

ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ І ГІС У МОНІТОРИНГУ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ

О. І. Дребот

доктор економічних наук, професор, академік НААН
Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>

В. С. Костюк

кандидат біологічних наук, доцент
Житомирський державний університет імені Івана Франка (м. Житомир, Україна)
e-mail: kostyuk_vs@yahoo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-4084>

Л. І. Сахарнацька

кандидат економічних наук, доцент, старший дослідник
Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
Закарпатський обласний центр соціально-економічних
і гуманітарних досліджень НАН України (м. Ужгород, Україна)
e-mail: liudmyla.sakharnatska@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5863-4917>

Стаття розглядає практичні засади проведення моніторингу динамічних трансформацій лісового покриття Українських Карпат із застосуванням ГІС-технологій. Мета роботи полягає в дослідженні просторово-темпоральних змін лісових екосистем Карпатського регіону через синтез багатоспектральних супутникових знімків та просторового моделювання в ГІС-середовищі для забезпечення достовірної детекції антропогенних і природно зумовлених порушень. Методологічна основа дослідження базується на інтеграції багатоспектральних супутникових даних платформ із комплексом спектральних вегетаційних індексів. У програмному середовищі QGIS реалізовано процедури обробки й аналізу часових серій, класифікаційного аналізу, векторизації та кореляційного моделювання з урахуванням орографічних, інфраструктурних і лісгосподарських чинників. Отримані результати виявили форматну диференціацію процесів трансформації лісового покриття Українських Карпат. Було зафіксовано середню інтенсивність процесів на рівні 0,7–1,2% річних втрат від загальної площі лісів. Кількісна оцінка підтвердила домінуючу роль антропогенних факторів у формуванні наявних динамічних змін лісового покриття, а їхня частка в загальному обсязі порушень становить приблизно 90%. У межах антропогенного впливу домінують процеси суцільних і вибіркових рубок лісу на територіях Рахівського, Верховинського та Сколівського районів. Практична значущість дослідження полягає у створенні обґрунтованого інструментарію для забезпечення інформаційної підтримки екологічного моніторингу та ухвалення рішень щодо захисту лісових масивів Українських Карпат. ГІС-моніторинг формує практику порівняння часових змін структури і якісного стану лісових масивів із метою визначення заходів щодо збереження та відновлення лісистості територій. Подальші розвідки доцільно фокусувати на питаннях таксономічних класифікацій різних типів деградацій земель та удосконалення хмарних веб-ГІС платформ оперативного моніторингу стану земель Карпатського регіону та інших територій України.

Ключові слова: лісовий покрив, вегетаційні індекси, Українські Карпати, деградаційні процеси, суцільні і вибіркові рубки, лісові масиви.

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена деградаційними процесами лісових покривів на території Українських Карпат, вагома частка яких залишається поза межами традиційних методів фіксації та різних польових спостережень. Це призвело до утворення прогалин у сфері забезпечення сталого екологічного моніторингу території. Експоненційне зростання

антропогенного тиску на окремі екосистеми, яке часто посилюється ще й кліматичними “стрибками”, сформувало основу для термінового запровадження високоточних інструментів оперативного оцінювання стану екосистем. Для території Карпат варто також враховувати складний гірський рельєф, виражену сезонність польових досліджень і фрагментарність геоданих, що зумовило обмеження можливостей

аналізу фактичної динаміки змін земного покриву.

Проблематика дослідження сформувалася через недостатню спроможність і технічне відставання відомих інструментів моніторингу стану територій щодо різних типів порушень лісового покриву. До цих порушень належать як суцільні, так і вибіркові рубки, природні деградаційні процеси, кліматичні катаклізми. Додатковим чинником, який може ускладнити ситуацію, є відсутність повноінтегрованих геоінформаційних моделей оцінки, що можуть формувати дані для єдиної аналітичної бази, необхідної для ухвалення обґрунтованих рішень у сфері екологічного захисту й моніторингу. На підставі зазначеного можна констатувати, що практика кооперування оперативних супутникових геоданих і процесу екологічного моніторингу здатна подолати прогалини в налагодженні системного контролю за станом лісового покриву.

Мета статті — дослідити науково-методичні підходи до виявлення, кількісної оцінки та просторово-часового картографування змін лісового покриву Українських Карпат на основі інструментів геоінформаційного аналізу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз наукового доробку свідчить, що створення надійної методологічної основи для моніторингу трансформацій земної поверхні, зокрема лісових екосистем, потребує інтеграції цифрових моделей рельєфу, технологій дистанційного зондування та геоінформаційних систем. У дослідженні С. В. Дорожка та співавторів продемонстровано можливості генерації високоточної цифрової моделі рельєфу на основі растрової інформації, що формує фундамент для подальшого просторового аналізу в межах гірських регіонів [1]. На матеріалах Покутсько-Буковинських Карпат І. М. Кульбанська обґрунтовує результативність геоінформаційних технологій для кількісного оцінювання динаміки площ лісового покриву, інтегруючи класифікаційний аналіз супутникових зображень із розробкою динамічних картографічних моделей [2]. У науковій праці Р. Л. Кравчинського та ін. детально розглянуто комплексні природні детермінанти функціонування карпатських лісових екосистем, наголошено на ролі абіотичних факторів — орографії, кліматичних умов і гідрологічної мережі — у формуванні стійкості лісових ландшафтів [3].

І. Рожі та співавтори обґрунтували геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем, що має критичне значення для коректної

інтерпретації супутникових даних в умовах складної топографії [4]. М. Цепенда та ін. розкрили потенціал ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційного потенціалу територій і підкреслили значущість просторового аналізу в контексті планування використання рекреаційних зон [5]. О. Г. Часковський і Г. Г. Гриник розглянули можливості відкритих супутникових платформ для кількісного оцінювання втрат лісового покриву в Українських Карпатах [6]. К. Кринецька запропонувала алгоритмічні розробки та модульне розширення QGIS для автоматизованої ідентифікації морфологічних форм рельєфу, що є релевантним для завдань структурно-геоморфологічного аналізу [7]. Р. В. Ваг і С. К. Ауті акцентували увагу на тому, що геоінформаційні системи є ключовим інструментом підтримки ухвалення рішень у сфері планування землекористування, забезпечуючи інтеграцію екологічних та просторових критеріїв [8]. Загалом, науковий доробок демонструє чітку тенденцію до інтеграції ГІС-рішень, ДЗЗ-даних та аналітичного моделювання, що формує сучасну методологічну основу для дослідження трансформацій лісового покриву.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологічна основа дослідження передбачає інтеграцію багатоспектральних супутникових даних, індексного аналізу стану рослинності та геоінформаційного моделювання, що в сукупності забезпечує системне виявлення, кількісну оцінку й просторову інтерпретацію трансформацій лісового покриву в межах Українських Карпат. Емпіричну основу дослідження становлять супутникові знімки Landsat-8, Sentinel-2 і PlanetScope, що пройшли радіометричну та атмосферну корекцію. Подальша обробка здійснювалася в програмному середовищі QGIS із використанням інструментів класифікації, векторизації та аналізу часових рядів. Отримані результати інтегровано в геоінформаційну модель, що слугує інструментом подальшої інтерпретації та інформування управлінських рішень у сфері лісового господарства.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Картографування змін лісового покриву Українських Карпат демонструє складну й багатошарову динаміку, яка проявляється через поєднання природних та антропогенно зумовлених трансформацій, що накопичуються протягом тривалого періоду і формують неоднорідну просторову мозаїку лісових ландшафтів. Довготривала динаміка свідчить, що найбільш

різкі зміни відбулися в періоди економічних криз і підвищеного попиту на деревину, що спричинило появу великих кластерів рубок у лісових масивах територій передгір'їв (рис. 1).

Просторова візуалізація показала, що в окремі роки інтенсивність втрат у східній частині Карпат суттєво перевищувала аналогічні процеси в західній частині, що пояснюється як відмінностями в породному складі лісів, так і різною структурою лісокористування в регіоні [6].

Визначення площі та локалізації основних осередків втрат деталізує масштаби порушень, адже синтез спектральних індексів (NDVI, NBR, NDMI) у поєднанні з часовими рядами супутникових знімків забезпечує формування картографічних шарів, де фіксуються як поступові, так і різкі зміни, що відповідають різним типам трансформацій.

У низці районів, зокрема Рахівському, Верховинському та Сколівському, зафіксовано найбільшу концентрацію осередків втрат, які формують протяжні лінійні структури, типові для суцільних лісозаготівель, а також окремі округлі або неправильної форми ділянки [2; 10]. Відстежено, що вітровали охоплюють особливо значні площі в урочищах, де поєднуються круті схили та ослаблені патологічними процесами деревостани, тоді як деградаційні процеси, пов'язані з усиханням, формують мозаїчні

фрагменти, які відрізняються підвищеною гетерогенністю спектральних сигналів (табл. 1).

Геопросторові масиви даних із супутників вказують на наявність тривалих і доволі стійких просторових змін лісового покриття Українських Карпат. Фіксується середньорічний темп скорочення площі лісових масивів на рівні 0,7–1,2%. Це чітко вказує на системний і тривалий характер виявлених змін, які значно інтенсифікуються в періоди екологічної нестабільності. Аналітичне пояснення щодо виявлених порушень свідчить, що близько 90% із них мають антропогенне походження, і особливо болісною для лісових масивів є практика суцільних та вибіркових рубок лісу. Застосування індексу NDVI форсує виявлення значного зниження обсягів фітомаси, що корелює з періодами масштабних вирубок, а також із природними ушкодженнями лісових екосистем. Найбільш виражені зміни зафіксовано за даними знімків у Рахівському, Верховинському та Сколівському районах, у яких сформувалися локальні кластери критичного антропогенного навантаження.

Попри домінування негативних тенденцій, простежується часткове природне відновлення лісових насаджень, яке становить 12–18% площ, на яких уже зафіксовано деградаційні зміни. Просторово-часові тренди порушень дають змо-

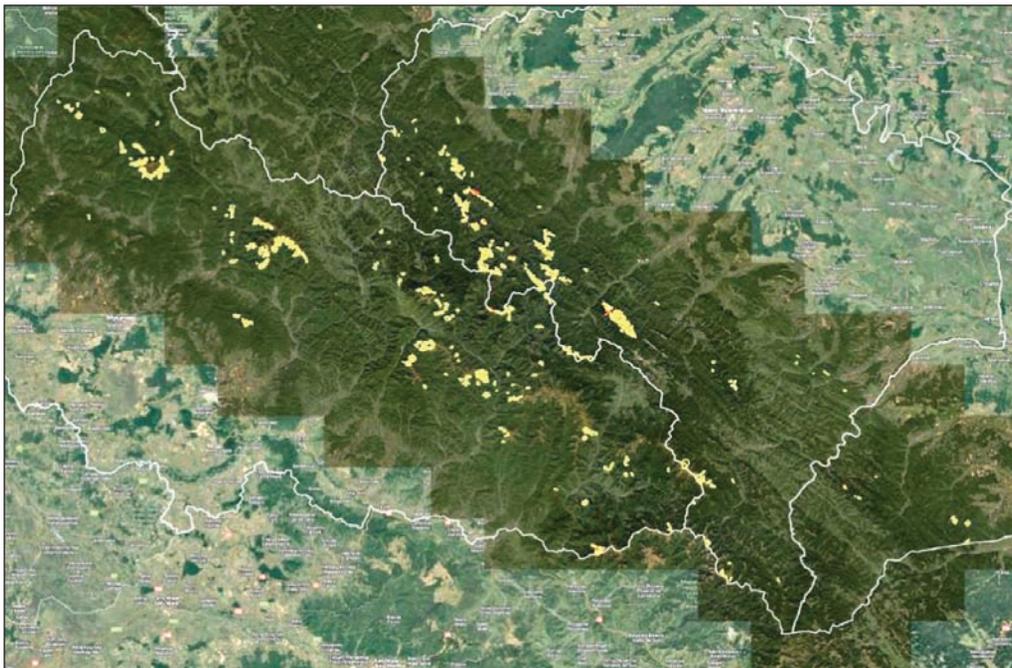


Рис. 1. Композит супутникових знімків Planet Basemaps (вересень 2025 р.), що відображає ділянки зміни лісового покриття в Українських Карпатах

Джерело: отримано на основі [9].

Примітка: перевірені осередки позначено жовтим кольором, а зони з ускладненою інтерпретацією через затінення — червоним.

**Основні показники змін лісового покриття в Українських Карпатах
(узагальнені результати супутникового аналізу)**

№	Показники	Значення / тренд	Період аналізу	Джерело даних	Характеристика змін
1	Середня площа щорічних втрат лісу	0,7–1,2% від загальної площі	1984–2023	Landsat/ Sentinel	Коливання з піками у 1990-х і після 2012 року
2	Частка антропогенних порушень	~90%	2000–2023	PlanetScope, Landsat	Переважає суцільних і вибіркових рубок
3	Природні порушення (вітровали, буреломи)	~10%	1984–2023	Sentinel-2, TimeSync	Концентрація у високогір'ї
4	Зниження NDVI у зонах трансформацій	-0,25...-0,45	Після кожного пікового року	Sentinel-2	Ознака різкої втрати фітомаси
5	Найінтенсивніші зміни за регіонами	Рахівський, Верховинський, Сколівський райони	1984–2023	Мульти-сенсорний аналіз	Кластери великих вирубок і вітровалів
6	Відновлення лісів	12–18% площ, що були порушені	2000–2023	Sentinel/ Landsat	Нерівномірні темпи природного поновлення

Джерело: сформовано авторами на основі [11–13].

гу простежити закономірності інтенсифікації або сповільнення процесів деградації земель. Так, наприклад, у кінці 1990-х років спостерігався різкий сплеск антропогенного тиску, зумовлений переходом економіки до ринкової моделі та високим попитом на деревину, тоді як у 2005–2010 роках темпи вирубування знизилися внаслідок зміни регуляторної політики, посилення мораторіїв та ускладнення доступу до віддалених ділянок через збільшення площ заповідних територій. Подальший відновний період, пов'язаний із поступовою стабілізацією господарських процесів, був перерваний значними сплесками порушень у 2020–2023 роках. Основні порушення спостерігалися переважно у ялинових насадженнях, де проявлялося значне усихання, що призводило до подальшої деградації [1; 3] (рис. 2).

Кореляція змін лісового покриття з висотою, експозицією схилів, інфраструктурою та інтенсивністю господарської діяльності показала, що детермінанти лісових порушень мають виражений просторовий градієнт, який визначає чутливість окремих ділянок до зовнішніх впливів.

Супутникові дані підтверджують, що площі активного антропогенного вилучення деревини здебільшого локалізуються поблизу транспортних комунікацій — лісовозних шляхів, під'їзних доріг та зон навколо населених пунктів, тоді як природні порушення концентруються у важкодоступних районах, де круті

схили створюють передумови для буреломних процесів і нестабільності ґрунтового покриття [15] (рис. 3).

На спектральних знімках із супутника Sentinel-2 (датовані липнем 2020 р.) ми можемо спостерігати переважання відносно однорідної структури лісового покриття досліджуваної ділянки. На зображенні бачимо чіткі контури диференціації меж лісових кварталів. Водночас площі світлих ділянок лісу мінімальні та повністю корелюють із зонами проведеної вирубки. Просторовий розподіл сонячної радіації, що фіксується в зеленому спектральному каналі (Band 3, 0.56 μm), вказує на високий рівень фотосинтетичної активності лісів і відсутність деградацій у більшості лісових кварталів.

Знімок, отриманий у серпні 2022 року, фіксує критичне розширення територій із вираженими ознаками суцільних рубок. Вказані ділянки візуалізуються у вигляді яскраво-бірюзових або світлих полігонів із характерним підвищеним значенням віддзеркаленої радіації у видимому діапазоні та зниженим значенням NDVI (<0,3). У межах окремих кварталів (№ 6, 7, 8, 11) фіксується зменшення інтенсивності відображення в зеленому спектрі на 25–40% порівняно з 2020 роком. Ми інтерпретуємо це як результат втрати фітомаси або наслідок інтенсифікації лісгосподарської діяльності.

У 2023 році спостерігається процес подальшого збільшення площ лісів із чіткими ознаками антропогенного впливу. Порівняно

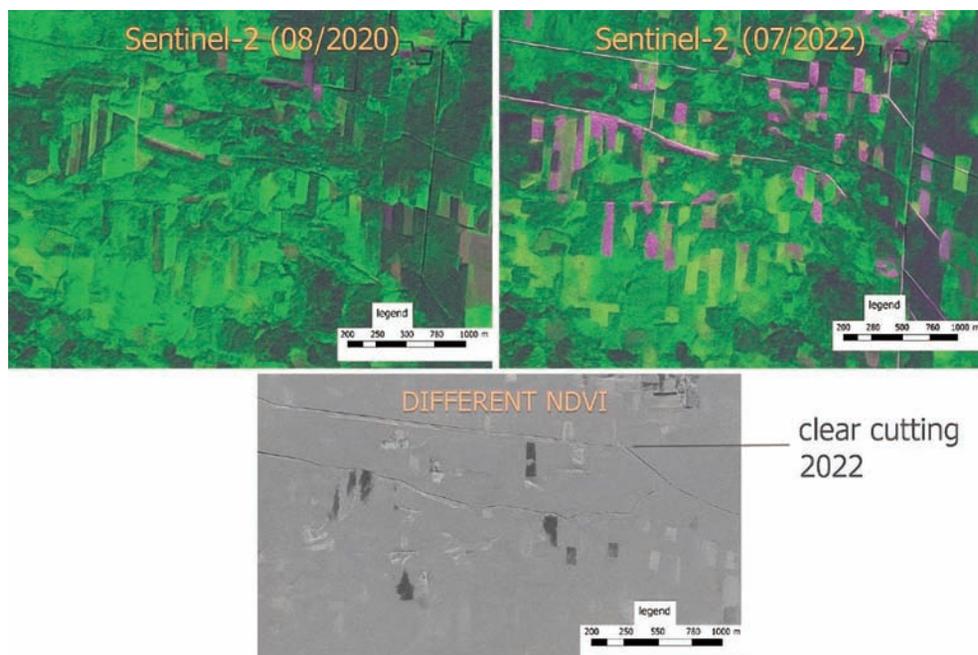


Рис. 2. Порівняння супутникових знімків Sentinel-2 за 2020 та 2022 роки і карта різниці NDVI, що відображає осередки суцільних рубок і зміни лісового покриття на території Верховинського району Українських Карпат

Джерело: отримано на основі [14].

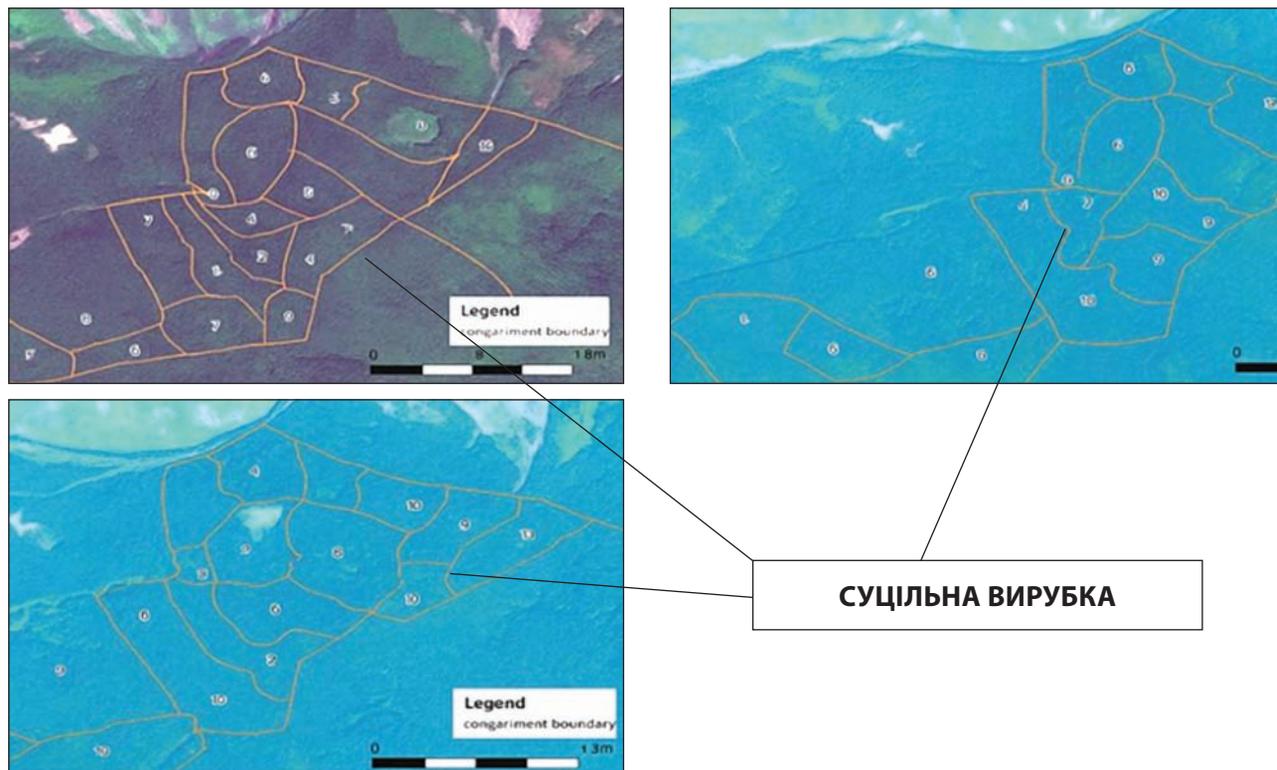


Рис. 3. Порівняння супутникових знімків Sentinel-2 за 2020, 2022 та 2023 роки з відображенням меж кварталів стану земель і лісових масивів у межах Перечинського лісництва

Джерело: отримано на основі [14].

Основні детермінанти порушень лісового покриття Українських Карпат

№	Показники	Характеристика впливу	Типи порушень	Просторова локалізація	Інтенсивність
1	Антропогенний тиск	Регулярні та циклічні рубки, доступність техніки	Суцільні та вибіркові вирубки	Передгір'я, долини, райони біля доріг	Висока
2	Вітровали	Раптові сильні пориви вітру, послаблені кореневі системи	Природні порушення	Середньогір'я, круті схили	Середня — висока
3	Усихання лісів	Комбінація кліматичних стресів та інвазій шкідників	Деградація, мозаїчні втрати	Південні експозиції, монокультури ялини	Висока
4	Близькість інфраструктури	Розвантаження ресурсів, економічна привабливість	Антропогенні втрати	Зони вздовж лісовозних доріг	Дуже висока
5	Висотний градієнт	Різні режими вологості та температури	Природні порушення	Пояс 900–1200 м н.р.м.	Середня
6	Експозиція схилів	Відмінності в інсоляції та ґрунтовій вологості	Усихання та фрагментація	Південні схили	Висока

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

з геоданими за 2022 рік відзначено динаміку збільшення площ світлих полігонів у нижніх і центральних частинах кварталів (9, 10, 12) до рівня 32%. Додатково зафіксовано посилення мозаїчності структури лісового покриття, що проявляється як дрібнодисперсні ділянки зміненої рефлексивності. Висотний аналіз підтверджує наявність критичного порогу в межах 900–1200 метрів, після якого різко зростає частота природних порушень (табл. 2).

Порівняння точності та чутливості супутникових платформ у виявленні змін лісового покриття Українських Карпат дає змогу кількісно оцінити їхню здатність фіксувати різні типи порушень. Дані Landsat із просторовою роздільністю 30 м демонструють середню точність класифікації 82–87%, що є достатньою для виявлення великих суцільних рубок, але недостатньою для ідентифікації дрібномасштабних вибіркових втручань. Sentinel-2 із роздільністю 10 м забезпечує точність 89–93% і чутливість до втрат фітомаси від 0,15 до 0,45 за NDVI, що дає змогу фіксувати ранні стадії деградації. PlanetScope (3–5 м) досягає 94–97% точності та забезпечує найкращу деталізацію локальних порушень площею менше 0,1 га [5].

Кожна із систем дистанційного зондування — від середньороздільної серії Landsat-8 до високороздільних супутників PlanetScope — має свої переваги, обмеження та специфічні характеристики спектральної чутливості, які визначають точність виявлення порушень, особливо в умовах складного гірського рельєфу та високої фрагментації лісових масивів (рис. 4) [2].

На відміну від цього, дані Sentinel-2 із роздільною здатністю 10 м забезпечують значно точніше окреслення меж суцільних і вибіркових рубок, а також дрібних трансформацій фітомаси, що робить їх більш придатними для оперативного моніторингу структурно неоднорідних лісових територій Карпат.

Максимальний рівень точності просторового аналізу дають надвисокороздільні знімки, які можна отримати із супутників PlanetScope. Вони забезпечують не тільки констатацію факту порушення лісового покриття, а й деталізують внутрішню структуру трансформованих ділянок. Також фіксуються мікродинаміка змін і ранні ознаки деградації екосистеми, що ще не супроводжуються суттєвими коливаннями значень вегетаційних індексів. Висока частота оновлення змінної інформації із супутників Planet (щоденна) створює передумови для оперативного моніторингу змін ландшафтів (рис. 5).

Ефективність вегетаційних індексів, зокрема NDVI, NBR і NDMI, у виявленні порушень підтверджується їхньою чутливістю до змін у структурі надземної фітомаси, вологості рослинних тканин і ступеня пошкодженості лісових насаджень, причому кожен із них виконує окрему аналітичну функцію, що дає змогу комплексно оцінити деструктивні процеси, властиві гірським екосистемам [17].

Використання NDVI виявляється найбільш ефективним для діагностики загального стану зеленого покриття, особливо коли деградаційні процеси охоплюють великі площі та спричиня-

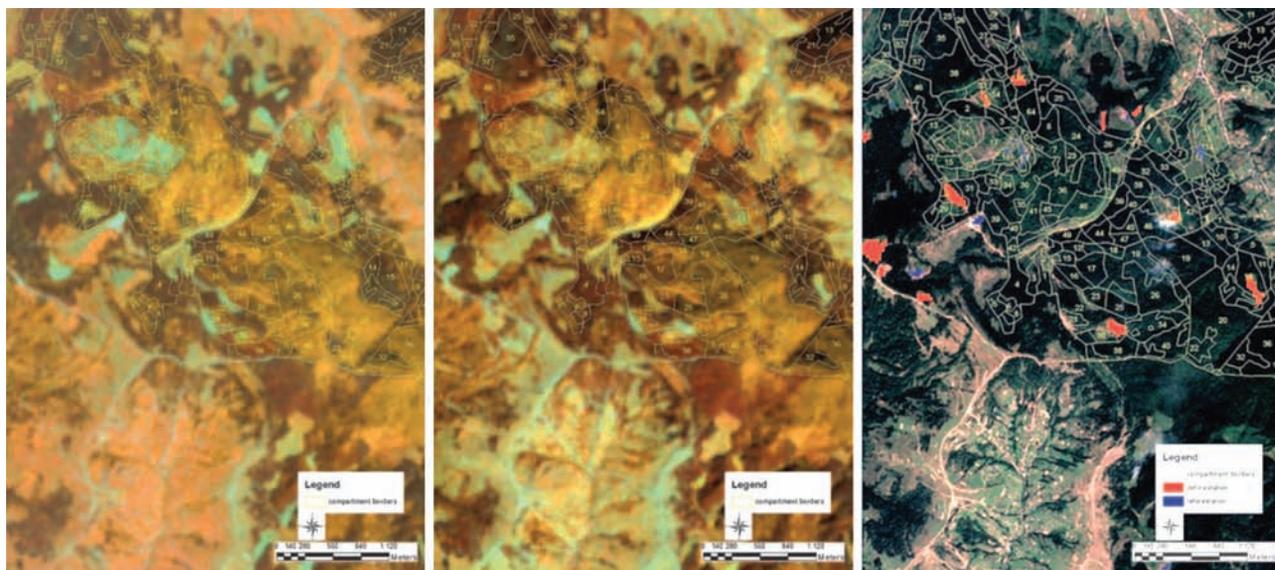


Рис. 4. Просторова карта змін лісового покриття в межах ДП “Верховинське лісове господарство”, отримана на основі супутникових знімків Landsat-8

Джерело: отримано на основі [16].

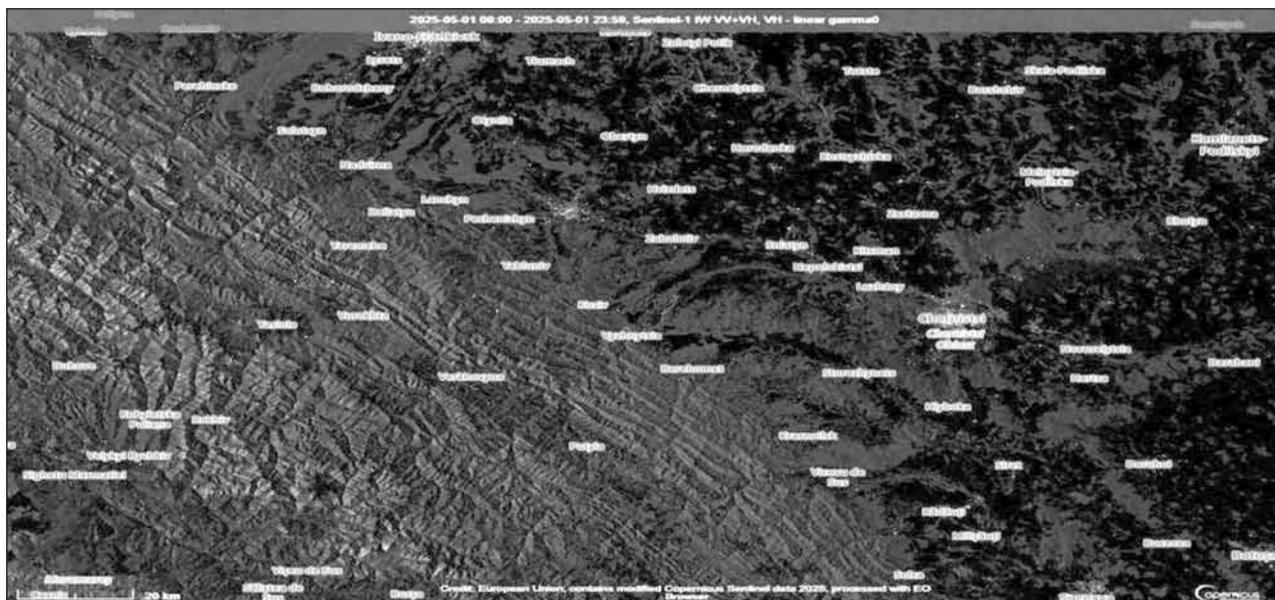


Рис. 5. Радарне зображення Sentinel-2 (VH, gamma0) від 01.05.2025 р., що відображає структуру лісового покриття Косівської територіальної громади та слугує основою для моніторингу просторових змін

Джерело: отримано на основі [14].

ють різке падіння значень індексу, проте NDVI є менш точним у випадках ранніх або прихованих фаз деградації, коли загальна біомаса ще не зазнала істотних втрат. Тоді критичним стає застосування NBR, який надзвичайно чутливий до порушень, пов'язаних із вітровалами, пожежами або суцільними вирубками, оскільки фіксує зміни в середньохвильовому інфрачер-

воному діапазоні, чутливому до сухої рослинної маси [15]. Водночас NDMI сприяє виявленню зон порушеного водного балансу деревостанів, які часто передують масовим усиханням або катастрофічним деградаційним процесам (табл. 3).

ГІС-моделі оцінювання динаміки лісового покриття базуються на синтезі мультидисциплі-

**Порівняльні характеристики супутникових даних та аналітичних показників
для моніторингу змін лісового покриття**

№	Показники	Характеристика	Переваги	Обмеження	Оптимальна сфера застосування
1	Landsat	30 м, тривалі ряди	Аналіз історичних трендів	Низька деталізація	Довгострокова динаміка
2	Sentinel-2	10 м, середня роздільність	Точні межі порушень	Хмарність	Деталізація антропогенних втрат
3	PlanetScope	3–5 м, часте оновлення	Висока точність	Висока вартість	Оперативний моніторинг
4	NDVI	Чутливий до зеленої маси	Простота інтерпретації	Низька чутливість до ранніх фаз деградації	Загальний стан рослинності
5	NBR	Чутливий до сухої маси	Виявляє пожежі та вирубки	Менш ефективний для мозаїчних змін	Діагностика катастрофічних порушень
6	NDMI	Чутливий до вологості	Перша ознака деградації	Потребує корекцій	Моніторинг усихання

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

нарних даних, серед яких супутникові знімки різної просторової роздільної здатності, результати розрахунків спектральних індексів, цифрові моделі рельєфу та просторові шари інфраструктурних об'єктів. Їх інтеграція формує уніфіковану аналітичну платформу, яка забезпечує комплексну багатоваріантну оцінку просторово-часових трансформацій лісових екосистем. Запропонована модель є системним комплексом, що об'єднує класифікаційні карти земного покриття, часові тренди динаміки, параметри висотної поясності та експозиції схилів.

ВИСНОВКИ

Аналіз змін лісового покриття в межах Карпатського регіону України виявив виражену нерівномірність у характері трансформацій, яка проявляється в поєднанні хронічних (довготривалих) процесів фрагментації лісових масивів і періодичних (циклічних) спалахів інтенсивного скорочення деревостанів. За результатами дистанційного зондування, зокрема за даними супутникових платформ, констатовано систематичне скорочення площ лісів. Найвищі темпи втрат спостерігаються в Рахівському, Верховинському та Сколівському районах.

У результатах проведеного дослідження фіксуємо процеси динамічних порушень лісового покриття Українських Карпат, викликані як природними, так і посиленними антропогенними чинниками. Кількісна оцінка відносного внеску цих груп факторів показала, що частка антропогенних трансформацій уже перевищує 90% від загального обсягу зафіксованих деградацій і змін лісових масивів. Дослідження виявило, що максимальний рівень інтенсивності змін лісових ландшафтів характерний для схилів південної та південно-західної частин Карпат. Відбувається поєднання геоморфологічних і кліматичних чинників (підвищена інсоляція, дефіцит зволоження), що створює сприятливі умови для розгортання деградацій. Визначено, що додатковим катализатором стала безпосередня близькість лісових територій до інженерної інфраструктури (автомобільних доріг, ліній електропередач, гірськолижних комплексів), що формуватиме стійкий тренд майбутньої деградації земель. Запропоновано використовувати практику синхронізації супутникових даних від Landsat-8, Sentinel-2 і PlanetScope та алгоритми геоінформаційного моделювання часових рядів і процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорожко Є. В., Штонда Є. О., Захарова Е. В., Саркісян Г. С. Створення цифрової моделі місцевості на основі растрового зображення в системі автоматизованого проектування ТороCAD. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2024. Вип. 104. С. 107–115. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.107>
2. Кульбанська І. М. Моніторинг змін площ лісового покриття Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2024. Т. 34, № 5. С. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.36930/40340503>

3. Вивчення природних умов Карпатського національного природного парку: абіотичний аспект: навч. посібник / Р. Л. Кравчинський та ін.; за ред. В. К. Хільчевського. Івано-Франківськ: Фоліант, 2025. 264 с.
4. Рожі І., Рожі Т., Федій О. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. *Просторовий розвиток*. 2024. № 8. С. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>
5. Цепенда М., Данилова О., Заблотовська Н. Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій. *Геопросторові дослідження*. 2024. № 849. С. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>
6. Часковський О. Г., Гриник Г. Г. Оцінювання втрат лісового покриття Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 1. С. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300111>
7. Kryniecka K. Implementing Geographic Information System (GIS) tools: Algorithm and Quantum Geographic Information System (QGIS) plugin for automatic detection of riverbed forms. *MethodsX*. 2024. Vol. 13. 103041. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103041>
8. Wagh R. V., Auti S. K. The role of geographic information systems (GIS) in land use planning. *International Journal of Innovations in Science Engineering and Management*. 2025. Vol. 4, no. 1. P. 366–370. DOI: <https://doi.org/10.69968/ijisem.2025v4i1366-370>
9. Planet basemaps: comprehensive, high-frequency mosaics for analysis. URL: <https://www.planet.com/products/basemap/> (accessed: 01.12.2025).
10. Сизенко О. В. Порівняльний аналіз автоматичних патернових морфометричних класифікацій форм рельєфу на основі цифрових моделей висот. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2023. № 18. С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391.2023.18.7>
11. Супутниковий моніторинг пралісів Карпат: вересень–жовтень 2025 року. *ГО “Лісові ініціативи і сусільство”*. 27.11.2025. URL: <https://forestcom.org.ua/en/news-post/satellite-monitoring-carpathian-primeval-forests-septemberoctober-2025> (дата звернення: 01.12.2025).
12. GIS for land administration & land records. *Esri*. URL: <https://www.esri.com/en-us/industries/land-administration/overview> (accessed: 01.12.2025).
13. Makedon V., Koptilyi D. Digital transformation and artificial intelligence as factors in the economic recovery of enterprises following armed conflicts. *Economics, Entrepreneurship, Management*. 2025. Vol. 12, no. 1. P. 33–48. DOI: <https://doi.org/10.56318/eem2025.01.033>
14. Sentinel-2 cloudless by EOX. URL: <https://s2maps.eu> (accessed: 01.12.2025).
15. The use of GIS for ecological and landscape land management of human settlements / S. Shevchuk et al. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*. 2024. Vol. 14, no. 1. P. 200–203. DOI: <https://doi.org/10.33543/140139200203>
16. Landsat-8/LDCM. *EO Portal*. URL: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-8-ldcm> (accessed: 01.12.2025).
17. Македон В. В., Ярмоленко Л. І., Чумак Т. В., Запорожченко О. Є. Забезпечення реалізації стратегій комерціалізації супутникових сервісів в умовах цифрової економіки. *Academy Review*. 2025. № 2 (63). С. 187–203. DOI: <https://doi.org/10.32342/3041-2137-2025-2-63-12>

USE OF SATELLITE DATA AND GIS IN LAND COVER CHANGE MONITORING

Drebot O.

Doctor of Economic Sciences, Professor, Academician of NAAS
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>

Kostiuk V.

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)
e-mail: kostyuk_vs@yahoo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-4084>

Sakharnatska L.

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Researcher Fellow
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
Transcarpathian Regional Centre for Socio-Economic and Humanities Research
of NAS of Ukraine (Uzhhorod, Ukraine)
e-mail: liudmyla.sakharnatska@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5863-4917>

The article examines the practical foundations for monitoring dynamic transformations of forest cover in the Ukrainian Carpathians through the use of GIS technologies. The purpose of the study is to investigate the spatio-temporal changes of forest ecosystems in the Carpathian region through the synthesis of multispectral satellite imagery and spatial modelling within a GIS environment to ensure reliable detection of anthropogenic and naturally driven disturbances. The methodological framework is based on integrating multispectral satellite data from several platforms with a set of spectral vegetation indices. Procedures for time-series processing and analysis, classification, vectorization, and correlation modelling were implemented in the QGIS software environment,

taking into account orographic, infrastructural, and forest-management factors. The obtained results revealed pronounced differentiation in the transformation processes of forest cover in the Ukrainian Carpathians, with an average intensity of approximately 0.7–1.2% of annual forest-area losses. Quantitative assessment confirmed the dominant role of anthropogenic factors in shaping the current dynamic changes, contributing nearly 90% of all disturbances. Within the structure of anthropogenic impacts, clear-cutting and selective logging prevail, particularly within the Rakhiv, Verkhovyna, and Skole districts. The practical significance of the research lies in developing a scientifically grounded toolkit to support environmental monitoring and decision-making for the protection of forested landscapes in the Ukrainian Carpathians. GIS-based monitoring enables the comparative analysis of temporal changes in forest structure and condition to inform measures aimed at preserving and restoring forest cover. Further studies should focus on taxonomic classification of various types of land degradation and improving cloud-based web-GIS platforms for operational monitoring of land conditions in the Carpathian region and other areas of Ukraine.

Keywords: forest cover, vegetation indices, Ukrainian Carpathians, forest degradation, clear-cut and selective logging, forest stands.

REFERENCES

- Dorozhko, Ye. V., Shtonda, Ye. O., Zakharova, E. V., & Sarkisian, H. S. (2024). Creation of a digital terrain model based on a raster image in the TopoCAD automated design system. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 104, 107–115. doi: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.107
- Kulbanska, I. M. (2024). Monitoring changes in forest cover areas of the Pokuttya-Bukovyna Carpathians using geoinformation technologies. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(5), 23–28. doi: 10.36930/40340503
- Kravchynskyi, R. L., Korchemliuk, M. V., Khilchevskyi, V. K., Tymchuk, Ya. Ya., & Stefurak, O. M. (2025). In V. K. Khilchevskyi (Ed.), *Study of the natural conditions of the Carpathian National Nature Park: Abiotic aspect*. Ivano-Frankivsk: Foliant.
- Rozhi, I., Rozhi, T., & Fedii, O. (2024). Geodetic aspects of creating digital elevation models for geoinformation system applications. *Spatial Development*, 8, 477–491. doi: 10.32347/2786-7269.2024.8.477-491
- Tsependa, M., Danilova, O., & Zablotovska, N. (2024). Application of GIS-technologies for assessing forest-recreational areas of urbanized territories. *Geospatial Research*, 849, 154–163. doi: 10.31861/geo.2024.849.154-163
- Chaskovskiy, O. H., & Hrynyk, H. H. (2020). Assessment of forest cover loss in the Ukrainian Carpathians using remote sensing data from open satellite information sources. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(1), 66–73. doi: 10.36930/40300111
- Kryniecka, K. (2024). Implementing GIS tools: Algorithm and QGIS plugin for automatic detection of riverbed forms. *MethodsX*, 13(4), article number 103041. doi: 10.1016/j.mex.2024.103041
- Wagh, R. V., & Auti, S. K. (2025). The role of geographic information systems (GIS) in land-use planning. *International Journal of Innovations in Science, Engineering and Management*, 4(1), 366–370. doi: 10.69968/ijisem.2025v4i1366-370
- Planet basemaps: Comprehensive, high-frequency mosaics for analysis. (n.d.). Retrieved from <https://www.planet.com/products/basemap/>
- Syzenko, O. V. (2023). Comparative analysis of automatic pattern-based morphometric classifications of landforms based on digital elevation models. *Scientific Bulletin of Kherson State University*, 18, 59–66. doi: 10.32999/ksu2413-7391.2023.18.7
- Forest Initiatives and Society. (2025, November 27). *Satellite monitoring of Carpathian primeval forests: September–October 2025*. Retrieved from <https://forestcom.org.ua/en/news-post/satellite-monitoring-carpathian-primeval-forests-septemberoctober-2025>
- Esri. (n.d.). *GIS for land administration & land records*. Retrieved from <https://www.esri.com/en-us/industries/land-administration/overview>
- Makedon, V., & Koptilyi, D. (2025). Digital transformation and artificial intelligence as factors in the economic recovery of enterprises following armed conflicts. *Economics, Entrepreneurship, Management*, 12(1), 33–48. doi:10.56318/eem2025.01.033
- Sentinel-2 cloudless by EOX. (n.d.). Retrieved from <https://s2maps.eu>
- Shevchuk, S., Gapon, S., Chuvpylo, V., Nahorna, S., & Kuryshko, R. (2024). The use of GIS for ecological and landscape land management of human settlements. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 14(1), 200–203. doi: 10.33543/140139200203
- EO Portal. (n.d.). *Landsat-8/LDCM*. Retrieved from <https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-8-ldcm>
- Makedon, V. V., Yarmolenko, L. I., Chumak, T. V., & Zaporozhchenko, O. Ye. (2025). Ensuring the implementation of strategies for the commercialization of satellite services in the digital economy. *Academy Review*, 2(63), 187–203. doi: 10.32342/3041-2137-2025-2-63-12

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ДРЕБОТ Оксана Іванівна — доктор економічних наук, професор, академік НААН, заслужений діяч науки і техніки України, директор, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>).

КОСТЮК Віталій Степанович — кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка (вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, Україна, 10008; e-mail: kostyuk_vs@yahoo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-4084>).

САХАРНАЦЬКА Людмила Іванівна — кандидат економічних наук, доцент, старший дослідник, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143); Закарпатський обласний центр соціально-економічних і гуманітарних досліджень НАН України (вул. Університетська, 21, м. Ужгород, Закарпатська область, Україна, 88000; e-mail: liudmyla.sakharnatska@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5863-4917>).

Новини

Новини

Новини • Новини • Новини

Екологічне фінансування для бізнесу: ФРУ презентувала посібник для взаємодії з банками. Федерація роботодавців України розробила посібник для українського бізнесу щодо отримання кредитування або грантової підтримки для екомодернізації. Документ є практичним інструментом для підготовки до звернення в банки. Банки при ухваленні рішення про фінансування оцінюють стабільність бізнесу та екосоціальні ризики. Дотримання відповідних стандартів є важливою умовою для співпраці з Європейським банком реконструкції та розвитку та зі Світовим банком. Посібник стане корисним для підприємств, які планують модернізувати виробництво, впроваджувати найкращі доступні технології та методи управління або відновлювати виробничі потужності відповідно до принципів сталого розвитку. Документ містить можливі запитання від банків, опис процедур, форми декларацій і приклади успішного фінансування. Документ розроблено за підтримки Конфедерації данської промисловості (DI) та New Democracy Fund.