

ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ТА РОЗВИТКУ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ ВЕЛИКОПИСАРІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Бережняк Є.М., Богданець В.А., Бровко Д.Ю.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

beregnyakem@nubip.edu.ua, v_bogdanets@nubip.edu.ua, brovko.d@nubip.edu.ua

Прикордонні райони Сумської області, зокрема територіальна громада Великої Писарівки, зазнають безпрецедентних механічних та екологічних порушень ґрунтового покриву через посилення бойових дій та постійні обстріли. Це дослідження зосереджено на оцінці ступеня деградації ґрунту та прискореного розвитку ерозійних процесів внаслідок військових дій.

Методологія дослідження інтегрує геоінформаційні системи з відкритим кодом (QGIS) з багаточасовими супутниковими знімками Sentinel-2 (рівень 2A) та Planet Labs Super Dove (рівень 3B). Ці джерела даних, із високою роздільною здатністю, дозволили візуально виявити й кількісно оцінити порушення ґрунту в сільськогосподарських і природних ландшафтах. За інтенсивністю обстрілів пік вибухів припав на березень 2024 року, коли було зареєстровано 2653 випадки у досліджуваній зоні. Зазначається, що методами дистанційного моніторингу важко ідентифікувати кратери від мінометів (діаметром близько 1 м), які суттєво порушують цілісність ландшафтів. За аналізом часових рядів задокументовано різке прискорення ерозії ярів, що пов'язано із військовим впливом по причині залишення сільськогосподарських угідь. Встановлено, що на одній репрезентативній ділянці лінійний прояв яру розширився із 300 до 800 м, що становить збільшення довжини на 166%, протягом одного періоду спостереження. Це зростання пояснюється комбінованим впливом знищення рослинності та механічного руйнування верхнього шару ґрунту вибухами. Результати досліджень підкреслюють нагальну потребу в постійному дистанційному моніторингу для оцінки втрати родючих земель та планування майбутніх стратегій рекультивації пошкоджених війною агроландшафтів. *Ключові слова:* бойові дії, вибухи, порушення цілісності ландшафту, ерозія ґрунту, супутникові знімки Sentinel-2, Planet Labs Super Dove, QGIS.

Detection of disturbances of the soil cover and soil erosion development of the Velyka Pysarivka territorial community of Sumy region as a result of military actions. Berezhniak Ye., Bogdanets V., Brovko D.

The border regions of the Sumy region, particularly the Velyka Pysarivka territorial community, are experiencing unprecedented mechanical and ecological disturbances to the soil cover due to intensified hostilities and constant shelling. This study focuses on assessing the extent of soil degradation and the accelerated development of erosion processes resulting from military actions. The research methodology integrates open-source geoinformation systems (QGIS) with multitemporal satellite imagery from Sentinel-2 (Level-2A) and Planet Labs Super Dove (Level-3B) sensors. These high-resolution data sources enabled the visual detection and quantification of soil disturbances across agricultural and natural landscapes. Analysis of shelling intensity revealed a critical peak in March 2024, with 2,653 recorded explosion cases within the study area. The research highlights a specific challenge in remote monitoring, noting that while mortar-induced craters (approx. 1 m diameter) are difficult to identify via satellite, they cause widespread superficial damage to the soil structure. Meanwhile, time-series analysis documented a dramatic acceleration in gully erosion directly linked to military impacts due to agricultural land abandonment. In one representative site, the linear manifestation of a gully expanded from 300 meters to 800 meters, representing a 166% increase in length within a single observation period. This growth is attributed to the combined effect of vegetation destruction and the mechanical shattering of the soil's top layer by explosions. The findings underscore the urgent need for continuous remote monitoring to estimate the loss of fertile land and plan future reclamation strategies for war-damaged agricultural landscapes. *Key words:* hostilities, explosions, disturbance of landscape integrity, soil erosion, Sentinel-2 satellite images, Planet Labs Super Dove, QGIS.

Актуальність дослідження.

Повномасштабне вторгнення рф в Україну триває вже понад 4 роки. За цей період у багатьох регіонах України було завдано значної шкоди природним ресурсам, зокрема у Сумській області. Зокрема,

прикордонні регіони України дедалі більше зазнають інтенсивного впливу через військові дії, відбуваються значні порушення агро- і природних ландшафтів, деградації ґрунтових ресурсів. У Сумській області безперервні обстріли, вибухи і розгортання



важкої військової техніки порушують цілісність ґрунтового покриву, прискорюють процеси ерозії, знижують продуктивність та екологічну стабільність сільськогосподарських угідь. Такі трансформації не лише загрожують місцевим екосистемам, але й створюють довгострокові виклики для відновлення земель, сталого сільського господарства та регіональної екологічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив війни на ґрунт та інші природні ресурси вивчали багато вчених. Зокрема, М. Ismayilov та ін. [1] досліджували вплив військових конфліктів на трансформацію ландшафтів на прикладі Агдамського району Азербайджану. Їхнє дослідження продемонструвало, що збройні дії значно змінили форми рельєфу та порушили природні ландшафтні структури, що підкреслило війну як головну рушійну силу довгострокових змін навколишнього середовища. Broomandi et al [2] представили критичний огляд забруднення ґрунту в районах, що постраждали від військової діяльності. Автори стверджують, що війна сприяла серйозному забрудненню ґрунту важкими металами, залишками вибухових речовин та іншими токсичними сполуками, що створює загрозу для повноцінного розвитку екосистем та безпеки людей. Незважаючи на важливий синтез шляхів забруднення, дослідження залишалося значною мірою теоретичним і не розглядало практичну ідентифікацію та просторове картографування порушень ґрунту, спричинених війною, а саме у реальних бойових умовах, особливо в прикордонних регіонах, де тривають бойові дії.

Фактично, те, що зараз відбувається в регіоні, можна охарактеризувати як екоцид, тобто цілеспрямоване знищення природних ресурсів, масове руйнування екосистем, що зрештою призводить до незворотних довгострокових наслідків для всього живого [3]. В огляді роботи [4] показано, що масштабні обстріли в Сумській області у 2024 році завдали шкоди не лише домовласникам та місцевій інфраструктурі, а й спричинили порушення на сільськогосподарських угіддях. Тому розуміння та оцінка масштабів порушень ґрунту, спричинених війною, стало важливим науковим і практичним завданням для забезпечення ефективного постконфліктного відновлення та відповідального планування землекористування.

У статті А. Гончарової та ін. [5] наведено ґрунтовний аналіз новітніх досліджень та публікацій науковців, представлених у базі даних Web of Science (WoS), які стосуються впливу військових операцій на стан ґрунтів та сільськогосподарських угідь. Автори вказують, що кількість наукових робіт у цій галузі відносно невелика, порівняно з іншими галузями екологічних та сільськогосподарських досліджень. Так, починаючи із 2022 року кількість статей зростає, причиною цього є російсько-українська війна, де багато українських вчених почали досліджувати

вплив війни на природні ресурси, особливо на ґрунтовий покрив і вивчати відповідні порушення ґрунту. Також військові дії призвели до значної деградації ґрунтів, порушення агроєкосистем та втрати продуктивності сільськогосподарських угідь.

За даними Сумської державної адміністрації [6], впродовж воєнних років в області посівні площі скоротилися із 1,21 млн га до 1,025 млн га, тобто на 15%, головним чином за рахунок обмежень території прикордонних громад. Наприклад, у 2021 році загальний збір зернових та зернобобових культур склав 4 260,8 тис. т., а у 2024 році – лише 3 178,8 тис. т. [7]. Тому ця проблема є актуальною, особливо з точки зору реалізації планів щодо продовольчої безпеки держави [8, 9].

В. Пересадько та ін. [10] пропонують, враховуючи сучасну ситуацію в Україні, використовувати термін «військові ландшафти», маючи на увазі ландшафти, які безпосередньо постраждали від військових дій: мінування, обстрілів, бомбардувань, тощо. Автори наголошують, що наразі немає сучасних карт військових ландшафтів, як для кожної окремої території України. У цьому випадку автори дистанційно вивчали картографічні матеріали, взяті з відкритих джерел, за якими можна визначити території, що потребують ландшафтного відновлення.

У статті Y. Ma, et al. [11] наведено ретроспективний аналіз покинутих сільськогосподарських угідь у довоєнний період та впродовж війни. У цьому випадку також були проаналізовані дані супутникового дистанційного зондування. Так, у західній Херсонській та центральній частині Луганська, де вже тривалий час відбуваються військові дії, були виявлені гарячі точки покинутих війною орних угідь. Сумська область не є винятком.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на те, що загальний вплив військових дій на довкілля постійно документується, бракує кількісних даних щодо процесів розвитку яружної ерозії, спричиненої високоінтенсивними обстрілами в прикордонних районах. Таким чином, розвиток процесів деградації ґрунту в умовах активних військових дій потребує подальшого вивчення. Звідси слідує, що тема різноманітних порушень ґрунтового покриву є актуальною, сучасною та потребує висвітлення у наукових публікаціях, що ми й зробили у статті.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному використанні мультиспектральних даних Sentinel-2 та знімків Planet Labs Super Dove у поєднанні із статистичними даними та задокументованими пошкодженнями ґрунтів, що дозволяє виявляти порушення ґрунтів, які раніше були невластивими для стандартного екологічного моніторингу.

Метою дослідження було виявлення порушень ґрунтового покриву та розвитку яружної ерозії у Великописарівській територіальній громаді

Сумської області внаслідок бойових дій на основі звітних матеріалів Сумського обласного військового управління та шляхом аналізу різночасових космічних знімків.

Методологічне та наукове значення. У роботі використовувалися дані дистанційного зондування з відкритих джерел, зокрема з *Copernicus Hub*, включаючи матеріали космічного апарату *Sentinel-2* та Супутникові знімки *Super Dove* (© Planet Labs PBC) [12], які дозволили нам оцінити видимі порушення ґрунтового покриву на прикладі територіальної громади Велика Писарівка, яка належить до прикордонних регіонів і постійно зазнає впливу бойових дій. Вибір громади цілком очевидний, оскільки вона є однією з найбільш постраждалих [13]. Конкретні зображення були відібрані з урахуванням хмарності та пори року (місяця) – липня і серпня. Аналіз враховував п'ятирічний період знімків, із 2021 до 2025 років. У статті також представлені дані, взяті з архівів Сумської обласної військової адміністрації (ОВА) щодо динаміки вибухів від різних типів вогнепальної зброї в досліджуваній громаді.

Відзначаємо, що як основні дані дистанційного зондування використано продукт *Sentinel-2* (Level-2A). *Super Dove* – це супутники останнього покоління сузір'я PlanetScore. *Super Dove* (PSB.SD) має значну перевагу, оскільки ці супутники мають 8 спектральних каналів, що значно розширює можливості аналізу, порівняно зі старими поколіннями *Dove* (4 канали). На відміну від стандартних сис-

тем RGB-NIR, *Super Dove* має канали, сумісні із спектральними діапазонами *Sentinel-2*, що дозволяє проводити перехресне калібрування. Просторова роздільна здатність (GSD): ~3,7–4,1 м (на висоті 475 км), але продукт постачається з передискретизацією до 3,0 м. Радіометрична роздільна здатність: 16 біт. Використовувався продукт рівня 3B (Analytic Surface Reflectance). Використання каналів PSB SD Red Edge та NIR дозволило точно ідентифікувати межі пошкоджених ділянок, які є осередками ініціювання ерозійних процесів. Для обробки геопросторових даних використовувалося програмне забезпечення QGIS v3.44. Для видобування контурів було використано офіційні адміністративні кордони у вигляді векторного файлу.

З міркувань безпеки досить складно потрапити в реальні польові умови з безпосереднім виїздом на поля та провести відповідні польові дослідження. Тому для виявлення видимих порушень ґрунтового покриву в регіоні було використано різночасові супутникові знімки (2021–2025), які знаходяться у відкритому доступі, з подальшим їх аналізом у програмному забезпеченні QGIS. Серед низки прикордонних регіонів Сумської області наше дослідження зосереджено на Великописарівській територіальній громаді, площа досліджуваної території в межах контуру, позначеного на карті, становить 491,93 км² (рис. 1).

Загальний вигляд досліджуваної території, яка була використана для визначення виявлених порушень ґрунтового покриву, показано на рисунку 2.

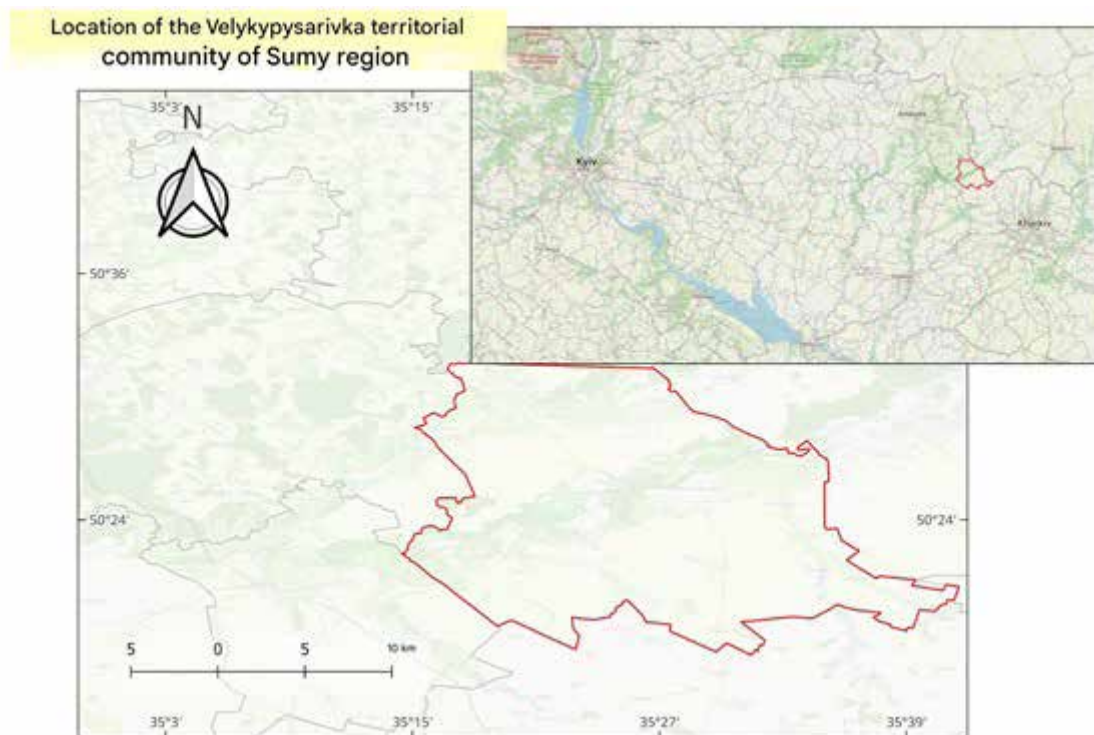


Рис. 1. Карта досліджуваної території Великописарівської громади Сумської області



Рис. 2. Супутниковий знімок території Великописарівської територіальної громади станом на 29 липня 2025 року.

Джерело : Візуальна комбінація смуг зображення Sentinel-2, отримана з сервісу ESA Copernicus

Статистичну інформацію про загальну кількість таких інцидентів у Великописарівській громаді отримано з офіційної сторінки Сумської обласної військової адміністрації. У межах досліджуваної громади, як зазначено на їхньому веб-сайті [13] розташовані такі населені пункти: село Велика Писарівка з населенням 5399 осіб, село Ямне з населенням 1640 осіб, село Добрянське з населенням 1039 осіб, село Попівка з населенням 1082 особи та інші з населенням менше 1000 осіб. Загальна чисельність населення громади становить 16072 особи. Адміністративний центр громади – село Велика Писарівка, яке розташоване на лівому березі річки Ворскла та знаходиться за 90 км від обласного центру міста Суми. У межах Великописарівської громади розташований Національний природний заповідник «Гетьманський».

Виклад основного матеріалу. З початку повномасштабного вторгнення в Україну прикордонні регіони дедалі більше зазнають інтенсивних військових операцій, які спричинили глибокі порушення природних ландшафтів та призвели до суттєвої деградації ґрунтових ресурсів. Агроландшафти щодня зазнають масованих артилерійських обстрілів, які руйнують поверхню ґрунту, утворюючи мережу воронок, приклад однієї з яких наведено нижче (рис. 3).

Американський інститут вивчення війни (ISW) [14] надає карту Сумської області, яка ілюструє просування російських військових та частково окуповану прикордонну територію станом на 29 травня 2025 року (рис. 4).

Після аналізу літературних джерел [15; 16] виявлено, що значний вплив на ґрунтовий покрив від-



Рис. 3. Вирви, що утворилися внаслідок вибухів снарядів у селі Шалигине, Сумська область, 11 червня 2022 року
Джерело: фото Сумської РДА

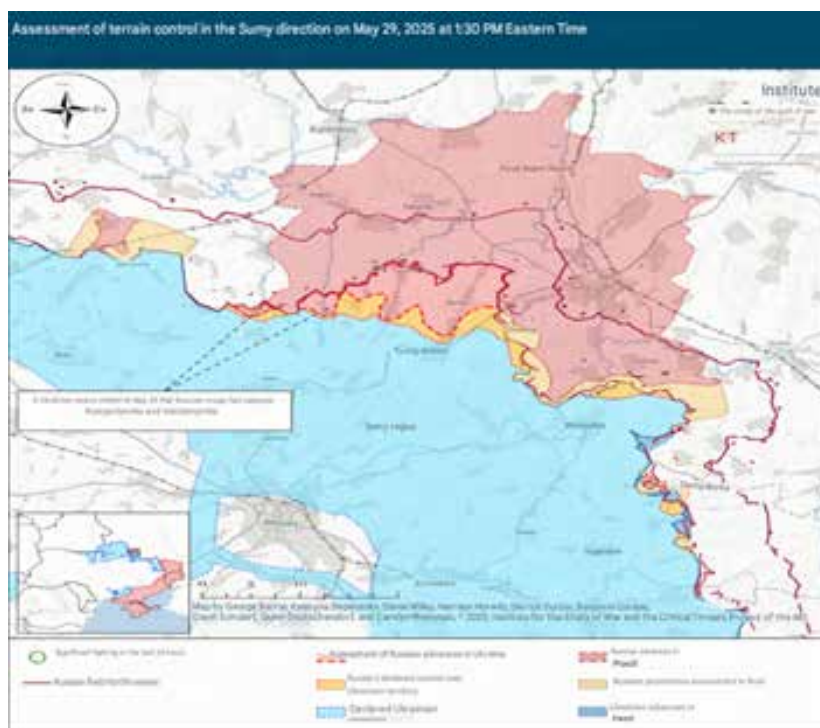


Рис. 4. Фрагмент карти території Сумської області станом на 29 травня 2025 року

Джерело : Інститут вивчення війни (ISW)

бувається саме через використання на полях битв різної вогнепальної зброї. Зокрема, при попаданні снарядів у ґрунт і рослинність утворюються видимі порушення – кратери, окопи, рови, плями від паливно-мастильних матеріалів, сліди пожеж тощо.

Станом на серпень 2024 року у Великописарівській громаді сталося 1004 вибухи з різних видів зброї, а саме: мінометів – 417, ствольної артилерії – 287, безпілотників FPV – 108, гранатометів – 56, некерованих авіаційних ракет – 17, керованих авіаційних бомб – 11 (рис. 5).

Загалом, динаміка кількості вибухів, спричинених різними видами зброї на території Великописарівської громади, представлена у таблиці 1.

Важко показати тенденцію збільшення/зменшення кількості вибухів на основі наявних даних (таблиця 1), оскільки їх кількість за місяць у населеному пункті неможливо передбачити. Значною мірою це залежить від інтенсивності агресії противника та конкретних завдань його командирів щодо здійснення відповідних штурмів територій. Було виявлено, що найбільша кількість вибухів у населеному пункті сталася у березні 2024 року – 2653, а найменша рівно через рік, у березні 2025 року – 538 випадків. Загалом спостерігається тенденція зменшення кількості вибухів мінометів на рік, а саме з березня 2024 року по квітень 2025 року. Однак ситуація постійно змінюється. Варто додати, що мінометні постріли при розриві 82-мм мін утворюють воронки діаметром понад 1 м та глибиною 50-60 см, а при розриві фугасних мін утворюються воронки діаме-

тром 3-4 м та глибиною близько 1 м. Такі негативні зміни на поверхні ґрунту важко побачити на супутникових знімках, але вони суттєво порушують цілісність ландшафту, формуючи мережу негативних рельєфних форм, зрушень ґрунту та забруднення в місцях потрапляння снарядів.

Варто зазначити, що згідно зі «Стратегією розвитку Великописарівської територіальної громади...» [17] у структурі земельного фонду Великописарівської сільської ради частка сільськогосподарських угідь становить майже 81,6% або 41 тис. 709 га, і такі землі вважаються екологічно нестабільними через постійне виснаження ґрунтів, їх можливе забруднення та розвиток деградаційних процесів [18]. Розораність земель громади становить майже 63%, а сільськогосподарських угідь – 77,2%, що свідчить про достатньо високий рівень інтенсивності землекористування. Частка лісів та інших вкритих лісом територій становить 9,8%, відкритих водно-болотних угідь (2,9%), водойм (1,1%), природоохоронних територій (1,4%).

Враховуючи високий рівень розораності території громади, під час вивчення матеріалів дистанційного зондування особлива увага приділялася тим негативним деградаційним процесам, які притаманні сільськогосподарським ландшафтам, наприклад, розвитку водної ерозії. Ознаки таких небажаних процесів легко розшифровуються за матеріалами дистанційного зондування високої просторової роздільної здатності (1-10 м). Фрагменти розвитку водної ерозії виявлені на сільськогосподарських угіддях громади (рис. 6).

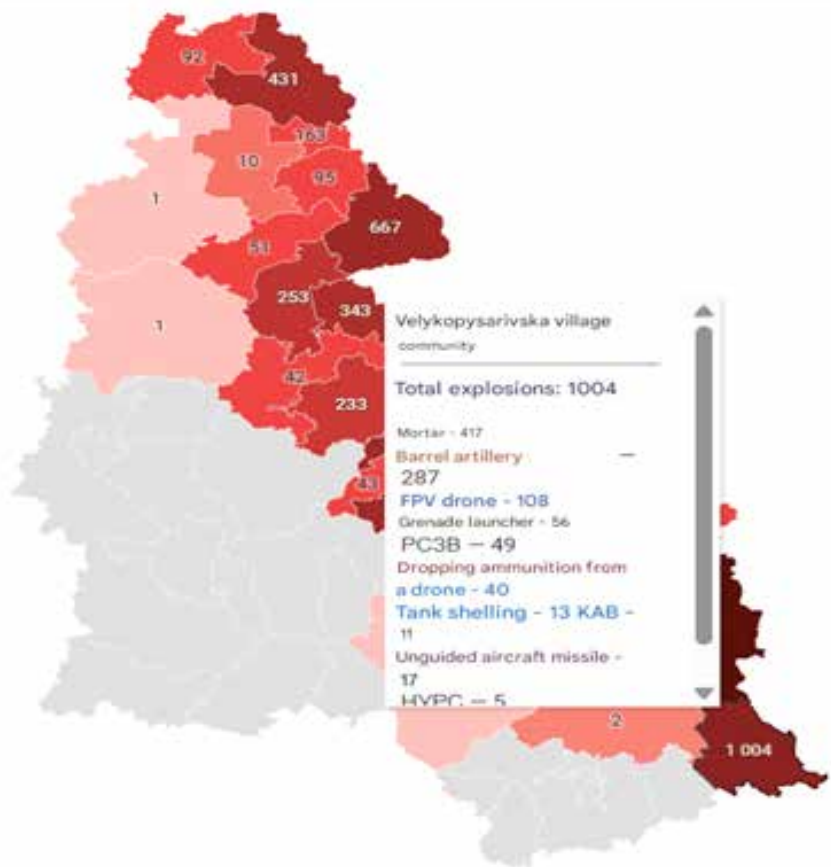


Рис. 5. Загальна кількість вибухів від різних видів зброї у Великописарівській територіальній громаді за серпень 2024 року

Джерело: дані Сумської обласної ради (2025)

Таблиця 1

Динаміка вибухів, спричинених різними видами вогнепальної зброї на території Великописарівської територіальній громаді у 2024-2025 роках
Джерело: узагальнені дані, взяті з інтерактивних карт Сумської обласної військової адміністрації (СОА), 2025

Види зброї	2024 рік		2025 рік			
	Березень	Серпень	Лютий	Березень	Квітень	Травень
Загальна кількість	2653	1004	1035	538	754	1210
Міномет	730	417	308	210	160	289
Керована авіаційна бомба (КАБ)	250	11		19	21	5
Авіаційна фугасна бомба	38					
Некерована авіаційна ракета (НАР)	319	22	79	19	21	5
Системи залпового вогню (РСЗВ)	601	49	11	9		2
Гранатомет	93	56	10	17		15
Ствольна артилерія	561	287	195	79	218	373
Обстріл з танків/БМП		13				20
FPV-дрони	35	108	199	127	217	
Скидання боєприпасів з дрона	18	40	231	56	135	190
БПЛА Шахед				1		
БПЛА "Ланцет"	4					4
БПЛА, тип не вказано			2	1	3	
Дрон-камікадзе				19		
Ракетний удар	4	1				



Рис. 6. Супутникове зображення фрагмента досліджуваної території станом на 29 липня 2025 року, де стрілками позначені ознаки ерозійних процесів

Примітка : внизу зображення зображено околиці села Велика Писарівка.
Джерело: розроблено авторами на основі Planet Labs PBC

Зображення часових рядів, отримані з космічного апарату SuperDove (©Planet Labs PBC) з просторовою роздільною здатністю 3 м (рис. 7), відстежують еволюцію ерозійних процесів на сільськогосподарських угіддях поблизу села Велика Писарівка. Як видно, зображення (комбінація каналів еквівалентна RGB видимого діапазону) демонструють розвиток ерозії ґрунту на досліджуваній території за період 2021-2025 років. Варто зазначити, що дата першого зображення (7a) – 27 липня 2021 року, другого (7b) – 5 серпня 2023 року, а третього (7c) – 31 серпня 2025 року. Вибрані дати зумовлені наявністю безхмарної погоди та необхідністю отримання порівнянних дат за той самий період у різні роки.

На основі ГІС-аналізу та лінійних вимірювань багаточасових супутникових знімків, часові ряди зображень виявляють розвиток ярової ерозії. Деякі її лінійні прояви досягають довжини від 300 до 800 метрів, що, згідно з нашими вимірюваннями на знімках, показує збільшення довжини на 166%. Довжина найбільшого яру на рис. 7a була виміряна як 800 м, тоді як на рис. 7в вона становить 2200 м, що становить збільшення на 175%. Однією з причин цього явища є значна кількість покинутих сільськогосподарських угідь та неможливість впровадження протиерозійних заходів через тривалий період

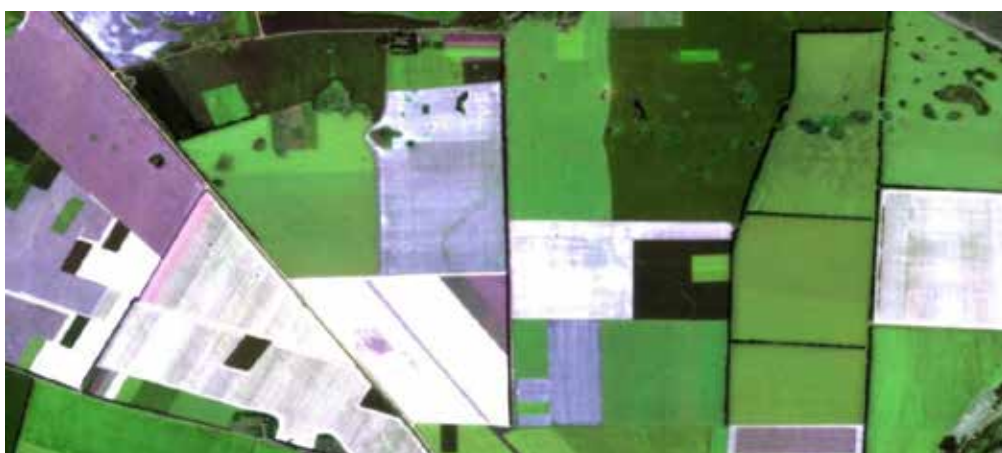
активних військових дій у регіоні. Натомість, продовження бойових дій лише прискорить формування лінійних форм її проявів, а відносна відкритість поверхні ґрунту сприятиме зростанню її обсягів. Оцінка масштабів поширення ерозійних процесів за допомогою матеріалів дистанційного зондування з визначенням їх особливостей прояву, кількісних та якісних характеристик буде серед завдань наших подальших досліджень.

Отже, досліджувана проблема є типовою для більшості східних регіонів України, які мають спільний кордон з Росією. Подібні дослідження в Харківській області проводили С. Балюк, А. Кучер та М. Ромащенко [19], які підготували наукову монографію після трьох років спостережень за порушеними військовими ділянками. У монографії оцінюється вплив військових дій на ґрунтовий покрив та дистанційний моніторинг наслідків військових дій у Харківській області. Запропоновано методичні підходи до розрахунку відшкодування за шкоду, завдану продуктивним сільськогосподарським угіддям внаслідок збройної агресії.

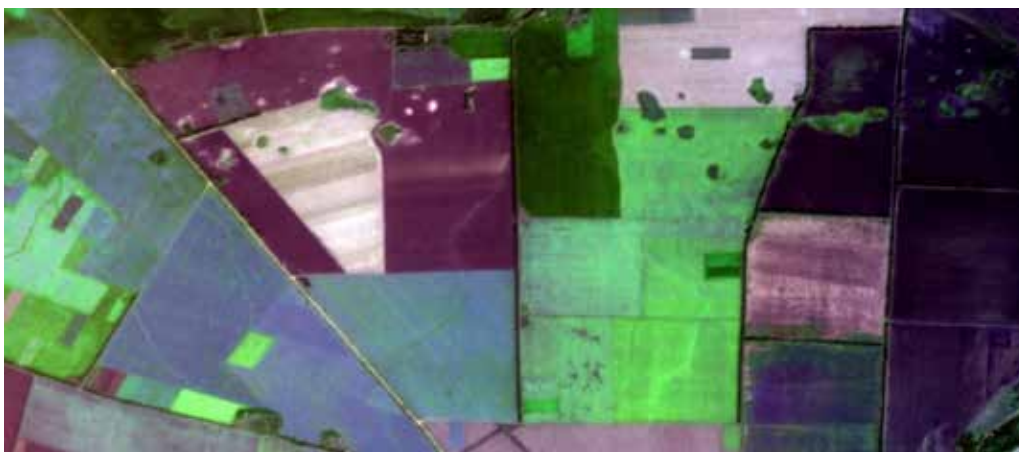
Розроблено концептуальні положення щодо відновлення та використання хімічно забруднених ґрунтів земельних ділянок внаслідок військового та техногенного впливу та нові методи боротьби



а



б



в

Рис. 7. Розвиток ерозійних процесів сільськогосподарських угідь (2021-2025)

Примітка: Верхній фрагмент (7а) – це зображення 2021 року, посередині (7б) – 2023 року, а (7с) – 2025 року.
Джерело: розроблено авторами на основі Planet Labs PBC

з деградацією. Зокрема, вченими розроблено методи покращення екологічного стану системи ґрунт-рослина з використанням нового хелатно-гуматного препарату Смарагд. Вчені також пропонують метод

активації біологічного потенціалу ґрунту шляхом біоре mediaції системи ґрунт – ґрунтові мікроорганізми – рослина, забрудненої важкими металами: біологічний препарат Хаупсин БТ з активними

штамами B-306 та B-111 бактерій *Pseudomonas aureofaciens* для внесення в ґрунт та підживлення рослин у фазі їх активного росту та розвитку.

Аналіз ступеня пошкодження ґрунтового покриву сільськогосподарських ресурсів на основі супутникових даних також можна знайти у статті О. Тараріко та ін. [20]. У статті висвітлено питання змін та наслідків військових дій на сільськогосподарські ресурси Лісостепу України за супутниковими показниками з використанням NDVI (Нормалізований індекс різниці рослинності). У статті зазначається концепція ідентифікаторів військового впливу на ґрунтовий покрив, який став аномальним після початку бойових дій 24 лютого 2022 року. Зокрема, встановлено факт військового впливу на ґрунтові ресурси трьох районів Харківської області. Серед основних ідентифікаторів впливу були: фізичний вплив (просідання різного походження, ущільнення ґрунту на сільськогосподарських угіддях України, порушення ґрунту внаслідок будівництва оборонних споруд тощо), антропогенний вплив (випалювання посівів, стан рослинності на сільськогосподарських угіддях), додавання об'єктів, аномальних для сільськогосподарських угідь (бетонні укриття, конічні піраміди «зуби дракона») [21]. Тому такі дослідження є актуальними та необхідними для інших регіонів України, які постраждали від військових дій.

Дещо інше дослідження було проведене Н. Куцулом та ін. [22], яке базувалося на методології машинного навчання та дистанційного зондування для виявлення військової шкоди сільськогосподарським угіддям в Україні з використанням безкоштовних супутникових даних Sentinel-2. У дослідженні проведено комплексну оцінку збитків, завданих сільськогосподарським угіддям України протягом періоду 2022-2023 років. Встановлено, що пошкоджено 1 544 952 га ґрунтів, що еквівалентно 5,72% від загальної сільськогосподарської площі, а найбільше постраждали Донецька, Запорізька та Херсонська області. У публікації Є. Бережняка та ін. [23] основна увага приділяється фізичній деградації ґрунту в Київській області, яка проявляється в ущільненні ґрунту в кратерах, утворених вибухами, особливо в середній частині (шар 50-60 см), де щільність складення досягала в середньому 1,68 г/см³. Помітне ущільнення ґрунту до 1,81 г/см³ виявлено в колях важкої військової техніки, що свідчить про розвиток фізичної деградації. За даними авторів, у зразках, взятих з периферійної частини кратера на різній глибині та його нижньої частини, зафіксовано вищу щільність ґрунту на 25,4-28,2%, порівняно з непошкодженими ґрунтами. Також вказується на наявність змішання генетичних горизонтів (явище педотурбації), спричинене вибухами снарядів артилерійської військової техніки.

І. Плisko та ін. [24] наголошують також на збільшенні величини щільності складення ґрунту на 0,39 г/см³, порівняно з контрольним варіантом,

у верхньому 0-10 см шарі ґрунту, де рухалася військова техніка. Подібну закономірність, зумовлену військовими діями, щодо збільшення щільності орного шару ґрунту та його кислотності для регіонів півдня України (Дніпропетровської, Запорізької та Миколаївської) областей виявлено у статті І. Бульби та ін. [25]. Подібні дослідження на території Чкаловської територіальної громади Чугуївського району Харківської області проводили В. Лебідь та ін. [26]. Авторами визначено найоптимальніші комбінації оптичних каналів супутників Sentinel-2 для відстеження наслідків військового впливу на ґрунтовий покрив. Створено шар просторових об'єктів відповідно до типів військової деградації ґрунтів громад. За допомогою супутникових знімків високої роздільної здатності на полігоні було розраховано кількість воронок та втрати ґрунту від вибухів, площу вигорілих ділянок та ущільнення, довжину протитанкових ровів та окопів з бліндажами. На зрушуваних землях Чкаловської територіальної громади було розраховано площі земель, що постраждали від обстрілів, та ділянки, що вигоріли внаслідок пожеж військового походження.

Розрахунок радіуса зони руйнування, формування кратерів та воронок, а також об'єму піднятого ґрунту розглянуто у статті В. Кузьменко та ін. [27]. У статті О. Бондаря та ін. [28] досліджено питання використання матеріалів дистанційного зондування (ДЗЗ) для оцінки накопиченої екологічної шкоди територіям внаслідок російсько-української війни. Доведено, що за допомогою аерокосмічних знімків можна ефективно контролювати та оцінювати патогенний вплив на навколишнє середовище, наслідки руйнування господарської діяльності у видобувній, гірничодобувній, збагачувальній, переробній та інших галузях промисловості, а також визначати кількісні та якісні показники забруднення та розміщення бойових (ракетних) відходів.

Слід зазначити, що від військових дій страждають не лише сільськогосподарські угіддя. Охоронні зони та території також зазнають значної шкоди. У статті О. Борисенка [29] зазначається, що понад 1,2 мільйона га земель природно-заповідного фонду розташовані в районах з підвищеним ризиком забруднення вибуховими речовинами, що ставить під загрозу можливість їхнього відновлення. Ефективним засобом відстеження порушень є використання геоінформаційних систем. Зазначається, що відновлення постраждалих територій вимагає очищення, рекультивації ґрунту, посадки нових дерев, відновлення лісових масивів та відновлення гідрологічного режиму, що буде спрямовано на збереження водного балансу та біорізноманіття.

У своїй роботі [30] вчені поєднали ГІС-аналіз та вторинні дані, включаючи зразки ґрунту, отримані під час польових експедицій, щоб надати докази того, як наземні бої, окупація, наземні міни

та вибухи можуть серйозно впливати на ґрунти. На регіональному рівні, на сільськогосподарських угіддях Сумського та Охтирського районів, у зразках ґрунту, взятих з місць розбиття авіабомб та знищеної військової техніки, визначено надлишок важких металів. Зокрема виявлено перевищення вмісту свинцю в 5,4, цинку в 3,9 та кадмію в 1,4 рази [31]. Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву спостерігався в місцях спалювання техніки (село Косівщина, село Старе Село, село Низи, Сумський район, Сумська область). Водночас, досліджень розвитку лінійних форм водної ерозії недостатньо, саме тому акцент було зосереджено саме на їх вивченні.

Загалом, агресія Російської Федерації проти України та значні площі порушених сільськогосподарських угідь, що виведені з експлуатації, фактично становлять загрозу глобальній продовольчій безпеці [32]. Щоб мінімізувати наслідки ерозії, виявленої на зображеннях Planet labs (рис. 7), рекомендується створювати буферні смуги в районах активного яроутворення та надавати пріоритет меліоративним роботам на землях з розораністю понад 77%.

Головні висновки. Встановлено, що регіон Великописарівської селищної громади, яка належить до прикордонних районів у Сумській області, є досить вразливим до пошкодження ґрунту внаслідок постійних бойових дій. Так, найбільша кількість вибухів з різних видів вогнепальної зброї в досліджуваній громаді сталася у березні 2024 року – 2653, причому домінуючими типами були вибухи від мінометного вогню – 730 та від реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) – 601. Ґрунти також значно пошкоджуються від пусків керованих авіаційних бомб, некерованих авіаційних ракет, а також від скидання боєприпасів з безпілотників, які також руйну-

ють цілісність агроландшафтів, утворюючи кратери та западини з підняттям ґрунту. У майбутньому такі території потребуватимуть комплексного підходу до відновлення.

За допомогою методів дистанційного зондування та багаточасового аналізу супутникових даних візуально виявлено місця з відповідними негативними процесами ґрунтового покриву, що виникли або посилюються через те, що територія знаходилася у зоні бойових дій, а це унеможливило проведення захисних заходів на належному рівні. Зображення SuperDove завдяки вищій просторовій роздільній здатності мають перевагу над знімками Sentinel-2 для цієї мети. Такі зображення чітко демонструють розвиток ерозійних процесів, основною рушійною силою яких ми вважаємо постійні обстріли, як з наземної зброї, так і з повітря.

На основі ГІС-аналізу та лінійних вимірювань різночасових супутникових знімків у часовому ряду зображень фіксується розвиток яружної ерозії, що демонструє збільшення довжини яру на 166%. Натомість довжина найбільшого вимірюваного яру зросла за чотири роки на 175%.

Перспективи використання результатів досліджень. Отже, на цьому етапі досліджень проведено таке вимірювання та ідентифікацію вразливих зон ґрунтового покриву, а на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування побудовано карту в програмному забезпеченні QGIS. На нашу думку, у майбутньому в межах Великописарівської територіальної громади необхідно буде контролювати ці небажані явища, щоб обґрунтувати їх морфологію і масштаби подальших проявів задля оцінювання збитків, а також розробити ефективні заходи із поліпшення й відновлення порушених ґрунтів.

Література

1. Ismayilov M., Kuchinskaya I., Karimova E. Impact of military conflicts on landscape transformation (a case study for the Aghdam district of the Republic of Azerbaijan). *Visnyk of Karazin Kharkiv National University*. Vol. 62. P. 194-204.
2. Broomandi P., Guney M., Kim J., Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: a Critical Review. *Sustainability*. 2020. 12(21). 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>
3. Екоцид – злочин проти людяності. 2022. Веб-сайт. URL: <https://dnister.in.ua/articles/242090/ekocid-zlochin-proti-ljudstva> (дата звернення 18.02.2026).
4. Крахматова Д., Члек К. 57 тисяч вибухів. Наймасштабніший обстріл Сумської області у 2024 році. Веб-сайт. URL: <https://suspilne.media/sumy/915821-57-tis-vibuhiv-najbils-masstabni-obstrili-sumsini-u-2024-roci/> (дата звернення 02.03.2026).
5. Гончарова, А.Є. Вплив війни на ґрунти та сільськогосподарські угіддя: бібліометричний аналіз та вдосконалення методів оцінки збитків. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 4, С. 87-97.
6. Сумська обласна військова адміністрація. Веб-сайт. URL: <https://vpsr.gov.ua> (дата звернення 30.01.2026).
7. Яворська Т. Поля, вкриті дронами та вирви від бомб: як фермери Сумської області збирають врожай під обстрілами. 2025. Веб-сайт. URL: <https://espresso.tv/suspilstvo-polya-vkriti-dronami-ta-virvami-vid-bomb-yak-na-sumshchini-fermeri-pid-obstrilami-zbirayut-urozhay> (дата звернення 30.01.2026).
8. Deininger, K., Ali, D. A., Kussul, N., Shelestov, A., Lemoine, G., & Yailimova, H. Quantifying war-induced crop losses in Ukraine in near real time to strengthen local and global food security. *Food Policy*. 2023. 115, P. 102418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102418>
9. El Bilali, H., & Ben Hassen, T. Disrupted harvests: how Ukraine-Russia war influences global food systems – a systematic review. *Policy Studies*. 2024. № 45, Vol. 3–4; P. 310–335. DOI: <https://doi.org/10.1080/01442872.2024.2329587>
10. Пересадько В., Сержантова Ю., Борисенко К., Браславська О. Особливості картографічної візуалізації стану ландшафтів під час військових дій. *Проблеми безперервної географічної освіти та картографії*. 2023. Вип. 38. С. 32-39.
11. Ma Y., Dngmei L., Sun K., Li S., Zhu B., Zhao R., Zheng M., Song K. Spatiotemporal Analysis and War Impact Assessment of Agricultural Land in Ukraine Using RS and GIS Technology. *Land*. 2022. № 11, Vol.10. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101810>

12. Екосистема простору даних Copernicus. Веб-сайт URL: <https://dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення 07.04.2026).
13. Офіційний веб-сайт Великописарівської територіальної громади. 2025. Веб-сайт. URL: <https://vpsr.gov.ua/> (дата звернення 10.02.2026).
14. Інститут вивчення війни (ISW). веб-сайт. URL: <https://understandingwar.org/>. (дата звернення 23.02.2026).
15. Макаренко Н.А. та ін. Вплив російської військової агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінки. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022. № 4, Вип. 98. С. 1–31.
16. Строкаль В.П., Бережнюк Є.М., Наумовська О.І., Вагалюк Л.В., Ладика М.М., Сербенюк Г.А., Паламарчук С.П., Павлюк С.Д. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія. За ред. В.П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 218 с.
17. Стратегія розвитку Великописарівської територіальної громади до 2027 року. Веб-сайт. URL: https://rada.info/upload/users_files/04391262/8038bf0358233dc7e5d9c984d98a1e84.pdf (дата звернення 15.02.2026).
18. Бережнюк, Є. М., Наумовська, О. І. та Бережнюк, М. Ф. (2022). Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2022. № 13, т.3-4. С. 96-109.
19. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, проблеми, заходи з відновлення: монографія; за редакцією С. А. Балюка, А. В. Кучера, М. І. Ромащенко. Київ: Аграрна наука, 2024. 340 с.
20. Тараріко О.Г., Дем'янюк О.С., Ільєнко Т.В., Солоха М.О., Лиховид П.В. Супутниковий інформаційний ресурс – сучасний потенціал для вирішення екологічних проблем аграрного сектору України. *Збалансоване природокористування*. 2025. № 1. С. 55-71.
21. Солоха М.О., Коньшин Р.В., Дехтярьов В.В. Ідентифікатори впливу військових операцій на ґрунтовий покрив на основі супутникових даних. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 137. С. 235-244.
22. Куссул Н., Дрозд С., Яйлімова Г. Автоматизоване виявлення та оцінка збитків сільськогосподарським полям, завданих війною, за допомогою супутникових знімків. *Автоматизація технологічних та бізнес-процесів*. 2024. № 16. Т. 2. С. 63-74.
23. Бережнюк Є.М., Бондар В.І., Наумовська О.І., Ракоїд О.О., Клепко А.В., Ладика М.М., Лазарєв М.М., Дем'янюк О.С. Аналіз прояву деградаційних процесів ґрунтового покриву Київської області під впливом військових дій. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 4. С. 116-128.
24. Пліско І.В., Романчук К.Ю., Криlach С.І. Механічна та фізична деградація орних ґрунтів внаслідок військових дій в Україні. *Вісник сільськогосподарської науки*. 2023. № 10. Вип. 847. С. 5-12.
25. Бульба І., Дробітько А., Задорожний Ю., Письменний О. Виявлення та моніторинг сільськогосподарських угідь, забруднених військовими діями. *Наукові горизонти*. 2024. № 27, т.7. С. 107–117.
26. Лебідь В., Солоха М., Соловей В., Кучер А., Воротинцева Л. Методологічні та практичні аспекти використання супутникових знімків для оцінки військового впливу на ґрунти. *Наукові горизонти*. 2024. № 27, т. 12. С. 56-75.
27. Кузьменко В.О., Третяк Н.М., Чорнай В.І., Яриш І.Ю. Військовий екоцид в Україні як згубний наслідок застосування російських ракет та снарядів. *Збірник наукових праць ДНДІ Збройних Сил України*. 2024. № 1, т.19. С. 62-72.
28. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р. Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на навколишнє середовище космічних систем дистанційного зондування та GPS-навігації. *Екологічні науки*. 2022. № 4, т.43. С. 40-49.
29. Борисенко О.Б., Кривохижа Е.М., Черноштан Т.М. Вплив військових дій на екосистеми: оцінка збитків та шляхи відновлення. *Екологічні науки*. 2025. № 1. С. 343-349.
30. Leal Filho W., Fedoruk M., Eustachio J., Splodytel A., Smaliychuk A., Szykowska-Jóźwik M. The environment as the first victim: The impact of war on protected areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 364, P. C. 121399.
31. Зайцев Ю. О., Грищенко О. М., Романова С. А., Зайцева І. О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 136-149.
32. Агресія Російської Федерації проти України як загроза глобальній продовольчій безпеці: аналітичний додаток / Бобровицький А. та ін.; за ред. М. Паламарчука. Київ, 2024. 80 с.

Дата першого надходження статті до видання: 20.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026