	Реальні польові дані дозволяють робити нормативні висновки
Похибка може сягати 200–500 м	Точність може сягати 1–5 м
<i>Роздільність</i>	
Середня або низька	Висока
<i>Джерела</i>	
Супутникові дані, Національні та глобальні БД та карти	Супутникові дані високої РЗ
Дані військової аналітики тощо	Ортофотоплани
	Локальні джерела даних
	Польові дослідження
	GPS-трекінг тощо
<i>Часовий аналіз</i>	
Піврічний, багаторічний	Покроковий (рік, місяць, тиждень)

3.4. Обговорення результатів дослідження

Отримані результати загалом узгоджуються з висновками попередніх вітчизняних та міжнародних досліджень щодо масштабності та багатокомпонентного характеру мілітарної деградації ґрунтів. Зокрема, зафіксоване у роботі дворазове збільшення площ мілітарно деградованих ґрунтів у 2023–2025 рр. підтверджує тенденції, описані у звітах FAO та регіональних дослідженнях для східних областей України, де наголошується на швидкому розширенні зон фізичного руйнування ґрунтового профілю та техногенного навантаження внаслідок тривалих бойових дій.

Спільною рисою з більшістю раніше опублікованих робіт є домінування чорноземів серед уражених ґрунтів. Це пояснюється не лише їх просторовою поширеністю у зоні активних бойових дій, а й високою часткою у площі сільськогосподарських угідь, що підтверджує висновки регіональних досліджень у Харківській, Херсонській та Запорізькій областях. Водночас у представленому дослідженні частка темнозабарвлених ґрунтів (чорноземи, темно-сірі, лучно-чорноземні та темно-каштанові ґрунти) у структурі деградованих ґрунтів є дещо вищою, ніж у ряді попередніх оцінок, що може бути пов'язано з розширенням зони бойових дій у 2024–2025 рр. на території з інтенсивним землеробством.

Відмінною рисою цієї роботи є систематичне поєднання національного та регіонального рівнів аналізу в межах єдиної картографічної концепції. У багатьох попередніх публікаціях переважають або локальні (окремі громади, поля, полігони), або узагальнені оцінки для країни без детальної верифікації.

Суттєвою відмінністю сучасних досліджень від довоєнних робіт з оцінювання деградації ґрунтів є різке зростання ролі дистанційного зондування. Якщо раніше польові обстеження були основним джерелом даних, то нині вони виконують

переважно верифікаційну функцію через мінну небезпеку та обмежений доступ до значної частини деокупованих територій. Це узгоджується з міжнародними підходами, де супутникові дані розглядаються як базовий інструмент первинної інвентаризації ушкоджень, однак у цій роботі показано, що без локальної перевірки точність оцінок на регіональному рівні залишається обмеженою.

Таким чином, результати дослідження підтверджують основні тенденції, описані в попередніх роботах, але водночас розширюють їх із застосуванням даних кількісної динаміки за 2023–2025 рр., деталізації структури уражених ґрунтів і практичної демонстрації масштабної залежності методів картографування. Це підкреслює необхідність розвитку інтегрованих багаторівневих систем моніторингу, які поєднують національні узагальнення з детальними регіональними спостереженнями.

4. Висновки

Порівнюючи специфіку створення різнорівневих карт можна стверджувати, що головна різниця полягає у деталізації, точності й методах здобування даних та цілі картографування. На національному рівні карта узагальнює просторові тенденції, тоді як регіональна карта деталізує типи, ступені та механізми деградації. Тому існують певного роду відмінності щодо картографування різних рівнів: масштаб та деталізація; точність картографічної основи та номенклатури ґрунтів; типи деградаційних форм; методи збирання даних; мета картографування; підходи до класифікації; структура легенди карти. У сукупності ці відмінності підкреслюють взаємодоповнювальний характер національного й регіонального картографування, де узагальнені оцінки країни деталізуються та уточнюються на локальному рівні.

Картографування мілітарно деградованих ґрунтів на рівні країни — це макроспостереження за загальними зонами впливу, тоді як регіональне картографування дозволяє з високою точністю фіксувати конкретні форми порушення та планувати реальне відновлення. Тому дослідження регіонального рівня — є основою для аналітичних даних національного.

Потенційна площа мілітарно деградованих ґрунтів України у роки з 2023 до 2025 збільшилась у два рази (з 950 тис. до 1,8 млн га) та спостерігається розширення номенклатури типів пошкоджень ґрунтів у 2025 порівняно з 2022 роком. Саме ґрунти групи «Black Soils» (темнозabarвлені або чорні) є найбільш постраждалими внаслідок російської агресії (~70 %).

Значна частина деокупованих територій недоступна для обстеження через мінну та дронуву небезпеку. Порівняно з довоєнними роботами з деградації ґрунтів, сучасні дослідження значно сильніше залежать від дистанційних методів, що зумовлено безпековими обмеженнями.

Здобуті результати можуть слугувати основою для стратегічного моніторингу стану ґрунтів, планування заходів рекультивації та оцінки ризиків для землекористувачів. Подальші дослідження доцільно зосередити на інтеграції дистанційного зондування, польових спостережень і цифрових моделей картографування для підвищення точності оцінок та створення централізованої системи моніторингу мілітарно деградованих ґрунтів.

Подяка. Під час підготовки цієї роботи використано окремі результати проекту «Оцінювання впливу збройної агресії на стан чорноземів і розроблення заходів для прискореного відновлення родючості ґрунтів у контексті забезпечення продовольчої

безпеки» №2022.01/0031 конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди» за грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Список використаних джерел

1. Solovei V., Lebed V., Zalavskiy Yu. Genetic aspects of militaristic soil degradation in Ukraine. *Caring for Soils in War and Peace: Status, Monitoring and Management* : collection of abstracts of the International Scientific & Practical Conference (Kharkiv, December 5, 2024). Kharkiv: NSC ISSAR, 2025. P.133. URL: <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya>
2. Smirnova K., Baliuk S., Kucher A., Vorotyntseva L., & Honcharova A. Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. No. 11. P. 90-104. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90>
3. FAO. 2023. Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises – Findings of a nationwide survey of agricultural enterprises with land up to 250 hectares, January–February 2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc5755en>
4. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: монографія; за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера, М. І. Ромашенка. Київ: Аграрна наука, 2024. 340 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>
5. Kussul N., Drozd S., Yailymova H., Shelestov A., Lemoine G., Deininger K. Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. Vol. 125. Art. 103562. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>
6. CEOBS. Environmental impacts of the war in Ukraine/ CEOBS. London: CEOBS, 2022. URL: <https://ceobs.org/environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine/>
7. Bonchkovskiy O., Ostapenko P., Bonchkovskiy A., Shvaiko V. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 964. Art. 178594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
8. European Commission. Joint Research Centre. Soil degradation under conflict conditions / European Commission, Joint Research Centre. — Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. 136 с. (JRC Report). Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu>
9. Akymenko K., Petrenko O., Shevchenko I. Detection of abandoned arable land using Sentinel-2. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. Vol. 210. Art. 105487. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.105487>
10. Filippini F. Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings of the 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing (ECRS-3)*. 2019. Vol. 18. Is. 1. Art. 11. <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
11. Minasny B., McBratney A. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*. 2016. Vol. 264. P. 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.015>
12. McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*. 2003. Vol. 117(1–2). P. 3–52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
13. ReSoil Foundation. How war is contributing to environmental degradation in Ukraine. *ReSoil Foundation*. London: 2025. URL: <https://resoilfoundation.org/en/environment/ukraine-war-contaminated-soil/>
14. Hengl T., Nussbaum M., Wright M. N., Heuvelink G. B. M., Gräler B. Random Forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*. 2018. Vol. 6. e5518. <https://doi.org/10.7717/peerj.5518>
15. Senel G., Dadhich G., Ostapenko P., Bonchkovskiy O., Shvaiko V., Ostapenko S., Lucas T.A., ... Henry, M. Mapping impacted soils of war-affected farmers in Kharkiv Oblast – Impact assessment of agricultural land 2021–2023. Rome, FAO. 2025. <https://doi.org/10.4060/cd6127en>
16. Соловей В. Б., Залавський Ю. В., Лебедь В. В., Солоха М. О., Кучер А. В. Методичні засади картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні територіальних громад. *Український географічний журнал*. 2024. № 4. С. 22–35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>
17. European Environment Agency. Soil monitoring in Europe - Indicators & thresholds for soil health assessments. European Environment Agency, 2023. 80 p. (EEA Report). URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/soil-monitoring-in-europe>
18. Оцінювання впливу збройної агресії на стан чорноземних ґрунтів і заходи з його відновлення: моногр.; за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера. Київ: Аграрна наука, 2025. 240 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-641-9>

UDC 631.4:504.61:335.01:528.9:004.92

Features of mapping military-degraded soils at the national and regional levels

Yu. V. Zalavskiy^a, V. V. Lebed^b

National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine

✉ yurazz1984@gmail.com

ORCID: ^a0000-0002-4549-963X ; ^b0000-0002-1429-4121

Received 26.11.2025; Revised 20.12.2025; Accepted 26.12.2025; Available online 30.12.2025

Abstract. The results of the analysis of the features of mapping militarily degraded soils at the national and regional levels in Ukraine in the context of a full-scale war are presented. Soil degradation includes mechanical damage, compaction due to vehicle movement, formation of explosive craters, and local accumulation of heavy metals and detonation residues. The

main difference between national and regional maps lies in scale, detail, accuracy, and mapping purpose: national maps generalize spatial trends of soil degradation, whereas regional maps provide detailed information on specific types, degrees, and mechanisms of damage. A significant part of the de-occupied territories cannot be surveyed due to mine and drone hazards. Compared to pre-war soil degradation studies, modern research relies much more on remote methods due to safety constraints. The study emphasizes digital mapping methods, including geographic information systems (GIS), remote sensing of the Earth (RSE), and digital soil mapping (DSM). The authors assess the potential of medium- and high-resolution satellite data (Sentinel-2, Landsat, Sentinel-1 SAR) combined with field observations for quantitative evaluation of soil degradation. Results of creating national-scale digital maps with estimates of degraded soil areas for 2023–2025 are presented, along with regional maps using Kharkiv Oblast and a specific local community as examples. The area of militarily degraded soils doubled over this period, and the range of damage types expanded. The most affected are Black soils about 70%. The authors emphasize that integrated approaches combining RSE, GIS, and field validation, as well as standardization of methodologies, legends, and data systems, are essential for effective monitoring of militarily degraded soils at various territorial levels.

Keywords: soil; military degradation; mapping; GIS; digital soil mapping; remote sensing.

Citing: Zalavskiy Yu. V., & Lebed V. V. (2025). Features of mapping military-degraded soils at the national and regional levels. *AgroChemistry and Soil Science*, 99, 49–63. doi: 10.31073/acss99-06 [in Ukrainian].

References

1. Solovei, V., Lebed, V., & Zalavskiy, Yu. (2025). Genetic aspects of militaristic soil degradation in Ukraine // *Caring for soils in war and peace: status, monitoring and management* : collection of abstracts of the International Scientific & Practical Conference (Kharkiv, December 5, 2024). Kharkiv: NSC ISSAR. Retrieved from <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya>
2. Smirnova, K., Baliuk, S., Kucher, A., Vorotyntseva, L., & Honcharova, A. (2024). Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. *Scientific Horizons*, 27(11), 90-104. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90> [in Ukrainian].
3. FAO. (2023). Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises – Findings of a nationwide survey of agricultural enterprises with land up to 250 hectares, January–February 2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc5755en>
4. Baliuk, S. A., Kucher, A. V. & Romashchenko, M. I. (Eds.). (2024). *Soil cover of Ukraine in the conditions of hostilities: state, challenges, activities for soil restoration*: monograph. Kyiv: Agrarna nauka. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9> [in Ukrainian].
5. Kussul, N., Drozd, S., Yailymova, H., Shelestov, A., Lemoine, G., & Deininger, K. (2023). Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 125, 103562. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>
6. CEOBS. (2022). Environmental impacts of the war in Ukraine / CEOBS. London: CEOBS, 2022. Retrieved from <https://ceobs.org/countries/ukraine/>
7. 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, 178594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>
8. European Commission. Joint Research Centre. (2022). Soil degradation under conflict conditions / European Commission, Joint Research Centre. — Luxembourg : Publications Office of the European Union, (JRC Report). Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu>
9. Akymenko, K., Petrenko, O., & Shevchenko, I. (2025). Detection of abandoned arable land using Sentinel-2. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 105487 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.105487>
10. Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings of the 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing (ECRS-3)*, 18(1), 11. <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
11. Minasny, B., & McBratney, A. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.015>
12. McBratney, A. B., Mendonça Santos, M. L., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1–2), 3–52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
13. ReSoil Foundation. (2025). How war is contributing to environmental degradation in Ukraine. *ReSoil Foundation*. London. Retrieved from <https://resoilfoundation.org/en/environment/ukraine-war-contaminated-soil/>
14. Hengl T, Nussbaum M, Wright M. N, Heuvelink G. B. M., & Gräler, B. (2018). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 6:e5518. <https://doi.org/10.7717/peerj.5518>
15. Senel, G., Dadhich, G., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, O., Shvaiko, V., Ostapenko, S., ... & Henry, M. (2025). In *Mapping impacted soils of war-affected farmers in Kharkiv Oblast : Impact assessment of agricultural land 2021–2023*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cd6127en>
16. Solovei, V. B., Zalavskiy, Yu. V., Lebed, V. V., Solokha, M. O., & Kucher, A. V. (2024). Methodological basis for mapping the consequences of military soil degradation at the level of the territorial community. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 22–35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022> [in Ukraine].
17. European Environment Agency. (2023). Soil monitoring in Europe – Indicators & thresholds for soil health assessments. (EEA Report). Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/soil-monitoring-in-europe>
18. Baliuk, S. A. & Kucher, A. V. (Eds.). (2025). *Assessment of the impact of armed aggression on the state of black soils and measures for its restoration*: monograph; Kyiv: Agrarna nauka, <https://doi.org/10.31073/978-966-540-641-9> [in Ukraine].