

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-350-83>

УДК 504.064

JEL classification: Q54, Q56, Q24, R52, O33, C55

КАЛИНА Тетяна

ПЗВО «Міжнародний класичний університеті імені Пилипа Орлика»

<https://orcid.org/0000-0002-2705-9382>

e-mail: tkalinka.zin@gmail.com

ОСТРОВСЬКИЙ Ігор

ПЗВО «Міжнародний класичний університеті імені Пилипа Орлика»

<https://orcid.org/0000-0001-7867-7132>

e-mail: Ihor.p.ostrovskiy@lpnu.ua

ПІДБЕРЕЗНИХ Інна

ПЗВО «Міжнародний класичний університеті імені Пилипа Орлика»

<https://orcid.org/0000-0001-9906-4327>

e-mail: innaevgenievna2017@gmail.com

НАЗАРЕНКО Інна

ПЗВО «Міжнародний класичний університеті імені Пилипа Орлика»

<https://orcid.org/0009-005-4950-8264>

e-mail: nazarenkoinnavaleri@gmail.com

Nazarenko Inna

МАСЬ Андрій

ПЗВО «Міжнародний класичний університеті імені Пилипа Орлика»

<https://orcid.org/0000-0003-1140-2817>

e-mail: andreimas1959@gmail.com

СУПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОЦІНЦІ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙНИ ТА УПРАВЛІННІ ВІДНОВЛЕННЯМ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ

В статті висвітлено екологічні наслідки повномасштабної війни в Україні, зокрема деградацію ґрунтів, забруднення токсичними речовинами, втрату сільськогосподарських угідь, порушення природоохоронних територій та систем екологічного моніторингу. Увагу приділено актуальності супутникових технологій як інструменту оцінки стану довкілля в умовах обмеженого доступу до територій, постраждалих від бойових дій. Проаналізовано потенціал оптичних, радіолокаційних і інфрачервоних знімків, спектральних індексів (NDVI, SAVI, EVI), а також геоінформаційних платформ для ідентифікації пошкоджень, планування відновлення та прийняття управлінських рішень. Узагальнено міжнародний досвід моніторингу наслідків збройних конфліктів. Наголошено на необхідності інституціоналізації супутникових технологій у системі екологічного управління України, розвитку професійної підготовки фахівців, відкритості даних та вдосконалення нормативної бази. Супутниковий моніторинг розглядається не лише як інструмент оцінки шкоди, а як основа довготривалої стратегії відновлення природного середовища в умовах війни та післявоєнної відбудови.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, екологічні наслідки війни, деградація ґрунтів, дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи, екологічна оцінка, стратегія відновлення, екологічна безпека, просторове планування, воєнні дії, екосистема, землекористування.

KALYNA Tetiana, OSTROVSKYI Ihor,

PIDBEREZNYKH Inna, NAZARENKO Inna, MAS Andriy

Pylyp Orlyk International Classical University

SATELLITE TECHNOLOGIES IN ASSESSING THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF WAR AND MANAGING LAND RESTORATION

The full-scale war in Ukraine has caused large-scale environmental degradation, including soil contamination by explosive remnants, heavy metals, fuel products, and other toxic substances, the loss of agricultural land, destruction of forest ecosystems, damage to protected areas, and disruption of environmental monitoring systems. Under conditions of limited physical access to affected territories, satellite technologies and remote sensing data have become a key instrument for objective, safe, and large-scale environmental assessment. The purpose of the study is to substantiate the role of satellite technologies as an analytical and management tool for evaluating war-related environmental damage and supporting evidence-based land restoration strategies.

The research analyzes the potential of optical, radar, and infrared satellite imagery, as well as spectral indices (NDVI, SAVI, EVI, NDWI) for detecting vegetation loss, soil degradation, moisture changes, thermal anomalies, and landscape transformation. The integration of remote sensing data with geographic information systems (GIS), cadastral information, and environmental databases enables multi-level spatial analysis, damage mapping, prioritization of rehabilitation areas, and monitoring of ecosystem recovery dynamics. Particular attention is paid to time-series analysis and automated image processing using machine learning methods, which significantly increase the speed and accuracy of environmental diagnostics in conflict-affected regions.

The paper summarizes international experience in applying satellite monitoring in post-conflict countries such as Iraq, Syria, and Afghanistan, where remote sensing supported rapid environmental assessment, land-use change detection, and planning of ecological rehabilitation measures. The study emphasizes that satellite data should be institutionalized within Ukraine's environmental governance framework, recognized as legally significant for damage assessment, and integrated into strategic environmental assessment, spatial planning, and land management policies. It is argued that satellite monitoring should be considered not only as a tool for documenting environmental losses but also as a foundation for a long-term national system of environmental control and

post-war land restoration. Effective implementation requires interagency coordination, open data access, investment in geospatial infrastructure, and professional training in GIS and remote sensing. The development of a national satellite-based environmental monitoring system will enhance transparency, support international reporting, improve decision-making, and contribute to sustainable recovery and environmental security in Ukraine.

Keywords: satellite monitoring, environmental consequences of war, soil degradation, remote sensing, geographic information systems (GIS), environmental assessment, restoration strategy, environmental security, spatial planning, warfare, ecosystem, land use.

Стаття надійшла до редакції / Received 24.12.2025
Прийнята до друку / Accepted 20.01.2026
Опубліковано / Published 29.01.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Калина Тетяна, Островський Ігор, Підберезних Інна,
Назаренко Інна, Мась Андрій

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Воєнні дії на території нашої країни стали не лише гуманітарною і геополітичною катастрофою, але й однією з наймасштабніших екологічних криз сучасності в Європі. Внаслідок бойових дій спостерігаються значні руйнування природного середовища, забруднення ґрунтів вибухонебезпечними залишками, хімічними речовинами, важкими металами, деградація орних земель і пасовищ, знищення лісових екосистем та водно-болотних угідь. Війна призвела до радикальної трансформації ландшафтів, особливо в регіонах активних бойових дій, тривалих обстрілів, і оцінити реальні масштаби таких змін, а тим більше розробити ефективні заходи з відновлення, можливо лише за умов застосування сучасних цифрових інструментів аналізу простору. Проблема ускладнюється тим, що традиційні методи екологічного моніторингу на постраждалих територіях часто неможливі через замінування, фізичну небезпеку, а також втрату доступу до інфраструктури, і тому на перший план виходять супутникові технології та геопросторові аналітичні системи, які дають змогу безпечно, регулярно та на значній територіальній площі отримувати об'єктивну інформацію про стан землекористування, зміну покриву територій, рівень деградації ґрунтів тощо. Завдяки даним дистанційного зондування Землі можливо також виявляти приховані екологічні ризики, зокрема ерозію, пересихання водойм, пошкодження заповідних об'єктів, тощо.

Особливої важливості набуває можливість інтегрувати супутникові дані з іншими джерелами геопросторової інформації: кадастрами, топографічними матеріалами, відкритими екологічними базами даних задля формування науково обґрунтованих стратегій екологічного відновлення та раціонального управління земельними ресурсами, що дозволяє не лише аналізувати збитки, але й формувати карти пріоритетів відновлення, виявляти зони, що підлягають рекультивації, та контролювати динаміку відновлення екосистем. За таких умов, відновлення України після війни неможливе без глибокого розуміння та контролю за екологічними процесами на територіях, що зазнали руйнувань. де супутниковий моніторинг стає важливим інструментом для прийняття управлінських рішень на національному і регіональному рівнях, а також для залучення міжнародної допомоги, оцінки шкоди та планування відбудови на принципах сталого розвитку. Отже, дослідження потенціалу супутникових технологій в оцінці екологічних наслідків війни та управлінні відновленням земельних ресурсів є науково обґрунтованим та практично необхідним завданням сучасної України.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В науковій літературі останніх років простежується зростаючий інтерес до застосування супутникових технологій та геоінформаційних систем у сфері екологічного моніторингу, аналізу землекористування та планування заходів з відновлення довкілля, особливо в умовах воєнних дій і післявоєнної реконструкції. Вітчизняні та зарубіжні дослідження зосереджуються на можливостях дистанційного зондування Землі для вияву змін у стані ґрунтів, рослинного покриву, водних об'єктів та інших компонентів природного середовища, що постраждали внаслідок бойових дій. У працях вітчизняних учених, зокрема І. Пономаренка, В. Тарасова, Г. Мелконова, О. Спіфанов обґрунтовано економічну доцільність використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та супутникових знімків у сільському господарстві для визначення рівня деградації земель, моніторингу посівів і планування рекультиваційних заходів. Активно розробляються методики використання спектральних індексів (NDVI, SAVI, NDSI тощо) для оцінки густоти рослинності, вологості ґрунту та виявлення зон із потенційною ерозією. У наукових працях важливим напрямом досліджень також є застосування мульти- та гіперспектральної зйомки для аналізу пошкоджень земель та прогнозування їх здатності до відновлення.

Значна увага приділяється ролі супутникового моніторингу в екологічній оцінці воєнних наслідків, а у публікаціях фахівців платформи EOS Data Analytics, Українського гідрометеорологічного інституту та в матеріалах Copernicus Emergency Management Service (EU) аналізуються приклади використання даних Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8/9 для картування змін ландшафту, виявлення термальних аномалій (наслідки обстрілів, пожеж) та оцінки масштабу забруднення. Окремі дослідження (Ю. Карпінський, Д. Макаренко, А. Черін) акцентують увагу на необхідності створення інтегрованих геопросторових платформ, які поєднують

спутникові дані з кадастровою, агрохімічною та екологічною інформацією. Такий підхід дозволяє формувати обґрунтовані моделі відновлення земельних ресурсів, проводити сценарне моделювання і пріоритизацію територій за ступенем ушкодження та потенціалом відновлення. В наукових працях також наголошується на викликах, пов'язаних із обмеженою актуальністю доступних геоданих, недостатнім кадровим забезпеченням у сфері ГС-аналізу, потребою у державній підтримці для масштабного впровадження цифрових супутникових сервісів. Водночас досвід локальних ініціатив, зокрема в регіонах деокупованих територій, демонструє, що навіть базові інструменти ДЗЗ можуть бути ефективно використані громадами для оцінки стану земель, підготовки до весняно-польових робіт і залучення екологічної допомоги. Тож, аналіз наукових джерел засвідчує, що супутникові технології виступають ключовим інструментом просторової оцінки екологічної шкоди, заподіяної війною, та формування стратегії відновлення земель, їх впровадження в систему державного управління землекористуванням та екологічної політики є необхідною умовою для сталого відновлення постраждалих територій України.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є обґрунтування значущості супутникових технологій як інструменту оцінки екологічних наслідків війни і формування ефективної системи управління відновленням земельних ресурсів, з урахуванням потреб просторового аналізу, інтеграції геоданих, екологічного моніторингу та впровадження геоінформаційних рішень у процесах післявоєнної реконструкції.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Земля, як базовий елемент екосистеми та ключовий ресурс сільськогосподарського виробництва, зазнає масштабного антропогенного тиску в умовах воєнних дій, наслідки яких мають критичний вплив на сталий розвиток територій, продовольчу безпеку та екологічну рівновагу. Одним із найгостріших наслідків є забруднення ґрунтів вибухонебезпечними залишками (снарядами, мінами, касетними босприпасами), важкими металами (свинець, мідь, кадмій), паливно-мастильними матеріалами, продуктами горіння та іншими токсичними речовинами, а внаслідок бойових дій ґрунтовий покрив може бути фізично порушений, що призводить до втрати родючого шару, погіршення аерації та водно-фізичних властивостей ґрунту. Значних пошкоджень зазнали сільськогосподарські угіддя, які в багатьох регіонах стали аренами бойових дій або заміновані, оскільки за даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, понад 25% орних земель тимчасово виведені з обігу через забруднення чи замінування, що негативно позначається на врожайності, структурі посівів та економіці агросектору. Війна також спричинила масове знищення лісових масивів, лісосмуг, луків, пасовищ, особливо в прифронтових зонах, та зафіксовано масштабні лісові пожежі внаслідок обстрілів, порушення гідрологічного режиму через зруйновані дамби, меліоративні системи та підтоплення. Унікальні природоохоронні території (заповідники, заказники, національні парки) опинилися під загрозою деградації, втрати біорізноманіття та незворотних змін у середовищі існування рідкісних видів. Окремим викликом є деструкція інфраструктури поводження з відходами, що призводить до неконтрольованого розповсюдження токсичних речовин на поверхню ґрунту, а знищення промислових підприємств (нафтобаз, хімічних заводів, складів добрив) створює осередки локального забруднення надзвичайно небезпечними речовинами, які можуть інфільтрувати у ґрунти та підземні води. Крім безпосереднього впливу, воєнні дії спричиняють порушення системи екологічного моніторингу, унеможливають проведення планових інвентаризацій, зйомок, агрохімічних досліджень, що ускладнює об'єктивну оцінку стану земель та прийняття рішень на основі достовірних даних. Таким чином, війна створила багатовекторну кризу для земельних ресурсів, яка включає як прямі фізичні пошкодження і хімічне забруднення, так і системні виклики для моніторингу, відновлення та управління, усунення яких вимагає застосування високотехнологічних інструментів оцінки, серед яких пріоритетне місце займають супутникові технології та геоінформаційні системи.

Супутниковий моніторинг, як складова системи дистанційного зондування Землі, є одним із провідних інструментів збору геопросторової інформації, що дозволяє здійснювати об'єктивну, масштабну та регулярну оцінку стану природного середовища, у тому числі земельних ресурсів [7]. Теоретичним підґрунтям його застосування є концепція спостереження за об'єктами без прямого контакту, із залученням супутникових платформ, оснащених багатоспектральними, гіперспектральними або радарними сенсорами, що фіксують електромагнітне випромінювання у різних діапазонах [9]. Супутникові дані, отримані в рамках програм *Sentinel* (Європейське космічне агентство), *Landsat* (NASA/USGS), *PlanetScope*, *EOSDA* та інших, дозволяють здійснювати багаторівневий аналіз екологічного стану територій, включно з виявленням змін у землекористуванні, деградації ґрунтового покриву, пошкодженням рослинності, пересиханням водних об'єктів, тощо.

До основних категорій супутникових знімків, які знаходять застосування в екологічному аналізі, належать: оптичні зображення, які забезпечують високоточну фіксацію кольорової структури об'єктів і використовуються для побудови вегетаційних індексів; радіолокаційні (SAR) дані, що дозволяють отримувати інформацію незалежно від погодних умов і часу доби, зокрема про вологість ґрунту та мікрорельєф; інфрачервоні зображення, які застосовуються для виявлення теплових аномалій, осередків

пожеж та змін у стані лісових насаджень [1]. Особливої уваги нині набули вегетаційні індекси, зокрема NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), які є індикаторами життєздатності рослинності та дозволяють оцінювати інтенсивність змін у біосферному покриві внаслідок антропогенних або техногенних впливів. В сучасних дослідженнях також застосовуються інші спектральні індекси (SAVI, EVI, NDSI), що дозволяють отримувати більш деталізовану інформацію щодо структури земної поверхні.

Геопросторова обробка, інтеграція та аналіз супутникових даних здійснюється за допомогою геоінформаційних систем, тобто спеціалізованого цифрового середовища, яке забезпечує можливість поєднання даних різної природи (картографічних, кадастрових, екологічних, топографічних) та проведення багатовимірного просторового аналізу [8]. Платформи (*QGIS, ArcGIS, Google Earth Engine, EOSDA Crop Monitoring*) активно використовуються в науковій і прикладній практиці для моніторингу стану земель, моделювання сценаріїв відновлення та картографування екологічних ризиків. Суттєвою особливістю супутникового моніторингу є його здатність забезпечувати динамічний аналіз змін у часі шляхом побудови часових рядів спостережень з високою періодичністю, що дозволяє не лише фіксувати стан територій на конкретний момент, але і простежувати динаміку змін [3], виявляти довготривалі наслідки порушення природного балансу, формувати прогностичні моделі для прийняття рішень у сфері управління земельними ресурсами.

Сучасні виклики, пов'язані з воєнними діями, актуалізують підходи до автоматизованої обробки супутникових знімків із використанням методів машинного навчання, штучного інтелекту та алгоритмів класифікації, оскільки такі рішення дають змогу суттєво підвищити швидкість і точність аналізу, ідентифікувати пошкоджені ділянки, визначити пріоритетні території для рекультивції та формувати інструменти просторового планування на основі об'єктивних даних. За таких умов, супутникові технології та геоінформаційні системи виступають ключовими елементами інфраструктури просторового аналізу, які забезпечують комплексне дослідження екологічного стану територій і створюють наукову базу для прийняття управлінських рішень у сфері відновлення земельних ресурсів.

Міжнародна практика свідчить про ефективність застосування супутникових технологій у моніторингу екологічних наслідків збройних конфліктів та плануванні заходів з відновлення територій, де на увагу заслуговує досвід Іраку, Сирії та Афганістану, що зазнали тривалих воєнних дій із масштабними екологічними та соціальними наслідками. Зокрема в Іраку супутникові технології активно використовувалися після війни 2003 року для оцінки стану сільськогосподарських угідь, виявлення забруднених або спустошених територій та контролю за деградацією орних земель. Так, дані програм *Landsat, MODIS* та *Sentinel-2* застосовувалися для побудови індексів рослинності (NDVI) і вияву зниження продуктивності ґрунтів, дослідження UNEP відзначали також використання ДЗЗ для виявлення зон із підвищеним ризиком *desertification* (опустелювання), особливо в долинах Тигру та Євфрату. В Сирії, за даними міжнародних гуманітарних організацій, супутникові знімки стали основою для оцінки руйнувань міської інфраструктури, зокрема у містах Алеппо, Хомс, Ракка, а платформи *UNOSAT* та *Copernicus EMS* надавали високоточні карти пошкоджень, виявляли місця несанкціонованих сміттєзвалищ, розливів нафти, пожеж на територіях складів боєприпасів. Супутниковий моніторинг дозволив також виявити перетворення сільськогосподарських угідь в покинуті або забруднені ділянки через бойові дії та втрату водних ресурсів [2]. У Афганістані супутникові технології відіграли важливу роль в моніторингу нелегального землекористування, незаконної вирубки лісів та оцінці змін у традиційній аграрній структурі, що виникли внаслідок воєнної нестабільності. Дослідницькі проекти з використанням даних *NASA, USGS* та *Planet Labs* показали ефективність мультитимових супутникових знімків у фіксації деградації пасовищ, ерозії ґрунтів, зменшення зрошуваних площ, а також масового переміщення населення, що вплинуло на просторову структуру землекористування. Тож, такі приклади підтверджують, що супутникові технології є не лише інструментом для постфактум-оцінки шкоди, але і засобом довгострокового моніторингу, підтримки гуманітарного реагування та просторового планування заходів з екологічної реабілітації територій.

Отже, супутникові технології набувають особливої значущості як інструмент оцінки стану довкілля в регіонах з обмеженим або відсутнім польовим доступом, що є характерним для сучасної ситуації в Україні. Узагальнення міжнародного досвіду їх застосування у воєнно-пошкоджених територіях дозволяє розглядати супутникові дані як основу для формування ефективної системи екологічного моніторингу та відновлення земельних ресурсів. Відповідно, ефективність супутникових технологій у моніторингу військових впливів на довкілля визначається сукупністю фундаментальних переваг, які зумовлюють їх широке впровадження в екологічних дослідженнях (рис. 1).

Наведені переваги супутникового моніторингу свідчать про його значущість не лише як технічного інструменту збору даних, а як невіддільного елементу системного підходу до аналізу, планування й реалізації екологічної політики в умовах збройного конфлікту. На основі супутникових спостережень можна не лише виявляти екологічні порушення, але і формувати доказову базу для міжвідомчої координації дій, міжнародної звітності та просторової візуалізації потреб у реабілітації. Такий потенціал визначає потребу в інституціоналізації супутникових технологій в екологічному менеджменті України у воєнний та післявоєнний період. Тож, супутниковий моніторинг завдяки відкритості даних, широкій доступності інструментів аналізу та можливості просторової візуалізації екологічних змін, перетворюється з допоміжного аналітичного засобу

на інтегральний компонент державної екологічної політики в умовах війни і потенціал полягає у зборі доказової бази для фіксації шкоди та створенні міжвідомчої екосистеми прийняття рішень на основі просторових даних.



Рис. 1. Переваги супутникових технологій у моніторингу довкілля

Джерело: сформовано автором на основі [4]

За таких умов супутникові технології відіграють критично важливу роль не лише у ретроспективній фіксації наслідків збройних конфліктів, але й у забезпеченні довгострокового екологічного моніторингу, підтримки оперативного гуманітарного реагування та просторового планування заходів з реабілітації постраждалих територій, а їх інтеграція в національні системи екологічної оцінки дозволяє створити багаторівневу систему аналізу, яка охоплює не лише факт завдання шкоди, а й динаміку відновлення природних ландшафтів. У світлі такого, міжнародний досвід застосування супутникових технологій у післяконфліктних регіонах (Ірак, Сирія, Афганістан, Південний Судан) може бути використаний як методологічна та практична основа для формування української стратегії екологічного моніторингу, зокрема, адаптація таких моделей як Environmental Damage Mapping (EDM), Rapid Environmental Assessment (REA) або Emergency Mapping Service (EMS) на основі супутникових знімків дозволяє створити науково обґрунтовану й технологічно спроможну систему оцінки та реагування на екологічні виклики війни.

При супутниковому моніторингу екологічних та інфраструктурних наслідків бойових дій на території України особливу цінність становлять візуальні матеріали, отримані з відкритих супутникових платформ. Наведені нижче зображення слугують наочним підтвердженням потенціалу дистанційного зондування Землі у фіксації масштабів руйнувань та просторових трансформацій, спричинених війною. Наведені приклади демонструють супутникові знімки високої роздільної здатності, які відображають динаміку змін у середовищі внаслідок збройних дій. Формат порівняння «до та після» дозволяє здійснювати кількісну та якісну оцінку руйнувань будівель, інфраструктурних об'єктів і житлових кварталів. Подібні візуалізації є важливим

джерелом інформації для просторового аналізу збитків, зокрема у містах, що зазнали найбільшого навантаження. Так, знімок (рис. 2) ілюструє результати обстрілу Маріупольського драматичного театру, де завдяки супутниковим даним вдалося задокументувати конфігурацію пошкоджень та масштаб зруйнованої території, а подібні візуальні джерела є критично важливими для збереження пам'яті та оцінки культурних втрат.



Рис. 2. Результати обстрілу Маріупольського драматичного театру [6]

Знімок (рис.3) формату порівняння «до та після» демонструє одну із найбільш резонансних екологічних інцидентів, спричинених військовими діями на території України, через підлив греблі Каховської гідроелектростанції у червні 2023 року. Масштабна техногенна катастрофа, яка супроводжувалася раптовим обвальним зниженням рівня води в Каховському водосховищі та затопленням прилеглих населених пунктів, вимагала оперативного реагування екологічних і гуманітарних структур, тому важливим став потенціал супутникових технологій, що забезпечили достовірний просторово-часовий аналіз наслідків аварії в умовах обмеженого доступу до регіону.



Рис. 3. Підлив Каховської ГЕС (червень 2023): супутниковий аналіз затоплень [5]

Радарні супутникові знімки Sentinel-1, які є складовою європейської програми Copernicus, дали змогу оперативно виявити площі затоплення незалежно від погодних умов та наявності хмарності, де, на відміну від оптичних сенсорів, радарна зйомка дозволяє отримувати достовірні зображення поверхні навіть вночі або за умов значного атмосферного забруднення, що є критичним у надзвичайних ситуаціях. Для швидкого картографування наслідків катастрофи було залучено службу надзвичайного картографування Copernicus Emergency Management Service (EMS), яка створила серію оперативних тематичних карт, зокрема змін берегової лінії, рівнів води, затоплених населених пунктів і сільськогосподарських угідь. Такі дані дозволили виявити потенційні зони вторинного екологічного ризику зокрема, можливе забруднення ґрунтів і водоєм хімічними речовинами з підтоплених складів і об'єктів інфраструктури. Таким чином, супутниковий моніторинг у випадку з підривом Каховської ГЕС продемонстрував свою високу ефективність як інструмент швидкого реагування, просторової аналітики та підтримки рішень для координації дій державних органів, міжнародних гуманітарних структур і екологічних організацій, що підкреслило необхідність інституціоналізованого використання супутникових сервісів у системі екологічної безпеки України.

Перспективність супутникових технологій задля відновлення територій, науково обґрунтованого управління земельними ресурсами, інтегрованої оцінки стану довкілля, просторового планування заходів реабілітації та довгострокового моніторингу зумовлена низкою чинників: по-перше, доступ до багаторівневих супутникових даних (оптичних, радарних, мультиспектральних) із платформ Copernicus (Sentinel-1, Sentinel-2), NASA (Landsat 8/9), Planet Labs та інших забезпечує постійне оновлення інформації про екологічний стан великих територій у високій роздільній здатності, що створює підґрунтя для формування національної системи екологічного моніторингу земель, яка б базувалася на достовірних геопросторових даних. По-друге, впровадження супутникових технологій у процеси просторового планування відновлення відкриває можливість моделювання сценаріїв реабілітації постраждалих територій з урахуванням реального стану ґрунтів, рослинного покриву, гідромережі, рівня техногенного забруднення, а аналітичні продукти супутникового моніторингу можуть бути інтегровані у процедури стратегічної екологічної оцінки, просторове зонування та розробку програм ландшафтної рекультивативації. По-третє, супутникові технології створюють основу для довготривалого спостереження за ефективністю впроваджених відновлювальних заходів, де завдяки часовим серіям даних можливо відстежувати динаміку природної регенерації або деградації територій, оцінювати сталість змін та коригувати управлінські рішення в реальному часі.

Водночас впровадження супутникових технологій у систему екологічного управління не позбавлене викликів, оскільки одним із ключових обмежень є відсутність скоординованої інституційної моделі використання супутникових даних в межах державних програм, що знижує ефективність їх впровадження, а брак кваліфікованих фахівців, здатних працювати з геопросторовими даними, геоінформаційними системами та алгоритмами обробки супутникових зображень, становить суттєвий бар'єр для практичного застосування таких технологій. Вагомим викликом за сучасних реалій є обмежена доступність супутникових даних дуже високої роздільної здатності, які, зазвичай, є комерційними і не входять до переліку відкритих джерел, що ускладнює використання точних аналітичних моделей в межах публічних та бюджетних ініціатив. Крім того, недостатнє нормативно-правове забезпечення використання супутникових технологій в екологічній оцінці та землекористування створює невизначеність щодо їх офіційного статусу в процесі прийняття управлінських рішень. З огляду на зазначене, перспективи ефективного використання супутникових технологій у процесах планування відновлення земельних ресурсів безпосередньо залежать від вирішення низки організаційних, технічних та нормативних питань, оскільки інтеграція супутникових платформ в систему національного екоменеджменту потребує розбудови міжвідомчої координації, розвитку професійної освіти, інвестицій у відкриті аналітичні інструменти та адаптації міжнародного досвіду до вітчизняного контексту.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Результати дослідження засвідчили високий потенціал супутникових технологій задля просторової оцінки екологічних наслідків війни та формування науково обґрунтованих стратегій відновлення земельних ресурсів, проте для їх ефективного та сталого використання необхідне ширше, структуроване впровадження на всіх рівнях екологічного управління (державному, науковому й локальному). За таких умов, постає необхідність формування цілісної політики супутникового моніторингу, що спиратиметься на міжвідомчу взаємодію, наукову експертизу та активну участь громад. На державному рівні доцільним є інституціоналізація супутникових технологій як одного з ключових елементів національної системи екологічного моніторингу, зокрема створення регламентів, які визнають супутникові дані як юридично значущі для оцінки екологічної шкоди, а також про інтеграцію супутникових продуктів у процедури стратегічного планування, просторового зонування, оцінки ризиків та відновлення деградованих територій. Варто також ініціювати національні програми доступу до відкритих і комерційних супутникових платформ (зокрема Copernicus, PlanetScore), а також забезпечити довготривале фінансування інфраструктури обробки та зберігання геопросторових даних.

На рівні наукових установ та освітніх закладів важливим кроком є розширення підготовки фахівців у галузі дистанційного зондування, ГІС-аналітики та екологічного моніторингу, розвиток міждисциплінарних

досліджень і створення відкритих науково-аналітичних платформ, що дозволить не лише розробити національні методики аналізу супутникових знімків для оцінки екологічної шкоди, а і забезпечити якісну експертну підтримку для органів державної влади та місцевих громад. При децентралізації та підвищення ролі місцевого самоврядування, перспективним є використання супутникових даних органами місцевої влади і громадськими ініціативами для моніторингу стану довкілля, виявлення нелегального землекористування, картографування деградаційних процесів і прийняття обґрунтованих рішень у сфері відновлення, що потребує необхідного поширення знань, інструментів і програмних рішень, адаптованих до локального рівня, а також формування механізмів відкритого доступу до просторової інформації. Таким чином, широке впровадження супутникових технологій повинне бути частиною стратегії післявоєнної відбудови, що не лише сприятиме ефективній оцінці завданих екологічних збитків, але створить основу для формування сучасної, технологічно спроможної системи управління природними ресурсами, орієнтованої на принципи сталого розвитку, прозорості та наукової обґрунтованості.

Література

1. Боровий В., Браславська О., Рожі Т. Супутникове та БПЛА-знімання як інструменти моніторингу земельних ресурсів: сучасні технології та їх застосування в Україні. *Технічні науки та технології*, 2025 № 1 (39), с. 315–327. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1\(39\)-315-327](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)-315-327)
2. Гулько О.Р., Перович Л.М., Лудчак О.Ю. Аналіз світового досвіду використання космічних методів моніторингу використання земель сільськогосподарського призначення. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. 2018. Вип. 1 (35). Львів. С. 64–70
3. Зацерковний В., Де Донатіс М., Плічко Л., Сахнюк С., Одарчук Н., Мірончук Т. Використання технологій дистанційного зондування для моніторингу міських островів тепла. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2024 №3(106), с. 99–106. <https://doi.org/0.17721/1728-2713.106.13>
4. Огляд переваг дистанційного зондування та ГІС в екологічному моніторингу. URL: <https://ua.linkedin.com/pulse/review-advantages-remote-sensing-gis-environmental-daniel-aderotoye-onlff?tl=uk>
5. Супутниковий аналіз затоплень. URL: <https://emergency.copernicus.eu/news/>
6. Супутниковий аналіз руйнувань у Маріуполі. URL: <https://unosat.org/products/3300>
7. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. К.: Аграр. наука, 2019. 204 с.
8. Шевчук С.М., Пуденко О.Р. Можливості використання технологій ГІС та ДЗЗ при екологічному моніторингу Макухівського сміттєзвалища в Полтавській області. *Вісник ПДАА*. 2022. №2. С.165–174. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.20>
9. Четверіков Б. В., Калинич І. В. Методика застосування даних дистанційного зондування землі в оцінці наслідків надзвичайних ситуацій. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. 120 с

References

1. Borovyi V., Braslavska O., Rozhi T. (2025). *Sputnykove ta BPLA-znimannia yak instrumenty monitorynhu zemelnykh resursiv: suchasni tekhnologii ta yikh zastosuvannia v Ukraini* [Satellite and UAV imaging as tools for land resources monitoring: modern technologies and their application in Ukraine]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii*, No. 1(39), pp. 315–327. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1\(39\)-315-327](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)-315-327)
2. Hulko O. R., Perovych L. M., Ludzechak O. Yu. (2018). *Analiz svitovoho dosvidu vykorystannia kosmichnykh metodiv monitorynhu vykorystannia zemel silskohospodarskoho pryznachennia* [Analysis of global experience in using space-based methods for monitoring agricultural land use]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky i vyrobnytstva: zbirnyk naukovykh prats Zakhidnoho heodezychnoho tovarystva UTsHK*, Issue 1(35), Lviv, pp. 64–70.
3. Zatserkovnyi V., De Donatis M., Plichko L., Sakhniuk S., Odarchuk N., Mironchuk T. (2024). *Vykorystannia tekhnologii dystantsiinoho zonduvannia dlia monitorynhu miskykh ostriviv tepla* [Use of remote sensing technologies to monitor urban heat islands]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, No. 3(106), pp. 99–106. <https://doi.org/0.17721/1728-2713.106.13>
4. *Ohliad perevah dystantsiinoho zonduvannia ta HIS v ekolohichnomu monitorynhu* [Review of advantages of remote sensing and GIS in environmental monitoring]. Available at: <https://ua.linkedin.com/pulse/review-advantages-remote-sensing-gis-environmental-daniel-aderotoye-onlff?tl=uk>
5. *Sputnykovyi analiz zatoplen* [Satellite analysis of floods]. Available at: <https://emergency.copernicus.eu/news/>
6. *Sputnykovyi analiz ruinuvan u Mariupoli* [Satellite analysis of destruction in Mariupol]. Available at: <https://unosat.org/products/3300>
7. Tarariko O. H., Syrotenko O. V., Iliencko T. V., Kuchma T. L. (2019). *Ahroekolohichni sputnykovyi monitorynh* [Agroecological satellite monitoring]. Kyiv: Ahrarna nauka. 204 p.
8. Shevchuk S. M., Pudenko O. R. (2022). *Mozhlyvosti vykorystannia tekhnologii HIS ta DZZ pry ekolohichnomu monitorynhu Makukhivskoho smittiezvalyshcha v Poltavskii oblasti* [Possibilities of using GIS and RS technologies in environmental monitoring of the Makukhiv landfill in Poltava region]. *Visnyk PDAА*, No. 2, pp. 165–174. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.20>
9. Chetverikov B. V., Kalynych I. V. (2022). *Metodyka zastosuvannia danykh dystantsiinoho zonduvannia zemli v otsyntsi naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii* [Methodology for using remote sensing data to assess the consequences of emergencies]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 120 p.