

Томас РОЖІ, викладач кафедри географії, геодезії та землеустрою

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9662>

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
20300, м. Умань, вул. Садова 2, Україна

Богдан ДЕНИСИК, кандидат географічних наук, доцент

кафедри географії, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3996-1875>

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
21001, вул. Острозького 32, м.Вінниця, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГІС ТА ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОШИРЕННЯМ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН У ЛАНДШАФТАХ ГАЙВОРОНСЬКОЇ ТГ

У статті досліджено поширення інвазійних рослин у антропогенних ландшафтах Гайворонської громади із застосуванням ГІС-технологій, дистанційного зондування, БПЛА та геодезичних методів. Проаналізовано просторові закономірності інвазій, оцінено їх вплив на екосистеми та окреслено напрями підвищення ефективності моніторингу й управління ландшафтами.

Ключові слова: просторовий аналіз території, спектральний аналіз, гепросторові дані, моніторинг рослинного покриву, дистанційне зондування землі, антропогенні ландшафти.



Tomas ROZHI, Lecturer at the Department of Geography, Geodesy and Land Management

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9662>

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
20300, Uman, Sadova St. 2, Ukraine

Bogdan DENYSYK, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
of the Department of Geography, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3996-1875>

Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University,
21001, Ostrozkogo str., 32. Vinnytsia, Ukraine

USE OF GIS AND ELECTRONIC GEODETIC DEVICES TO MONITOR THE SPREAD OF INVASIVE PLANTS IN LANDSCAPES OF THE HAIWORON TERRITORIAL COMMUNITY

The article discusses one of the pressing issues of our time, namely the application and use of geoinformation technologies and electronic geodetic equipment for research and monitoring of the spread of invasive plants in modern, predominantly anthropogenic landscapes of the Hainvoron territorial community. The main patterns of spatial distribution of alien plant species are analyzed in detail, which made it possible to assess their impact on ecosystems in the region. The results obtained contribute to a deeper understanding of the interaction of invasive plants with the surrounding anthropogenic environment. Attention is drawn to the use of modern remote sensing methods, which are widely used to assess changes in the distribution of invasive flora. The use of these technologies makes it possible to analyze the spectral characteristics of plants in detail, which significantly increases the accuracy of detecting invasive species in the structure of anthropogenic landscapes of territorial communities.

Practical experience has confirmed the effectiveness of geographic information systems in the process of visualizing and mapping spatial data on the spread of alien plants. The integration of spatial characteristics of vegetation cover with geographical and climatic conditions allows for better development of invasion mechanisms. It has also been shown that a comprehensive approach to monitoring this phenomenon is necessary, involving satellite imagery, GIS analysis, and geodetic instruments, which allows for obtaining accurate data on changes in plant structure.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs), digital mapping methods, and remote sensing of the Earth for the collection, processing, and visualization of spatial data on invasive flora is also considered. The main areas of distribution of invasive plants and the factors contributing to their spread have been identified. The results of the study can be used to develop conservation measures, plan environmental safety, and implement effective landscape management strategies within the community.

Contemporary challenges in the field of environmental safety and biodiversity conservation, especially in anthropogenic landscapes, require the urgent implementation of innovative methods for comprehensive and detailed analysis of the spread of invasive plants that can negatively affect the ecological balance in both natural and anthropogenic landscapes. The active and uncontrolled spread of alien plant species poses a particular threat to the

Haivoron territorial community. They lead to the displacement of local flora, a decrease in crop productivity, and a deterioration in the ecological condition of the Haivoron territorial community. Gradually, this will lead to additional economic costs to curb the spread of invasive plants.

In this context, the use of geoinformation technologies and modern geodetic equipment plays an important role as components of a comprehensive approach to assessing the extent of the spread of invasive species, spatial analysis of changes in landscapes, and forecasting further paths of their spread based on accurate mapping and data visualization. This study is relevant in terms of the need to develop effective ecological and landscape approaches that will minimize risks through the use of digital tools to monitor changes caused by natural (natural, natural-anthropogenic, and anthropogenic) factors.

In the context of global warming and increasing anthropogenic pressure on the limited resources of communities, there is a growing need to control the spread of invasive plants, and accurate methods for monitoring them are becoming increasingly important. They contribute to the improvement of nature conservation measures, the development of effective management mechanisms, and the maintenance of ecological balance in the landscape of the territorial community.

Keywords: *spatial analysis of territory; spectral analysis; geospatial data; vegetation cover monitoring; remote sensing of the Earth; anthropogenic landscapes.*



Постановка науково-практичної проблеми. У статті розглядається одна з актуальних проблем сучасності, щодо застосування й використання геоінформаційних технологій та електронного геодезичного обладнання для досліджень і спостереження за поширенням інвазійних рослин у сучасних, переважно антропогенних ландшафтах Гайворонської територіальної громади. Детально проаналізовано основні закономірності просторового розповсюдження чужорідних видів рослин, що дозволило оцінити їх вплив на екосистеми у регіоні. Отримані результати сприяють глибшому розумінню взаємодії інвазійних рослин із навколишнім антропогенізованим середовищем. Звернено увагу на застосування сучасних методів дистанційного зондування, які широко застосовуються для оцінки змін у розповсюдженні інвазійної флори. Використання цих технологій дає можливість детально аналізувати спектральні характеристики рослин, що значно підвищує точність виявлення інвазійних видів у структурі антропогенних ландшафтів територіальних громад.

Практичний досвід підтвердив ефективність геоінформаційних систем у процесі візуалізації та картографуванні просторових даних щодо розповсюдження чужорідних рослин. Інтеграція просторових характеристик рослинного покриву з географічними та кліматичними умовами дає змогу краще розробити механізми інвазії. Показано також, що необхідним є застосування комплексного підходу до моніторингу цього явища із залученням супутникових знімків, ГІС-аналізу та геодезичних інструментів, що дозволяє отримати точні дані щодо змін у структурі рослин.

Також розглядається використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), цифрових картографічних методів та дистанційного зондування Землі для збору, обробки та візуалізації просторових даних щодо інвазійної флори. Виз-

начено основні ареали поширення інвазійних рослин та чинники, що сприяють їхньому розповсюдженню. Результати дослідження можуть бути використані для розробки природоохоронних заходів, планування екологічної безпеки та впровадження ефективних стратегій управління ландшафтами в межах громади.

Актуальність і новизна дослідження. Сучасні виклики у сфері екологічної безпеки та збереження біорізноманіття, особливо антропогенних ландшафтів, вимагають термінового впровадження інноваційних методів для комплексного й детального аналізу поширення інвазійних рослин, які можуть негативно впливати на екологічну рівновагу як у натуральних, так і в антропогенних ландшафтах. Для Гайворонської територіальної громади особливу загрозу становить активне та неконтрольоване поширення чужорідних видів рослин. Вони призводять до витіснення місцевої флори, зниження продуктивності сільськогосподарських культур та екологічного стану території Гайворонської територіальної громади. Поступово це призведе до додаткових економічних затрат на стримування розповсюдження інвазійних рослин.

У цьому контексті важливу роль відіграє застосування геоінформаційних технологій та сучасного геодезичного обладнання, як складових комплексного підходу до оцінки масштабів розповсюдження інвазійних видів, просторового аналізу змін у сучасних ландшафтах і прогнозування подальших шляхів їхнього поширення на основі точного картографування й візуалізації даних. Це дослідження є актуальним з погляду необхідності розробки ефективних еколого-ландшафтознавчих підходів, які дозволять мінімізувати ризики за допомогою використання цифрових інструментів для моніторингу змін, викликаних природними (натуральними, натурально-антропогенними і антропогенними) чинниками.

В умовах глобального потепління та зростання антропогенного тиску на обмежені ресурси територій громад, зростає необхідність контролю за поширенням інвазійних рослин, а точні методи їх моніторингу набувають суттєвого значення. Вони сприяють вдосконаленню природоохоронних заходів, розробці ефективних механізмів управління та підтриманню екологічної рівноваги у ландшафті територіальної громади.

Наукова новизна дослідження полягає у поєднанні сучасних геоінформаційних технологій, електронних геодезичних приладів та методів дистанційного зондування для комплексного аналізу поширення інвазійних рослин у межах Гайворонської територіальної громади. Уперше здійснено просторове картографування ареалів інвазійної флори у межах Гайворонської територіальної громади з урахуванням антропогенного навантаження та природних чинників.

Зв'язок теми статті з важливими науково-практичними завданнями. Тема дослідження пов'язана з важливими науково-практичними завданнями з охорони навколишнього природного середовища, моніторингу стану ландшафтів та збереження біорізноманіття. Використання ГІС-технологій і сучасних геодезичних приладів забезпечує підвищення ефективності спостережень за поширенням інвазійних рослин, дозволяє точно визначати їх ареали та оцінювати вплив на екосистеми. Отримані результати сприяють удосконаленню системи екологічного моніторингу, розробці заходів із контролю чужорідних видів і формуванню стратегій сталого управління природними ресурсами територіальних громад.

Аналіз попередніх публікацій за темою дослідження. У сучасних наукових дослідженнях приділено увагу аналізу поширення інвазійних видів, їх впливу на ландшафти та ефективні методи боротьби з їх розповсюдженням. Зокрема, Токарюк А. зауважує, що чужорідні рослини можуть суттєво змінювати структуру природних ландшафтів, витісняючи місцеву флору та дестабілізувати екологічну рівновагу [6]. Водночас, згідно з дослідженнями Мосякіна А., важливу роль у моніторингу подібних змін доцільно застосовувати інноваційні технології, серед яких особливе значення мають геоінформаційні системи (ГІС) та супутникові технології [14]. Цепенда М., Данілова О., Заблотовська Н., зазначають, що використання спектрального аналізу супутникових знімків Sentinel-2 дозволяє виявляти території, на яких активно поширюються інвазійні рослини, обґрунтовуючи їх

унікальні спектральні характеристики [19]. Дослідження, проведені Фаснахт Ф., та ін., доповнюють цей підхід, демонструючи, що поєднання мультиспектрального аналізу з геостатистичними методами значно покращує точність оцінки масштабів інвазії та дозволяє прогнозувати її подальший розвиток [21].

Науковці Дуарте Л. [28] та ін. досліджували інвазивних види рослин у водних екосистемах застосовуючи супутникові та аерофотознімки для виявлення, картографування й моніторингу поширення інвазивної водної рослинності, зокрема макрофітів. Це дослідження показало, що аналіз спектральних характеристик рослин дозволяє ефективно ідентифікувати інвазійні види, оцінювати їх динаміку та вплив на структуру й функціонування водних екосистем.

Лоуренсо П. та ін. досліджували за допомогою дистанційного зондування, поширення інвазійних чужорідних рослин вздовж доріг. Вони вивчили можливості підходу об'єктно-орієнтованого аналізу зображень для картографування кількох видів інвазійних рослин вздовж доріг з використанням зображень з дуже високою просторовою роздільною здатністю.

Шевчик М., Гаспаровська П. та ін. Зазначили, що інформація про розмір площі належить до найбазовіших атрибутів просторових даних. Вона є не лише частиною більшості географічних досліджень, але й багатьох документів, концепцій, планів, стратегій чи заходів, пов'язаних зі збереженням та захистом навколишнього середовища. У більшості випадків площа обчислюється як двовимірною поверхню без урахування шорсткості місцевості, що не відповідає дійсності, і це може призвести до значного спотворення реального стану. Вони вивчили та обчислили реальну тривимірну площу інвазійних рослин за допомогою растрового аналізу на цифровій моделі місцевості (ЦММ) та проаналізували різницю між традиційними підходами, що використовуються.

Зокрема, у дослідження Лозінської Т., Задорожного А., Масальського В. і Триснюка В. та інші окремим аспектом розглядається можливість застосування безпілотних літальних апаратів і GPS-інструментів для створення детальних карт ареалів поширення інвазійних видів. Отримані результати сприяють швидкому збору даних щодо змін у рослинному покриві та дозволяють оцінити вплив людської діяльності на розширення ареалу чужорідних рослин. Однак проблема комплексної інтеграції цих технологій в єдину систему моніторингу все ще залишається актуальною, особливо в контексті управління природними екосистемами територіа-

льних громад [10; 25].

Мета дослідження: наукове обґрунтування методологічних підходів, що сприятимуть ефективному застосуванню геоінформаційних технологій та сучасних електронних геодезичних приладів для дослідження й моніторингу поширення інвазійних рослин у ландшафті Гайворонської територіальної громади.

Матеріали та методи дослідження. Використання сучасних інструментів дистанційного зондування, зокрема даних супутника «Sentinel-2», забезпечує оперативний доступ до інформації про стан рослинного покриву та дає можливість вести безперервний моніторинг природних, зокрема і лісових екосистем. Завдяки багатоспектральному аналізу, що охоплює широкий діапазон електромагнітних хвиль, а також високій просторовій деталізації, можна точно визначати території поширення інвазійних рослин, оцінювати їхній вплив на ландшафт територіальних громад та прогнозувати подальшу динаміку розростання [1].

Для аналізу змін у рослинному покриві застосовуються спеціалізовані аналітичні методи, зокрема спектральний гістограмний аналіз, який дозволяє оцінювати як якісний, так і кількісний склад інвазійної рослинності в досліджуваних ландшафтах. Для визначення масштабів змін, спричинених поширенням чужорідних видів, проводиться ретроспективний аналіз – порівняння актуальних супутникових даних із архівними матеріалами минулих періодів картографування. Це дає змогу встановити швидкість експансії інвазійних рослин, визначити основні чинники, що сприяють їхньому розповсюдженню та запропонувати ефективні заходи для запобігання їхньому подальшому неконтрольованому розповсюдженню.

Ретроспективний аналіз, що базується на математичному моделюванні та обробці геопросторових даних, дозволяє простежити динаміку змін у ландшафтах, ідентифікувати найбільш вразливі до інвазій території, а також передбачити можливі шляхи подальшого поширення чужорідних видів у досліджуваному регіоні.

Виклад основного матеріалу. ГІС-технології, засновані на аналізі даних дистанційного зондування Землі, є одним із найефективніших інструментів для збору, обробки та інтерпретації просторових даних. Вони дозволяють швидко оцінювати масштаби розповсюдження інвазійних рослин у різних ландшафтних умовах. Одним із ключових підходів до ідентифікації таких видів є аналіз фенологічних змін рослинного покриву, оскільки життєві цикли рослин, зокрема зміна кольору листя або його

опадання, можуть виступати важливими ознаками для класифікації та дешифрування супутникових знімків [7; 26].

Під час аналізу територій, схильних до поширення інвазійних рослин, особливу увагу варто приділяти сезонним змінам спектральних характеристик рослинності. Це дає змогу простежити закономірності змін фототону зображень та оцінити специфіку розвитку чужорідних видів. Оскільки кожен тип рослинності має унікальні морфологічні та структурні особливості, їх можна використовувати як індикатори для дешифрування супутникових даних, що сприяє точному картографуванню ареалів інвазійних деревних порід. Оптимальним періодом для здійснення такого спостереження є пізня весна та початок літа, коли листяні рослини перебувають у фазі активного росту, що значно покращує якість дешифрування та точність визначення видового складу насаджень [4; 26].

Підвищити ефективність ідентифікації територій, зайнятих окремими видами інвазійних рослин, можна за допомогою фенологічного підходу, що базується на дослідженні змін у різні фази розвитку рослинного покриву. Найбільш інформативними періодами для дешифрування вважаються моменти цвітіння рослин та опадання листя, оскільки ці зміни чітко фіксуються мультиспектральними знімками. Застосування багатоспектрального аналізу значно розширює діапазон дешифрувальних характеристик, оскільки різні види рослин по-різному відбивають електромагнітне випромінювання, що дає змогу їх розрізнити на основі вмісту хлорофілу та інших біохімічних особливостей [3; 22].

В ландшафтах Гайворонської територіальної громади Кіровоградської області виявлено кілька інвазійних рослин, які становлять загрозу для місцевих екосистем. До найбільш поширених належать: амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*), повитиця польова (*Cuscuta campestris*). Серед деревних інвазійних рослин у громаді зустрічаються клен ясенелистий (*Acer negundo*), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*) та аморфа куцова (*Amorpha fruticosa*).

У рамках цього дослідження було використано результати БПЛА зображення, які демонструють поширення інвазійних рослин на території м. Гайворон Кіровоградської області. Виділені кольорові зони показують їх знаходження, а також представляють аналітичні дані у вигляді теплових карт та екологічного стану інвазійних рослин. Для детального вивчення змін у просторовій структурі насаджень застосову-

вали як супутникові методи аналізу, так і наземні способи збору даних (рис. 1).

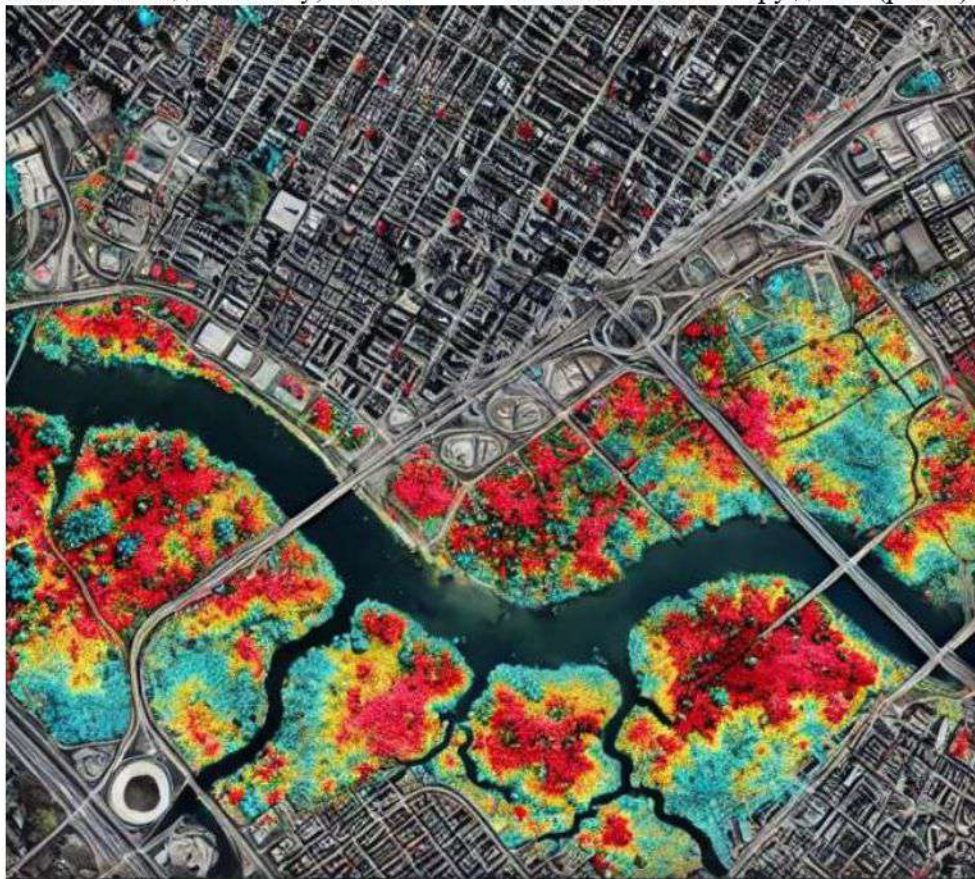


Рис. 1. Поширення інвазійних рослин на території м. Гайворон Кіровоградської області

Географічні координати місць поширення досліджуваного виду акації білої (*Robinia pseudoacacia*) були визначені шляхом проведення наземних обстежень із використанням сучасних електронних геодезичних пристроїв, зокрема GPS-приймачів марки Garmin. Це забезпечило високу точність просторового розташування отриманих даних. Інформація, зібрана під час польових досліджень, була опрацьована у геоінформаційній системі, де її було переведено у цифровий формат. Такий підхід дав змогу сформувати share-файли (*.shp), необхідні для подальшого аналізу змін ареалу поширення інвазійного виду акації білої (*Robinia pseudoacacia*) в динаміці (рис. 2).

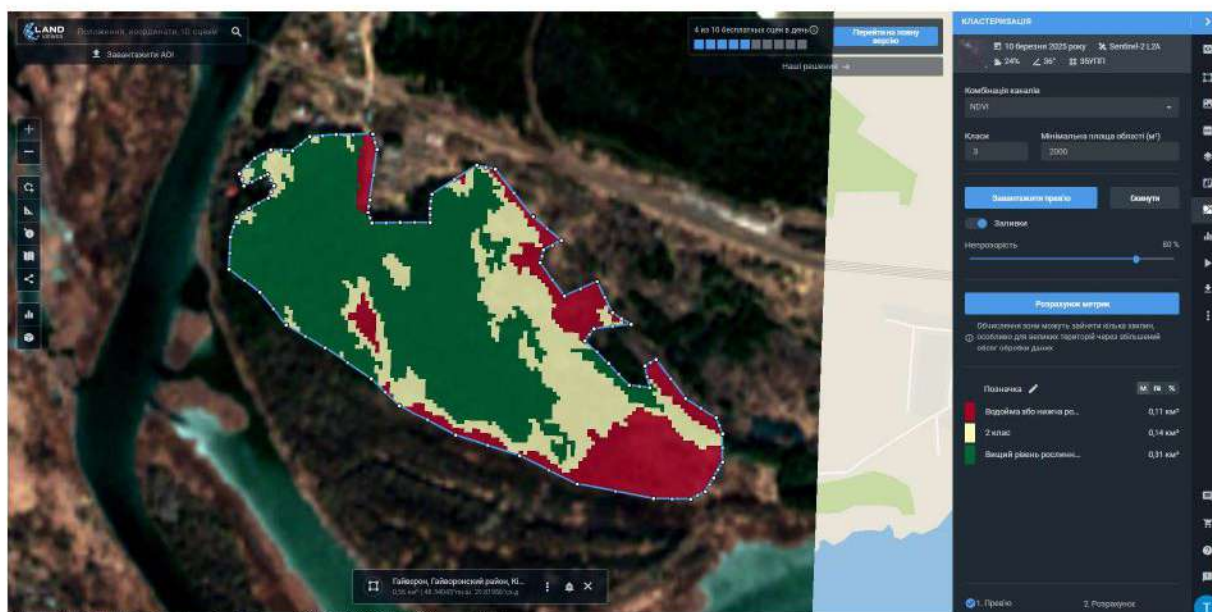


Рис. 2. Поширення інвазійного виду акації білої (*Robinia pseudoacacia*) у межах Гайворонської ТГ (знімок зроблено за допомогою супутника «Sentinel-2»)

На основі результатів польових спостережень були створені цифрові фотоеталони інвазійної деревної породи акації білої (*Robinia pseudoacacia*). Вони слугують надійним інструментом для ідентифікації цього виду в природному середовищі та можуть використовуватися у подальшому аналізі за допомогою геоінформаційних технологій. Дослідження, проведені у 2021 році в ландшафтах Гайворонської ТГ,

дозволили встановити, що масова осіння зміна забарвлення листя цього інвазійного виду, яка проявлялася у переважному переході крони в жовті відтінки, спостерігалася наприкінці вересня. Це явище може слугувати важливим фенологічним показником для дешифрування виду за даними геоінформаційного моніторингу [12; 17; 23].

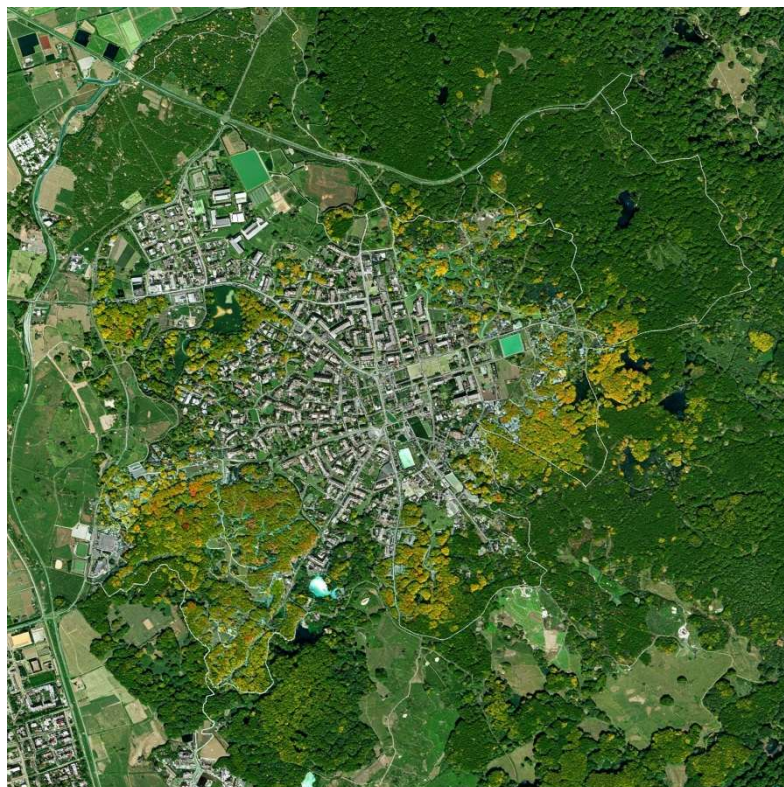


Рис. 3. БПЛА знімання інвазійних рослин у межах Гайворонської ТГ

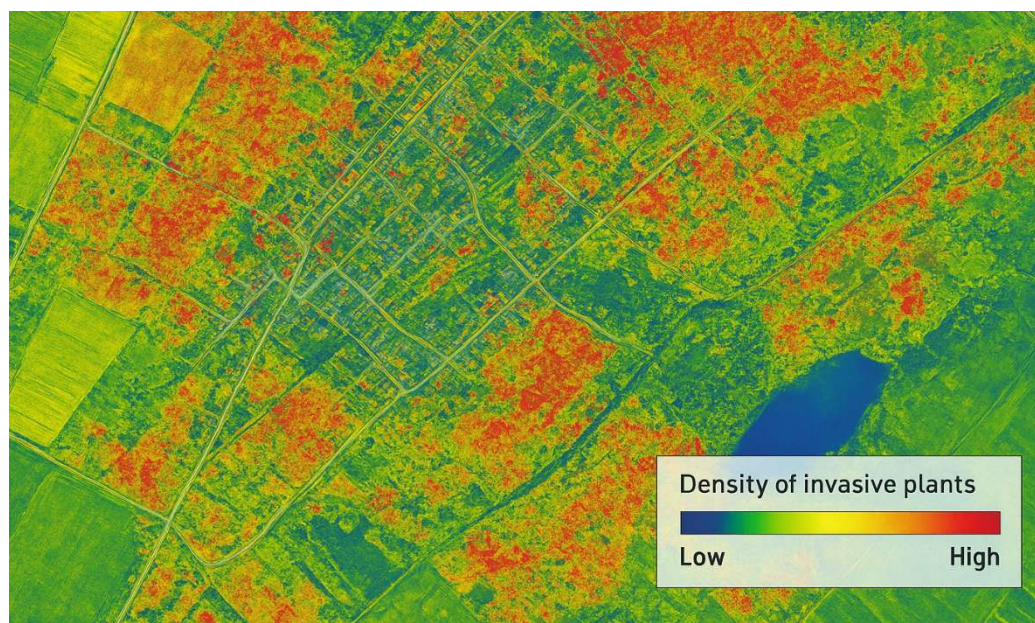


Рис. 4. Геоінформаційний картографічний шар «ареали» робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia*) на території поширення інвазійних рослин у межах Гайворонської територіальної громади

Для отримання високоякісних аерофотознімків досліджуваної території в осінній період використовували сучасні геодезичні безпілотні літальні апарати, зокрема квадрокоптер моделі «Phantom». Він забезпечив детальне знімання з високою просторовою роздільною здатністю. Використання дронів дозволило отримати актуальну інформацію щодо територіального поширення клена ясенелистого (*Acer negundo*) та робінії звичайної (*Robinia pseudo-acacia*), а також оцінити їхній вплив на природні екосистеми та агроландшафти [5].

Для обробки та аналізу матеріалів дистанційного зондування та знімків БПЛА застосовувалося програмне забезпечення Digital, яке використовувалося на етапі попередньої та тематичної обробки зображень. Спочатку здійснюється імпорт космічних знімків Sentinel-2 та ортофотопланів, отриманих із БПЛА. Далі проводиться геоприв'язка зображень на основі координат, отриманих за допомогою GNSS-приймачів і електронних геодезичних приладів. Це дозволяє інтегрувати дані у єдину геоінформаційну систему дослідження території Гайворонської громади. За допомогою програмного забезпечення Digital виконувалася класифікація рослинного покриву, що дало змогу виділити осередки інвазійних видів. Для цього застосовуються методи порогового аналізу та класифікації на основі польових спостережень. Матеріали БПЛА мають високу просторову роздільну здатність, тому вони використовуються для детального картографування локальних осередків інвазій, тоді як Sentinel-2 забезпечує моніторинг змін на регіональному рівні. Після обробки результати експортуються у ГІС-середовище для просторового аналізу.

Аналіз просторових даних показав, що з 19,2 гектара загальної території 3,5 гектара вже займають інвазійні рослини, що становить близько 18,3 % досліджуваної площі. Такий рівень поширення свідчить про високу здатність цих рослин до адаптації та активне їх розростання в умовах Центральної України [9; 18]. Важливим підходом до виявлення інвазійних видів за допомогою дистанційного зондування Землі є використання фенологічних характеристик, що ґрунтуються на відмінностях у сезонному розвитку різних рослинних угруповань. Однією з визначальних ознак, яка дозволяє диференціювати інвазійні деревні породи, є зміни забарвлення листя, що особливо помітні в осінній період. Саме в цей час багато деревних видів набувають специфічних відтінків, які можуть виступати індикаторами для розпізнавання видового складу лісових насаджень за супутни-

ковими або аерофотознімками [16; 24].

Осінні зображення, отримані за допомогою аерофотознімання та супутникових сенсорів, дозволили виявити спектральні відмінності між кронами дерев, що значно покращило точність картографування інвазійних видів [8, с. 30]. Досвід використання локального геоінформаційного аналізу підтвердив його високу ефективність у вивченні просторової структури ареалів поширення інвазійних рослин. Це дало змогу здійснити детальну оцінку масштабів їхнього розповсюдження та прогнозувати динаміку змін у рослинному покриві. Одним із методів, який демонструє результативність застосування сучасних геоінформаційних технологій є комплексний аналіз стану рослинності на модельних пробних ділянках із використанням аерофотознімання, що дозволяє отримувати високоточні просторові дані [13; 15].

Ортофотознімки, отримані під час дистанційного зондування у спектральному діапазоні RGB, були проаналізовані та інтерпретовані на основі зовнішніх морфологічних характеристик крони. Це дало можливість визначити особливості просторового розташування осередків інвазійних видів у межах досліджуваної території. Використання геоінформаційного моделювання дозволило встановити межі інвазійних угруповань та представити отримані результати у цифровому вигляді. На розроблених картографічних матеріалах відображена динаміка змін у структурі рослинного покриву, що дозволило оцінити рівень поширення інвазійних видів та ідентифікувати найбільш уразливі до їхнього впливу ландшафтні комплекси. Застосування геостатистичної інтерполяції для аналізу отриманих даних дозволило не лише детально охарактеризувати поточний стан рослинного покриву, а й розрахувати прогнозовані сценарії подальшого розширення ареалу інвазійних рослин у ландшафтах Гайворонської громади [2; 11; 20]. Точність прогнозу була підтверджена порівнянням отриманих даних із результатами спостережень наступного вегетаційного періоду, а також перевірочними польовими обстеженнями.

Додатковий аналіз, проведений шляхом порівняння даних аерофотознімання та результатів наземних геодезичних вимірювань, підтвердив високу відповідність між дистанційними спостереженнями та польовими дослідженнями. Зокрема, при оцінці відсотка території зайнятої інвазійними видами, результати дешифрування аерофотознімків показали, що площа інвазійної рослинності складає 18,2% від загального рослинного покриву ділянки. Водночас

наземні вимірювання, проведені за допомогою геодезичних приладів, виявили аналогічний показник на рівні 18,6%, що свідчить про мінімальну похибку, яка не перевищує 1% [9].

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. У результаті застосування ГІС-технологій та сучасних геодезичних приладів визначено основні закономірності поширення інвазійних рослин у межах Гайворонської території громади. Використання просторового аналізу дозволяє моделювати майбутнє розширення ареалів інвазійних рослин, що дає змогу ефективніше планувати заходи з їхнього контролю. На основі історичних даних та сучасних моделей можна передбачати, які ділянки ландшафту найбільш вразливі до експансії чужорідних видів. Інформація, отримана за допомогою ГІС та геодезичних приладів, може бути використана для створення інтерактивних карт, доступних громадськості. Це сприяє залученню місцевого населення до боротьби з інвазійними рослинами, покращенню комунікації між екологами та органами місцевого самоврядування. Впровадження ГІС-технологій у моніторинг і контроль інвазійних рослин є економічно доцільним завдяки зменшенню витрат на польові дослідження та підвищенню ефективності прийняття рішень. Використання сучасних геодезичних методів дає змогу не тільки зменшити витрати на боротьбу з інвазійними видами, а й запобігти економічним збиткам, які можуть бути спричинені їхнім

поширенням.

Використання ГІС-технологій та сучасних геодезичних приладів відкриває нові можливості для моніторингу та контролю інвазійних рослин у ландшафтах територіальних громади. Комплексний підхід, що поєднує просторовий аналіз, дистанційне зондування та сучасні геодезичні прилади, дозволяє не лише підвищити ефективність боротьби з чужорідними видами, а й забезпечити довгостроковий захист природних екосистем. Подальший розвиток цих технологій та їх інтеграція у природоохоронну діяльність сприятиме збереженню біорізноманіття та сталому розвитку територіальних громад.

Перспективи використання результатів дослідження полягають у можливості застосування отриманих даних для вдосконалення системи екологічного моніторингу та управління природними ресурсами на рівні територіальних громад. Результати можуть бути використані під час розроблення регіональних програм контролю поширення інвазійних видів, планування природоохоронних заходів та оптимізації структури ландшафтів. Практичне впровадження підходів із використанням ГІС і геодезичних технологій сприятиме створенню інтерактивних карт екологічних ризиків, підвищенню ефективності моніторингу стану рослинного покриву й формуванню науково обґрунтованих стратегій сталого розвитку територій.

Література:

1. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. *Просторовий розвиток*: Науковий збірник / Головн. ред. О. Ковальчук. Київ, КНУБА, 2023. Вип. 5. С. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>
2. ГІС Карты: Види та застосування цифрової картографії. URL: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/> (дата звернення: 14.03.2025).
3. Дець Т.І., Кирилюк В.П., Рожі Т.А. Вивчення відображення і дослідження об'єктів, явищ та процесів у навколишньому середовищі шляхом картографічних зображень та топографо-геодезичних вимірювань. *Містобудування та територіальне планування* : наук.-техн. Збірник. Київ : КНУБА, 2024. Вип. 85. С. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145>
4. ДП «Ліси України». URL: <https://e-forest.gov.ua/> (дата звернення: 10.03.2025).
5. Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. (Серія: «Conservation Biology 3-75 in Ukraine». – Вип. 29). Київ; Чернівці : Друк Арт, 2023. 520 с.
6. Інвазійні рослини в Буковинському Передкарпатті : монографія / А. І. Токарюк, І. І. Чорней, В. В. Буджак, В. В. Протопопова, М. В. Шевера, К. В. Коржан, О. Д. Волуца ; наук. ред. І. І. Чорней. Чернівці : Друк Арт, 2018. 176 с
7. Кирилюк, В., Рожі, Т., Харів В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*, (6), (2023). С. 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>
8. Кисельов Ю. О., Черниш В. І. Особливості інвазійної флори Центрально-Придніпровської височинної області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32, № 2. С. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.36930/40320204>
9. Кочеригін Л. Ю., Кімейчук І. В. Геоінформаційний моніторинг змін вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок Черкаської області за радарними даними. *Вісник Малинського фахового коледжу: наукове видання*. 2023. Вип. 2. С. 157–174.
10. Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Масальський В. П. Дослідження нових технологій та інновацій у сфері лісового господарства. *Агробіологія*. 2024. № 1. С. 268–276. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-276>
11. Луців Н. Г., Чухна П. В. Геоінформаційні системи та їхнє значення у формуванні політик щодо управління лісами. *Лісова освіта та наука: сучасні виклики та перспективи розвитку. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, 23–25 жовтня 2024 р., Львів, Україна. DOI: <https://doi.org/10.36930/conf150.5.15>
12. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С.

- 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
13. *Македон В. В., Валіков В. П., Федьора С. С.* Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2019. №1. С. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8.
 14. *Мосякін А. С.* Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин: приклади й перспективи застосування. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2012. Т. 3(10), № 1. С. 93–109.
 15. *Поліщук Є.А., Гойванюк М.П., Василюшен Ю.В.* Лісництво як напрям смарт спеціалізації регіону: європейський досвід. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.7.22
 16. *Рожі І.Г., Рожі Т.А., Федій О.А.* Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. *Просторовий розвиток*, Вип. 8, 2024. С. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>
 17. *Рожі Т. А.* Врахування ландшафтної структури території громад для раціонального природокористування. *Ландшафтознавство : науково-теоретичний журнал. / головн. ред. Г. Денисик*. Вінниця, ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2023. Вип. 4 (2). С. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91>
 18. *Савков П., Левінськова Н., Бондарчук Г., Постарниченко Н.* Геоінформаційні системи в моніторингу лісових ресурсів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2021. № 1(45). С. 71–74. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.71-74>
 19. *Цепенда М., Данилова О., Заблотовська Н.* Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій. *Науковий вісник Чернівецького університету: Географія*. 2024. № 849. С. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>
 20. *Шевчук С.М., Прокопенко Н.І., Рожі Т.А.* Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Просторовий розвиток*, Вип. 7, 2024. С. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>
 21. *Fassnacht F.E., White J.C., Wulder M.A., Naesset E.* Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2024. 97(1):11–37. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024>
 22. *Foster A., Rahimzadeh-Bajgirani P., Daigneault A., Weiskittel A.* Cost-effectiveness of remote sensing technology for spruce budworm monitoring in Maine, USA. *Forests Monitor*. 2024. 1(1):66–98. <https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14>
 23. *GIS for Land Administration* – Esri. URL: www.esri.com/industries/cadastre/
 24. *Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko N., Mykhailenko O.* Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
 25. *Trysnyuk V., Demydenko O., Trysnyuk T., Horoshkova L., Khlobystov Ie., Holovan Y.* GIS technologies for monitoring forest plantations. *Geoinformatics*. 2021. Volume 2021. pp. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521062>
 26. *Xing J., Sun S., Huang Q., Chen Z., Zhou Z.* Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. *Forests*. 2024. 15(3). pp. 439. <https://doi.org/10.3390/f15030439>
 27. *Duarte L., Castro J. P., Sousa J. J. and Pádua L.* GIS Application to Detect Invasive Species in Aquatic Ecosystems, IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 6013-6018, doi: 10.1109/IGARSS46834.2022.9884895.
 28. *Lourenço P., Teodoro A. C., Gonçalves J. A., Honrado J. P., Cunha M. and Sillero N.*, «Assessing the performance of different OBIA software approaches for mapping invasive alien plants along roads with remote sensing data,» *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 95, p. 102263, 2021, doi: 10.1016/j.jag.2020.102263
 29. *Sevcik M., Gasparovicová P., Zigova M., Rusnak T., Jakab I.* The computation of real area using gis demonstrated on management of invasive plants. *Useful geography: transfer from research to practice*. 2018, pp. 326-335. <https://publons.com/publon/27390861/>

References:

1. *Braslavska O.V., Dets T.I., Rozhi T.A.* (2023). Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnohohii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii. *Prostorovyi rozvytok : Naukovyi zbirnyk / Holovn. red. O. Kovalchuk*. Kyiv, KNUBA, Vyp. 5. S. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>
2. *GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography*. Retrieved from: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/>
3. *Dets T.I., Kyrlyuk V.P., Rozhi T.A.* (2024). Vyvchennia vidobrazhennia i doslidzhennia obektiv, yavlyshch ta protsesiv u navkolyshnomu seredovysheci shliakhom kartohrafichnykh zobrazhen ta topografo-heodezychnykh vymiriuvan. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia : nauk.-tekh. Zbirnyk*. Kyiv : KNUBA, Vyp. 85. S. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145>
4. DP "Lisy Ukrainy" [SE "Forests of Ukraine"]. Available at: <https://e-forest.gov.ua/>
5. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini* [Findings of alien plant and animal species in Ukraine]. (Series: "Conservation Biology in Ukraine", Issue 29). Kyiv; Chernivtsi: Druk Art, 2023. 520 p.
6. *Tokariuk, A. I., Chornei, I. I., Budzhak, V. V., Protopopova, V. V., Shevera, M. V., Korzhan, K. V., Volutsa, O. D.* (2018). *Invaзиini roslyny v Bukovynskomu Peredkarpatti: monohrafiia* [Invasive plants in the Bukovinian Pre-Carpathians: monograph]. Edited by I. I. Chornei. Chernivtsi: Druk Art. 176 p.
7. *Kyrlyuk, V., Rozhi, T., Khariv, V.* (2023). Heodezychne planuvannia v ahrolandshafiti: stvorennia tsyfrovyykh kart ta modelei dlia optyimizatsii zemlekorystuvannia. *Prostorovyi rozvytok*, (6), 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>
8. *Kyseliiov, Yu. O., Chernysh, V. I.* (2022). Osoblyvosti invaziinoi flory Tsentralno-Prydniprovskoho vysochynnoho rehionu [Features of the invasive flora of the Central Dnieper Upland region]. *Naukovyi Visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine], 32(2), 27–32. <https://doi.org/10.36930/40320204>.
9. *Kocherihin, L. Yu., Kimeichuk, I. V.* (2023). Heoinformatsiyni monitorynh zmin vkrytykh lisovoiu roslynistiu lisovykh dilianok Cherkaskoi oblasti za radarnymy danymy [Geoinformation monitoring of changes in forest-covered areas of Cherkasy region based on radar data]. *Visnyk Malynskoho Fakhovoho Koledzhu: Naukove Vydannia* [Bulletin of Malyn Vocational College: Scientific Journal], 2, 157–174.
10. *Lozinska, T. P., Zadorozhnyi, A. I., Masalskyi, V. P.* (2024). *Doslidzhennia novykh tekhnohohii ta innovatsii u sferi lisovoho*

- hospodarstva [Research on new technologies and innovations in the field of forestry]. *Ahrobiologia* [Agrobiology], 1, 268–276. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-276>.
11. Lutsiv, N. H., Chukhna, P. V. (2024). Heoinformatsiini systemy ta yikhnie znachennia u formuvanni polityk shchodo upravlinnia lisamy [Geoinformation systems and their significance in shaping forest management policies]. *Lisova Osvita ta Nauka: Suchasni Vyklyky ta Perspektyvy Rozvytku* [Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects]. Proceedings of the International Science-Practical Conference, October 23–25, 2024, Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.36930/conf150.5.15>.
 12. Makedon V. V., Bailova O. O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya syfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovyykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
 13. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisumenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 2(13(128)), 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.
 14. Mosyakin, A. S. (2012). Suchasni metody biolohichnoho kontroliu (biolohichnoho rehulivannia) aktyvnosti invazyynykh rosllyn: pryklady y perspektyvy zastosuvannia [Modern methods of biological control (biological regulation) of invasive plant activity: examples and application prospects]. *Naukovi Osnovy Zberezhennia Biotychnoi Riznomanitnosti* [Scientific Foundations of Biodiversity Conservation], 3(10), 93–109.
 15. Polishchuk, Y., Goivanyuk, M., Vasylyshen, Yu. (2020). Lisnytstvo yak napryam smart spetsializatsiyi rehionu: yevropeys'kyi dosvid [Forestry as a priority of smart specialization of the regions: european experience]. *Efektivna ekonomika* [Efficient economy], no. 7. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8265> DOI: 10.32702/2307-2105-2020.7.22.
 16. Rozhi I.H., Rozhi T.A., Fedii O.A. Heodezychni aspekty stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu dlia potreb heoinformatsiynykh system. *Prostorovyi rozvytok*, Vyp. 8, 2024. S. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>
 17. Rozhi T. A. Vrakhuvannya landshaftnoi struktury terytorii hromad dlia ratsionalnoho pryrodokorystuvannia. *Landshaftoznavstvo : naukovo-teoretychnyi zhurnal. / holovn. red. H. Denysyk. Vinnytsia, VDPU im. Mykhaila Kotsiubynskoho*, 2023. Vyp. 4 (2). S. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91>
 18. Savkov, P., Levinskova, N., Bondarchuk, H., Postarnichenko, N. (2021). Heoinformatsiini systemy v monitorynhu lisovykh resursiv [Geoinformation systems in forest resource monitoring]. *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-Spetsialni Nauky* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military-Special Sciences], 1(45), 71–74. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.71-74>.
 19. Tsenda, M., Danilova, O., Zablotska, N. (2024). Zastosuvannia HIS-tekhnolohii dlia otsiniuvannia lisorekreatsiynykh ploshch urbanizovanykh terytorii [Application of GIS technologies for assessing forest recreation areas in urbanized territories]. *Naukovyi Visnyk Chernivetskoho Universytetu: Heohrafiia* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography], 849, 154–163. <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>.
 20. Shevchuk S.M., Prokopenko N.I., Rozhi T.A. (2024). Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody. *Prostorovyi rozvytok*, Vyp. 7. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>
 21. Fassnacht, F. E., White, J. C., Wulder, M. A., & Næsset, E. (2024). Remote sensing in forestry: Current challenges, considerations, and directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(1), 11–37. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024>.
 22. Foster, A., Rahimzadeh-Bajgirani, P., Daigneault, A., & Weiskittel, A. (2024). Cost-effectiveness of remote sensing technology for spruce budworm monitoring in Maine, USA. *Forests Monitor*, 1(1), 66–98. <https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14>
 23. *GIS for Land Administration* – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/
 24. Makedon, V. V., Valikov, V. P., Fedyora, S. S. (2019). Udoskonalennya upravlinnia promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. *European vector of economic development*, No.1. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8.
 25. Demydenko, O., Trysnyuk, T., Horoshkova, L., Khlobystov, I., & Holovan, Y. (2021). GIS technologies for monitoring forest plantations. *Geoinformatics*, 2021, 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521062>.
 26. Xing, J., Sun, S., Huang, Q., Chen, Z., & Zhou, Z. (2024). Application of geoinformatics in forest planning and management. *Forests*, 15(3), 439. <https://doi.org/10.3390/f15030439>.
 27. Duarte L., Castro J. P., Sousa J. J. and Pádua L. GIS Application to Detect Invasive Species in Aquatic Ecosystems, IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 6013-6018, doi: 10.1109/IGARSS46834.2022.9884895.
 28. Lourenço P., Teodoro A. C., Gonçalves J. A., Honrado J. P., Cunha M. and Sillero N., «Assessing the performance of different OBIA software approaches for mapping invasive alien plants along roads with remote sensing data.» *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 95, p. 102263, 2021, doi: 10.1016/j.jag.2020.102263
 29. Sevcík M., Gasparovicová P., Zigova M., Rusnak T., Jakab I. The computation of real area using gis demonstrated on management of invasive plants. *Useful geography: transfer from research to practice*. 2018, pp. 326-335. <https://publons.com/publon/27390861/>

Надійшла до редакції 14.02.2026 р.

Прийнята до друку 13.03.2026 р.

Опублікована 02.04.2026 р.

