

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-06>

УДК (UDC) 528.94,654.165

А. Б. АЧАСОВ, д-р с.-г. наук, проф.,

в.о. завідувача кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: achasov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, Харків, 61000, Україна

О. Ю. СЕЛІВЕРСТОВ,

аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: oleg.seliverstov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8477-274X>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, Харків, 61000, Україна

Д. В. ДЯДІН, канд. техн. наук, доц.,

завідувач кафедри інженерної екології міст

e-mail: dmdyadin@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3421-3592>

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна

А. О. СЕДОВ,

старший викладач кафедра управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру

e-mail: shakhmet1985@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0604-4015>

Державний біотехнологічний університет,

вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ НАСЛІДКІВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ТЕРИТОРІЇ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Актуальність. У зв'язку із повномасштабною російською військовою агресією надзвичайної актуальності набули питання чіткої просторової фіксації порушення природних комплексів та їх компонентів. Наслідки потраплянь снарядів та ракет, пожеж, які виникли внаслідок обстрілів, воєнної фортифікаційної діяльності тощо призвели до безпосереднього порушення ландшафтів, а також їх хімічного забруднення. Це, в свою чергу, вкрай негативно впливає на стан довкілля та призводить до опосередкованих впливів. Погіршується якість питної води та продукції рослинництва, знижується родючість ґрунтів, зменшується біорізноманіття території.

Мета. Можливості фіксації та моніторингу пошкоджень земельних ресурсів на засадах використання вільних космічних знімків та вільного геоінформаційного програмного забезпечення.

Методи. За інформаційну основу взято космічні знімки апарату Planet Scope. Перегляд, завантаження та аналіз знімків відбувався у вільній геоінформаційній системі (ГІС) QGIS 3.12

Результати. Дослідження проводились на території Роганської селищної об'єднаної територіальної громади (СОТГ), яка розташована у Харківському районі Харківської області. За методикою проведення моніторингу природних та сільськогосподарських угідь за даними космічних знімків дешифрування показано, що за 2022 рік в результаті обстрілів території Роганської СОТГ утворились 916 вирв. Створено набір карт стосовно вибухової небезпеки та хімічного забруднення території Роганської СОТГ, проведено дешифрування космічних знімків території Роганської СОТГ в різні періоди часу. За моніторингом сільськогосподарських угідь зафіксовано сліди бомботрубації. Сформовано карти результатів фіксації наслідків бомботрубації, теплову карту щільності вир, карту гідрологічного аналізу території, що можуть бути забруднені внаслідок бомботрубації

© Ачасов А. Б., Селіверстов О. Ю., Дядін Д. В., Сєдов А. О., 2023



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Висновки. Опрацьовано методику проведення моніторингу природних та сільськогосподарських угідь за даними космічної зйомки. Створений набір карт стосовно вибухової небезпеки та хімічного забруднення території Роганської СОТГ може бути використаний для планування подальших досліджень стану довкілля та раціоналізації господарської діяльності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дистанційне зондування, ГІС, бомботурбація, наслідки бойових дій

Як цитувати: Ачасов А. Б., Селіверстов О. Ю., Дядін Д. В., Сєдов А. О. Дистанційний моніторинг наслідків бойових дій на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 28. С. 71 - 82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-06>

In cites: Achasov, A. B., Seliverstov, O. Yu., Diadin, D. V., & Siedov, A. O. (2023). Remote monitoring of the consequences of hostilities on the territory of the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (28), 71 - 82. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-06> (in Ukrainian)

Вступ

У зв'язку із повномасштабною російською військовою агресією надзвичайної актуальності набули питання чіткої просторової фіксації порушення природних комплексів та їх компонентів. Наслідки потраплянь снарядів та ракет, пожеж, які виникли внаслідок обстрілів, воєнної фортифікаційної діяльності тощо призвели до безпосереднього порушення ландшафтів, а також їх хімічного забруднення. Це, в свою чергу, вкрай негативно впливає на стан довкілля та призводить до опосередкованих впливів. Погіршується якість питної води та продукції рослинництва, знижується родючість ґрунтів, зменшується біорізноманіття територій.

У сучасних умовах важко, а в деяких регіонах зовсім неможливо, провести інвентаризацію та налаштувати систему моніторингу вказаних порушень традиційними польовими методами. Разом з тим значну частку подібної роботи можливо провести зараз на основі використання вільних космічних знімків та геоінформаційних технологій у камеральних умовах [1, 2]. Звісно мова йде лише про первинний блок робіт – фіксацію та класифікацію наслідків бойових дій, надалі будуть необхідні традиційні польові та лабораторні дослідження. Але моделювання просторової ситуації пошкодження природних угідь Харківської області у вигляді відповідної бази геоданих і набору цифрових карт дозволить вирішити низку термінових питань, що пов'язаних як з прямою небезпекою життя мешканців постраждалих районів, так і з віддаленими екологічними впливами на їх стан здоров'я.

Зокрема за статистикою німецьких фахівців з розмінування частка снарядів, що не розірвалися, складає, як правило, 10-20% від кількості запущених снарядів, а для касетних боєприпасів цифри ще вищі – 30-50% [3, 4]. Відповідно створення карт, на яких будуть зафіксовані вирви, що утворились внаслідок бомботурбації дозволить знизити ризик для мешканців даної території. Огляд літератури підтверджує наші первинні висновки про те, що така фіксація можлива навіть за космічними знітками з роздільною здатністю 10 м, які зараз є у відкритому доступі [5, 6]. Отже, поєднання можливостей дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволить кластеризувати постраждалі території за ступенем ймовірної вибухової небезпеки [7].

Формування бази геоданих щодо фіксації вирв дозволить виділяти зони вірогідного хімічного забруднення ґрунтів, яке утворюється після вибухів снарядів та ракет [5]. Подальше польове обстеження ґрунтового покриву буде значно ефективніше за наявності вказаних геоданих через можливість оптимізації схеми відбору зразків. Подальшим розвитком використання такої бази геоданих може бути гідрологічний аналіз території з метою встановлення руху поверхневого стоку у ландшафті. За його результатами можливо створення прогнозних карт переміщення хімічних забруднень, контакту їх з водними об'єктами й т. ін.

Мета – можливості фіксації та моніторингу пошкоджень земельних ресурсів на засадах використання вільних космічних знімків та вільного геоінформаційного програмного забезпечення.

Матеріали та методи

Дослідження проводились на території Роганської селищної об'єднаної територіальної громади (СОТГ), яка розташована у Харківському районі Харківської області (рис. 1).

Загальна площа Роганської СОТГ – 77,07 км², чисельність населення станом на 2016 рік 16 023 осіб [8]. Адміністративний центр – смт Рогань. Рельєф на території



Рис. 1 – Географічне положення Роганської СОТГ
Fig.1 – Geographical location of the Rohanska (SATC)

громади спокійний, ґрунти здебільшого представлені чорноземами звичайними легкосуглинковими на лесі. По території громади тече річка Роганка, яка відноситься до басейну Сіверського Дінця. Ліси в основному листяні, місцями хвойні або змішані, велика кількість полезахисних лісових смуг, насаджень повздовж доріг.

Основним виробничим ресурсом Роганської СОТГ є земельні угіддя. Землі сільськогосподарського призначення займають 65 % площі території громади, що визначає основний напрям економічної діяльності громади – виробництво сільськогосподарської продукції [8].

Відповідно, наявність інформації про масштаби пошкодження земельних угідь у наслідок бойових дій протягом 2022 року є критично важливою для нормального життя та розвитку Роганської СОТГ.

За інформаційну основу взято космічні знімки апарату Planet Score [9]. Проект Planet являє собою сузір'я малих супутників, кожен з яких важить 4,7 кг та має розміри 10*10*30 см. Насьогодні на орбіті налічується вже понад 200 таких апаратів. Камери супутників мають просторову роздільну здатність 3-4 м у чотирьох спектральних каналах (RGB+Nir) [10]. Частота зйомки певної території поверхні Землі становить один раз на добу.

Перегляд, завантаження та аналіз знімків відбувався у вільній геоінформаційній

системі (ГІС) QGIS 3.12 з використанням додатку QGIS Plugin 2.0. Основні методичні аспекти підготовчої роботи зі знімками Planet полягали у наступному:

- У головному вікні ГІС обиралась територія досліджень.
- У додатку QGIS Plugin 2.0 вказувався часовий інтервал спостережень (24.02.2022 – 20.10.2022).
- Встановлювалась фільтрація знімків за рівнем хмарності – не більше 5%.
- Після цього відібрані знімки передивлялись у головному вікні QGIS.

Найпростішим способом отримання корисної інформації з космічних знімків є візуальне дешифрування. Візуальне дешифрування є найстарішим видом дешифрування, яке виникло одночасно з першими випадками підйому людини у повітря. Його суть полягає у ідентифікації на аерокосмічних зображеннях об'єктів реального світу за їх характерними особливостями без використання будь-якого спеціального обладнання або програмного забезпечення.

При візуальному дешифруванні використовуються геометричні, оптичні і структурні характеристики об'єктів (прямі дешифрувальні ознаки), а також різноманітні взаємозв'язки та взаємозалежності між ними (непрямі дешифрувальні ознаки).

Для контролю результатів дешифрування використовувались архівні космічні

знімки високої роздільної здатності з сервісу BingMaps [11].

Для зручності виконання роботи вся територія розділена на трапеції, що відповідали номенклатурі топографічних карт масштабу 1:10000 (рис. 2).

Дешифрування виконувалось послідовно по трапеціях (на рис. 2 – бузковий колір). Після повного обстеження трапеції ставилась мітка (на рис. 2 – червона цифра 1), що дозволяло запобігати плутанині у роботі та не перевіряти одну й ту ж саму територію двічі.



Рис. 2 – Контури Роганської СОТГ (знімок сервісу BingMaps)
Fig. 2 – The contours of the Rohanska SATC (image by BingMaps)

Результати та обговорення

Дешифрування знімків супутників Planet проводилось поетапно за часовим принципом. Розглядались послідовно усі знімки починаючи з 24.02.2022 з кроком в 1 тиждень. Якщо на знімку були помітні об'єкти, подібні до наслідків бомботурбації, то ретельно досліджувались усі знімки близькі за часом. Дана схема була нечіткою через відсутність безхмарних знімків на певні періоди. Зокрема погодні умови вересня практично унеможливили проведення дис

танційного аналізу території Роганської СОТГ через брак достатньої кількості валідних зображень.

Перші прояви артилерійських і ракетних обстрілів відмічені на знімках 15 березня 2022 року (рис. 3).

Основними дешифрувальними ознаками вивр від потрапляння ракет і снарядів є:

- 1) колоподібна форма різного розміру;
- 2) чорний колір ґрунту на контрастному тлі снігу;

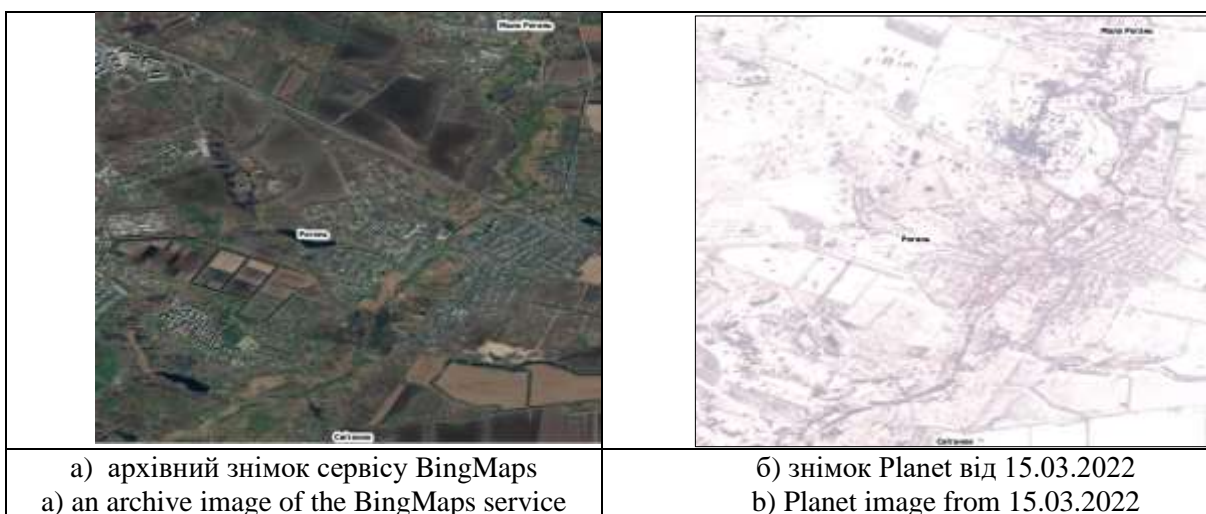


Рис. 3 – Прояви наслідків бомботурбації на космічних знімках
Fig.3 – Manifestations of the effects of bombing on satellite images

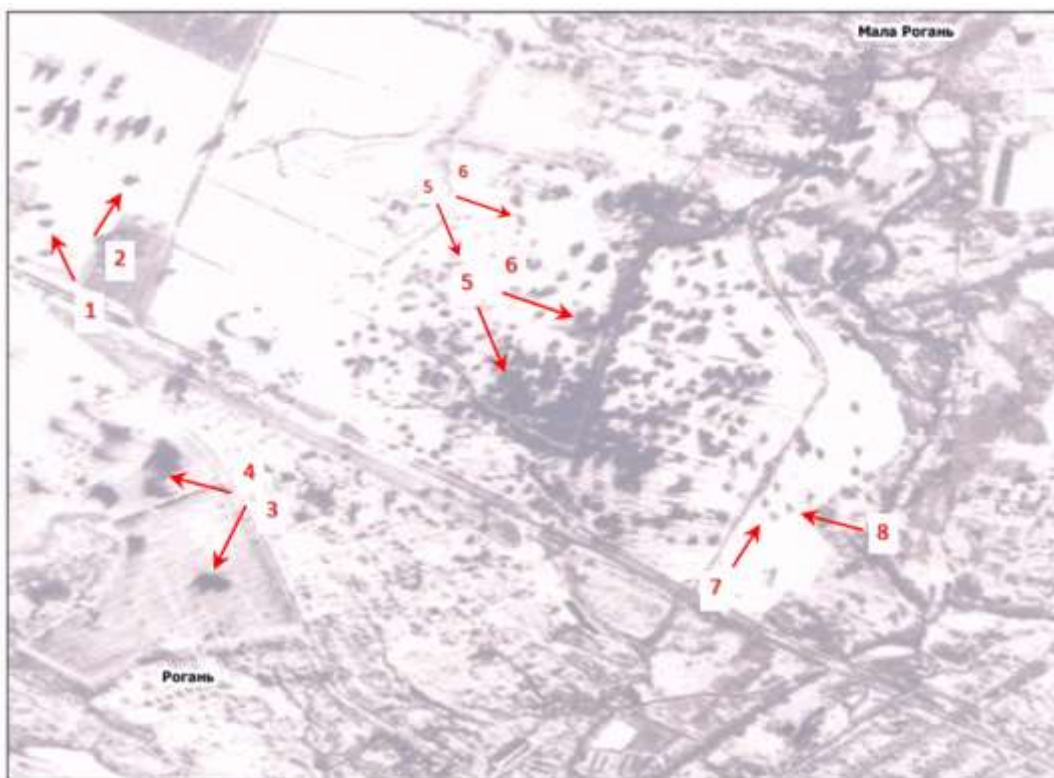


Рис. 4 – Прояви дешифрувальних ознак вирв. Знімок Planet від 15.03.2022
Fig. 4 – Manifestations of decipherable signs of sinkholes. Planet image from 15.03.2022



Рис. 5 – Прояви дешифрувальних ознак вирв. Знімок Planet від 21.03.2022
Fig. 5 – Manifestations of decipherable signs of sinkholes. Planet image from 21.03.2022

- 3) структура розташування об'єктів – як правило вирви мають груповий характер розташування.

На рис. 4. чітко простежуються наслідки бомботурбації. Цьому дуже сприяє наявність суцільного снігового покриву на території дослідження. Аналіз більш пізніх за датами знімків показав, що поступове сходження снігу призводить до погіршення якості процесу дешифрування (рис.5).

Ґрунти території дослідження переважно відносяться до чорноземів, які згідно назви мають темно-сірий природний колір, а весняна підвищена вологість ґрунту робить його ще біль темним і унеможливає фіксацію вирв. Так, вирви 3 і 4, що чітко видні на рис. 3 вже не помітні на рис. 4.

Проводити детальний аналіз знімків не маючи додаткових польових даних складно, тому відмітимо основні загальні аспекти. Як бачимо мітки 1 і 2 характеризують поодинокі вирви й відрізняються від міток 7 і 8 розміром. Найімовірніше це прояв дії різного типу або калібру боєприпасів, але є ймовірність впливу фактору часу. Альbedo вирви значно нижче ніж снігу, тому з часом вона починає більш нагріватись від сонячних променів і «підтаювати», утворюючи ефект розширення.



а) Знімок Sentinel-2
а) Image Sentinel-2



б) Архівний знімок сервісу BingMaps
b) Archive image of the BingMaps service

Рис. 6 – Перевірка результатів дешифрування
Fig. 6 – Checking the decryption results

Всі вирви фіксувались у QGIS шляхом створення точкових векторних об'єктів.

Проведений аналіз наявних знімків Planet за період з кінця лютого до листопада

Мітки 3 і 4 мають значно більший розмір і менш колоподібну форму. Припускаємо, що це обумовлено об'єднанням в єдину чорну ділянку декількох близько розташованих вирв під впливом зазначеного раніше «ефекту розширення».

Подібну ситуацію характеризують і мітки 5 та 6. Вказані мітки позначають ділянки з вкрай високою частотою потрапляння боєприпасів. Сюди ж ймовірно додається й ефект танення снігу під впливом важкої бойової техніки, яка могла бути тут розташована. Адже ці ділянки розташовані біля дороги й на знімку можна побачити наслідки руху механізованої техніки на прилеглих до дороги полях.

Постійно виконувалась перевірка результатів дешифрування шляхом порівняння з високоточними архівними знімками сервісу Bing. Це дозволяло уникнути похибок, так званих «хибних друзів» дешифрувальника. Продемонструємо це на прикладі наших попередніх обстежень території Харківської області на основі даних зйомки супутниками Sentinel. На рис. 6а спостерігаються начебто чіткі ознаки вирв. Але перегляд цієї місцевості у сервісі Bing Maps довів, що це ознаки звичайних природних об'єктів – двох степових блюдець та маленької лісосмуги.

2022 року показав, що на території Роганської СОТГ зафіксовано 916 проявів бомботурбації (рис. 7). Левова частка вирв відноситься до періоду 15-21 березня 2022

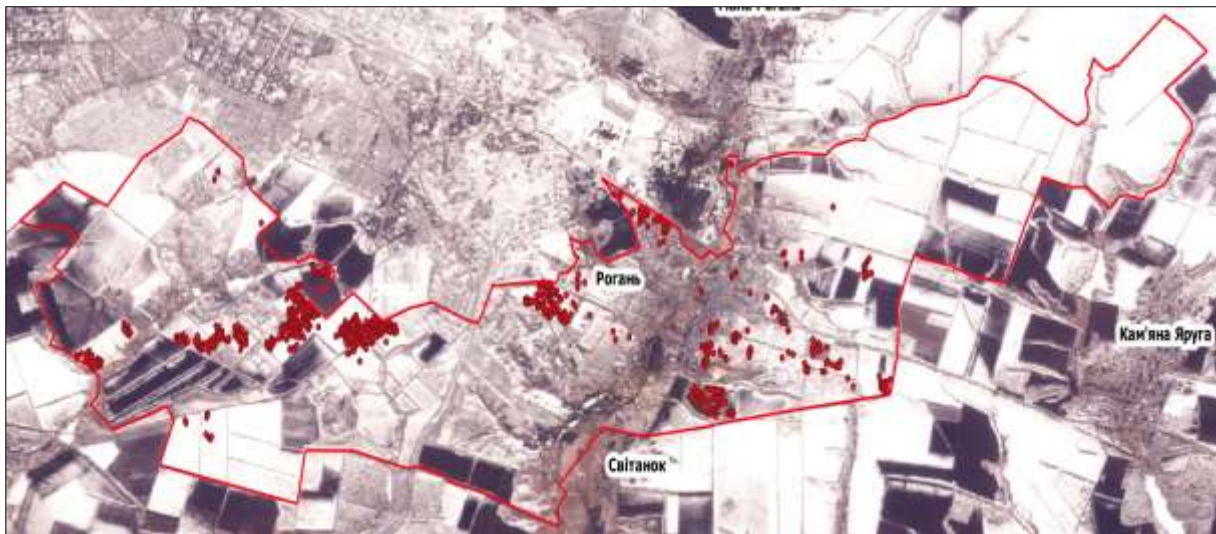


Рис. 7 – Загальні результати фіксації наслідків бомботурбації
Fig. 7 – General results of recording the consequences of the bombing

року, що збігається з хронологією та географією бойових дій у Харківській області.

Як бачимо (рис.7) найбільш постраждала центральна та західна частина Роганської СОГТ.

Можна сказати впевнено, що в ході досліджень у силу об'єктивних обставин були зафіксовані далеко не всі наслідки бомботурбації. Основними причинами цього є:

1) Відсутність валідних знімків на деякі періоди часу.

2) Складність дешифрування селітебної території. Наявність дрібних антропогенних об'єктів (будинки, городи, дерева й т.п.), що створювало величезні труднощі при дешифруванні.

3) Неможливість фіксації вивр навесні без наявності снігового покриву.

Тим не менш, створена за результатами дешифрування база геоданих має дуже велике значення для раціоналізації використання природних ресурсів Роганської СОГТ у воєнний та післявоєнний час.

На рис. 8 представлена теплова карта щільності вивр на території дослідження, яка побудована на основі отриманої бази геоданих. Насиченість червоного кольору вказує на вибухову небезпечність певних ділянок внаслідок можливої наявності боєприпасів, що не вибухнули. За свідцтвами очевидців такі боєприпаси можуть занурюватись у ґрунт, що робить їх ще більш небезпечними для мирних жителів.

Більшість постраждалих територій є сільськогосподарськими угіддями, відповідно фермери бажають активно використовувати їх, через що підвищується ризик нещасних випадків. Створена карта показує зони, які в першу чергу потребують обстеження саперами. Це особливо важливо, враховуючи той факт, що зараз 470 тисяч гектарів сільськогосподарських угідь України вважаються забрудненими вибухонебезпечними предметами [12], а процес повного розмінування триватиме десятки років.

Крім того кожний вибух несе з собою хімічне забруднення ґрунту переважно важкими металами та енергетичними сполуками [5, 13]. Потрапляючи до ґрунту ці речовини можуть переміщуватись внаслідок дії водних потоків. Наслідками цього можуть бути забруднення відкритих водойм, джерел, підземних вод. Забруднювачі можуть потрапляти до організму людини також й через продукцію рослинництва, яка вирощується на забруднених територіях та через вживання продукції тваринництва, що утримуються на цих територіях [14].

Застосування геоінформаційних технологій дозволяє створювати цифрові моделі місцевості, автоматично визначати напрями руху водних потоків (рис. 9) та відповідно виділяти ймовірно забруднені території (рис. 10).

Стислий алгоритм досліджень такий:

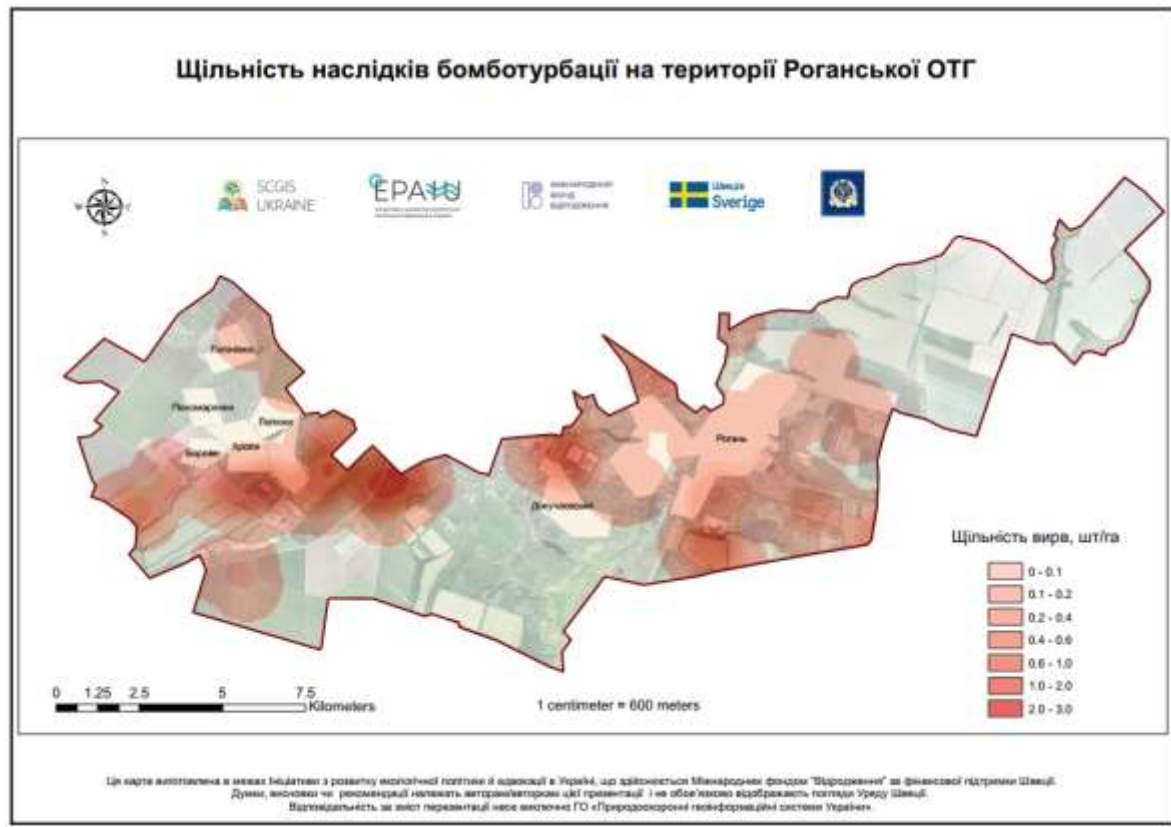


Рис. 8 – Теплова карта щільності вирв
Fig. 8 – Heat map of sinkhole density

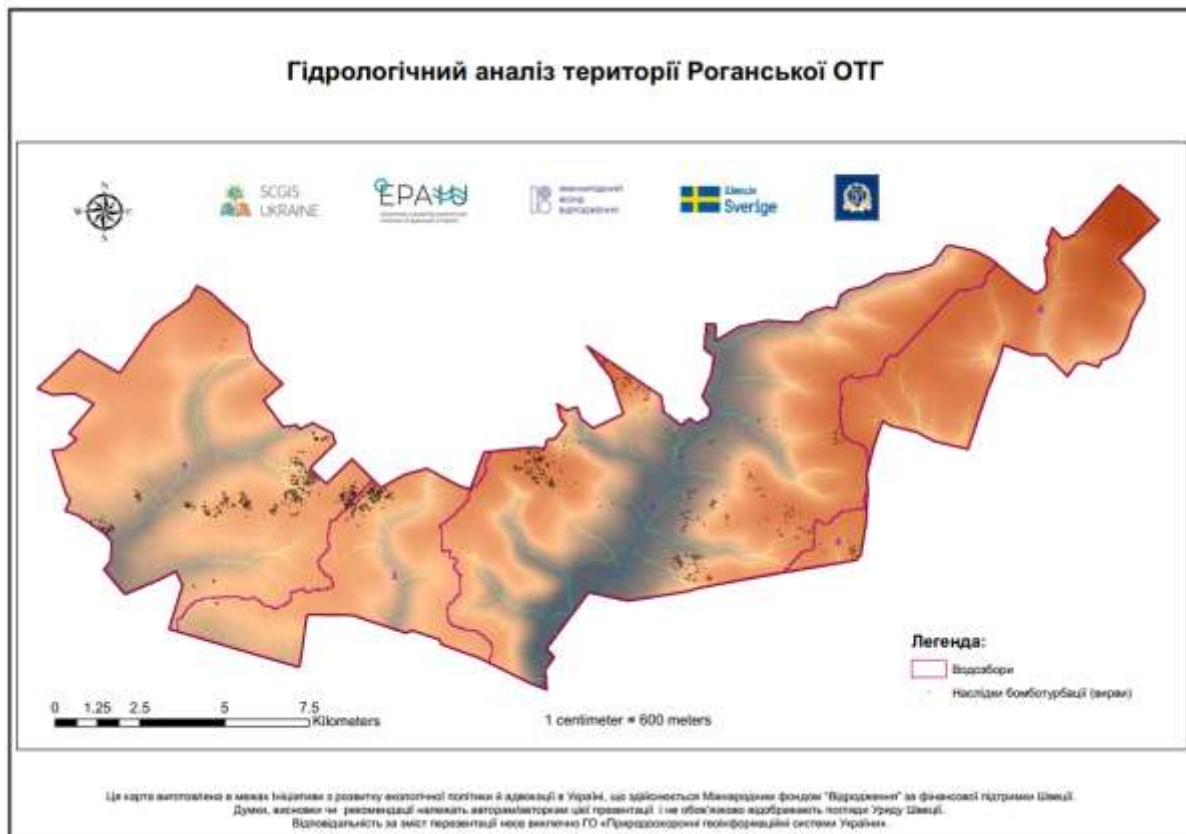


Рис. 9 – Результати гідрологічного аналізу території
Fig. 9 – Results of the hydrological analysis of the territory

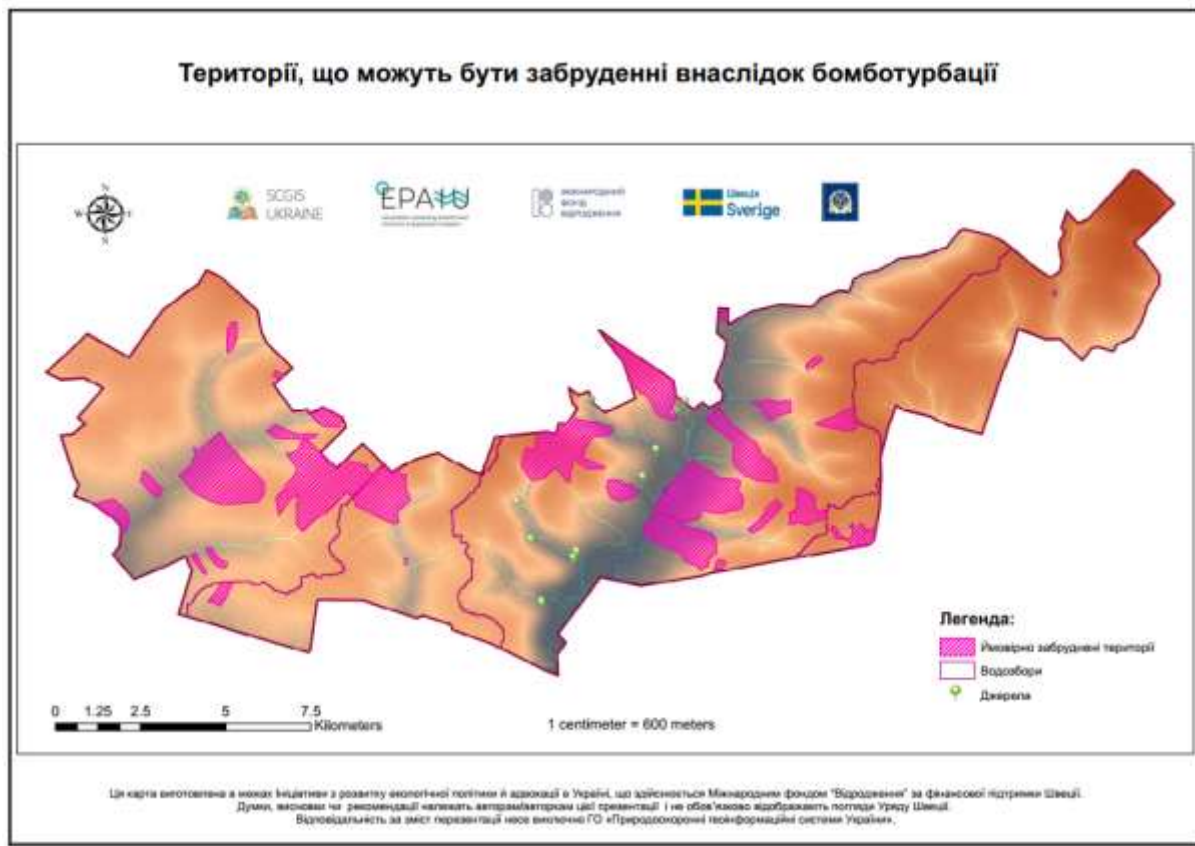


Рис. 10 – Території, що можуть бути забруднені внаслідок бомботурбації
Fig. 10 – Areas that may be contaminated as a result of bombing

1) Формування векторного шару ізогіс за паперовими топографічними картами масштабу 1: 10000.

2) Побудова цифрової моделі рельєфу (ЦМР) шляхом інтерполяції отриманих ізогіси.

3) Проведення гідрологічного аналізу отриманої ЦМР з визначенням мережі тальвегів та вододілів.

4) Накладання шару вирв на ЦМР і структуру тальвегів і визначення територій, які можуть бути забруднені в першу чергу внаслідок руху поверхневого стоку.

Усі розроблені картографічні матеріали передані керівництву Роганської СОТГ і

надалі можуть бути використані для планування господарських дій на території громади та надання конкретних рекомендацій фермерам щодо використання їх земель [15].

Подальшим етапом досліджень має бути проведення польового обстеження території з метою встановлення фактичного рівня забруднення території обстеження. Створена база геоданих дозволить зробити цей процес ефективнішим, шляхом визначення оптимальної мережі відбору проб, а застосування геоінформаційних технологій дозволить створити надійні карти фактичного забруднення території.

Висновки

Методи дистанційного зондування Землі в поєднанні з геоінформаційними технологіями показали свою високу ефективність при дослідженні наслідків бойових дій. Дешифрування вільних космічних знімків, які зроблені супутниками Planet за 2022 рік виявило 916 вирв, що утворились в результаті

обстрілів території Роганської СОТГ. Специфіка досліджень дозволяла проводити моніторинг в першу чергу сільськогосподарських угідь.

Опрацьовано методику проведення моніторингу природних та сільськогосподарських угідь за даними космічної зйомки.

Враховуючи той факт, що масовані активні бойові дії на досліджуваній території відбувались лише у період 15-21 березня 2022 року можна припустити наскільки значними будуть пошкодження земельних угідь в інших районах Харківщини, де бойові дії були більш тривалими.

За отриманими результатами створено набір карт стосовно вибухової небезпеки та хімічного забруднення території Роганської СОТГ, які можуть бути використані для планування подальших досліджень стану довкілля та раціоналізації господарської діяльності.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що робота виконувалась в рамках проекту «Фіксація шкоди, завданої природним комплексам Харківської області внаслідок війни», за підтримки Екологічної ініціативи Міжнародного фонду відродження (ЕРАІУ) за фінансування Швеції та науково-дослідницьких робіт № БФ/32-2023 «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна» і № 1-43-22 «Стратегія й інноваційні технології переробки органічних відходів тваринництва в контексті забезпечення нейтральної деградації земель: від лінійної до циркулярної економіки». Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Bennett, M. M., Van Den Hoek, J., Zhao, B., Prishchepov, A. V. Improving satellite monitoring of armed conflicts. *Earth's Future*, 2022. Vol. 10. N 9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022EF002904>
2. Gorsevski, V., Kasischke, E., Dempewolf, J., Loboda, T., Grossmann, F., Analysis of the Impacts of armed conflict on the Eastern Afromontane forest region on the South Sudan – Uganda border using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2012. Vol. 118. P. 10-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.023>
3. Вінкельманн К. Гуманітарне розмінування та очищення сільськогосподарських земель від вибухонебезпечних предметів. Приклади з Німеччини, перспективи для України. *Круглий стіл*. 2022. URL: <https://www.openforest.org.ua/215905/>
4. Lin, E., Rongjun Qin, R., Edgerton, J., Kong, D. Crater detection from commercial satellite imagery to estimate unexploded ordnance in Cambodian agricultural land. *PLOS ONE*, 2020. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229826>
5. Hupy, Joseph P., Schaetzl, Randall J. Introducing "Bombturbation," a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 2006. Vol.171(11), P. 823-836, DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19>
6. Mendez, F., Valánszki, I. Remote Sensing Tendencies in the Assessment of Areas Damaged by Armed Conflicts. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 2020. Vol. IX. P. 223-234.
7. Frank D. W. Witmer. Remote sensing of violent conflict: eyes from above. *International Journal of Remote Sensing*, 2015. Vol. 36. N:9. P. 2326-2352. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2015.1035412>
8. Роганська селищна військова адміністрація. *Офіційний сайт*. URL: <https://roganska-gromada.gov.ua/>
9. Planet Labs Inc. *Planet Imagery Product Specifications*, 2019. URL: <https://assets.planet.com/docs/combined-imagery-product-spec-april-2019.pdf>
10. Planet Labs Inc. Planet Labs Inc. *Planet Imagery Product Specifications*, 2022. URL: https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf
11. Bing Maps, *Web Map Service*. URL: <https://www.bing.com/maps/>
12. Таранова Є. Розмінування та відновлення землі. Як Україна очищує деокуповані території та скільки для цього потрібно грошей та часу. *Delo.ua*, 2023. URL: <https://delo.ua/agro/rozminuvannya-ta-vidnovlennya-zemli-yak-ukrayina-ocishhuje-deokupovani-teritoriyi-ta-skilki-dlya-cyogo-potribno-grosei-ta-casu-416191/>
13. Angurets O., Khazan P., Kolesnikova K., Kushch M., Černochova M., Havránek M. Ukraine, damage to the environment, environmental consequences of war. *Electronically published popular science*. 2023. P. 27-38.

14. Impact of the war on agricultural enterprises. Findings of a nationwide survey of agricultural enterprises with land up to 250 hectares. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2003. P. 6-23.
15. Achasov A., Seliverstov O., Diadin D., Siedov A. Remote monitoring of the consequences of hostilities on the territory of Rohan united territorial community. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2023.: матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції (27-28 квітня 2023 року)*. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2023. С. 93-94.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2023

Стаття рекомендована до друку 10.06.2023

A. B. ACHASOV, DSc (Agriculture), Professor

Acting Head of the Department of Ecology and Environmental Management

e-mail: achasov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2446-3707>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

O. Yu. SELIVERSTOV,

Graduate Student of the Department of Ecology and Environmental Management

e-mail: oleg.seliverstov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8477-274X>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

D. V. DIADIN, PhD (Technical), Associate Professor,

Head of the Department of Urban Ecology

e-mail: dmdyadin@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3421-3592>

O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,

Marshala Bazhanova St., 17, Kharkiv, 61002, Ukraine

A. O. SIEDOV,

Senior Lecture of the Department of Land Resources Management, Geodesy and Cadastre

e-mail: shakhmet1985@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0604-4015>

State Biotechnological University,

Alchevskikh St., 44, Kharkiv, 61002, Ukraine

REMOTE MONITORING OF THE CONSEQUENCES OF HOSTILITIES ON THE TERRITORY OF THE KHARKIV REGION

With connection with the full-scale Russian military aggression, the issue of clear spatial fixation of violations of natural complexes and their components has become extremely urgent. The consequences of projectiles and rockets, fires that arose as a result of shelling, military fortification activities, etc. led to the direct disturbance of landscapes, as well as their chemical pollution. This, in turn, has an extremely negative impact on the state of the environment and leads to indirect impacts. The quality of drinking water and crop production is deteriorating, soil fertility is decreasing, and the biodiversity of the territories is decreasing.

Purpose. The possibilities of fixing and monitoring damage to land resources based on the use of free space images and free geoinformation software.

Methods. Space images of the Planet Scope apparatus were taken as the information basis. Viewing, uploading and analysis of images took place in the free geographic information system (GIS) QGIS 3.12

Results. The research was conducted on the territory of Rohan settlement united territorial community (SOTG), which is located in the Kharkiv district of the Kharkiv region. According to the method of monitoring natural and agricultural land, deciphering data from space images shows that in 2022, 916 explosions were formed as a result of shelling of the territory of Rohansk SOTG. A set of maps related to the explosive danger and chemical contamination of the territory of the Rohansk SOTG was created, the decoding of space images of the territory of the Rogansk SOTG in different periods of time was carried out. Following the monitoring of agricultural lands, traces of bomb-trubbing were recorded. Maps of the results of recording the effects of bombing, a thermal map of the density of eddies, a map of the hydrological analysis of the territory that may be polluted as a result of bombing have been created.

Conclusions. The methodology for monitoring natural and agricultural lands based on space survey data was developed. The created set of maps related to the explosive danger and chemical pollution of the

territory of Rohansk SOTG can be used for planning further studies of the state of the environment and rationalization of economic activity.

KEY WORDS: *remote sensing, GIS, bombing, consequences of hostilities*

References

1. Bennett, M. M., Van Den Hoek, J., Zhao, B., & Prishchepov, A. V. (2022). Improving satellite monitoring of armed conflicts. *Earth's Future*, 10(9). <https://doi.org/10.1029/2022EF002904>
2. Gorsevski, V., Kasischke, E., Dempewolf, J., Loboda, T., & Grossmann, F. (2012). Analysis of the Impacts of armed conflict on the Eastern Afromontane forest region on the South Sudan – Uganda border using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.023>
3. Winkelmann, K. (2022). Humanitarian demining and clearing of agricultural lands from explosive-safe objects. Examples from Germany, prospects for Ukraine. *Round Table*. Retrieved from <https://www.openfor-est.org.ua/215905/>. (in Ukrainian).
4. Lin, E., Rongjun Qin, R., Edgerton, J., Kong, D. (2020). Crater detection from commercial satellite imagery to estimate unexploded ordnance in Cambodian agricultural land. *PLOS ONE*. Retrieved from <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229826>
5. Hupy, Joseph P., Schaetzl, Randall J. Introducing "Bombturbation," a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 2006. Vol.171(11), P. 823-836. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19>
6. Mendez, F., & Valánszki, I. (2020). Remote Sensing Tendencies in the Assessment of Areas Damaged by Armed Conflicts. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, IX, 223-234.
7. Witmer, F. D. W. (2015). Remote sensing of violent conflict: eyes from above. *International Journal of Remote Sensing*, 36(9), 2326-2352. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2015.1035412>
8. Rohan village military administration. *Official site*. Retrieved from <https://roganska-gromada.gov.ua/> (in Ukrainian).
9. Planet Labs Inc. (2019). *Planet Imagery Product Specifications*, Retrieved from <https://assets.planet.com/docs/combined-imagery-product-spec-april-2019.pdf>
10. Planet Labs Inc. (2022). *Planet Imagery Product Specifications*, Retrieved from https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf
11. Bing Maps, *Web Map Service*. Retrieved from <https://www.bing.com/maps/>
12. Taranova, Ye. (2023). Demining and restoration of land. How Ukraine cleans the de-occupied territories and how much money and time is needed for this. *Delo.ua*, Retrieved from <https://delo.ua/agro/rozminuvannya-ta-vidnovlennya-zemli-yak-ukrayina-ocishhuje-deokupovani-teritoriyi-ta-skilki-dlya-cyogo-potribno-grosei-ta-casu-416191/> (in Ukrainian).
13. Angurets, O., Khazan, P., Kolesnikova, K., Kushch, M., Černochova, M., Havránek, M. (2023). Ukraine, damage to the environment, environmental consequences of war. *Electronically published popular science*, 27-38.
14. Impact of the war on agricultural enterprises. Findings of a nationwide survey of agricultural enterprises with land up to 250 hectares. (2003). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 6-23.
15. Achasov, A., Seliverstov, O., Diadin, D., & Siedov, A. (2023). Remote monitoring of the consequences of hostilities on the territory of Rohan united territorial community. Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference: Ecology, environmental protection and balanced nature use: education - science - production – 2023. Kharkiv, 2023, April 27-28 (pp. 93-94). Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University. (in Ukrainian).

The article was received by the editors 16.05.2023

The article is recommended for printing 10.06.2023