

[https://doi.org/](https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022)

10.15407/ugz2024.04.022

УДК 631.458-029:355.01(477.54):910.27:001.82(045)

Соловей В. Б.¹,
Залавський Ю. В.¹,
Лебедь В. В.¹,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9820-1780>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4549-963X>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1429-4121>,

Солоха М. О.¹,
Кучер А. В.^{1,2},
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-3404>.

¹ Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків² Національний університет «Львівська політехніка», Львів

Методичні засади картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні територіальних громад*

На основі запропонованих методичних підходів створено набір цифрових карт сучасного стану ґрунтових ресурсів на прикладі Чкаловської територіальної громади Чугуївського району Харківської області. Визначено типи (механічні, біологічні) і види (авіаційні та артилерійські кратери, військові дороги, спалення рослинності, протитанкові рови, опорні пункти/траншеї) пошкоджень ґрунтового покриття та їхні масштаби (площі) для досліджуваної громади. Установлено доцільність сумісного використання карт стану ґрунтів перед повномасштабним вторгненням і супутникових знімків, як носіїв дистанційних даних про пошкодження ґрунтів, для визначення їх якісного стану на рівні територіальних громад.

Ключові слова: картографування, ґрунтовий покрив, вплив бойових дій, мілітарна деградація, карта ґрунтів, ГІС, якість ґрунтів, російсько-українська війна.

UDC 631.458-029:355.01(477.54):910.27:001.82(045)

Solovei, V. B.¹,
Zalavskiy, Yu. V.¹,
Lebed, V. V.¹,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9820-1780>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4549-963X>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1429-4121>,

Solokha, M. O.¹,
Kucher, A. V.^{1,2},
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-3404>.

¹ National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky," Kharkiv² Lviv Polytechnic National University, Lviv

Methodological Basis for Mapping the Consequences of Military Soil Degradation at the Level of the Territorial Community

The purpose of this study is to develop a set of digital maps of the pre-war and current state of soil resources at the territorial community level based on the proposed methodological approaches (on the example of the Chkalovska territorial community (hromada) of the Chuguyiv district of the Kharkiv region). We used the following main methods: comparative-geographical, statistical, relief plasticity, cartographic, geostatistical, and graphic. Maps of the qualitative state and distribution of the main quantitative indicators of soils in the Chkalovska community based on pre-war data were created. Based on the remote research results on the impact of military actions on the quality of chernozems in the Chkalovska community have allowed the identification of types (mechanical, biological) and kinds (aviation and artillery craters, military roads, vegetation burning, anti-tank ditches, support points/trenches) of soil cover damage and their scales (areas). A map of military soil degradation was developed with GIS by overlaying the contours of the most intensively damaged soil cover on a geographic base. A map scheme of mined and cleared agricultural lands, areas undergoing demining, and the structure of the cultivated fields' sown areas has been constructed as the basis for forming a network for soil sampling within the community. An online map was created by uploading data layers to the ArcGIS Online platform. Almost the entire territory of the Chkalovska community has suffered some degree of damage from the armed aggression of the Russian Federation. The most damaged due to hostilities are the most fertile soils of the Chkalovska community—typical heavy loam and light clay chernozems. The feasibility of using the developed digital mapping algorithm based on map-versions to determine the qualitative state of the soil cover and the spread of areas of soil damage as a result of hostilities at the level of territorial communities has been determined.

* Публікація містить наукові результати, одержані у процесі виконання 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.

The developed soil cartographic materials will become the basis for making effective management decisions regarding post-war soil recovery.

Keywords: mapping, soil cover, impact of military actions, military degradation, version-map, GIS, soil quality, russian-Ukrainian war.

Актуальність теми дослідження

Процеси деградації, що виникають в сучасних умовах землекористування та заходи щодо їхнього попередження і нейтралізації стають нині основними напрямками наукових досліджень. Повномасштабне вторгнення росії в Україну спричинило значну деградацію навколишнього середовища, включаючи руйнування ґрунтового покриву, що негативно вплинуло на його продуктивні та відновлювальні функції, а також призвело до руйнування гумусового шару [1]. Воєнні дії продовжують завдавати шкоди ґрунтовим та земельним ресурсам, які є невід’ємною частиною національного багатства України. Це має серйозні наслідки для продовольчої та екологічної безпеки як на національному, так і на глобальному рівнях. Створення карт ґрунтів є основою для відображення просторового розподілу таксонів ґрунтів та фіксації їхнього поточного стану. Особливо це стосується ґрунтів, що постраждали внаслідок бойових дій і потребують детальної картографічної основи для подальших управлінських рішень. Інформація про якісний стан ґрунтового покриву є надзвичайно необхідною.

За попередніми оцінками у зонах бойових дій та під окупацією перебувало близько 18 млн га земель України, більшість з яких є сільськогосподарськими. Загальна площа сільськогосподарських земель на тимчасово окупованих, деокупованих та небезпечних територіях складає до 20 % території України [2]. Постраждали всі типи ґрунтів: від дерново-підзолистих ґрунтів Полісся до

темно-каштанових і каштанових солонцюватих ґрунтів Сухого степу. Однак найбільші площі займають чорноземні ґрунти [3]. Найбільші площі деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій спостерігаються в Донецькій, Харківській, Луганській, Запорізькій і Херсонській областях. Близько 85 % ґрунтової номенклатури Харківської області потрапило до зони гіпотетичного ураження. Основні типи ґрунтів у цьому регіоні: чорноземи типові середньогумусні — 45,2 % від загальної площі ґрунтів у зоні воєнних дій; чорноземи опідзолені — 15,6 %; чорноземи звичайні середньогумусні глибокі — 12,3 %; чорноземи звичайні середньогумусні — 12,0 %; інші ґрунти — 14,9 % [4]. Відновлення родючості цих ґрунтів має проводитися диференційовано, залежно від виду та ступеня мілітарної деградації, що стане основою для надання рекомендацій щодо використання порушених земель [2].

Необхідно враховувати швидку динаміку розвитку деградаційних процесів мілітарного походження. Наразі постає гостра потреба у створенні інтерактивних електронних карт ґрунтів для відстеження змін у реальному часі шляхом додавання нових та редагування існуючих шарів даних, а також задля забезпечення доступу до карт широкого кола користувачів. Особливо важливо встановити вплив бойових дій на ґрунти територіальних громад, щоб забезпечити землекористувачів актуальною інформацією для відновлення їх родючості.

Стан вивчення питання, основні праці

Аналіз мілітарної деградації ґрунтів у світі, проведений на основі даних міжнародної наукометричної бази Scopus, виявив 54 документи, опубліковані у 1968–2024 рр., які містять терміни “mapping,” “soil” та “war” у назві, анотації та/або ключових словах (TITLE-ABS-KEY). З них 74,1 % (40 документів) було опубліковано протягом останніх двадцяти років (2005–2024 рр.). Піковий рівень публікаційної активності спостерігався у 2019–2022 рр., коли було опубліковано по чотири документи. Попри деяке збільшення кількості публікацій у світі щодо картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів, загальний рівень публікаційної

активності в цьому напрямі залишається низьким. Серед країн, що найактивніше публікують дослідження з цієї тематики, лідерами є США та Велика Британія. Згідно з базою Scopus американські вчені опублікували 11 робіт (20,4 % від загальної кількості), британські — 8 робіт (14,8 %). До них приєднуються Бельгія, Німеччина, Італія та Іспанія, кожна з яких має по 3 публікації (5,6 %). Українські вчені представили лише одну роботу, що становить 1,9 % від загальної кількості публікацій. Аналіз найактивніших організацій, публікації яких найбільше проіндексовані у Scopus і містять у назвах, анотаціях та ключових словах терміни

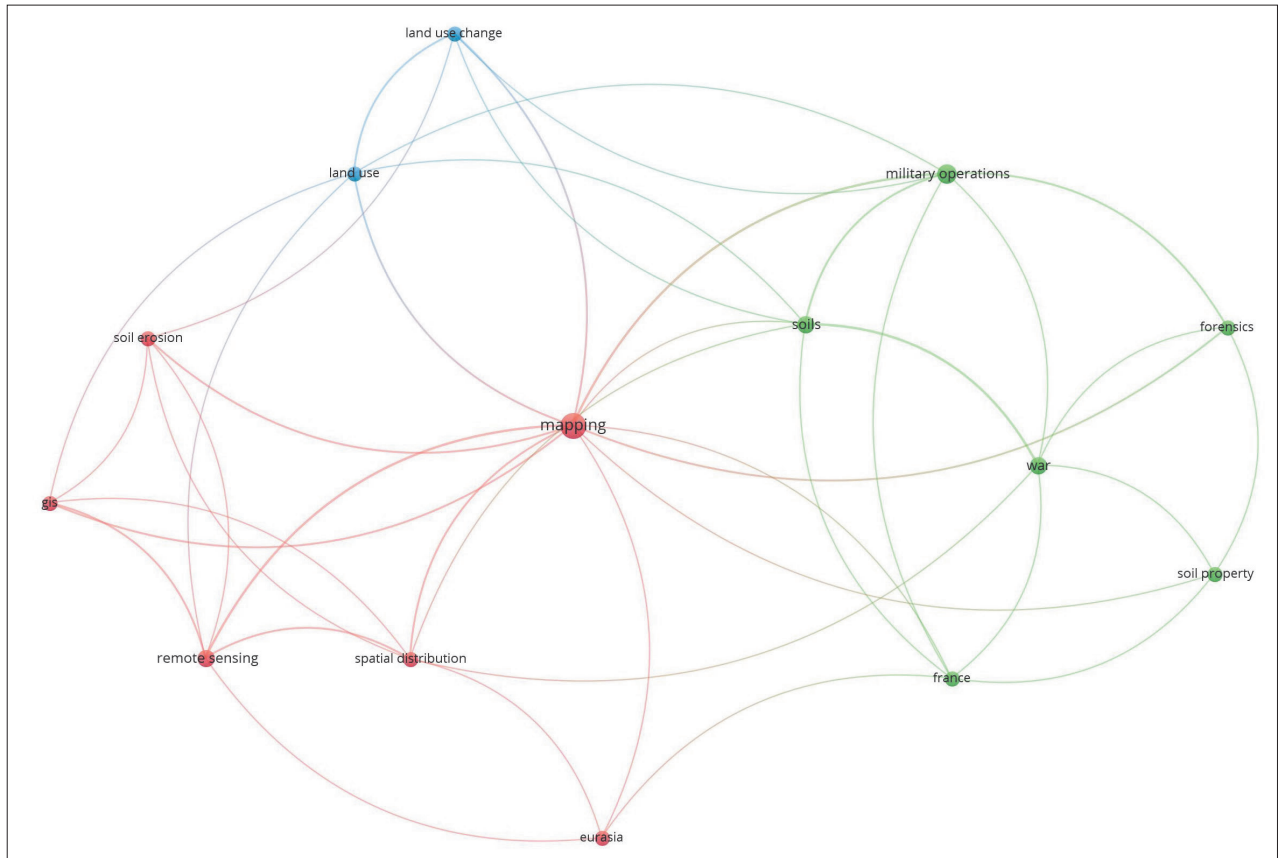


Рис. 1. Бібліометрична карта найуживаніших термінів в публікаціях щодо картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів у світі (2005–2024 pp.)

“mapping,” “soil” і “war,” показав, що представники п’яти наукових організацій опублікували 11 робіт (20,4 % від загальної кількості). Лідером серед них є бельгійський Ієнтський університет, що має 3 опубліковані роботи з такої тематики. Попри наявність значних перешкод, як-от обмеженість доступу до відповідних даних та ризики, пов’язані з воєнними діями, існує тенденція до зростання інтересу до теми мілітарної деградації ґрунтів. Це зумовлює необхідність посилення міжнародної співпраці та обміну знаннями для підвищення ефективності досліджень у цій важливій сфері.

Аналіз типів документів показав, що понад дві третини (77,8 %) робіт опубліковані у формі статей; 13,3 % складають матеріали конференцій; 3,7 % — огляди; 3,7 % — розділи книг. Дослідження розподілу документів за галузями знань свідчить про міждисциплінарний характер вивчення питання картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів. Найбільша частка публікацій належить до наук про землю (22,8 %), соціальних наук (19,6 %) та наук про довкілля (16,3 %). Дещо менше документів опубліковано у сфері аграрних і біологічних наук (9,8 %). Сукупно на ці галузі припадає 68,5 % світового обсягу публікацій. Лідером за кількістю публікацій з цього питання

є бельгійський учений В. Stichelbaut, який має три проіндексовані роботи. До числа вчених з найбільшою кількістю публікацій, проіндексованих у Scopus (щонайменше дві роботи у кожного), входять J. Bourgeois, J. Clatworthy, W. Gheyle, T. Lizotte, N. Note, O. Ohar, E. Rose, L. Salvati, V. Van Eetvelde та M. Van Meirvenne.

Бібліометричний аналіз картографування мілітарної деградації ґрунтів проведено на основі обробки метаданих 40 документів, опублікованих за останні 20 років (2005–2024 pp.), з використанням програми VOSviewer (рис. 1).

Бібліометрична карта найуживаніших термінів (з критерієм використання терміна не менше трьох разів) у вибірці публікацій охоплює 14 ключових слів, розподілених на три тематичні кластери. Перший, червоний кластер, включає 6 слів, серед яких найпоширенішими є: *картографування, дистанційне зондування, просторовий розподіл*. Другий, зелений кластер, також містить 6 слів, серед яких частіше за все згадуються: *війна, воєнні (мілітарні) операції, ґрунти*. Найменший за кількістю термінів є блакитний кластер, що включає дві фрази: *землекористування та зміни землекористування*. Спроби створити бібліометричні карти для наукової співпраці між країнами, організаціями та

авторами виявили відсутність суттєвих зв'язків між цими суб'єктами у контексті картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів у світі. Усе це свідчить про зростаючу увагу до проблеми деградації ґрунтів унаслідок воєнних дій, а також підкреслює важливість міждисциплінарного підходу до її вивчення.

Контекстний аналіз 40 документів дозволив відібрати 13 робіт, які безпосередньо чи опосередковано стосуються картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів. Так, дослідження Abdo та ін. [5], Dawoud та ін. [6], Rodrigo-Comino та ін. [7] зосереджені на картографуванні та кількісній оцінці ерозії ґрунту, пов'язаної з наслідками воєнних дій. Кілька наукових публікацій [8–10] досліджують просторовий розподіл та геомодельовання властивостей ґрунту в зонах бойових дій та їх наслідки. Дослідження зарубіжних науковців охоплюють різноманітні аспекти впливу воєнних конфліктів на довкілля, зокрема ґрунти. Так, Fakhri і Gkanatsios [11] займалися інтеграцією даних Sentinel-1 і Sentinel-2 для виявлення змін у зоні збройного конфлікту. Jordan-Ward та ін. [12] проводили картографування наслідків забруднення на колишніх оборонних об'єктах на острові Уналаска, Аляска. Maria і Yost [13] оцінювали стан родючості ґрунтів у чотирьох агроекологічних зонах Мозамбіку, що зазнали впливу війни. Masters і Stichelbaut

[14] займалися виявленням та картографуванням військових окопів у Бельгії, використовуючи аерофотознімки та методи геофізичної розвідки. Note та ін. [15] розробили новий підхід до оцінки та картографування фронтової зони Першої світової війни, створивши карту щільності снарядних отворів на основі історичних аерофотознімків та вимірювань поля електромагнітної індукції. Stichelbaut та ін. [16] досліджували археологічні останки часів Першої світової війни, використовуючи історичні аерофотознімки та сучасні геофізичні методи для оцінки розподілу та щільності матеріальних залишків танкової війни. Однак у цих дослідженнях не приділено уваги картографуванню наслідків сучасної російсько-української війни на деградацію ґрунтів. Згідно з базою Scopus, існує лише одна стаття, що стосується картографування впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив України [17]. У той же час, в останні роки дослідження впливу російсько-української війни на ґрунти стали актуальною темою. Серед нещодавніх публікацій варто зауважити окремі роботи [18–23], в яких представлено результати оцінювання впливу цієї війни на ґрунти. Ця стаття заповнює прогалини у літературі, представляючи методичні засади та перші результати картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні громад.

Мета та методи дослідження

Мета роботи — на основі запропонованих методичних підходів створити набір цифрових карт сучасного стану ґрунтових ресурсів на рівні громад і стану, що передував повномасштабному вторгненню (на прикладі Чкаловської територіальної громади Чугуївського району Харківської області).

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети авторами було застосовано такі методи: порівняльно-географічний — для встановлення впливу природних умов на генезис та властивості ґрунтів; статистичний — для аналізу кореляційних залежностей між параметрами властивостей ґрунтів; пластики рельєфу — для ідентифікації просторових особливостей зволоження земної поверхні; картографічний — для просторового аналізу та характеристики екологічних факторів формування ґрунтового покриву; геостатистичний — для розроблення карт агрохімічних показників; графічний — для наочного зображення досліджуваних явищ і процесів.

Методологія дослідження зокрема включала такі складники:

1) *Дистанційні дослідження.* Використання даних ДЗЗ для моніторингу ушкоджень ґрунтів з часовою відміною. Для оцінки масштабів пошкоджень ґрунтів застосовувались знімки супутників Sentinel-2 за різний період часу, від дати початку активних бойових дій на території громади до їх закінчення, а також 3 місяці після повної деокупації. Аналіз знімків проведений у середовищі інтернет-ресурсу EO Browser.

2) *Системний аналіз стану ґрунтів.* Комплексний аналіз отриманих даних для оцінки стану ґрунтів та подальшого картографування.

3) *Картографічні роботи.* Використання даних досліджень для створення карт та агрохімічних картограм. Карти мілітарної деградації земель розробляли в програмних середовищах ArcGIS 10.x, ArcGIS Online та QGIS 3.x з використанням географічних основ Esri, HERE, Garmin, OpenStreetMap. Моделювання умісту агрохімічних показників здійснено методом зворотних вагів (IDW). Шар кратерів від снарядів створено на основі досліджень Товариства дослідників України [19]. Для створення карт ґрунтових властивостей вико-

ристовували фондові матеріали великомасштабних ґрунтових обстежень та власні експериментальні ґрунтово-картографічні дослідження років, що передували повномасштабному вторгненню, із залученням бази даних ґрунтових властивостей Українського ґрунтового інформаційного центру в ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського». Більшість даних має гриф «для службового користування».

Вибір ґрунтових показників проведений відповідно до їх пріоритетності для формування повної картини стану ґрунтів: вміст органічної речовини (органічний вуглець та гумус), гранулометричний склад, реакція ґрунтового розчину, забезпеченість поживними речовинами.

Карти агрохімічних показників створені за допомогою програмного середовища ArcGIS 10.x. Для побудови застосовано метод зворотних вагів (IDW). Цей метод припускає, що об'єкти, які знаходяться поблизу, більш подібні один до одного, ніж об'єкти, віддалені один від одного. Щоб інтерполювати значення для непомірного положення, IDW використовує виміряні значення навколо інтерпольованого місця. Найближчі до інтерпольованого місця виміряні значення мають більше впливу на прогнозоване значення, ніж ті, що знаходяться на значній відстані. IDW припускає, що кожна виміряна точка має локальний вплив, який зменшується зі збільшенням відстані. Це надає більшу вагу точкам, розташованим найближче до інтерпольованого місця. Так, для роз-

рахунку задіяно точкові дані та ґрунтові контури як вхідні бар'єри. Показник ступеня взято 2, це середній показник діапазону, оскільки найкоректніші результати можуть бути отримані з використанням значень у діапазоні від 0,5 до 3 (ArcGIS Desktop Tutorial). Радіус пошуку, що використовується для знаходження певної кількості вхідних опорних точок для інтерполяції — перемінний з використанням 12 точок та максимальною відстанню 20. Такий показник дозволяє, на наш погляд, отримати більш плавний і рівномірний розподіл значень.

Шар щільності обстрілів території громади створено у середовищі ArcGIS 10.x. Для цих розрахунків використано програмний інструмент Density, що обчислює кількість на одиницю площі (щільність) точкових об'єктів, які потрапляють навколо осередку. Вхідними даними є точковий шар кратерів від снарядів. Для показника генеральної сукупності використано показник None, який сприяє розрахунку кожного значення один раз. Для визначення форми області навколо кожного осередку, що використовується при обчисленні значення щільності, використано круговий показник. Радіус параметрів околиць виходячи із масштабу карти 1:75 000 — 1500 одиниць. Вихідними площинними одиницями вимірювання встановлені SQUARE_KILOMETERS, що забезпечує виведення квадратних кілометрів для точкових об'єктів.

Виклад основного матеріалу

На початковому етапі роботи були створені карти якісного стану та розподілу кількісних показників ґрунтів. За вмістом гумусу ґрунти Чкаловської ТГ доволі суттєво відрізняються між собою. Згідно з узагальненими даними було встановлено, що вміст гумусу коливається у значному діапазоні значень — від 0,7–1,5 % до 5,5–6,0 %, а в цілих варіантах чорноземно-лучних ґрунтів може досягати 6,0–7,0 % (рис. 2).

Найменший вміст гумусу мають ґрунти у північно-західній частині території громади — чорноземи опідзолені зв'язно-піщані та супіщані. Проте вони займають порівняно невелику площу, тому найбільш поширеними є ґрунти з вмістом гумусу 4,5–5,7 % — чорноземи типові мало- та середньогумусні переважно важкосуглинкового та легкоголинистого гранулометричного складу, поширені на плато. На схилах переважають їхні ксероморфні види у комплексі з еродованими, які внаслідок погіршеного вологозабезпечення та спорадичного розвитку ерозійних процесів мають

зменшений вміст органічної речовини (гумусу) — у середньому 2,7–4,5 % залежно від ступеню ксероморфності та гранулометричного складу.

Гранулометричний склад — альфа та омега ґрунтоутворення та якісного стану ґрунтів, оскільки від нього функціонально залежать основні показники якісного стану та, відповідно, родючості. У межах території громади гранулометричний склад змінюється у загальному напрямі з північного заходу на південний схід, відповідно віддаленості від долини р. Сіверський Донець та її борової тераси з піщаними та зв'язно-піщаними ґрунтами. За показниками вмісту фізичної глини найменші значення від 6–10 % до 10–20 % властиві чорноземам опідзоленим зв'язно-піщаним та супіщаним.

Реакція ґрунтового розчину — також один з пріоритетних показників якісного стану ґрунтів. За показником рН водний ґрунтовий покрив громади досить відрізняється — від 5,5–6,0 (слабокисла реакція) до 6,0–7,0 % (близька до нейтраль-

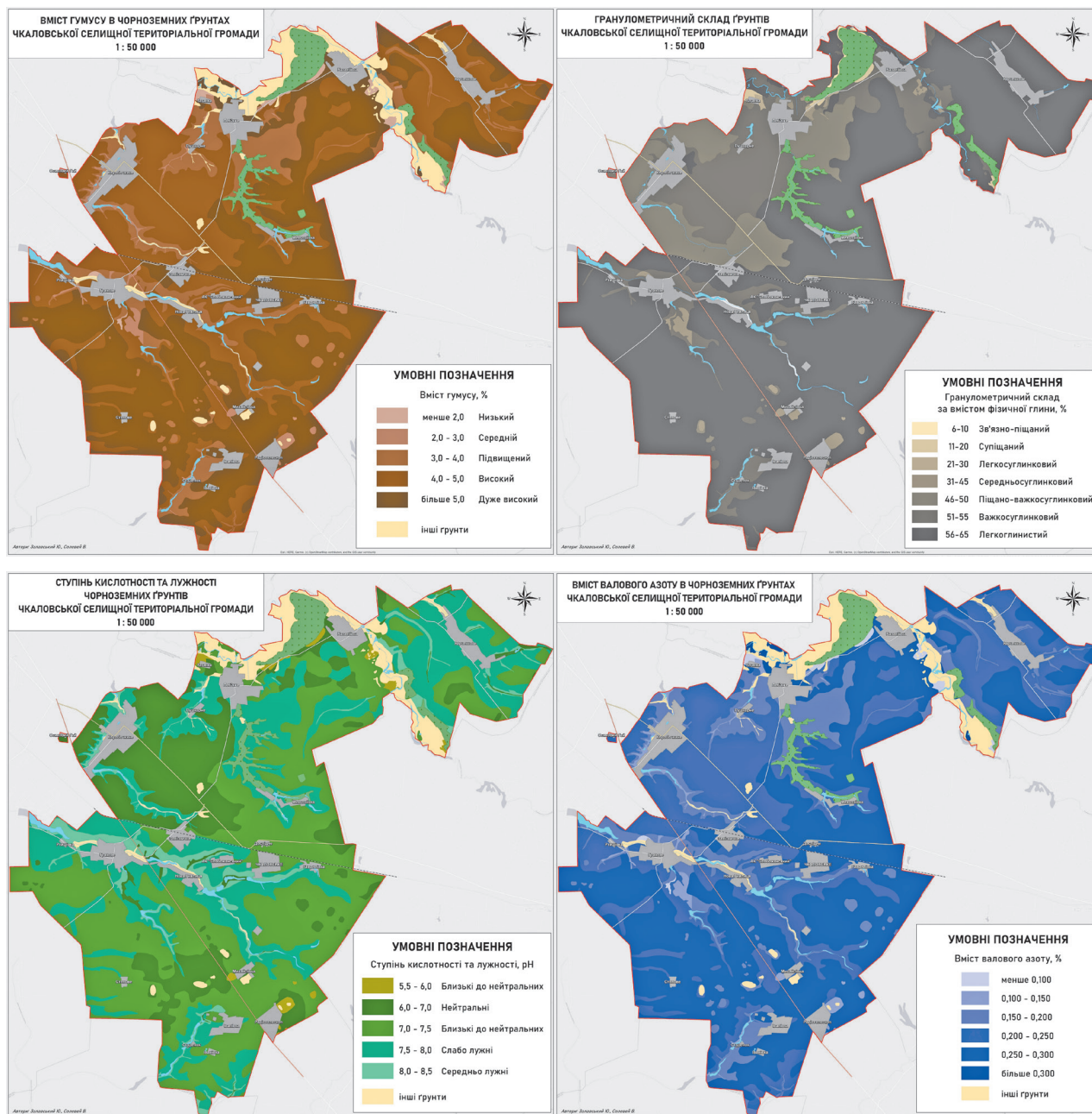


Рис. 2. Якісний стан ґрунтів Чкаловської територіальної громади (до 24.02.2022 р.)

ної) у північно-західній частині території громади до 7,0–7,5 (нейтральна) на переважній її частині. Переважно слаболужну реакцію (7,5–8,0) мають середньо- та сильноксероморфні види ґрунтів у комплексі з еродованими, а також виходи порід, що зумовлено наявністю у верхніх горизонтах карбонатів кальцію. Але подібних ділянок з лужною реакцією порівняно мало. Близьку до нейтральної (6,0–6,5), тобто дещо підкислену реакцію, мають глибококарбонатні види чорноземів типових та звичайних. Крім того, у замкнених зниженнях рельєфу зустрічаються чорноземно-лучні осолоділі ґрунти та солоді чорноземно-лучні, для яких властива слабокисла або близька до нейтральної

реакція ґрунтового розчину. У цілому чорноземні ґрунти Чкаловської ТГ характеризуються близькою до нейтральної та нейтральною реакцією, оптимальною для культурних рослин.

Азот — пріоритетний мікроелемент живлення рослин, тому вміст його є одним з показників якісного стану ґрунтів. Мінеральний азот, зокрема амонійні та нітратні його форми, — дуже динамічний елемент у ґрунтах, тому для оцінювання якісного стану ґрунтів може бути використаний тільки у поточний час, відносно нетривалий. Тому у практиці ґрунтово-агрохімічних обстежень для характеристики якості ґрунтів за забезпеченістю азотом у більш тривалій перспективі використову-

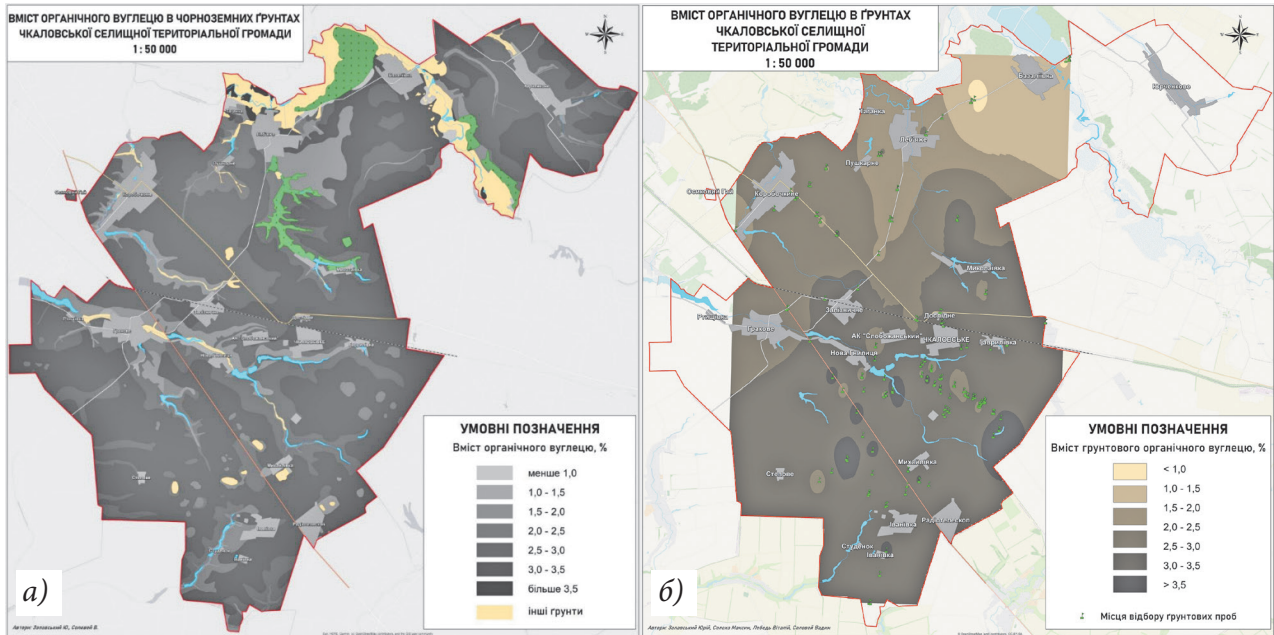


Рис. 3. Вміст органічного вуглецю у ґрунтах Чкаловської територіальної громади:
а — до 24 лютого 2022 р., б — під впливом бойових дій

ються більш стабільні показники — вміст лужно-гідролізованого азоту, вміст валового азоту тощо. Вміст валового азоту у ґрунтах Чкаловської ТГ має достатньо широкий діапазон значень — від 0,05 % до 0,28–0,30 %. Найменші значення притаманні чорноземам опідзоленим зв'язно-піщаним, найбільші — чорноземам типовим та звичайним середньогумусним важкого гранулометричного складу. Враховуючи, що останні ґрунти є найбільш поширеними на території громади, можна вважати її ґрунтовий покрив дуже доброго якісного стану за вмістом валового азоту як відображення потенціалу його родючості.

Таким чином, за даними років, що передували повномасштабному вторгненню, було створено карти основних показників ґрунтів Чкаловської ТГ, за якими вони мають переважно дуже добрий якісний стан.

Порівняльну оцінку змін агрохімічного стану ґрунтів в умовах впливу воєнних дій виконано на прикладі показника вмісту органічного вуглецю, що функціонально залежить від вмісту органічної речовини (гумусу) у ґрунтах. У чорноземах Чкаловської ТГ найменші значення властиві чорноземам опідзоленим зв'язно-піщаним і супіщаним — 0,6 %, найбільші — чорноземам типовим легко- та середньоглинистим — 3,3–3,5 % (рис. 3). Найбільш поширені чорноземи громади характеризуються вмістом органічного вуглецю на рівні 2,7–3,3 %. Це одні з кращих показників для ґрунтів Харківської області і взагалі зони Лісостепу, що свідчить про добрий якісний стан

чорноземів Чкаловської ТГ на етапі, що передував повномасштабному вторгненню.

Для побудови карти вмісту органічного вуглецю за впливу воєнних дій було відібрано та проаналізовано 165 ґрунтових зразків (рис. 3). Оскільки значна частина території громади й досі залишається небезпечною, то ґрунтові зразки відбирали виключно на розмінованих територіях із дозволом ДСНС. Основні місця відбору — сільськогосподарські угіддя, локації ураженої воєнної техніки, зрошувані землі тощо. Глибина відбору становить 25–30 см, що є глибиною орного шару ґрунту. Діапазон отриманих значень органічного ґрунтового вуглецю коливається від 1 до 5 %, що зумовлено диференціацією ґрунтового покриву. Важливо зазначити, що зафіксовано дві аномальні величини вмісту органічного вуглецю в ґрунті. Так, найвищий аномальний показник у 14,18 % зафіксовано на сході с. Базаліївка на місці враженого військового бензовозу. Також аномальний показник у 6,03 % виявлено у південно-східному напрямку від с. Нова Гнилиця у місці враження ворожої САУ. Ймовірно такий вплив на концентрацію органічної речовини має горіння палива.

У рамках екстенсивного відбору зразків змодельовано розподіл органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту станом на кінець 2023 р. Моделювання проведено методом обернених вагів із перемінним радіусом, ступенем 2 (що приводить до меншого впливу віддалених точок), радіусом пошуку точок 30 (кількість опорних точок) і максимальною

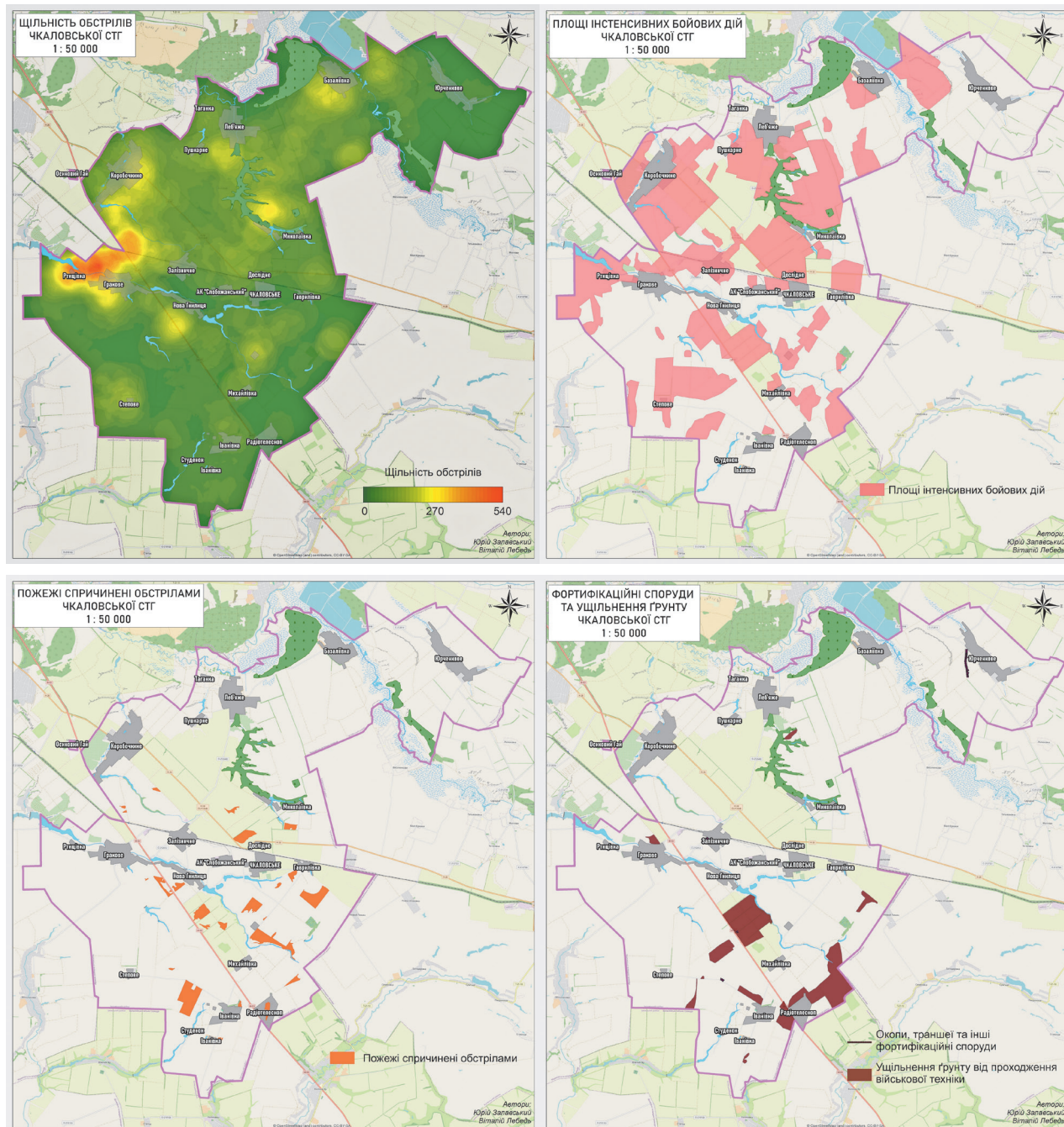


Рис. 4. Вплив бойових дій на ґрунтовий покрив Чкаловської територіальної громади

відстанню 0,5 (відстань обмеження пошуку до найближчих опорних точок).

Окремим завданням дослідження було картографування впливу бойових дій на ґрунтовий покрив громади через збройну агресію рф. У рамках цього завдання розроблено карту, яка показує ділянки із пошкодженням через воєнні дії ґрунтовим покривом. Дані для карти отримано за допомогою дистанційних методів дослідження, з використанням супутників Sentinel-2.

У результаті виявлено різні типи впливу бойових дій на чорноземі з урахуванням територіальних особливостей їх поширення. Контури

з ознаками мілітарної деградації діджиталізовано за допомогою програмних продуктів ГІС. Отримані шари даних у форматі ESRI шейп-файлів додавали до географічної основи Чкаловської ТГ. Загалом було додано чотири шейп-файли, з яких три площинні та один лінійний.

Райони інтенсивних обстрілів включають території з найбільшою кількістю вирв від розривів снарядів та значними пошкодженнями ґрунтового покриву. Всього виділено вісім основних районів, які покривають площу 12,29 тис. га. Отже, приблизно третина всієї території громади є зонами активних бойових дій. На основі даних [19] побуду-

довано карту інтенсивності обстрілів інструментами Spatial Analyst ArcGIS. Найбільша концентрація обстрілів спостерігається у західній частині громади біля с. Гракове, Ртищівка і Коробочкине, подекуди складає до 540 вирв/км², тобто в тих районах, що не були окупованими значний час. Також серед районів підвищеної інтенсивності обстрілів варто відзначити околиці с. Базаліївка, Миколаївка, Нова Гнилиця із концентрацією понад 200.

Пожежі, спричинені обстрілами, відображені у вигляді окремих ділянок. Всього ідентифіковано 25 таких ділянок загальною площею 0,73 тис. га, зосереджених переважно у південній та центральній частинах громади. Також було виділено території з найбільшою концентрацією слідів ущільнення ґрунтів від проходження військової техніки, всього сім ділянок. Вони переважно сконцентровані у південній частині громади і займають площу 1,39 тис. га. Лінійний шар містить дані про окопи та бліндажі — фортифікаційні споруди різних типів. На території громади їхня

кількість складає півтора десятка загальною довжиною 2,83 км, причому найбільша протяжність цих споруд спостерігається на півночі громади. У результаті проведених робіт із даними дистанційного зондування Землі, з використанням геоінформаційних технологій та комбінуванням шарів даних, створено другу, покращену, редакцію карти-версії впливу бойових дій на ґрунтовий покрив Чкаловської ТГ [17] (рис. 4).

Для зручності користування картографічними матеріалами та доступу до них було розроблено онлайн карту. Для цього вже створені полігональні, точкові та лінійні шари даних в форматі ESRI шейп-файлів або GeoJSON завантажено до платформи ArcGIS Online.

Як видно з представленої карти, практично вся територія громади постраждала від збройної агресії росії тією чи іншою мірою. Найбільше воєнної деградації зазнали найродючіші ґрунти громади — чорноземи типові важкосуглинкові та легкоглинисті.

Таблиця 1. Розрахунок площ ґрунтів під різними видами мілітарного впливу Чкаловської територіальної громади

Назва ґрунту	Площа, га
Під обстрілами	
Чорнозем типовий середньогумусний	4 277,7
слабоксероморфний у комплексі з еродованим	3 357,9
малогумусний	1 603,0
глибококарбонатний	729,8
звичайний середньогумусний	442,0
типовий середньогумусний глибококарбонатний	347,1
середньоксероморфний у комплексі з еродованим	318,3
звичайний середньогумусний глибококарбонатний	243,7
типовий сильноксероморфний у комплексі з еродованим та виходами лесових порід	168,3
вторинно солонцюватий	86,8
Солодь чорноземно-лучна	76,8
Лучний поверхнево-слабосолонцюватий солончаковий ґрунт	68,4
Чорнозем звичайний слабоксероморфний у комплексі з еродованим	54,7
Інші	118,0
Під пожежами	
Чорнозем типовий середньогумусний	386,1
слабоксероморфний у комплексі з еродованим	130,8
звичайний середньогумусний	110,7
слабоксероморфний у комплексі з еродованим	31,0
типовий малогумусний глибококарбонатний	14,4
звичайний середньогумусний глибококарбонатний	14,1
типовий малогумусний	8,4
Чорноземно-лучний осолоділий	6,8
Інші	6,6
Під ущільненням	
Чорнозем типовий середньогумусний	817,8
слабоксероморфний у комплексі з еродованим	246,0
середньогумусний глибококарбонатний	113,4
Солодь чорноземно-лучна	94,8
Чорнозем типовий середньоксероморфний у комплексі з еродованим	28,4
звичайний середньогумусний глибококарбонатний	27,0
середньогумусний	17,7
середньоксероморфний у комплексі з еродованим	11,9
Інші	31,7

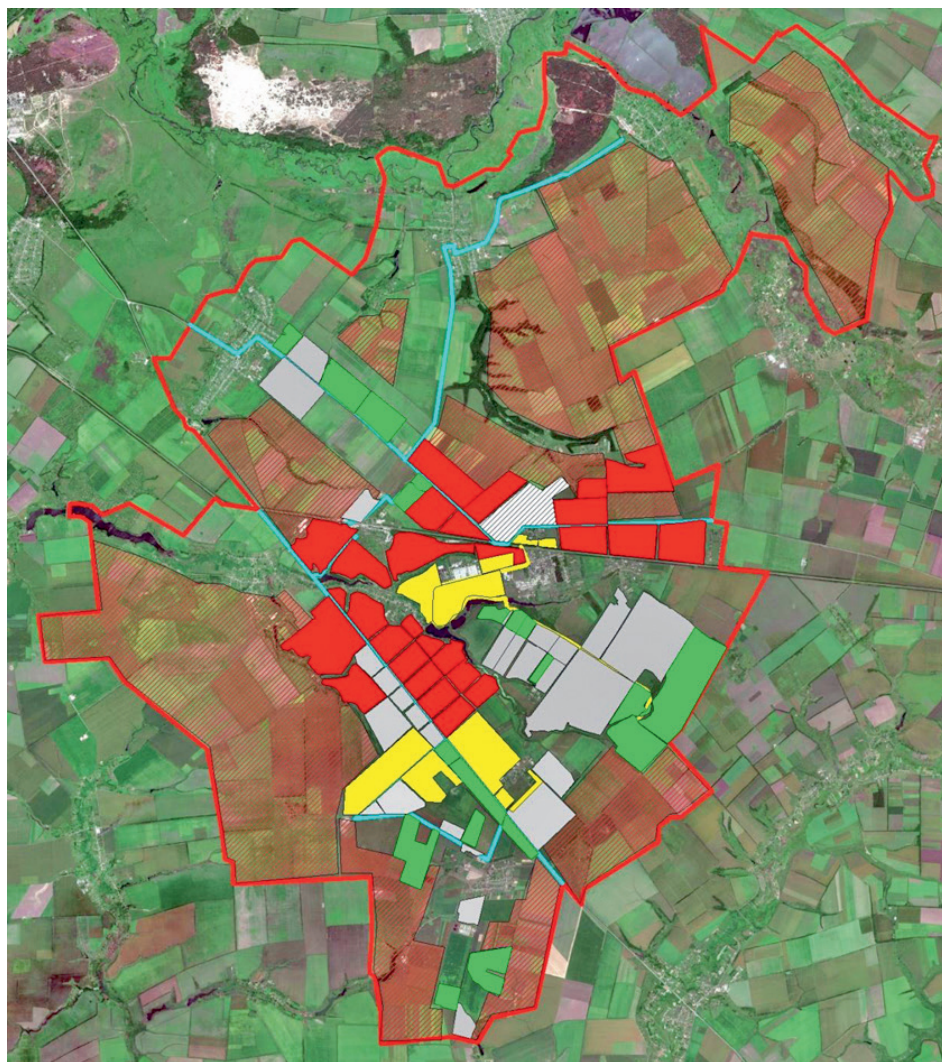


Рис. 5. Розміновані й заміновані території Чкаловської територіальної громади (станом на кінець листопада 2023 р.)

Детальний аналіз площі поширення кожного із видів пошкоджень за окремими таксонами ґрунтів показав, що під обстрілами найбільше знаходилися такі ґрунти як чорнозем типовий середньогумусний, чорнозем типовий слабксероморфний у комплексі з еродованим та чорнозем типовий малогу́мусний; під пожежами — чорнозем типовий середньогумусний, чорнозем типовий слабксероморфний у комплексі з еродованим та чорнозем звичайний середньогумусний; під ущільненням — чорнозем типовий середньогумусний, чорнозем типовий слабксероморфний у комплексі з еродованим та чорнозем типовий середньогумусний глибококарбонатний (табл. 1).

Розроблені картографічні матеріали використовувалися для планування мережі відбору ґрунтових проб на території Чкаловської ТГ, враховуючи розміновані території та доступність об'єктів дослідження. Перед виїздом для відбору проб було створено необхідні картосхеми, основою для яких слугували супутникові знімки та додаткові лінії

доріг з твердим покриттям (асфальтові та бетонні). Таким чином, створено картосхему (рис. 5) розташування замінованих територій Чкаловської громади (станом на кінець листопада 2023 р.), полів, де проводиться розмінування, та розмінованих ділянок, що обробляються із зазначенням структури посівних площ (жовті полігони — кукурудза; зелені — соняшник; сірий колір — рілля; червоний суцільний колір — заміновані поля в процесі розмінування; червона штриховка — замінована територія).

У подальшому віртуальну карту було перевірено на місцевості шляхом вибіркового ґрунтового обстеження з відбором ґрунтових проб за заздалегідь розробленою мережею точок дослідження. Аналіз результатів польового етапу показав, що цифрова карта досить точно відображає реальний стан ґрунтового покриття. Це дозволяє успішно застосовувати розроблені цифрові карти мілітарно деградованих ґрунтів на рівні територіальної громади. Зокрема, цей підхід є дуже ефективним та необхідним для громад, де переважають чорно-

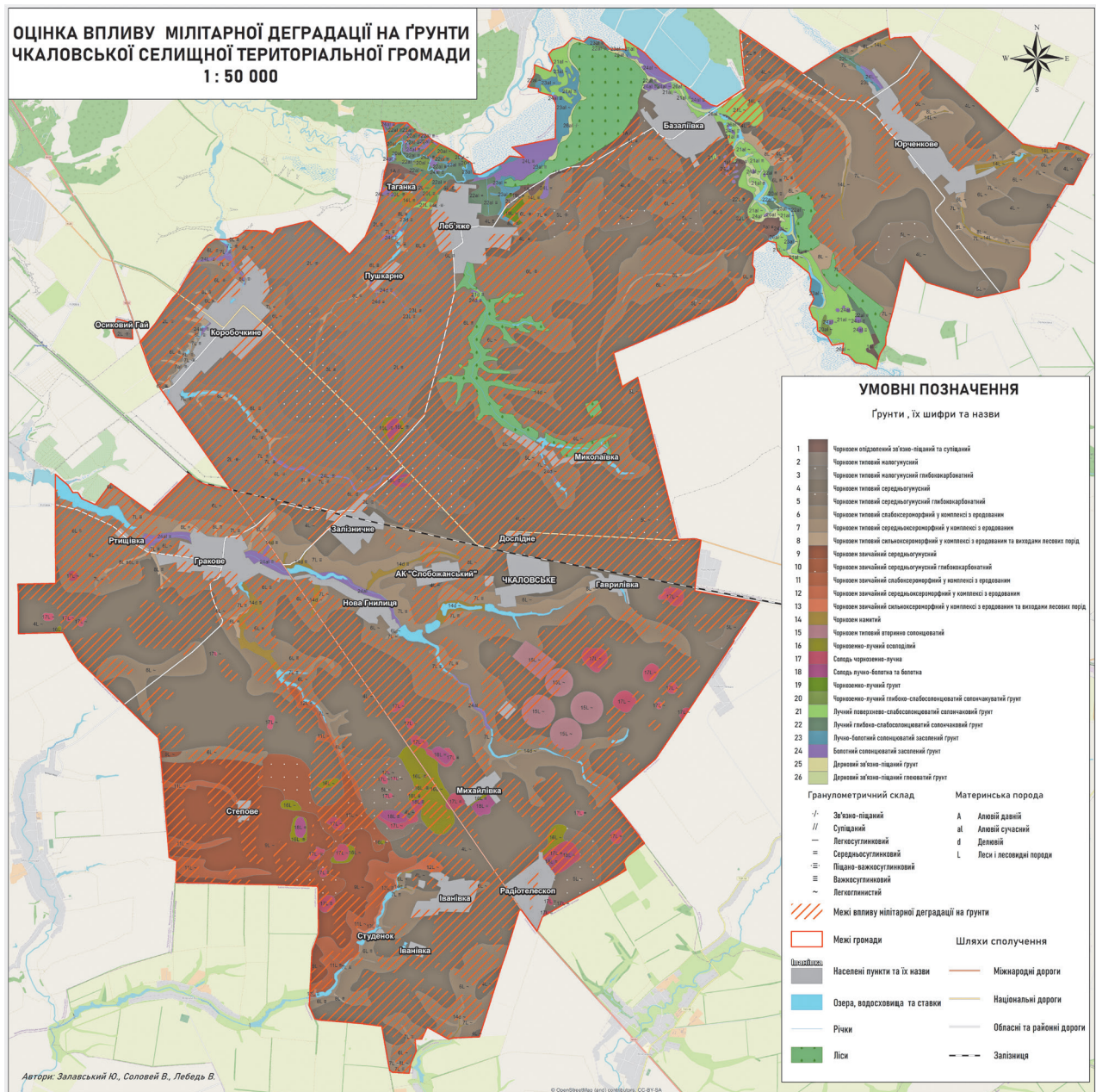


Рис. 6. Вплив мілітарної деградації на ґрунти Чкаловської територіальної громади

земи — цінний ґрунтовий ресурс України, який зазнав значних пошкоджень внаслідок бойових дій.

Отже, необхідність створення ґрунтово-картографічних матеріалів для відображення стану пошкоджених війною ґрунтів є очевидною. Однією з головних особливостей війни з росією є те, що пошкоджуються величезні масиви одних із найбільш родючих ґрунтів у світі, здебільшого чорноземів, що є безпрецедентним випадком в історії сучасних воєнних конфліктів. До цього часу досліджувався вплив війни на територію міст та інфраструктури, малопродуктивні ґрунти тропіків, пустельних територій тощо [5, 6, 8–10]. Тому проведена робота по картографуванню впливу бойових дій на ґрунти Чкаловської ТГ, де переважають

чорноземні ґрунти, є важливою як з наукової, так і з практичної точки зору. На основі синтезованих результатів створено карту впливу мілітарної деградації на ґрунти Чкаловської ТГ (рис. 6).

Для території окремих територіальних громад раніше були проведені дослідження проявів впливу бойових дій колективом Товариства дослідників України [18,19]. Робота була пов'язана з виявленням ознак мілітарного впливу на землях Оскільської і Чкаловської громад Харківської області. Як супутникові дані у наведених прикладах використовували знімки Махаг роздільною здатністю 31 см/піксель. Натомість, у цьому дослідженні на прикладі Чкаловської громади були задіяні знімки супутників Sentinel-2 з точністю зйомки

10 м/піксель. Але, не зважаючи на суттєву різницю у детальності використаних супутникових даних, простежується достатньо чітка відповідність в ідентифікації найбільш пошкоджених обстрілами земель на території спільного об'єкта досліджень — Чкаловської громади. Також слід зазначити, що в аналогічних дослідженнях досі не було представлено комплексу основних видів мілітарного впливу на ґрунтовий покрив, в основному це були наслідки від обстрілів із додаванням ділянок ущільнення від важкої військової техніки. У поточній роботі була додана інформація про поширення пожеж, спричинених обстрілами та фортифікаційні об'єкти, а також обрахована площа розповсюдження видів впливу бойових дій на ґрунти. У попередніх дослідженнях також була відсутня повна та детальна інформація про ґрунти, їх просторове поширення та властивості. Так, для територіальних громад раніше застосовували карти масштабу 1:200 000, тоді як у поточному дослідженні задіяні карти масштабу від 1:10 000 до 1:50 000. При цьому визначено площі різних таксонів ґрунтів громади під окремими видами мілітарної деградації.

Таким чином, у цій роботі вперше створено великомасштабні цифрові карти ґрунтів та їх

параметрів за даними років, що передували повномасштабному вторгненню, з нанесенням картографічного шару прояву мілітарної деградації ґрунтів та обчисленням площ впливу бойових дій. Створення віртуальної цифрової карти ґрунтового покриття територіальної громади шляхом поєднання даних років, що передували повномасштабному вторгненню, із сучасними дистанційними дає можливість об'єктивно оцінити масштаби і характер мілітарної деградації ґрунтів. Також розроблені авторами карти використано у формуванні мережі відбирання ґрунтових проб і маршрутних ходів згідно із ситуативною картосхемою розмінованих/замінованих територій. Це дозволило звести до мінімуму мінну небезпеку і з необхідною точністю оцінити реальний стан ґрунтів після бойових дій. Розуміння територіального розподілу ґрунтових ресурсів і пошкоджень сільськогосподарських угідь дає змогу оцінити збитки від війни, визначити доцільність використання ґрунтів у ріллі, планувати заходи відновлення їх родючості та розробити рекомендації щодо раціонального використання земельних ресурсів відповідно до особливостей генезису, гранулометрії та якісного стану ґрунтів.

Висновки

На основі методики цифрового картографування, архівних і власних експериментальних досліджень, проведених в роки, що передували повномасштабному вторгненню, установлено, що ґрунти Чкаловської ТГ переважно мали дуже добрий якісний стан. Уперше для цієї громади розроблено комплект карт, що відображають уміст гумусу, органічного вуглецю, рН, валового азоту та гранулометричний склад ґрунтів. Відповідно ґрунтовий покрив території громади має переважно чорноземний характер, із незначними деградаційними процесами, а ґрунти характеризуються дуже високою якістю й родючістю.

Оцінено вплив збройної агресії РФ на якісний стан чорноземів. Для цього нами було дано просторовий аналіз і здійснено узагальнення даних дистанційного зондування Землі. Результати дистанційного дослідження впливу воєнних дій на якість чорноземів в громаді дозволили визначити типи (механічні, біологічні) і види (авіаційні та артилерійські кратери, військові дороги, спалення рослинності, протитанкові рови, опорні пункти/траншеї) пошкоджень ґрунтового покриття та їхні масштаби (площі). Установлено, що най-

більші площі у Чкаловській громаді займають території інтенсивних обстрілів (12,29 тис. га), а також місця пожеж, спричинених обстрілами (0,73 тис. га) та ділянки ущільнення від проходження важкої військової техніки (1,39 тис. га). Також було визначено площі таксонів ґрунтів під кожним з видів мілітарної деградації та визначено найпошкодженіший ґрунт — чорнозем типовий середньогумусний.

Установлено, що приблизно третина площі території Чкаловської ТГ зазнала значних ушкоджень внаслідок ведення бойових дій, насамперед найродючіші чорноземні ґрунти. Укладені карти використано для вибіркового ґрунтового обстеження з відбиранням ґрунтових проб. Створені ґрунтово-картографічні матеріали відображають якісний стан ґрунтового покриття Чкаловської ТГ і поширення ареалів пошкоджень ґрунтів внаслідок ведення бойових дій та можуть бути основою для ухвалення ефективних управлінських рішень щодо повоєнного відновлення ґрунтів. Розвинуті методичні засади дослідження можуть бути використані для картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні територіальних громад.

Література [References]

1. Baliuk, S. A., Kucher, A. V., & Plisko I. V. (Ed.). (2024). Conceptual approaches to the restoration of soils damaged by the armed aggression : monograph. Kyiv: *Agrarna nauka*, 216 p. [In Ukrainian].
[Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії : моногр. За ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера, І. В. Пліско. К.: *Аграрна наука*, 2024. 216 с.] DOI: <https://doi.org/10.31073/978-966-540-604-4>
2. Solovey, V., Lebed, V., Zalavskiy, Yu. (2023). The influence of military operations on the soil cover of Ukraine. Soil Cover of Ukraine in the Conditions of Hostilities: State, Challenges, Activities for Soil Restoration: collection of abstracts of the International Scientific&Practical Conference (Kharkiv, December 5, 2023). Kharkiv: NSC ISSAR. P. 73–75. [In Ukrainian].
[Соловей В. Б., Лебедь В. В., Залавський Ю. В. Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив України. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 5 грудня 2023 р.). Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2023. С. 73–75.] URL: <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya>
3. State and tasks of scientific support for soil resource management at the stage of armed aggression and post-war reconstruction : monograph (2023). Eds.: S. A. Baliuk, A. V. Kucher. *Agrarna nauka*, Kyiv, Ukraine. 168 p. [In Ukrainian].
[Стан і завдання наукового забезпечення управління ґрунтовими ресурсами на етапі збройної агресії та післявоєнного відновлення : моногр. За ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера. К.: *Аграрна наука*, 2023. 168 с. DOI: <https://doi.org/10.31073/978-966-540-590-0>]
4. Zalavskiy, Yu. (2022). Soil mapping and GIS-analysis of the Kharkiv region in the military actions zone. The current state of the soil cover of Ukraine under conditions of the armed aggression of the russian federation: collection of abstracts of the International Scientific&Practical Conference, October 20, 2022. Kharkiv: NSC ISSAR. P. 63–66. [In Ukrainian].
[Залавський Ю. В. Картографування та ГІС-аналіз ґрунтових ресурсів Харківської області в зоні воєнних дій. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 20 жовтня 2022 р.). Харків: ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», 2022. С. 63–66.] URL: <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya>
5. Abdo, H. G., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., & Al-Mutiry, M. (2022). Quantifying the water soil erosion rate using RUSLE, GIS, and RS approach for Al-Qshish River Basin, Lattakia, Syria. *Geofizika*, 39 (2), 223–241. DOI: <https://doi.org/10.15233/gfz.2022.39.12>
6. Dawoud, O., Eljamassi, A., Abunada, Z. (2023). Mapping and quantification of soil erosion and sediment delivery in poorly developed urban areas: a case study. *Sustainability*, 15 (18), 13683. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813683>
7. Rodrigo-Comino, J., Fernández, J. P., Cerdà, A. (2023). Soil erosion triggered by the archeological excavation and conservation of trenches. The case of “Cerro De Las Trincheras” In Bailén (Jaén, Spain). An open discussion. *Geographical Research Letters*, 49 (2), 163–171. DOI: <https://doi.org/10.18172/cig.5746>
8. Deafalla, T. H., Csaplovics, E., El Abbas, M. M. & Deifalla, M. H. (2022). Spatial distribution and geosimulation of non-timber forest products for food security in conflict area. The Climate-Conflict-Displacement Nexus from a Human Security Perspective, pp. 225–250. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94144-4_11
9. Specht A. J., Lindsay, I. C., Wells, E. M., & Rubaii, K. (2024). Spatial Distribution of Heavy Metal Contamination in Soils of Fallujah, Iraq. Exposure and Health. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12403-024-00645-5>
10. Surucu, A., Ahmed, T. K., Gunal, E., & Budak, M. (2019). Spatial variability of some soil properties in an agricultural field of Halabja city of Sulaimania Governorate, Iraq. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (1), 193–206. URL: <https://www.researchgate.net/publication/330410861>
11. Fakhri, F., Gkanatsios, I. (2021). Integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for change detection: A case study in a war conflict area of Mosul city. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 22, 100505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100505>
12. Jordan-Ward, R., von Hippel, F. A., Schmidt, J. & Verhougstraete, M. P. (2024). Formerly used defense sites on Unalaska Island, Alaska: Mapping a legacy of environmental pollution. Integrated Environmental Assessment and Management. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.4902>
13. Maria, R. M., Yost, R. (2006). A survey of soil fertility status of four agroecological zones of Mozambique. *Soil Science*, 171(11), 902–914. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228058.38581.de>
14. Masters, P., Stichelbaut, B. (2009). From the air to beneath the soil—Revealing and mapping great war trenches at ploegsteert (Comines-Warneton), Belgium. *Archaeological Prospection*, 16(4), 279–285. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.357>
15. Note, N., Gheyle, W., den Berghe, H. V., Saey, T., Bourgeois, J., Van Eetvelde, V., Van Meirvenne, M. & Stichelbaut, B. (2018). A new evaluation approach of World War One's devastated front zone: A shell hole density map based on historical aerial photographs and validated by electromagnetic induction field measurements to link the metal shrapnel phenomenon. *Geoderma*, 310, 257–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.029>
16. Stichelbaut, B., Note, N., Bourgeois, J., Van Meirvenne, M., Van Eetvelde, V., Van den Berghe, H., & Gheyle, W. (2019). The archaeology of world war I tanks in the Ypres Salient (Belgium): A non-invasive approach. *Archaeological Prospection*, 26 (1), 47–56. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.1722>

17. Baliuk, S. A., Kucher, A. V., Solokha, M. O. & Solovei, V. B. (2024). Assessment of the impact of armed aggression of the rf on the soil cover of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. No. 1: 7–18. [Балюк С. А., Кучер А. В., Солоха М. О., Соловей В. Б. Оцінювання впливу збройної агресії рф на ґрунтовий покрив України. *Український географічний журнал*, № 1, 2024. С. 7–18.] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007>
18. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Shvaiko, V. & Bonchkovskiy, A. (2023). A comprehensive methodological approach to assessing war-induced soil disturbances in the Kharkiv region, Ukraine. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2023. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520068>
19. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., Shvaiko, V., Chekhniy, V., Strakovych, A., Lazarets, A., & Bonchkovska, N. (2023). Comprehensive assessment of agricultural land pollution: Chkalovska territorial hromada. Kyiv: *Ukrainian Researchers Society*, 2023. 14 p. [In Ukrainian]. [Бончковський О., Остапенко П., Бончковський А., Швайко В., Чехній В., Стракович А., Лазарець А., Бончковська Н. Комплексна оцінка забруднення сільськогосподарських угідь: Чкаловська територіальна громада. К.: Товариство дослідників України, 2023. 14 с.]
20. Dmytruk, Y., Cherlinka, V., Cherlinka, L. & Dent, D. (2023). Soils in war and peace. *International Journal of Environmental Studies*, 80(2), 380–393. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2152254>
21. Nasibov, A., Shebanina, O., Kormyshkin, I., Gamayunova, V. & Chernova, A. (2024). The impact of war on the fields of Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 159–168. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314889>
22. Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I. & Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment*, 837, 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>
23. Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., Inacio, M. & Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024

Для цитування [For citation]

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*, № 4, 2024. С. 22–35. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>

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*. No. 4: 22–35. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>