



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.1.304>

УДК 528.8:504.064:005.334

Методика багаторівневого супутникового аналізу геоecологічних ризиків

С. В. Маргес, <https://orcid.org/0009-0004-2942-9406>

ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, вул. Олеса Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

Стаття присвячена розробленню методики багаторівневого супутникового аналізу геоecологічних ризиків для виявлення та просторової диференціації довготривалих і короткочасних змін стану рослинного покриву та водно-болотних систем. Актуальність дослідження зумовлена обмеженнями підходів, що ґрунтуються на аналізі одиничних індексів або окремих дат спостережень і не дають змоги коректно розрізнити стійкі деградаційні процеси, накопичені зміни та тимчасові порушення, зумовлені сезонними або погодними чинниками. Запропонована методика базується на інтеграції багаточасових похідних спектральних індексів рослинності та зволоження, сезонних фенологічних показників і температурних трендів поверхні. Вхідними даними є багаточасові супутникові знімки PlanetScore з просторовою роздільною здатністю 3 м, що забезпечує детальний аналіз дрібномасштабних і просторово неоднорідних геоecологічних процесів. Аналіз проведено на двох часових рівнях: довгостроковому, який включає оцінювання лінійних трендів і різниць за п’ятирічний період, та короткостроковому, орієнтованому на річні зміни й оцінювання актуального стану територій. Для розрізнення типів рослинного покриву застосовано класифікацію за сезонною фенологією з використанням кластерного аналізу та незалежної валідації, що дає змогу мінімізувати вплив природної сезонної мінливості на інтерпретацію результатів. Просторову інтеграцію різнотипних індикаторів реалізовано на основі концепції статистичної аномальності з формуванням узагальнених карт геоecологічних ризиків. Доведено, що поєднання багаточасових похідних індексів, фенологічних ознак і температурного чинника забезпечує надійне розмежування системних деградаційних процесів, накопичених змін та короткочасних порушень, які не формують стійкого багаторічного тренду. Температурний чинник ідентифіковано як модульовальний елемент, що підсилює геоecологічні ризики в окремих просторових зонах. Території природно-заповідного фонду використано як тестові ділянки для валідації та апробації запропонованого підходу.

Ключові слова: геоecологічний аналіз; супутникові дані; деградація екосистем; водно-болотні угіддя; багаточасова динаміка; геоecологічні ризики.

© С. В. Маргес, 2026

Вступ

Геоecологічний стан природних територій формується під впливом поєднання довготривалих кліматичних змін і короткочасних антропогенних та природних порушень, що проявляються у деградації рослинного покриву та трансформації водно-болотних систем і мають складну просторово-часову структуру.

Сучасні завдання екологічного моніторингу та природоохоронного управління потребують не лише фіксації поточного стану екосистем, а й раннього виявлення зон підвищеного геоecологічного ризику, що критично важливо для обґрунтування управлінських рішень, зокрема на природоохоронних територіях.

Водночас практична реалізація потенціалу супутникових даних у сфері оцінювання геоecологічних ризиків часто обмежується використанням одиничних індексів або знімків окремих дат, що не дає змоги коректно розрізнити

стійкі довготривалі процеси, накопичені зміни та короткочасні порушення, а також підвищує ризик помилкової інтерпретації сезонних або погодних ефектів як деградаційних тенденцій.

У зв’язку з цим *актуальною науково-практичною проблемою* є розроблення методики багаторівневого супутникового аналізу, здатної інтегрувати інформацію різних часових масштабів, враховувати сезонну фенологічну мінливість рослинності та поєднувати спектральні й температурні показники для надійного виявлення та картографування геоecологічних ризиків.

У контексті цього дослідження під багаторівневим аналізом розуміється інтеграція різних часових масштабів (річний, п’ятирічний, багаторічний тренд), що дозволяє розмежувати імпульсні порушення, накопичені зміни та системні процеси. Отже, акцент ставиться не на тривалості спостережень, а на ієрархії часових рівнів інтерпретації.

*Corresponding author / Автор для кореспонденції: S. V. Marhes / С. В. Маргес / sergimarhes@gmail.com

This is an Open Access article under the CC BY licenses (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У сучасних геоекологічних дослідженнях (Ліщенко та ін., 2025, Udovychenko, 2022) супутникові дані дистанційного зондування Землі широко застосовуються для оцінювання стану рослинного покриву, водно-болотних систем та антропогенно змінених ландшафтів. Найбільш поширеним підходом є використання спектральних індексів, зокрема NDVI та похідних від нього, для інвентаризації рослинності та виявлення деградованих ділянок. Завдяки таким методам можна оперативно отримувати узагальнену інформацію про просторовий розподіл зелених насаджень і вони є ефективними для одночасного оцінювання стану територій.

В окремих роботах (Беленок, Фролова, 2023, Ліщенко та ін., 2025) супутникові знімки використовуються для обґрунтування створення або уточнення меж природоохоронних територій, аналізу типів земного покриву та загальної характеристики екологічного стану. Такі дослідження, як правило, базуються на класифікації знімків окремих дат або коротких часових інтервалів та мають переважно інвентаризаційно-картографічний характер. Незважаючи на їх практичну цінність, такі підходи обмежено придатні для аналізу динамічних процесів і не дають змоги відокремити сезонні коливання від системних змін екосистем.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із застосуванням багаточасових супутникових даних для аналізу динаміки рослинного покриву та кліматично зумовлених змін. У таких роботах (Урський та ін., 2024) використовуються часові ряди вегетаційних індексів і методи трендового аналізу, зокрема лінійна регресія, що дозволяє оцінювати загальний напрям змін. Водночас більшість досліджень зосереджена або на довготривалих тенденціях, без урахування короткочасних порушень, або на окремих подіях, без аналізу їх місця в загальному часовому контексті.

Велика увага в сучасній літературі приділяється фенологічному аналізу рослинності (Dutra et al., 2025), який використовується для класифікації типів покриву та підвищення достовірності інтерпретації супутникових даних. Однак фенологічні показники здебільшого застосовуються як допоміжний інструмент класифікації і рідко інтегруються з багаточасовими трендовими показниками в єдину аналітичну схему оцінювання геоекологічних ризиків.

Аналіз наукових публікацій свідчить, що, незважаючи на активне використання супутникових даних у геоекологічних дослідженнях, деякі принципи аспекти оцінювання геоекологічних ризиків і досі недостатньо опрацьовані. Передусім це стосується інтеграції різних часових масштабів аналізу в межах єдиної методичної схеми.

У більшості існуючих підходів довготривалі тренди змін рослинного покриву аналізуються окремо від короткочасних порушень або ж акцентується лише на одному з цих аспектів. Як наслідок, відсутній інструментарій, який давав би змогу одночасно розрізняти системні деградаційні

процеси, накопичені зміни та імпульсні події, що не формують стійкого багаторічного тренду, але мають істотне екологічне значення.

Недостатньо опрацьованим є урахування сезонної фенологічної мінливості під час оцінювання стану рослинного покриву, зокрема її інтеграція з багаточасовими похідними спектральних індексів. Окремою проблемою є обмежене застосування високопросторових супутникових даних для багаточасового геоекологічного аналізу, що ускладнює виявлення дрібномасштабних і просторово обмежених порушень.

Крім того, у більшості досліджень недостатньо уваги приділено просторовій інтеграції різнотипних індикаторів у процес-орієнтовану модель геоекологічних ризиків (Li et al., 2025). Аналіз окремих індексів або показників без урахування їх просторового поєднання обмежує можливості формування карт ризику, придатних для практичного використання в управлінні природними територіями.

У сукупності зазначені обмеження зумовлюють необхідність розроблення комплексної багаторівневої методики супутникового аналізу, яка б поєднувала різні часові масштаби, фенологічні характеристики, спектральні та температурні показники в єдину систему оцінювання геоекологічних ризиків.

Метою дослідження є розроблення та апробація методики багаторівневого супутникового аналізу геоекологічних ризиків, що забезпечує розмежування довготривалих деградаційних процесів, накопичених змін і короткочасних порушень у межах природних територій.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких завдань:

обґрунтувати доцільність використання багаточасових похідних спектральних індексів для оцінювання геоекологічного стану;

розробити підхід до інтеграції довгострокових і короткострокових показників динаміки рослинного покриву та водно-болотних систем;

залучити сезонні фенологічні характеристики для розрізнення типів рослинного покриву та коректної інтерпретації змін;

оцінити роль температурного чинника як модульовального чинника геоекологічних ризиків;

реалізувати просторову інтеграцію показників із формуванням карт геоекологічних ризиків

виконати апробацію методики на тестових природоохоронних територіях.

Методика

Запропонована методика багаторівневого супутникового аналізу геоекологічних ризиків має процесо-орієнтований характер і ґрунтується на поєднанні спектральних, фенологічних і температурних показників, інтегрованих у межах єдиної просторово-часової аналітичної схеми. Методика має на меті розмежування довготривалих деградаційних процесів, накопичених змін і короткочасних порушень, що мають різну природу та просторову реалізацію (Рис. 1).

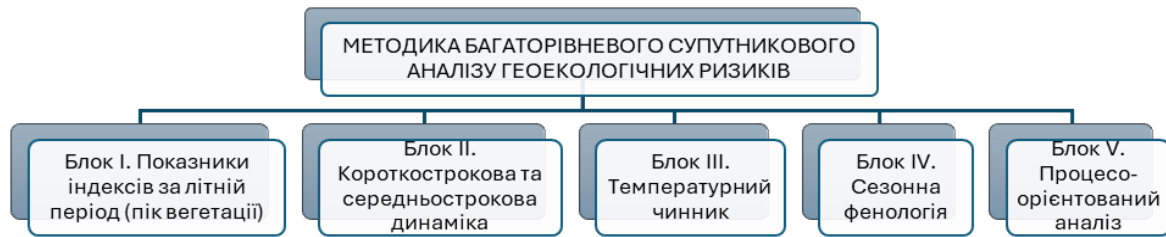


Рис. 1. Схема запропонованої методики

Алгоритм аналізу передбачає послідовну реалізацію кількох взаємопов'язаних етапів, кожен з яких відповідає окремому рівню інтерпретації геоекологічних процесів. На першому етапі формуються базові показники актуального стану екосистем на основі супутникових індексів, що дає змогу виявити просторовий розподіл активних змін без інтерпретації їх часової стійкості. Другий етап орієнтований на аналіз багаточасової динаміки із застосуванням різних індексів та трендових моделей, що забезпечує ідентифікацію напрямку та інтенсивності змін у різних часових масштабах.

П'ятирічний інтервал у межах цього дослідження розглядається як середньостроковий період спостереження, достатній для виявлення стійких змін рослинного покриву в межах високопросторових супутникових даних. Метою аналізу не є оцінювання кліматичних циклів, а ідентифікація екосистемних зрушень, що проявляються на локальному рівні та можуть мати управлінське значення.

Важливим елементом методики є урахування сезонної фенологічної мінливості рослинного покриву, яка використовується як основа для класифікації типів покриву та коректної інтерпретації фізіологічного стану рослинності, що забезпечує уникнення помилкового трактування природних сезонних коливань як деградаційних процесів. Окремий блок методики присвячено аналізу теплового чинника, який розглядається як модульований чинник геоекологічних ризиків і використовується для уточнення пріоритетності проблемних ділянок.

Завершальним етапом є просторова інтеграція всіх отриманих показників за концепцією статистичної аномальності, у результаті чого формуються карти геоекологічних ризиків. Такий підхід забезпечує узгодження результатів аналізу різних часових масштабів і дає змогу перейти від оцінювання окремих індикаторів до комплексної просторової інтерпретації стану території.

Пріоритетність чинників у інтегральній оцінці. У базовій реалізації методики спектрально-фенологічні блоки (похідні індексів, фенологічна класифікація) використовуються як основа для виявлення змін і їх типізації, тоді як температурний чинник застосовується як модульований компонент для уточнення пріоритетності зон ризику. Інтегральний показник формується за принципом рівноважного внеску нормованих індикаторів у межах відповідного класу покриву; температурний

чинник не замінює спектральні ознаки, а підсилює інтерпретацію ризику в зонах, де зафіксовано узгодженість деградаційних сигналів із підвищеним тепловим навантаженням. Для перевірки стійкості результатів застосовується аналіз чутливості: порівнюються карти ризику за рівними вагами та за сценарієм підсилення температурного блоку, після чого оцінюється стабільність просторової структури зон ризику.

Критерії розмежування типів змін. Довготривалі деградаційні процеси інтерпретуються як зміни, що проявляються у вигляді узгодженого багаторічного тренду та підтверджуються накопиченою різницею показників за п'ятирічний період. Накопичені зміни визначаються як істотні зсуви індикаторів за довгий інтервал за відсутності вираженого сталого тренду, що відображає поступове накопичення ефекту без лінійної динаміки. Короточасні порушення фіксуються за річними різницями та показниками актуального стану за умови відсутності стійкого багаторічного тренду.

Перевірка інтерпретації. Достовірність типізації змін підвищується завдяки фенологічній класифікації покриву з незалежною валідацією, що зменшує ризик помилкового трактування сезонних коливань як деградації.

Дані та вихідні матеріали дослідження

Вхідними даними для реалізації методики є багаточасові супутникові знімки PlanetScope із просторовою роздільною здатністю 3 м, тобто, площа базової комірки становить 9 м², і які забезпечують детальне відображення дрібномасштабних геоекологічних процесів; усі допоміжні шари приведено до цієї сітки (Planet Team, 2020). Аналіз виконано для періоду 2020–2025 рр. з використанням літніх знімків, які відповідають піковому стану вегетації. Висока просторова роздільна здатність даних дає змогу виявляти локальні порушення рослинного покриву, характерні для природних і напівприродних територій. Для оцінювання температурного чинника залучено багаторічні тренди температури поверхні за даними Landsat.

Результати

Об'єктом апробації дослідження є територія природно-заповідного фонду в Київській області, а саме Згурівський парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення, а також

Галаганове заповідне урочище місцевого значення. Також частково охоплює гідрологічний заказник “Усівський”, що входить до Смарагдової мережі України.

Оцінювання динаміки геоecологічного стану здійснювалося на двох взаємодоповнювальних часових рівнях. Довгострокова динаміка аналізувалася за коефіцієнтами лінійної регресії вегетаційних і водних індексів та різницею їх значень за п’ятирічний період, що дозволяє ідентифікувати системні деградаційні або відновлювальні процеси. Слід зазначити, що п’ятирічний період не охоплює повних кліматичних циклів, тому результати інтерпретуються як середньострокові екосистемні зміни, а не як кліматично зумовлені довготривалі тенденції. Короткострокова динаміка оцінювалася за річними різницями та показниками актуального стану, які відображають швидкі локальні порушення, не завжди виражені в багаторічних трендах. Поєднання цих часових масштабів забезпечує розмежування накопичених змін і поточних подій, а також знижує ризик помилкової інтерпретації одиничних аномалій.

Фенологічна класифікація типів покриву. Для коректної інтерпретації динаміки використано фенологічну класифікацію типів рослинного покриву на основі сезонних супутникових показників (весна – літо – осінь). Класифікація виконувалася методом кластерного аналізу (Рис. 2) в SAGA (Conrad et al., 2015) з подальшою експертною інтерпретацією та незалежною валідацією (Рис. 3).

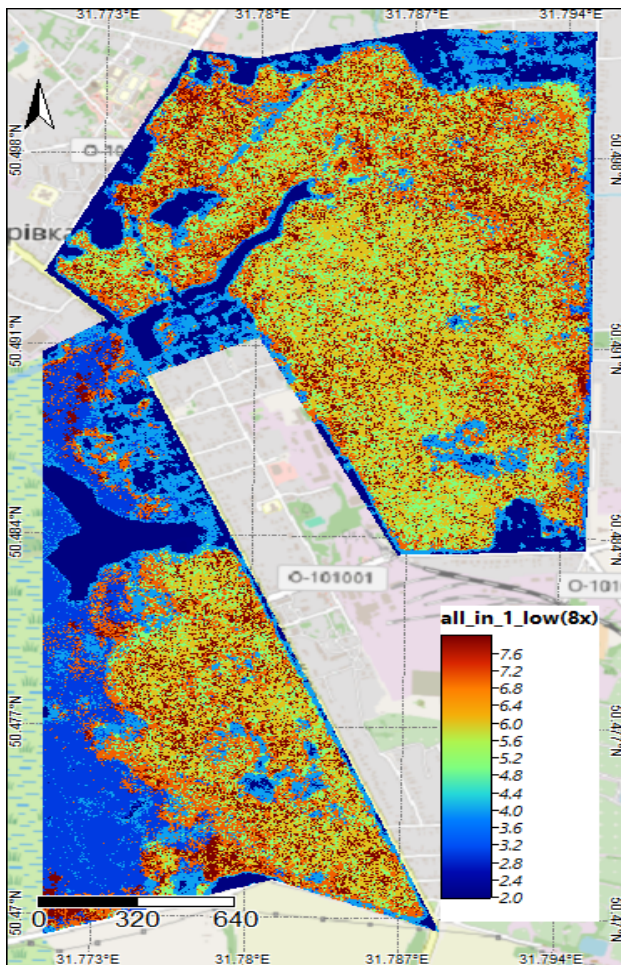


Рис. 2. Первинні результати автоматизованої класифікації

Отримані типи покриву використовувалися як просторові маски для диференційованого аналізу стану рослинності, що дало змогу відокремити природну сезонну мінливість від ознак фізіологічного стресу та деградації. Характеристика деревостану подана середніми значеннями висоти дерев, діаметра стовбурів та класом густоти деревостану (де значення 3 відповідає середній густоті, а 5 – високій густоті деревної рослинності).

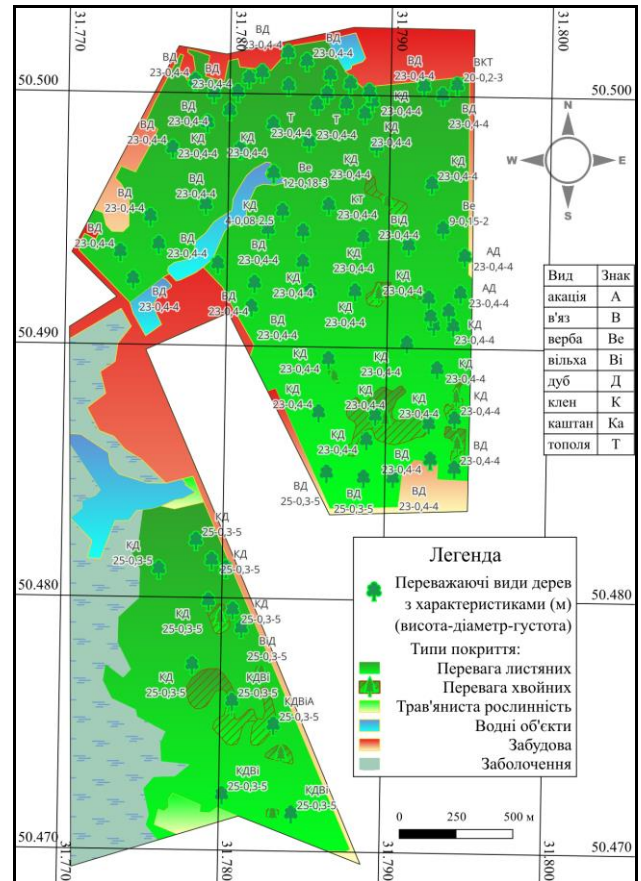


Рис. 3. Схема типів покриття на основі класифікації та візуальної інтерпретації

Температурний чинник. Температурний чинник розглядається як один із кліматичних модульовальних чинників. Для цього використано багаторічні тренди температури поверхні (Маргес та ін., 2025), що дає змогу оцінювати просторову узгодженість зон деградації рослинності з ділянками підвищеного теплового навантаження. Поєднання температурних трендів із багаточасовими похідними вегетаційних індексів підвищує надійність ідентифікації зон підвищеного ризику. Водночас чинник вологості враховано через аналіз водних спектральних індексів (NDWI та похідних), які інтегровані в оцінювання як п’ятирічної, так і річної динаміки, забезпечуючи врахування гідрологічного компонента геоecологічних ризиків.

Інтеграція показників і формування зон ризику. Формування зон геоecологічних ризиків (Рис. 4) здійснювалося шляхом просторової інтеграції показників різних часових масштабів із використанням концепції статистичної аномальності (Гудак та ін., 2025).

До інтегрованої оцінки включено результати аналізу довгострокових трендів, накопичених змін,

короткострокових порушень та актуального стану рослинного покриву і водно-болотних систем. Такий підхід дає змогу одночасно виділяти зони стійкої деградації, ділянки з прихованими накопиченими змінами та осередки активних поточних порушень. Підсумковим результатом є карти геоecологічних ризиків, придатні для використання в системах моніторингу та підтримки управлінських рішень.

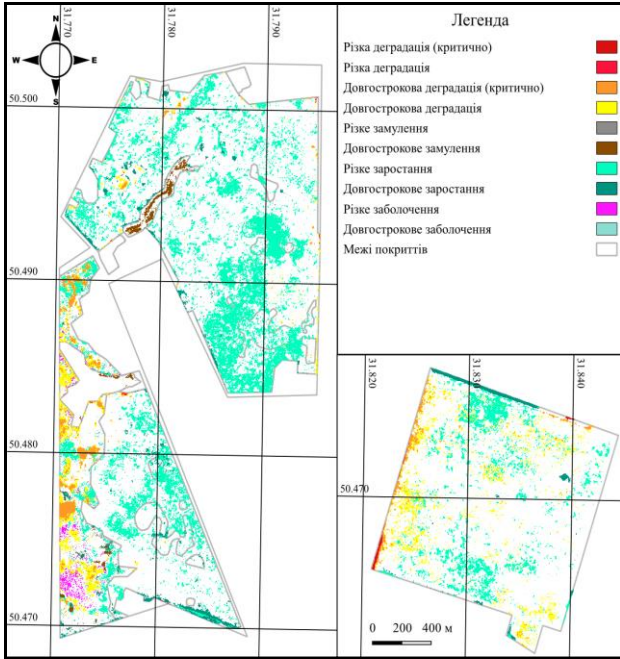


Рис. 4. Візуалізація зон ризику (деградації, заростання, замулення та заболочення)

Практичне використання карт ризику в межах ПЗФ доцільно реалізовувати як компонент регулярного моніторингу: виділення “зон ризику” як пріоритетів польових обстежень; порівняння міжсезонних, міжрічних змін індикаторів у межах однотипних фенологічних класів; фіксація зон, де ризик стабільно повторюється в багаторічному аналізі, як ділянок підвищеної уваги для природоохоронних заходів. Отримані результати є інструментом підтримки рішень і не замінюють регламентних процедур оцінювання, але дають змогу об’єктивізувати просторові пріоритети моніторингу та планування виїзних перевірок.

Висновки

У статті запропоновано методику багаторівневого супутникового аналізу геоecологічних ризиків, що базується на інтеграції багаточасових похідних спектральних індексів, сезонних фенологічних показників і температурних трендів поверхні. Доведено, що поєднання довгострокових і короткострокових часових масштабів дає змогу надійно розрізнити системні деградаційні процеси, накопичені зміни та короткочасні порушення, які не формують стійкого багаторічного тренду.

Використання високопросторових супутникових даних PlanetScore з роздільною здатністю 3 м забезпечує виявлення дрібномасштабних і просторово обмежених змін, що критично важливо для оцінювання геоecологічного стану природних

територій. Залучення фенологічної класифікації підвищує достовірність інтерпретації супутникових показників та зменшує ризик хибного трактування сезонних коливань як деградаційних процесів.

Температурний чинник ідентифіковано як модульований чинник геоecологічних ризиків, що підсвічує пріоритетність проблемних ділянок.

Запропонована просторова інтеграція показників на основі концепції статистичної аномальності забезпечує формування карт геоecологічних ризиків, придатних для використання в системах моніторингу та підтримки управлінських рішень.

Розглянута методика є масштабованою та може бути адаптована для інших природних територій з різними ландшафтними умовами.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення часових рядів, залучення додаткових кліматичних параметрів та автоматизацію процесів інтеграції результатів у прикладні системи екологічного управління.

Фінансування: Запропонована методика розроблена при виконанні дисертаційного дослідження доктора філософії в аспірантурі.

Доступність даних: Дані можуть бути надані автором за обґрунтованим запитом.

Подяки: Автор вдячний рецензентам і редакторам за уважний розгляд роботи, конструктивні зауваження та рекомендації, що дало змогу уточнити й удосконалити окремі положення дослідження.

Financing: The proposed methodology was developed in the course of PhD research conducted within the doctoral training program.

Data Availability Statement: Data available on reasonable request from the author.

Acknowledgements: The author is grateful to the reviewers and editors for their careful consideration of the manuscript, constructive comments, and recommendations, which made it possible to clarify and improve specific aspects of the study.

Література

- Беленок, В. Ю., Фролова, А. А. (2023). Космічний моніторинг змін площ водних об’єктів Київської області впродовж 1990–2020 рр. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 2, 6–19. <https://doi.org/10.32782/apcnj.2023.2.1>.
- Гудак, В., Маргес, С., Зацерковний, В., Де Донатіс, М. (2025). Методологія автоматизованого виявлення аномальних геопросторових зон на супутникових знімках із використанням статистичного аналізу та спеціалізованого плагіна для QGIS. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(110), 117–126. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.110.13>.
- Ліщенко, Л. П., Томченко, О. В., Мичак, А. Г. (2025). Супутникові дані при обґрунтуванні і створенні об’єктів природно-заповідного фонду та моніторингу їх екологічного стану. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 12(3), 21–28. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.3.287>.
- Маргес, С. В., Філіпович, В. Є., Лубський, М. С. (2025). Просторово-часовий аналіз динаміки поверхневих температур басейну річки Супій із застосуванням регресійного аналізу. *Геофізичний журнал*, 47(5), 82–94. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i5.333289>.

- Уруський, О., Станкевич С., Дудар, Т., Мосов, С., & Присяжний, В. (2024). Комплексна оцінка порушених екосистем за допомогою методу дистанційного зондування. *Science and Innovation*, 20(5), 3–15. <https://doi.org/10.15407/scine20.05.003>.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L. ... Böhner J. (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, Vol. 8. 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.
- Dutra, A. C., Srivastava, A., Ganem, K. A., Arai, E., Huete, A., Shimabukuro, Y. E. (2025). Remote sensing-based phenology of dryland vegetation: contributions and perspectives in the Southern Hemisphere. *Remote Sensing*, 17(14), 2503. <https://doi.org/10.3390/rs17142503>.
- Li, Z., Zhu, K., Song, D., Guan, D., Cao, J., Su, X. ... Wang, H. (2023). Analysis of spatial relationship based on ecosystem services and ecological risk index in the counties of Chongqing. *Land*, 12(10), 1830. <https://doi.org/10.3390/land12101830>.
- Lisichenko, L., Tomchenko, O., Mychak, A. (2025). Satellite data in the substantiation and creation of objects of the Nature Reserve Fund and monitoring of their ecological condition. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 12(3), 21–28. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.3.287>. (in Ukrainian).
- Marhes, S., Filipovych, V., Lubyski, M. (2025). Spatiotemporal analysis of surface temperature dynamics in the Supii River basin using regression methods. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 47(5), 82–94. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i5.333289>.
- Planet Team. (2020). PlanetScope product. Planet Labs PBC. Взято з <https://www.planet.com>.
- Udovychenko, V. (2022). *Remote Sensing Methods of Risk Assessment for Landscape Planning Implementation*. Conference: UGI-IGU Paris 2022. Centennial Congress At: Paris, France. Взято з https://www.researchgate.net/publication/362264273_Remote_Sensing_Methods_of_Risk_Assessment_for_Landscape_Planning_Implementation.
- Udovychenko, V. (2022). *Remote Sensing Methods of Risk Assessment for Landscape Planning Implementation*. Conference: UGI-IGU Paris 2022. Centennial Congress At: Paris, France. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/362264273_Remote_Sensing_Methods_of_Risk_Assessment_for_Landscape_Planning_Implementation.
- Uruskiy, O., Stankevich, S., Dudar, T., Mosov, S., & Prisyazhnyi, V. (2024). Integrated assessment of disturbed ecosystems using remote sensing technique. *Science and Innovation*, 20(5), 3–15. <https://doi.org/10.15407/scine20.05.003>.
- Dutra, A. C., Srivastava, A., Ganem, K. A., Arai, E., Huete, A., Shimabukuro, Y. E. (2025). Remote sensing-based phenology of dryland vegetation: contributions and perspectives in the Southern Hemisphere. *Remote Sensing*, 17(14), 2503. <https://doi.org/10.3390/rs17142503>.
- Hudak, V., Marhes, S., Zatserkovnyi V., De Donatis, M. (2025). Methodology for the automated detection of anomalous geospatial zones in satellite imagery using statistical analysis and a custom qgis plugin. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(110), 117–126. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.110.13>.
- Li, Z., Zhu, K., Song, D., Guan, D., Cao, J., Su, X. ... Wang, H. (2023). Analysis of spatial relationship based on ecosystem services and ecological risk index in the counties of Chongqing. *Land*, 12(10), 1830. <https://doi.org/10.3390/land12101830>.
- Lisichenko, L., Tomchenko, O., Mychak, A. (2025). Satellite data in the substantiation and creation of objects of the Nature Reserve Fund and monitoring of their ecological condition. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 12(3), 21–28. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.3.287>. (in Ukrainian).
- Marhes, S., Filipovych, V., Lubyski, M. (2025). Spatiotemporal analysis of surface temperature dynamics in the Supii River basin using regression methods. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 47(5), 82–94. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i5.333289>.
- Planet Team. (2020). PlanetScope product. Planet Labs PBC. Retrieved from <https://www.planet.com>.
- Udovychenko, V. (2022). *Remote Sensing Methods of Risk Assessment for Landscape Planning Implementation*. Conference: UGI-IGU Paris 2022. Centennial Congress At: Paris, France. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/362264273_Remote_Sensing_Methods_of_Risk_Assessment_for_Landscape_Planning_Implementation.
- Uruskiy, O., Stankevich, S., Dudar, T., Mosov, S., & Prisyazhnyi, V. (2024). Integrated assessment of disturbed ecosystems using remote sensing technique. *Science and Innovation*, 20(5), 3–15. <https://doi.org/10.15407/scine20.05.003>.

References

- Belenok, V. Yu., Frolova, A. A. (2023). Space monitoring of changes in water body areas of Kyiv region during 1990–2020. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 2, 6–19. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2023.2.1>.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L. ... Böhner J. (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, Vol. 8. 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.

METHODOLOGY OF MULTI-LEVEL SATELLITE ANALYSIS FOR GEOECOLOGICAL RISKS

Marhes S. V., <https://orcid.org/0009-0004-2942-9406>

State Institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Olesia Honchara str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine

The article is devoted to the development of a multi-level satellite-based methodology for the analysis of geoeological risks, aimed at identifying and spatially differentiating long-term and short-term changes in the state of vegetation cover and wetland systems. The relevance of the study is determined by the limitations of approaches based on the analysis of single indices or individual observation dates, which do not allow for reliable discrimination between persistent degradation processes, accumulated changes, and temporary disturbances caused by seasonal or weather-related factors. The proposed methodology is based on the integration of multi-temporal derivatives of vegetation and moisture spectral indices, seasonal phenological indicators, and land surface temperature trends. The input data consist of multi-temporal PlanetScope satellite imagery with a spatial resolution of 3 m, which enables detailed analysis of small-scale and spatially heterogeneous geoeological processes. The analysis is implemented at two temporal levels: a long-term level involving the assessment of linear trends and five-year differences, and a short-term level focused on annual changes and evaluation of the current state of the territories. To distinguish vegetation cover types, classification based on seasonal phenology is applied using cluster analysis and independent validation, which allows minimizing the influence of natural seasonal variability on the interpretation of results. Spatial integration of heterogeneous indicators is carried out based on the concept of statistical anomaly, resulting in the generation of integrated geoeological risk maps. It is demonstrated that the combined use of multi-temporal derivative indices, phenological features, and the temperature factor ensures reliable differentiation of systematic degradation processes, accumulated changes, and short-term disturbances that do not form stable long-term trends. The temperature factor is identified as a modulating element that enhances geoeological risks in specific spatial zones. Territories of the Nature Reserve Fund are used as test sites for validation and approbation of the proposed approach.

Keywords: geoeological risk analysis; satellite data; ecosystem degradation; wetlands; multi-temporal analysis.

Рукопис статті отримано 02.02.2026
Надходження остаточної версії: 03.03.2026
Публікація статті: 30.03.2026
Received 02.02.2026
Revised 03.03.2026
Accepted 30.03.2026