

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2\(44\)-484-498](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-484-498)

УДК 351.86

**Віталій Іванович Зацерковний<sup>1</sup>, Ігор Романович Ніколюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка ННІ «Інститут геології» (Київ, Україна)  
E-mail: [vitalii.zatserkovnyi@gmail.com](mailto:vitalii.zatserkovnyi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>. Scopus ID: [57200165109](https://scopus.com/authorid/57200165109)

<sup>2</sup>аспірант  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка ННІ «Інститут геології» (Київ, Україна)  
E-mail: [nikoliuk.igor@gmail.com](mailto:nikoliuk.igor@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0750-2603>. Researcher ID: [rid105343](https://orcid.org/rid105343)

### МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОШКОДЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ВІД ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ГІС ТА ДЗЗ

*Військові дії на території України призвели до масштабної механічної деградації ґрунтового покриву на сотнях тисяч гектарів родючих земель. Розглянуто застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для ідентифікації та оцінки площ сільськогосподарських угідь, забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП). Запропоновано підхід до інтеграції супутникових даних, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та методів математичного моделювання для створення карт ризику та визначення пріоритетності розмінування. Особливу увагу приділено використанню спектральних індексів, машинного навчання та геоінформаційних систем (ГІС).*

*Представлені підходи до розробки методики оцінки пошкоджень сільськогосподарських угідь, спричинених ВНП. Запропоновано комплексну систему оцінювання, яка враховує фізичні, хімічні та економічні наслідки забруднення земель. Обґрунтовано необхідність впровадження стандартизованих підходів для ефективного відновлення аграрного сектору.*

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі (ДЗЗ); вибухонебезпечними предметами (ВНП); сільськогосподарські угіддя; машинне навчання; геоінформаційні системи (ГІС); екологічні пошкодження.

*Рис.: 12. Бібл.: 17.*

**Актуальність теми дослідження.** Військові дії на території України призвели до масштабного забруднення сільськогосподарських земель вибухонебезпечними предметами (ВНП) та деградації ґрунтового покриву на сотнях тисяч гектарів родючих земель. Деградація супроводжується порушенням структури ґрунту, зміною його фізико-механічних властивостей та зниженням родючості. В умовах обмеженого доступу до небезпечних територій традиційні методи польових досліджень стають малоефективними або взагалі неможливими.

Для забезпечення безпечного та оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь в умовах триваючої війни на перший план виходять сучасні геоінформаційні технології (ГІТ) та методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які дозволяють фіксувати просторові аномалії та розраховувати площі зруйнованих ділянок без фізичної присутності на об'єкті, що свідчить про актуальність теми дослідження.

**Постановка проблеми.** В умовах військових дій, що тривають на території України, значні площі сільськогосподарських угідь зазнають механічних, фізичних та хімічних пошкоджень, які проявляються у вигляді порушення структури ґрунту, деградації рослинного покриву, зміни вологості та мікрорельєфу, а також потенційного забруднення ВНП, включно з вибуховими вирвами, уламками боєприпасів і продуктами детонації [14,15]. Наявність ВНП – мін, нерозірваних авіаційних і артилерійських боєприпасів, касетних елементів, гранат та інших залишків війни що не вибухнули або залишилися після бойових дій, унеможливує повноцінне використання угідь, призводить до деградації ґрунтового покриву, зниження врожайності та зростання соціально-економічних ризиків для сільських громад. Це створює довготривалу загрозу життю населення, функціонуванню аграрного сектору та екологічній безпеці держави [8].

Видалення ВНП супроводжується рядом перешкод, які ускладнюють процес їх виявлення, ідентифікації та знешкодження (природними умовами, глибоким заляганням або маскуванням ВНП у ґрунті, наявністю великої кількості металевих уламків і сторонніх предметів, які залишаються після бойових дій і призводять до хибного спрацьову-

вання, непередбачуваним станом ВНП, великими площами забруднених територій, недостатньою кількістю спеціалізованої техніки, необхідністю дотримання суворих вимог безпеки та значними витратами часу і ресурсів. Ще однією проблемою є втрата або відсутність картографічних матеріалів або інформації про типи використовуваних наземних мін або райони, де вони були встановлені.

У таких умовах особливої актуальності набуває впровадження сучасних геоінформаційних технологій та методів дистанційного зондування Землі, які дозволяють здійснювати оперативне, просторово безперервне та безконтактне отримання інформації про зміни земельних ресурсів без безпосереднього доступу до потенційно небезпечних територій, що особливо важливо в умовах воєнних дій та обмеженого доступу людей до контрольованих площ загрозу життю та здоров'ю дослідників, а також наявність мінно-вибухових ризиків.

**Мета дослідження:** просторовий аналіз земель пошкоджених ВНП, розробка підходів до ідентифікації та кількісної оцінки сільськогосподарських угідь, пошкоджених внаслідок військових дій з використанням вегетаційного індексу NDVI та проведення кількісної оцінки зруйнованих земель з використанням технологій ГІС.

**Об'єкт дослідження:** стан сільськогосподарських угідь, що зазнали механічного руйнування ВНП внаслідок ведення інтенсивних бойових дій.

**Предмет дослідження:** нормалізований диференційний вегетаційний індекс – NDVI в задачах ідентифікації механічних пошкоджень сільськогосподарських угідь від ВНП.

**Вихідні дані:** мультиспектральні супутникові знімки Sentinel-2A [10] та Planet Scope [16], знімки надвисокої розрізненості Google Earth Pro, програмне забезпечення QGIS, глобальний класифікатор земного покриття Land Cover, векторні дані OpenStreetMap.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема деградації ґрунтів унаслідок бойових дій та впливу ВНП є предметом активних досліджень як в Україні, так і за кордоном. Сучасні наукові підходи до оцінки таких змін охоплюють комплекс методів, що дозволяють вивчати фізичні, хімічні та біологічні трансформації ґрунтового покриття. Питання оцінки деградації та пошкодження ґрунтів ВНП розглядали ряд українських науковців, серед яких можна виділити праці Білого Т., Бончковського О., Дем'янюк О., Мазур С., Поляченко І., Симочко Л., Сплодитель А., Солохи М. та ряду інших. Серед зарубіжних науковців виділимо Giacomo Certini, Riccardo Scalenghe, William I. Woods Paulo Pereira, Damia Barceló, Tamás Stadler, Ágoston Temesi, Zoltán Lakner, David R. Montgomery, Joseph P. Hury, Thomas Koehler та інші.

У їхніх дослідженнях висвітлюються процеси механічного руйнування ґрунтового профілю, зміни фізико-хімічних властивостей, а також накопичення токсичних речовин, що негативно впливають на екологічний стан територій і їхню господарську придатність. Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених цій проблематиці, вона залишається недостатньо вивченою та потребує подальших комплексних і детальних досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** Сільське господарство є фундаментальною основою глобальної продовольчої безпеки у світі. Для України, яка має унікальний фонд найродючіших ґрунтів у Європі та історично була одним із ключових гарантів глобальної продовольчої стабільності, збереження сільськогосподарських угідь має надзвичайно важливе значення. Однак військові дії, які розгорнулися на території України призвели до масштабних руйнувань природного середовища, зокрема значних площ земель сільськогосподарського призначення.

Вплив інтенсивних бойових дій на сільськогосподарські угіддя має комплексний характер і призводить до кількох основних видів деградації ґрунтового покриття. Зокрема, виділяють механічний, фізичний та хімічний впливи [6].

ВНП становлять значну загрозу для життя і здоров'я населення, а також для об'єктів інфраструктури та навколишнього середовища. А їх чутливість до вибуху з часом або під впливом атмосферних чинників посилює небезпеку для людей [12].

На рис. 1. представлена динаміка жертв від ВНП в Україні 2013-2025 рр.

Механічний вплив на ґрунти проявляється насамперед через безпосереднє руйнування ґрунтового покриву та засмічення території. За даними дослідження ГО «Екодія», основними чинниками цього виду деградації є утворення вирв (бомботурбація), рух важкої військової техніки та масове розлітання осколків, що призводить до змін гранулометричних фракцій та руйнування верхнього родючого шару ґрунту. Цей шар, що формується століттями, є ключовим для сільського господарства та збереження екосистем.

Вибухи також викидають у ґрунт токсичні сполуки, включаючи вуглекислий газ, закис азоту, водяну пару, формальдегід, пари ціаніду та інші токсиканти. Ці речовини не тільки знижують якість ґрунту, але й можуть мігрувати у водні системи, загрожуючи здоров'ю людей і тварин, повільно отруюючи організми [9].

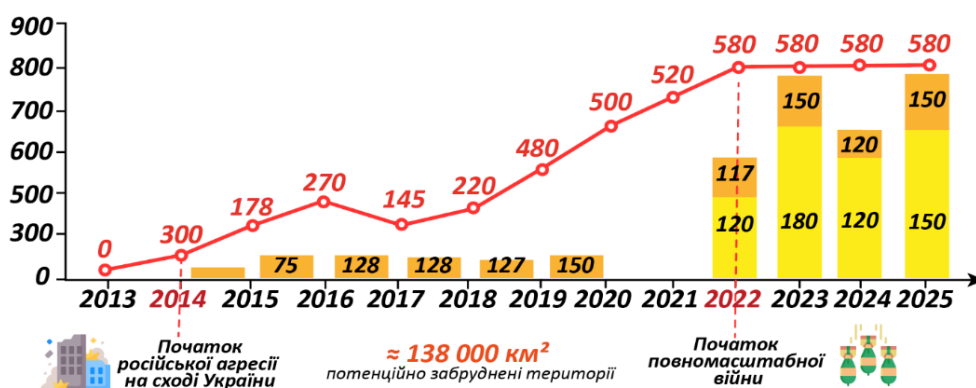


Рис. 1. Динаміка жертв від ВНП в Україні 2013-2025 рр.

Джерело: [13; 17; 4].

Хімічний вплив стосується токсичного забруднення ґрунтів небезпечними сполуками, що виділяються в результаті детонації. У районах ведення бойових дій спостерігається значне підвищення вмісту важких металів у ґрунтах – подекуди їх концентрації можуть перевищувати природний фон у десятки разів. Додаткову загрозу становлять численні уламки боєприпасів, які залишаються після вибухів. Зокрема, артилерійські снаряди калібру 120 мм утворюють приблизно 1600–2350 фрагментів, а калібру 152 мм — до 2700–3500 уламків масою від 1 грама і більше. Матеріалом для виготовлення оболонок таких боєприпасів зазвичай є чавун із додаванням сталі, до складу якого входять не лише залізо та вуглець, але й домішки сірки, міді та інших елементів. Після вибуху ці речовини потрапляють у ґрунт, де можуть поступово переміщуватися в нижчі горизонти, досягаючи ґрунтових вод [5].

У результаті розриву боєприпасів будь-якого калібру відбувається часткова хімічна реакція, що призводить до забруднення ґрунтів та атмосфери. Окрім відносно безпечних CO<sub>2</sub> та водяної пари, у процесі окиснення 1 кг вибухівки в повітря потрапляє кілька десятків куб. м токсичних газів: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO. Урешті, з атмосфери оксиди сірки та нітрогену повернуться в ґрунт через кислотні дощі, які змінюють рН ґрунту та викликають опіки рослин. Виходить, ґрунт стає кінцевою ланкою хімічного ураження боєприпасами [3].

Забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами відбувається внаслідок руху та пошкоджень сухопутної військової техніки. Фахівці констатують, що у ґрунтах, просочених паливно-мастильними матеріалами, знижується водопроникність, витісняється кисень, порушуються біохімічні та мікробіологічні процеси. Внаслідок цього погіршується водний, повітряний режими та колообіг поживних речовин, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їхній ріст і розвиток, що спричиняє загибель [5].

Твердий нафтовий парафін досить важко руйнується й окислюється на повітрі. Він надовго може заблокувати всі пори ґрунтового покриву, позбавивши ґрунт можливості вільного вологообміну і дихання. Це, передусім, призводить до повної деградації біоценозу. Шкідливий екологічний вплив смолисто-альфальтенових компонентів на ґрунтові екосистеми полягає не в хімічній токсичності, а в значній зміні водно-фізичних властивостей ґрунтів. Якщо нафта просочується згори, її смолисто-асфальтенові компоненти сорбуються переважно у верхньому, гумусовому горизонті, іноді міцно цементуючи його. При цьому зменшується поровий простір ґрунтів [1].

Фізичний вплив військових дій полягає у глибокій зміні структурних властивостей ґрунтового покриву, що проявляється насамперед через вібраційне та теплове навантаження. Потужні енергетичні імпульси від детонації боєприпасів і постійні вібрації від руху важкої техніки спричиняють критичне ущільнення ґрунту, витискання вологи, утворення порожнин та деформацію мікрорельєфу. Водночас інтенсивний тепловий вплив від порохових і вихлопних газів руйнує гранулометричний та агрегатний склад землі, порушуючи її термічний і водний режими. Це призводить до кисневого голодування ґрунтових мікроорганізмів та різкого зниження біорізноманіття [6].

Таким чином, військові дії завдають катастрофічної шкоди сільськогосподарським угіддям. Через вибухові кратери, ущільнення ґрунту важкою технікою та сильне хімічне забруднення родючі поля перетворюються на небезпечні пустки. Вирощувати на них безпечну продукцію стає просто неможливим. У майбутньому це неминуче призведе до величезних фінансових втрат: щоб відновити ці землі, знадобляться десятиліття розмінування та рекультивації ґрунту, що призведе до колосальних економічних збитків.

**Розробка методики використання МДЗ для виявлення пошкоджень на сільськогосподарських угіддях.**

В умовах воєнного стану та масового замінування територій традиційні польові дослідження ґрунтів стають вкрай небезпечними, дороговартісними, а подекуди – фізично неможливими. Тому для проведення ідентифікації та моніторингу пошкоджених земель активно використовуються методи дистанційного зондування Землі. Застосування мультиспектральних знімків дозволяє фіксувати механічні руйнування ґрунтового-рослинного покриву забезпечуючи геометричну локалізацію уражених ділянок для подальшого розрахунку площ та економічних збитків.

Для виявлення пошкоджених полів фахівцями широко застосовується нормалізований диференційний вегетаційний індекс – NDVI. Він базується на здатності здорової рослинності інтенсивно поглинати червоне світло для фотосинтезу та сильно відбивати ближнє інфрачервоне випромінювання і розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (1)$$

де NIR – ближнє інфрачервоне світло; Red – видиме червоне світло.

Фізичний зміст використання NDVI для пошуку артилерійських вирв та траншей полягає в тому, що вибух миттєво знищує зелену біомасу, викидаючи на поверхню оголений мінеральний ґрунт. Це призводить до різкого локального падіння значень індексу в епіцентрі вибуху порівняно зі здоровим посівом навколо, що дозволяє математично відділити пошкоджені ділянки від цілілого поля.

Прикладом ефективного застосування цього індексу є дослідження вітчизняних фахівців щодо геопросторового аналізу пошкоджень від війни на території сільськогосподарських угідь Запорізької області. Дослідники застосували комплексний підхід: на рівні кожного окремого поля обчислювалася відносна різниця індексу NDVI (dNDVI) за найкоротший проміжок часу до та після ймовірного пошкодження. В результаті вдалося виявити різноманітні ураження угідь: вирви від артилерійських вибухів, сліди руху військової техніки, вигорілі ділянки та масштабні фортифікаційні споруди [2].

У межах дослідження було використано мультиспектральні знімки середньої розрізненості Sentinel 2A (10 м) та високої розрізненості Planet Scope (3 м) [16], які вже пройшли атмосферну та геометричну корекції. Використання знімків такої розрізненості дає можливість виявляти території з концентраціями воронк від розривів снарядів, окремі сліди авіаційних ударів, зони ущільнення ґрунтового покриву внаслідок пересування військової техніки, а також масштабні фортифікаційні споруди (рис. 2).

Також, при завантаженні знімків важливо вибирати період з середини весни до середини осені для захоплення рослинності на різних стадіях росту. Протягом цього часу рослинність служить чітким індикатором механічного впливу на ґрунт, дозволяючи простежити такий вплив крізь нерівномірний рослинний покрив.

Як приклад використання запропонованої методики були використані землі сільськогосподарського призначення на території Бучанського району Київської області, які стали місцем найінтенсивніших фаз бойових дій на початку повномасштабного вторгнення, що спричинило масштабні артилерійські обстріли як населених пунктів, так і сільськогосподарських угідь.



а) б)  
 Рис. 2. Вирви від вибухів на території Бучанського району:  
 а) на RGB знімку Sentinel 2A;  
 б) на RGB знімку Planet Labs

Джерело: розроблено авторами.

Внаслідок бойових дій фіксувалися руйнування інфраструктури, а також деградація ґрунтового покриву, зокрема через утворення воронк від снарядів, механічне порушення структури ґрунту та його ущільнення військовою технікою.

Територія дослідження представлена на рис. 3.

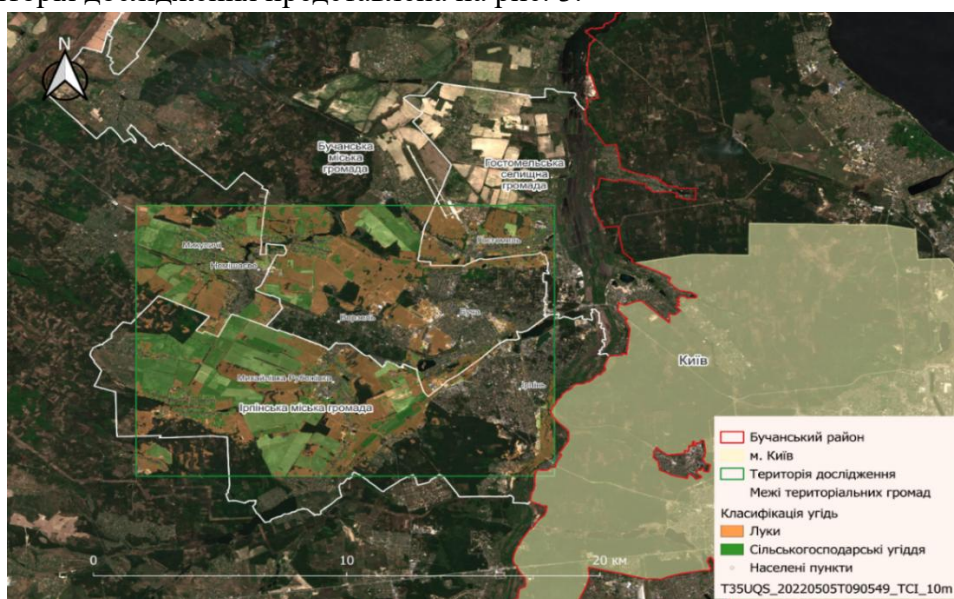


Рис. 3. Територія дослідження

Джерело: розроблено авторами.

Для цього дослідження було використано 8-ми каналні супутникові знімки Planet Score [16]. При цьому здійснювався суворий відбір знімків, у результаті якого завантажено безхмарні знімки, а ідентичні календарні дати: 11.05.2021 року (довоєнний період) та 11.05.2022 року (стан після деокупації регіону).

Для цього дослідження було використано метод визначення часових змін шляхом обчислення різниці нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (dNDVI) між двома роками:

$$dNDVI = NDVI(2021) - NDVI(2022). \quad (2)$$

Суть цього підходу полягає у математичному порівнянні стану ґрунтово-рослинного покриву на тій самій території до початку бойових дій та після їх завершення.

Безпосередня процедура геоінформаційного аналізу в програмному середовищі QGIS складалася з кількох послідовних етапів підготовки та обробки просторових даних.

Спершу здійснено інтеграцію завантажених знімків до проекту ГІС. З використанням інструмента «Калькулятор растрів» (Raster Calculator) для обох часових зрізів (2021 та 2022 років) було розраховано NDVI.

Оскільки об'єктом даного дослідження є виключно сільськогосподарські угіддя, виникла необхідність просторово ізолювати цільові території від інших класів земель. Для вирішення цієї проблеми було завантажено та інтегровано актуальний растровий класифікатор земного покриву Land Cover (рис. 4).

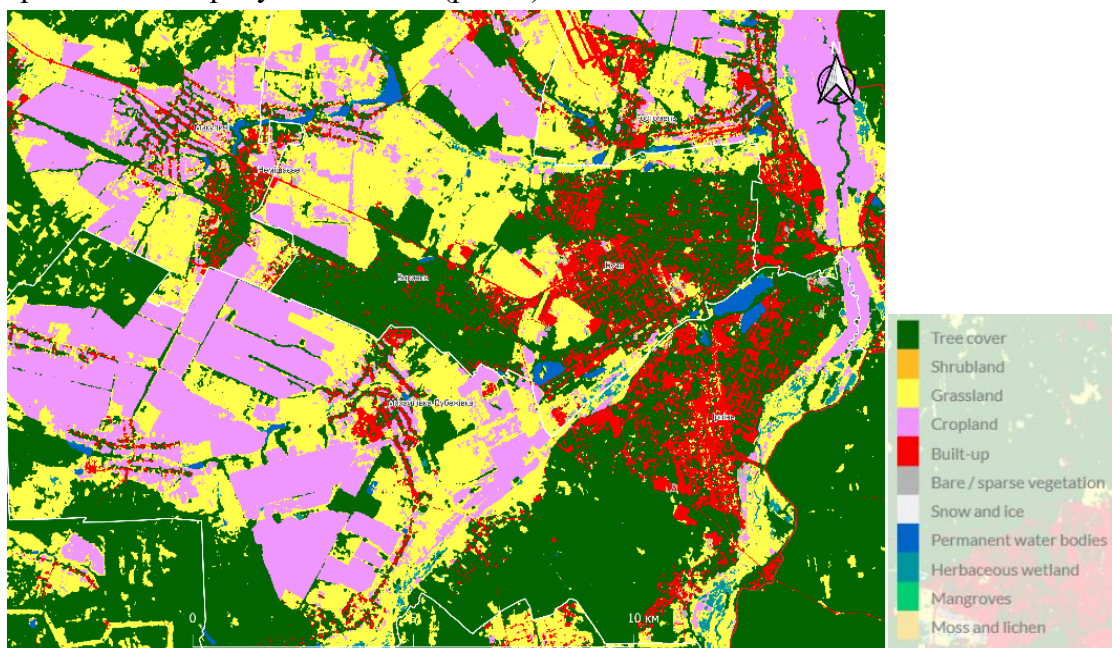


Рис. 4. Класифікація земельних угідь на території Бучанського району [11]  
(за даними ESA, 2026)

За допомогою інструментів перекласифікації та фільтрації з усього масиву даних було виокремлено та залишено лише класи трав'янистої рослинності та орних земель. Це дозволило створити базову маску сільськогосподарських угідь.

Також, використовуючи векторні об'єкти з OpenStreetMap, було вилучено також території, які попадають під населені пункти для того, щоб також не допустити риллю на території присадибних ділянок.

В результаті було отримано значення NDVI виключно на території сільськогосподарських угіддях (рис. 5).

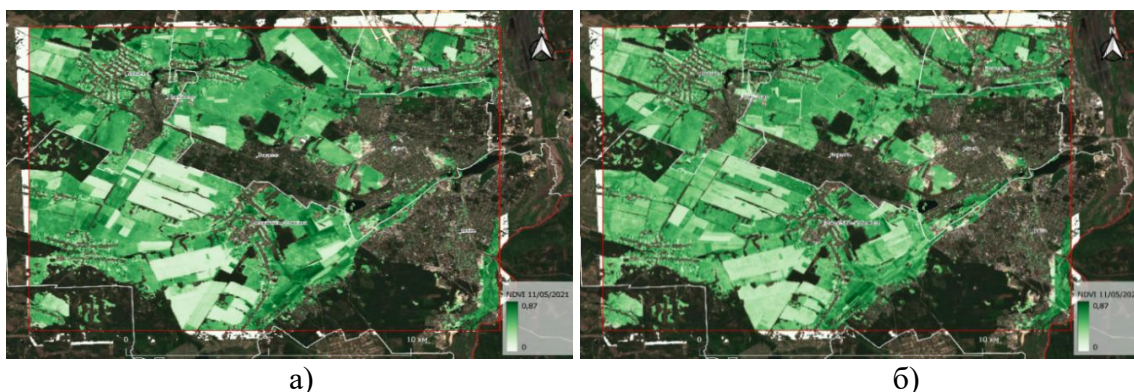


Рис. 5. Розрахований індекс NDVI для території дослідження станом на: а) 11 травня 2021 року; б) 11 травня 2022 року

Джерело: розроблено авторами

Також для ідентифікації додатково використовувались знімки надвисокої розрізності з Google Earth Pro, де можна детальніше переглянути пошкоджені землі (рис. 6). На основі візуального дешифрування було зафіксовано, що для вирв характерні значення NDVI біля від 0,2 до 0,45.



Рис. 6. Територія біля аеропорту «Антонов»:

а – на моделі NDVI станом на 11.05.2021; б – на моделі NDVI станом на 11.05.2022;  
в – на знімку Google Earth станом на 04.2022

Джерело: розроблено авторами.

Використовуючи формулу (1) було розраховано різницю  $dNDVI$  між 2021 та 2022 роками. Визначено, що значення різниці індексу, які становлять 0,1 і більше, з високою ймовірністю відповідають осередкам повного або часткового знищення рослинності внаслідок бойових дій.

Для автоматизації процесу виділення цих зон в інструменті «Калькулятор растрів» було проведено бінарну класифікацію отриманого растра dNDVI. За допомогою логічного виразу ( $dNDVI \geq 0,1$ ) масив даних було розділено на два класи: пікселям із показником падіння вегетації менше ніж 0,1 було присвоєно значення «0» (неушкоджена територія або природний фон), тоді як пікселі зі значенням 0,1 та вище отримали значення «1» (зона пошкодження, вирва). Отриманий растровий шар було перетворено в векторний з використанням відповідних інструментів.

Отриманий первинний векторний шар потребував додаткового експертного коригування. Хоча поріг відсікання  $\geq 0,1$  дозволив виділити основний масив пошкоджень, до результатів класифікації потрапила певна кількість хибних просторових аномалій. З рис. 3.5 бачимо, що під такі ж значення, що і пошкоджені снарядами ділянки потрапили суцільні поля. Головною причиною цього стали агротехнічні зміни на полях, зокрема потрапляння до маски ділянок із відкритим (голим) ґрунтом. Якщо у базовому 2021 році поле перебувало на стадії активної вегетації, а у 2022 році було зоране (рис. 7).

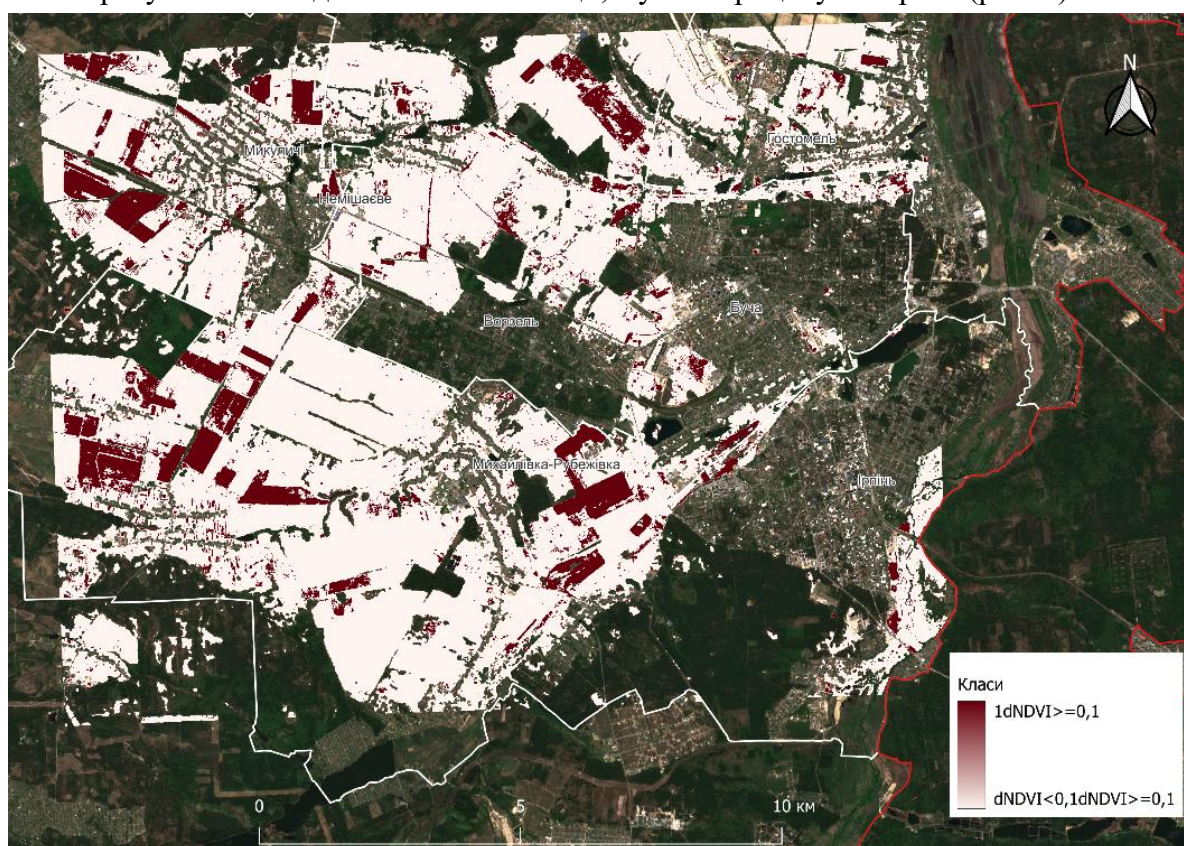


Рис. 7. Результат класифікації dNDVI

Джерело: розроблено авторами.

Отже, надалі отриманого векторного об'єкта було вилучено клас «0», тобто неушкоджених земель та вручну вилучені об'єкти, які за математичними показниками потрапили в зону пошкодження ( $dNDVI \geq 0,1$ ), але фактично не були пов'язані з військовими діями, використовуючи при цьому для порівняння знімки надвисокої розрізненості. До таких хибних об'єктів можна віднести залишки вологих низин та природні нерівномірності сходів культур.

У кінці було отримано векторний шар, який складається з 5540 об'єктів, які позначають певні пошкодження, укріплення або сліди проїзду важкої техніки, загальною площею 709412,63 км<sup>2</sup> або 70,9412 га (рис. 8).

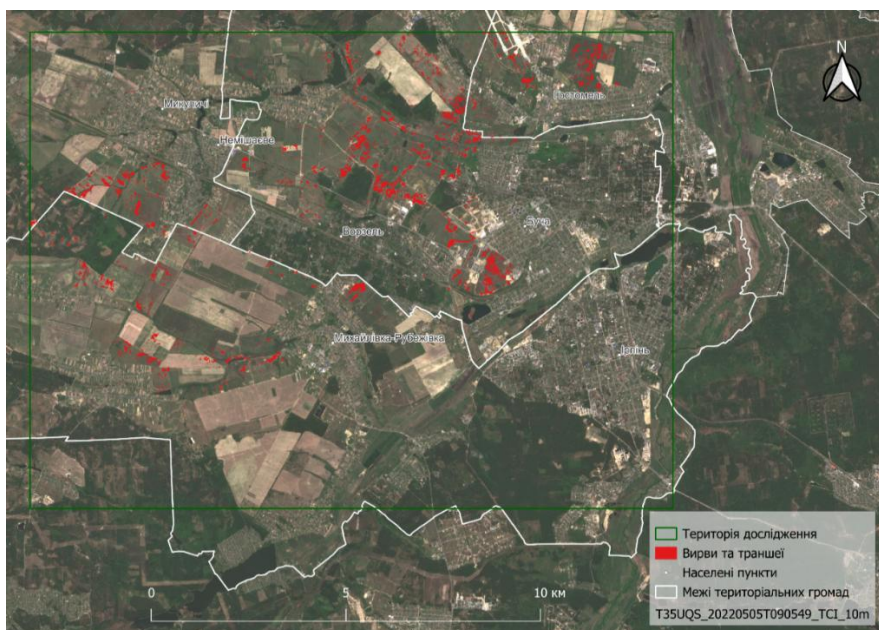


Рис. 8. Пошкоджені сільськогосподарські угіддя внаслідок артилерійських обстрілів, будівництва укріплень та проїзду важкої техніки

Джерело: розроблено авторами.

Попри отримані кількісні результати та просторову візуалізацію пошкоджень, використаний метод не можна впевнено назвати абсолютно дієвим. Одним із «підводних каменів» є фактор сівозміни. Якщо у 2021 році на ділянці фіксувалася активна вегетація (наприклад, посіви озимих культур), а у 2022 році це ж поле перебувало у стані відкритої зораної ріллі, вегетаційний індекс закономірно демонструє різке падіння. Програмний алгоритм хибно ідентифікує таку різницю між вегетацією та голим ґрунтом як зону масованого механічного ураження, оскільки математичний показник dNDVI долає встановлений поріг ( $\geq 0,1$ ).

Другим об'єктом застосування методики стала територія Дегачівської міської територіальної громади Харківської області (рис. 9).

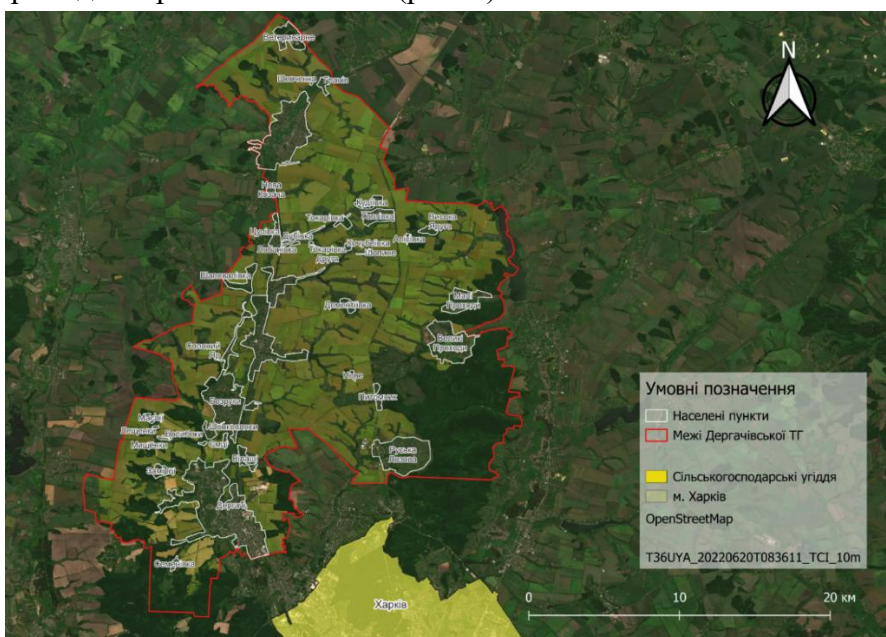


Рис. 9. Дегачівська міська територіальна громада Харківської області

Джерело: розроблено авторами.

Дергачівська міська громада Харківської області, як прикордонна зона з перших днів повномасштабного вторгнення зазнала інтенсивних артилерійських обстрілів із застосуванням ствольної артилерії, реактивних систем залпового вогню та мінометів. Унаслідок таких обстрілів значних пошкоджень зазнали не лише житлові території, але й агроландшафти. Зокрема, біля с. Безруки 2 вересня 2022 року фіксувалися численні пожежі сухої рослинності на площах понад 1 га, що є типовим наслідком артилерійських ударів по відкритих територіях, включаючи поля та пасовища [7].

Для дослідження було використано мультиспектральний знімок Sentinel 2A за 20 червня 2022 року та 25 червня 2020 року. У 2021 році в червні всі знімки характеризуються високим значенням хмарності, тому за альтернативу обрано підходящий знімок 2020 року. Далі проведений аналогічний алгоритм пункту 3.1 з визначення різниці значень NDVI за 2020 та 2022 роки за формулою (2).

Візуально переглядаючи результати, можна чітко помітити світлі плями на тлі сільськогосподарських полів із густою рослинністю. Порівняння з супутниковими знімками Google Earth підтверджує, що ці ділянки відповідають воронкам (рис. 10).



Рис. 10. Порівняння території, що зазнала інтенсивних обстрілів:  
а – на моделі NDVI станом на 25.06.2020; б – на моделі NDVI станом на 20.06.2022;  
в – на знімку Google Earth станом на 06.2022

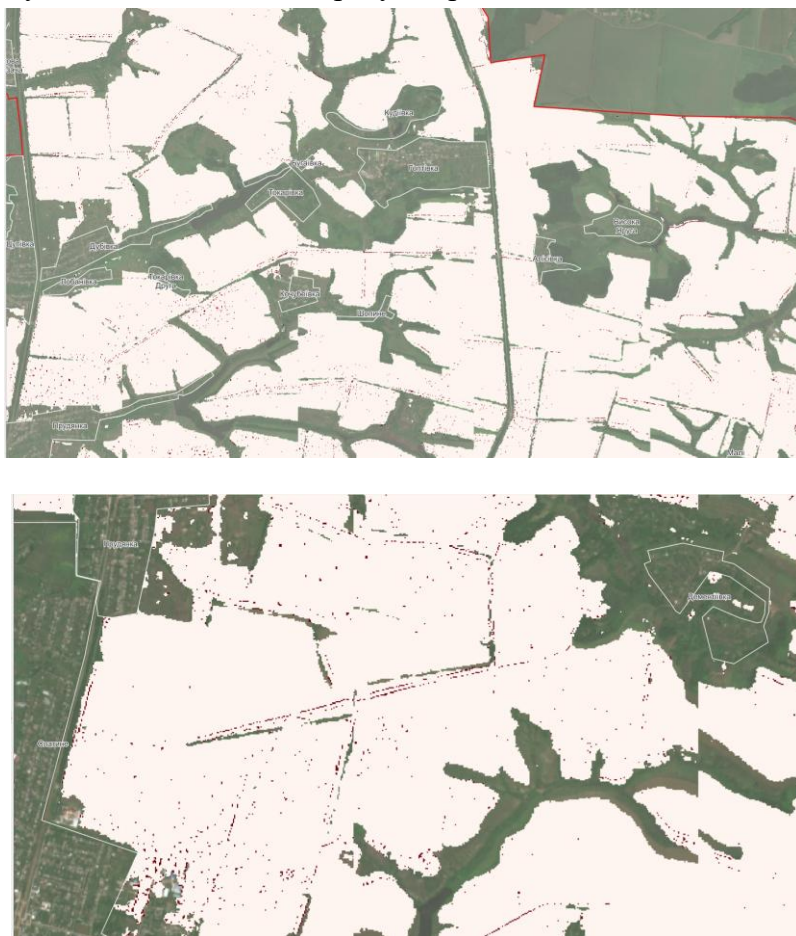
Джерело: розроблено авторами.

Емпіричним шляхом було встановлено, що показники NDVI в епіцентрах ідентифікованих вирв коливаються в межах від 0,15 до 0,40. При цьому розрахована різниця індексів (dNDVI) між 2020 та 2022 роками для цих же уражених ділянок продемонструвала надзвичайно широкий діапазон значень: від 0,01 до 0,40. Такий великий розкид математичних показників робить метод порогового відсікання вкрай ненадійним. Зниження порогу dNDVI до мінімальної межі з метою захоплення всіх фактичних вирв неминуче призводить до масового включення в результати хибних об'єктів.

З метою усунення цих недоліків для Дергачівської громади було застосовано інший метод – просторова фільтрація локальних аномалій на основі одного актуального знімка (за 20 червня 2022 року). Суть цього підходу полягає у пошуку різких просторових перепадів значень вегетації (артефактів) у межах одного поля шляхом порівняння кожного пікселя з його безпосереднім оточенням. Це виконується із застосуванням Simple filter плагіну SAGA в QGIS з метод фільтрації Mean (середнє), який усереднює пікселі й робить знімок "мільним". Після цього для виявлення локальних аномалій в «Калькуляторі растра» було знайдено різницю між отриманим шойно згладженим растром та розрахованим раніше NDVI за 2022 рік.

З отриманого на виході растра встановлено, що значення на рівні 0,05 і вище з високою достовірністю відповідає реальним осередкам влучань снарядів. Відповідно до цього критерію, за допомогою логічного виразу отриманий растр аномалій було розділено на два класи: пікселям із різницею менше ніж 0,05 було присвоєно значення «0» (неушкоджена фонові територія), тоді як пікселі з різницею 0,05 та більше отримали значення «1» (зона пошкодження).

Візуальне порівняння отриманого бінарного растра зі знімками надвисокого розрізнення показало, скупчення пікселів, що потрапляють у зону «1» з високою точністю збігаються з розташуванням артилерійських вирв у межах сільськогосподарських полів. Однак також до пошкоджених потрапила велика кількість лісосмуг. Це пояснюється тим, що на межі відкритого поля та густої деревної рослинності виникає різкий природний перепад спектральних характеристик (рис. 11). Проте велика кількість лісосмуг у зоні бойових дій використовувалася як природні лінії укриття і дійсно зазнала суттєвих артилерійських руйнувань, ця тематика потребує окремих досліджень.



*Рис. 11. Результат використання методу знаходження локальних аномалій*  
Джерело: розроблено авторами.

Для вирішення цієї проблем бінарний растр було векторизовано і проведено ретельне ручне коригування: вектори, які накладалися на лісосмуги були вилучені. В результаті у фінальному наборі даних залишилися контури, які з великою ймовірністю належать механічним руйнуванням ґрунту на території сільськогосподарських угідь (рис. 12).

У результаті відкоригований шар містить 4961 векторний об'єкт, що ідентифікуються, як механічні пошкодження від артобстрілів із загальною площею 720950,6 м<sup>2</sup> або 72,0951 га.

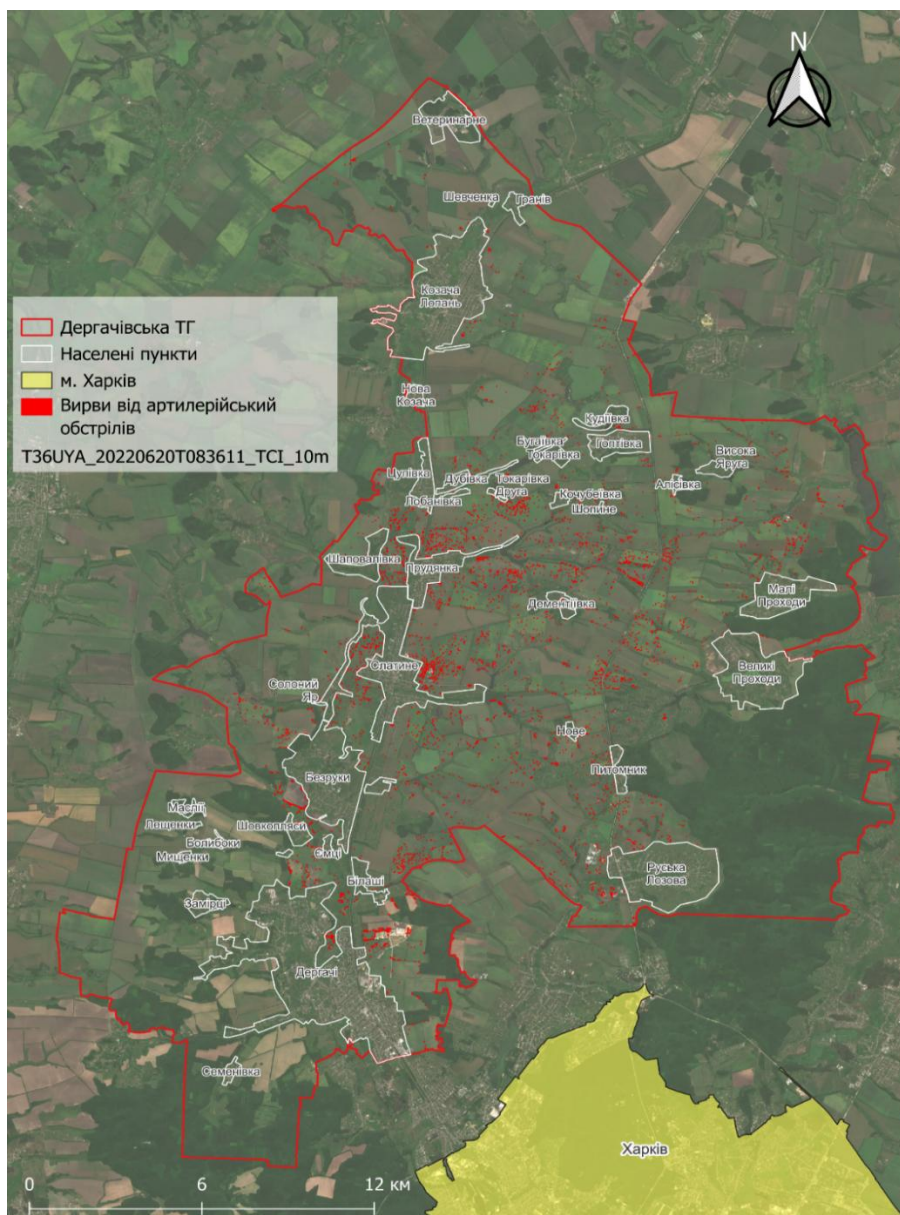


Рис. 12. Пошкоджені сільськогосподарські угіддя внаслідок артилерійських обстрілів Дергачівської громади

Джерело: розроблено авторами.

Підсумовуючи результати, можна стверджувати, що метод просторової фільтрації локальних аномалій на основі одного актуального знімка є вискоєфективним та достовірним у задачах оцінки пошкоджень сільськогосподарських угідь. Цей метод виявився більш точним та менш трудомістким в порівнянні з методом визначення часових змін.

**Висновки.** Виконано комплекс геоінформаційних робіт з оцінки механічного пошкодження сільськогосподарських угідь внаслідок військових дій.

Проведено ідентифікація пошкоджених земель на території Бучанського району методом визначення часових змін (dNDVI). Обчисливши різниці індексу вегетації за 2021 та 2022 роки було ідентифіковано масив цих земель. За порогового значення dNDVI 0,1 виділено 5540 векторних об'єктів пошкоджень. Проте, виникла проблема в чутливості цього методу до фактору сівомін. До порогового значення окрім уражених зон також потрапляють зорані землі, що в результаті вимагає додаткового ретельного експертного коригування.

Визначено пошкоджені угіддя на території Дергачівської громади з використанням методу просторової фільтрації локальних аномалій на основі одного знімка за 2022 рік. Алгоритм пошуку різких просторових перепадів із порогом відсікання від 0,05 дозволив автоматично ізолювати осередки влучань снарядів. При цьому виникла проблема захоплення лісосмуг через різкий перепад спектральних характеристик на межах полів, що було успішно усунуто шляхом ручного коригування.

В результаті дослідження встановлено, що в межах території інтересу в Бучанському районі станом на травень 2022 року площа уражень становила 70,9412 га, а в межах Дергачівської громади — 72,0951 га. Порівняльний аналіз довів, що метод просторової фільтрації локальних аномалій є більш точним, достовірним та менш трудомістким інструментом моніторингу сільськогосподарських земель порівняно з методом часових змін.

Проведені дослідження підтверджують працездатність запропонованої методики оцінки пошкоджень сільськогосподарських угідь від ВНП.

#### Список використаних джерел

1. Ангурець, О., Хазан, П., Колесникова, К., Куш, М., Чернохова, М., & Гавранек, М. (2022). *Наслідки для довкілля війни росії проти України*. Режим доступу: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf>.
2. Барабаш, І. О., Пархомчук, О. М., & Шелестов, А. Ю. (2023). Геопросторовий аналіз пошкоджень від війни в Україні. *Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених*, 352–356.
3. Василюк, О., & Колодежна, В. (2022). *Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій?* <https://uncg.org.ua/iakoju-maie-but-y-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij>.
4. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. (2024). *Офіційний сайт*. <https://dsns.gov.ua>.
5. Експерти БТУ-Центр. (2024). *Війна в Україні знищує ґрунти — як врятувати мертві землі*. <https://superagronom.com/blog/925-viy-na-v-ukrayini-znischuye-grunti-yak-vryatuvati-mertvi-zemli>.
6. Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., & Сорокіна, Л. (2023). *Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу*. Центр екологічних ініціатив «Екодія». <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary1.pdf>.
7. Укрінформ (2022). *На Харківщині через обстріли рф горіли чотири будинки та сім господарчих споруд*. <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3564040-na-harkivsini-cerez-obstrili-rf-gorili-cotiri-budinki-ta-sim-gospodarcih-sporud.html>.
8. Bolshanina, S., Krupska, A., Szewczuk-Karpisz, K., & Yanovska, G. (2026). Alteration of physicochemical soil properties induced by military explosions. *Environmental Protection*, 11(1).
9. Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnyi, Y., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, 27(7), 107–117. <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-27-7-2024/identifikatsiya-ta-monitoring-zabrudnenikh-silskogospodarskikh-zemel-vnaslidok-boyovikh-diy>.
10. Copernicus (2026). *Copernicus Browser*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>.
11. ESA (2026). *Worldwide land cover mapping*. <https://esa-worldcover.org/en>.
12. Kasban, H., et al. (2010). A comparative study of landmine detection techniques. *International Journal of Computer Applications*, 8(4), 1–8.
13. Landmine Monitor (2024). *Landmine monitor report 2024*. <https://www.the-monitor.org>.

14. Ma, Y., Lyu, D., Sun, K., Li, S., Zhu, B., Zhao, R., Zheng, M., & Song, K. (2022). Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*, 11(10), 1810. <https://doi.org/10.3390/land11101810>.
15. Mironov, I. V., et al. (2025). *Ekolohichni naslidky viiskovykh dii dlia zemelnogo fondu Ukrainy*. In *Materialy XV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Naukova vesna»* (pp. 113–115).
16. Planet Labs (2026). *Planet Explorer*. <https://www.planet.com/explorer/>.
17. United Nations Mine Action Service (2023). *International mine action standards (IMAS 08.10; IMAS 08.20)*.

### References

1. Anhurets, O., Khazan, P., Kolesnykova, K., Kushch, M., Chernokhova, M., & Havranek, M. (2022). *Naslidky dlia dovkillia viiny rosii proty Ukrainy [Environmental consequences of Russia's war against Ukraine]*. <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf>.
2. Barabash, I. O., Parkhomchuk, O. M., & Shelestov, A. Y. (2023). Heoprostorovyi analiz poshkodzhen vid viiny v Ukraini [Geospatial analysis of war damage in Ukraine]. In *Proceedings of the All-Ukrainian scientific conference* (pp. 352–356).
3. Vasyliuk, O., & Kolodezhna, V. (2022). *Yakoiu maie buty dolia poshkodzhenykh vybukhamy ukrainskykh terytorii? [What should be the future of Ukrainian territories damaged by explosions?]*. <https://uncg.org.ua/iakoiu-maie-buty-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij>.
4. State Emergency Service of Ukraine. (2024). *Official website*. <https://dsns.gov.ua>.
5. Eksperty BTU-Tsentr. (2024). *Viina v Ukraini znyshchuie grunty — yak vriatuvaty mertvi zemli [War in Ukraine destroys soils — how to restore dead lands]*. <https://superagronom.com/blog/925-viyana-v-ukrayini-znischuye-grunty--yak-vryatuvati-mertvi-zemli>.
6. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu [Impact of Russia's war against Ukraine on Ukrainian soils. Analysis results]*. <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary1.pdf>.
7. Ukrinform. (2022). *In Kharkiv region, four houses and seven outbuildings burned due to Russian shelling*. <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3564040-na-harkivsini-cerez-obstrili-rf-gorili-cotiri-budinki-ta-sim-gospodarcih-sporud.html>
8. Bolshanina, S., Krupska, A., Szewczuk-Karpisz, K., & Yanovska, G. (2026). Alteration of physicochemical properties induced by military explosions. *Environmental Protection*, 11(1).
9. Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnii, Y., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, 27(7), 107–117. <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-27-7-2024/identifikatsiya-ta-monitoring-zabrudnenikh-silskogospodarskikh-zemel-vnaslidok-boyovykh-diy>.
10. Copernicus. (2026). *Copernicus Browser*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.
11. ESA. (2026). *Worldwide land cover mapping*. Retrieved from <https://esa-worldcover.org/en>
12. Kasban, H., et al. (2010). A comparative study of landmine detection techniques. *International Journal of Computer Applications*, 8(4), 1–8.
13. Landmine Monitor. (2024). *Landmine monitor report 2024*. <https://www.the-monitor.org>.
14. Ma, Y., Lyu, D., Sun, K., et al. (2022). Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/land11101810>
15. Mironov, I. V., et al. (2025). Environmental consequences of military actions for the land fund of Ukraine. In *Proceedings of the XV International scientific conference “Scientific Spring 2025”* (pp. 113–115).
16. Planet Labs. (2026). *Planet Explorer*. Retrieved from <https://www.planet.com/explorer/>
17. United Nations Mine Action Service. (2023). *International mine action standards (IMAS 08.10; IMAS 08.20)*.

Дата першого надходження статті до видання: 19.02.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.03.2026

**Vitalii Zatserkovnyi<sup>1</sup>, Igor Nikoliuk<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Geoinformatics

Taras Shevchenko National University of Kyiv, SRI "Institute of Geology" (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [vitalii.zatserkovnyi@gmail.com](mailto:vitalii.zatserkovnyi@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>. **Scopus ID:** 57200165109<sup>2</sup>PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, SRI "Institute of Geology" (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [nikoliuk.igor@gmail.com](mailto:nikoliuk.igor@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-0750-2603>. **Researcher ID:** rid105343**METHODOLOGY FOR ASSESSING DAMAGE TO AGRICULTURAL LAND  
CAUSED BY EXPLOSIVE HAZARDS  
USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES**

*This paper addresses the problem of assessing damage to agricultural lands caused by explosive hazards because of military actions in Ukraine. It is shown that under conditions of limited access to hazardous areas, traditional field survey methods become ineffective, which necessitates the use of modern geoinformation technologies and Earth remote sensing data.*

*The aim of the study is to develop approaches for the identification and quantitative assessment of damaged agricultural lands using the NDVI vegetation index and GIS tools. The study is based on multispectral satellite imagery from Sentinel-2 and PlanetScope, as well as spatial data processing using QGIS software.*

*Two approaches to damage detection are proposed, namely: the analysis of temporal changes in the vegetation index (dNDVI) and the method of spatial filtering of local anomalies. These approaches were tested on the territories of the Bucha district of Kyiv region and the Dergachi community of Kharkiv region. It was found that the dNDVI method allows effective identification of damaged areas but is sensitive to agrotechnical changes. At the same time, the spatial filtering of local anomalies provides more accurate detection of impact sites and requires less time for data processing.*

*The results of the study made it possible to determine the areas of damaged lands, which exceed 70 hectares for each study area. The results obtained confirm the effectiveness of using GIS and remote sensing technologies for operational land monitoring and can be applied in planning demining activities and restoring agricultural production.*

**Keywords:** remote sensing (RS); explosive hazards (EH); agricultural land; machine learning; geographic information systems (GIS); environmental damage.

*Fig.: 12. References: 17.*