

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.654-669

УДК 528.8:581.9(477.4)

к.п.н., доцент **Рожі І.Г.**,

inna.rozhi.93@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7950-525X,

Рожі Т.А.,

tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,

Мандебура С.В.,

eko14b.mandebura@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7952-5974,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИБАДИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОШИРЕННЯ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН У ЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНОЇ УКРАЇНИ

Розглядається одна з найактуальніших сучасних проблем, пов'язаних із застосуванням геоінформаційних технологій та сучасного геодезичного обладнання для вивчення та моніторингу поширення інвазійних рослин у природних ландшафтах Центральної України. У процесі наукового дослідження було детально виявлено основні закономірності просторового розповсюдження інвазійних рослинних видів, що сформувало процес оцінювання їхнього впливу на природні екосистеми, але й проаналізувати зміни, що відбуваються у теренах, які піддалися значному антропогенному впливу. Наведені результати дають можливість краще зрозуміти механізми взаємодії чужорідних рослин з довкіллям. Дослідження також фокусується на сучасних методах дистанційного зондування, які широко використовуються для аналізу динаміки поширення інвазійної флори. Застосування таких технологій надає можливість вивчити спектральні характеристики рослинності, що значно поліпшує точність ідентифікації інвазійних видів серед інших рослинних угруповань. Ефективність геоінформаційних систем для візуалізації даних про розповсюдження інвазійних рослин була перевірена на практиці. Використання ГІС дозволило інтегрувати просторові характеристики рослинного покриву з географічними та кліматичними факторами, що мають ключовий вплив на процеси інвазії та сам підхід забезпечує комплексне розуміння причин та наслідків поширення інвазійних видів. Наукова робота акцентує увагу на необхідності комплексного підходу до моніторингу інвазійних процесів і базується на застосуванні супутникових знімків, геоінформаційних технологій та електронних геодезичних інструментів, що дозволяє проводити високоточне картографування та глибокий аналіз змін у структурі рослинного покриву. Такий інтегрований підхід гарантує точніший та ефективніший контроль над інвазійними процесами. Крім того, було розроблено алгоритм

автоматизованого визначення територій, де виявляється найвища концентрація інвазійних рослин, який може враховувати просторові та кліматичні умови, що сприяють поширенню цих видів. Ці аспекти допоможуть підвищити ефективність природоохоронних заходів шляхом концентрації зусиль саме у найкритичніших зонах.

Ключові слова: геоінформаційні технології; електронні геодезичні прилади; інвазійні рослини; моніторинг рослинного покриву; дистанційне зондування землі; ландшафти.

Постановка проблеми. Виклики в галузі екологічної безпеки та збереження біорізноманіття вимагають негайного впровадження інноваційних підходів до комплексного моніторингу та детального дослідження процесів експансії інвазійних видів рослин, які можуть призводити до значних порушень екологічної рівноваги як у природних, так і в антропогенно змінених ландшафтах. Особливу загрозу для Центральної України становить швидке та неконтрольоване поширення чужорідних рослин, здатних витіснити місцеві екосистеми, спричиняти зниження врожайності сільськогосподарських угідь, погіршувати стан природних територій із супутніми економічними витратами на їхнє стримування.

У цьому контексті застосування геоінформаційних систем та сучасних геодезичних технологій є ключовим для розробки комплексного підходу до оцінки масштабів експансії інвазійних видів, проведення просторового аналізу трансформації ландшафтів та прогнозування майбутніх напрямків їхнього поширення на основі точної візуалізації даних. Важливість цього дослідження також обумовлена потребою у створенні ефективних екологічних стратегій, спрямованих на зменшення ризиків шляхом інтеграції цифрових технологій для відстеження змін, спричинених природними та антропогенними чинниками. В умовах глобальних кліматичних змін, посилення антропогенного впливу та обмежених можливостей контролю динаміки інвазійних видів використання точних методів моніторингу стає критично важливим для покращення природоохоронних заходів, розробки ефективних управлінських рішень та забезпечення екологічної стабільності регіону.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових дослідженнях активно висвітлюються питання, пов'язані з поширенням інвазійних видів, їхнім впливом на екосистеми та методами протидії цим процесам. Зокрема, дослідження Токарюк А.І. та інші [6] доводять, що інвазійні рослини здатні радикально трансформувати структуру природних ландшафтів, витісняючи місцеві види та порушуючи екологічний баланс. Натомість робота від Мосякіна А. [14] наголошує на широкому впровадженні інноваційних підходів до

моніторингу, серед яких ключове місце посідають геоінформаційні системи (ГІС) та супутникові технології.

Методи дистанційного зондування і ГІС-технології давно визнані ефективними для аналізу динаміки рослинного покриву. Наприклад, за даними Цепенди М., Данілової О., Заблотовської Н. [19], спектральний аналіз знімків Sentinel-2 дозволяє виявляти зони поширення інвазійних видів на основі унікальних спектральних ознак. Дослідження Фаснахт Ф.Е., Уайт Дж.К., Вулдер М.А., Нессет Е. [21], Луців Н., Чухна П. [11], доповнюють цей підхід, демонструючи, що комбінація мультиспектрального аналізу з геостатистикою підвищує точність оцінки масштабів інвазії та прогнозування її подальшого розвитку.

Окрему увагу приділено використанню сучасних геодезичних інструментів. Так, роботи авторської групи Лозінська Т., Задорожний А., Масальський В. [25] і групи Триснюк В. та інші [10] описують застосування дронів і GPS-обладнання для детального картографування зон інвазії. Визначені наукові результати дійсно забезпечують оперативний збір даних про зміни рослинності та дозволяють оцінювати вплив антропогенних факторів на поширення чужорідних видів. Проте інтеграція цих методів у єдину аналітичну систему залишається невирішеним завданням, особливо в контексті управління екосистемами Центральної України.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – є розробка та обґрунтування методичних підходів, які забезпечать ефективне використання геоінформаційних технологій та електронних геодезичних приладів для вивчення та моніторингу інвазійних рослин у ландшафтах Центральної України.

Завдання дослідження:

- виявити ключові закономірності розповсюдження інвазійних рослин у ландшафтах Центральної України;
- обґрунтувати заходи щодо інтеграції даних отриманих від супутникової інформації, аерофотознімання для створення точних карт виділених інвазійних територій;
- оцінити практичний потенціал розвитку впровадження електронних геодезичних приладів з метою фіксації змін у рослинному покриві та визначення просторових особливостей інвазійних видів на теренах Центральної України;
- обґрунтувати впровадження комплексної системи проведення моніторингу інвазійних рослин на засадах саме електронних геодезичних методів.

Матеріали та методи. Сучасні можливості дистанційного зондування, зокрема використання супутникових даних «Sentinel-2», дозволяють отримувати інформацію про стан рослинного покриву з високою частотою оновлення, що забезпечує безперервний моніторинг лісових і природних екосистем. Завдяки багатоспектральним каналам знімання, що охоплюють широкий спектр хвильових діапазонів, а також високій просторовій роздільній здатності, можна з високою точністю визначати площі поширення інвазійних видів, оцінювати їхній вплив на місцеві екосистеми та прогнозувати подальшу динаміку їхнього розповсюдження.

З метою оцінки змін у структурі рослинного покриву використовуються спеціальні аналітичні методи, зокрема гістограмний аналіз спектральних характеристик рослинності, що дозволяє визначати не лише якісний, а й кількісний розподіл інвазійних видів у досліджуваних ландшафтах. Для отримання точних даних щодо змін у площах, зайнятих чужорідною рослинністю, проводиться ретроспективний аналіз, який передбачає порівняння сучасних супутникових знімків з архівними даними попередніх періодів картографування. Це дає змогу оцінити швидкість поширення інвазійних видів, визначити основні фактори, що сприяють їхньому розповсюдженню, та розробити ефективні заходи для стримування їхнього неконтрольованого зростання.

Ретроспективний аналіз, що базується на детальному математичному моделюванні та обробці геопросторових даних, дозволяє реконструювати динаміку змін територій, визначити найуразливіші до інвазій зони, а також виявити потенційні шляхи подальшого поширення чужорідних видів у регіоні.

Результати та їх обґрунтування. Геоінформаційні технології, які базуються на використанні даних дистанційного зондування Землі, є одними з найефективніших методів збору, обробки та аналізу просторових даних, що дозволяють оперативно оцінювати масштаби поширення інвазійних рослин у різних типах ландшафтів. Особливо ефективним є використання фенологічних змін рослинного покриву для ідентифікації інвазійних видів, оскільки певні етапи життєвого циклу, такі як зміна кольору листя або його опадання, можуть слугувати ключовими ознаками для дешифрування та класифікації рослинності на супутникових знімках [26].

У процесі дистанційного зондування територій, що піддаються інвазійному поширенню рослин, особливу увагу слід приділяти сезонним змінам спектральних характеристик рослинного покриву, що дозволяє виявити закономірності змін фототону зображень та простежити специфіку динаміки розвитку інвазійних видів. Оскільки кожен вид рослинності має характерні морфологічні та геометричні особливості, їх можна використовувати як

ключові ознаки для дешифрування на супутникових знімках, що дає змогу ідентифікувати та картографувати ареали поширення інвазійних деревних порід. Для проведення моніторингу таких насаджень доцільно використовувати космічні знімки, зроблені у період пізньої весни та початку літа, оскільки в цей час листяні види досягають максимальної активності, що значно покращує точність їх дешифрування [26, с. 19-20].

Для підвищення ефективності розпізнавання ареалів поширення окремих видів інвазійних рослин доцільно застосовувати фенологічний підхід, що базується на аналізі змін, які відбуваються в різні фази життєвого циклу рослин. Зокрема, важливими фенологічними показниками для дешифрування є період розцвітування рослинного покриву та фаза опадання листя, оскільки саме ці зміни є найбільш помітними на мультиспектральних знімках. Використання багатоспектрального аналізу дозволяє розширити спектр дешифрувальних ознак, адже різні види рослин мають специфічні характеристики відображення електромагнітного випромінювання у різних спектральних діапазонах, що дає змогу диференціювати їх відповідно до вмісту хлорофілу та інших біохімічних параметрів [22].

У межах дослідження поширення інвазійних рослин, зокрема акація біла (*Robinia pseudoacacia*), було обрано експериментальну ділянку Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області, для детального аналізу змін просторової структури насаджень із використанням супутникових технологій та наземних методів збору даних (рис. 1).



Рис. 1. Ділянка «1». Літній знімок [12]

Географічні координати місць зростання виду було визначено на основі наземних обстежень із застосуванням електронних геодезичних приладів, зокрема GPS-приймачів Garmin, що забезпечили високу точність просторової

прив'язки отриманих результатів. Дані, зібрані у польових умовах, були оброблені у геоінформаційній системі та перетворені у цифровий формат, що дало змогу створити shape-файли (*.shp) для подальшого аналізу змін територіального поширення інвазійного виду в часі (рис. 2).



Рис. 2. Ділянка «1». Осінній знімок [12]

На основі проведених польових досліджень було створено цифрові фотоеталони зображень інвазійної деревної породи акація біла (*Robinia pseudoacacia*), що дозволяють ідентифікувати цей вид у природних умовах та використовувати отримані дані для подальшого аналізу за допомогою геоінформаційних технологій. Було встановлено, що у 2021 році в умовах природних ландшафтів Знам'янського лісництва масова осіння зміна кольору листя цього інвазійного виду, яка проявлялася у переважному забарвленні крони в жовті відтінки, спостерігалася в останній декаді вересня, що може бути ключовим фенологічним показником для його дешифрування за даними ГІС спостереження [12].

З метою отримання детальних аерофотознімків території, що досліджується, у зазначений період було застосовано сучасні геодезичні безпілотні літальні апарати, зокрема квадрокоптер «Phantom», який забезпечив високоточне знімання з високою просторовою роздільною здатністю. Використання дронів дозволило отримати актуальні дані щодо ареалу поширення вже акації білої (*Robinia pseudoacacia*) та дубу червоного (*Quercus rubra*), і оцінити їх вплив на навколишні природні та агроландшафти [5].

Аналіз геоданих свідчить, що на загальній площі території у 72 га, інвазійний вид зайняв вже близько 13 га, що відповідає приблизно 17,8 % загальної площі досліджуваної території (рис. 3). Визначений рівень поширення свідчить про високу адаптивність інвазійної рослинності та її активне розповсюдження в Центральній Україні [18].

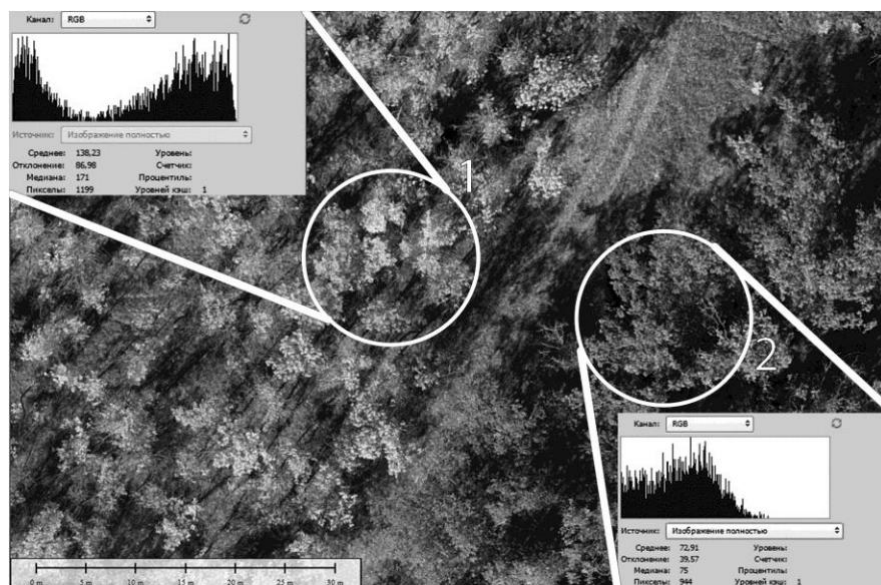


Рис. 3. Фенологічна індикація: акація біла (1) та дуб червоний (2) на території Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області [14]



Рис. 4. Геоінформаційний картографічний шар «ареали» акації білої на території Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області [14]

Використання фенологічних ознак, які базуються на відмінностях у вегетативному розвитку різних видів рослин, є важливим інструментом для ідентифікації інвазійних порід за допомогою дистанційного зондування Землі. Однією з ключових характеристик, що дозволяє відрізнити інвазійну деревну рослинність, є сезонні зміни кольору листя, які особливо яскраво проявляються в осінній період. Восени багато деревних порід набувають специфічних відтінків, які можуть бути використані як маркери для дешифрування видового складу лісових насаджень за супутниковими або аерофотознімками [24]. Отримані осінні знімки, зроблені з використанням аерофотознімання та космічних сенсорів, дозволили зафіксувати відмінності у спектральних

характеристиках крон дерев, що суттєво підвищило точність картографування інвазійних видів [8, с. 30].

Практичний досвід застосування локального геоінформаційного аналізу підтверджує його високу ефективність у процесі дослідження просторових характеристик осередків поширення інвазійних рослин, що дозволяє здійснювати детальну оцінку масштабів їхнього розповсюдження та прогнозувати подальшу динаміку змін у рослинному покриві. Одним із методів, що ілюструє ефективність застосування сучасних геоінформаційних технологій, є комплексний аналіз стану рослинності на модельних пробних майданчиках за допомогою аерофотознімання, що дозволяє отримувати високоточні просторові дані [13, 15].

Отримані у ході дистанційного зондування ортофотознімання в спектральному діапазоні RGB були проаналізовані та дешифровані на основі зовнішніх морфологічних ознак крони, що дозволило встановити особливості формування та поширення осередків інвазійних видів у ландшафтах досліджуваної території. Завдяки геоінформаційному моделюванню вдалося визначити просторові межі інвазійних угруповань та провести візуалізацію результатів у цифровому форматі. На відповідних картографічних матеріалах було відображено динаміку змін у структурі рослинного покриву, що дало можливість оцінити ступінь інвазії та визначити найбільш уразливі до її впливу ділянки. Аналіз отриманих даних шляхом геостатистичної інтерполяції дозволив не лише детально описати поточний стан рослинності на обраній ділянці, а й здійснити прогнозні розрахунки щодо подальшого поширення інвазійних рослин у межах ландшафтів Центральної України [2]. Валідність прогнозу підтверджена порівнянням даних наступного вегетаційного періоду, що було підтверджено натурними спостереженнями та перевірочними обстеженнями в польових умовах (рис. 5).

Додатковий порівняльний аналіз результатів, отриманих у ході аерофотознімання, та матеріалів наземного геодезичного обстеження показав високу кореляцію між дистанційними даними та безпосередніми польовими спостереженнями. Так, при оцінці відсотка поширення інвазійних видів результати, отримані на основі дешифрування аерофотознімків, засвідчили, що загальна площа, зайнята інвазійною рослинністю, становить 93,2% від загального рослинного покриву ділянки, водночас як результати наземних досліджень за допомогою геодезичних приладів показали аналогічне значення на рівні 93,6%, що свідчить про мінімальну похибку, яка не перевищує 1% [9].

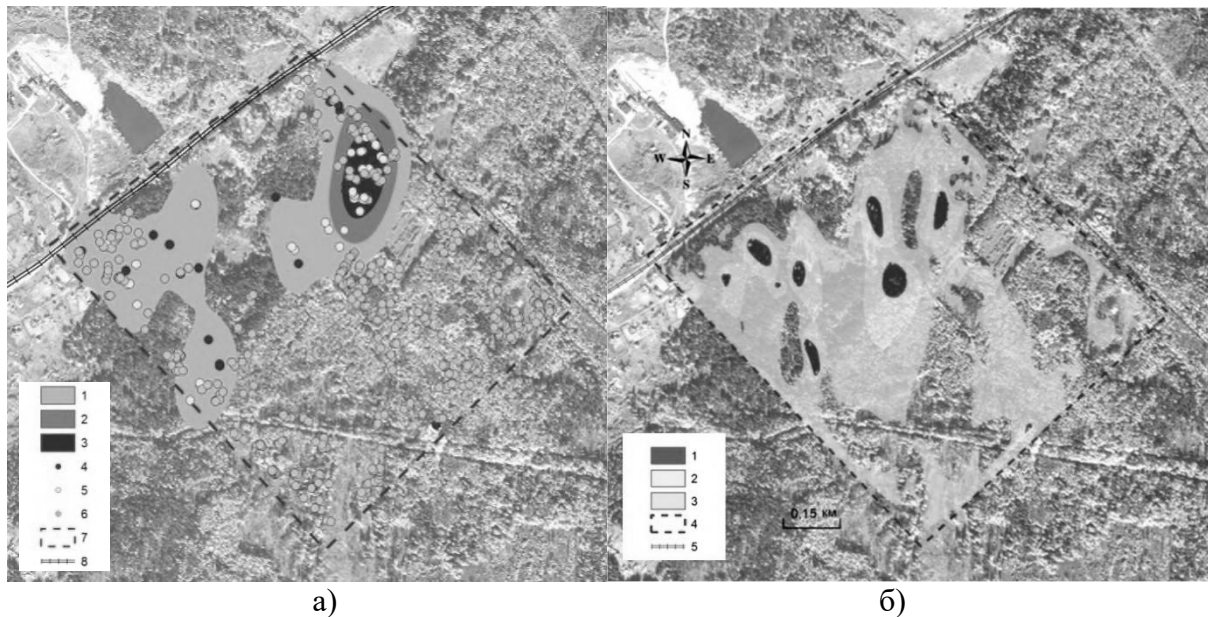


Рис. 5. Оцінка рівня пошкоджень лісових масивів через вплив інвазійних видів, за допомогою геоінформаційних технологій (Знам'янське лісництво (Чорноліський лісгосп), Кіровоградська область) [23]

- а) Рівень пошкодження деревних насаджень внаслідок поширення інвазійних рослин: 1 – насадження із сильним ступенем ураження; 2 – дерева, що мають незначні пошкодження; 3 – ділянки, де відсутні ознаки ураження; 4 – межі досліджуваної території; 5 – транспортні комунікації.
- б) Просторове зонування території за рівнем впливу інвазійної рослинності на деревний покрив: 1 – ділянки з високою щільністю поширення інвазійних видів; 2 – території із середнім рівнем заселення; 3 – зони з найвищим ступенем інвазійного впливу; оцінка стану деревних насаджень; 4 – загиблі дерева; 5 – ослаблені насадження з ознаками деградації; 6 – здорові дерева без видимих пошкоджень; 7 – межі району дослідження; 8 – транспортні комунікації.

Висновки та рекомендації. За результатами дослідження статті було виявлено визначальні закономірності стосовно поширення інвазивних рослин на ареалі Центральної України. Зокрема, здійснено виділення такого роду факторів, що сприяють активному розповсюдженню цих видів на території регіону, а також оцінили конкретний вплив інвазивних рослин на структуру і функціонування природних екосистем окремих територій. Окрім того, у процесі наукової роботи було проведено вивчення особливостей застосування нових видів геоінформаційних технологій та електронних геодезичних інструментів для вирішення завдань просторового аналізу, моніторингу та картографування ареалів поширення інвазивних видів рослин. За допомогою цих інструментів була значно підвищена точність визначення просторової структури насаджень, їх натуральних меж та ступеня ураження природних територій інвазивними організмами і кожен крок аналізу був обґрунтованим і базувався на конкретних методах вимірювання, що гарантувало надійність отриманих результатів.

На основі всієї отриманої інформації було розроблено обґрунтовані практичні шляхи подальшого впровадження та використання геоінформаційних систем (ГІС) для автоматичного виявлення зон максимальної концентрації інвазивної рослинності. При цьому було враховано широкий спектр впливових факторів, включаючи географічні, кліматичні та антропогенні умови що сформувало доцільні напрямки формування ефективних стратегій забезпечення екологічної безпеки на окремих територіях Центральної України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 Карти: Види та застосування цифрової картографії. URL: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/>.
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/>.
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. . 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/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-27>

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](https://doi.org/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](https://doi.org/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., Васишишен Ю.В. Лісництво як напрям смарт спеціалізації регіону: європейський досвід. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. DOI: [10.32702/2307-2105-2020.7.22](https://doi.org/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 територій 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., Данілова 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., Næsset 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., Fisunen 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>.

Candidate of Pedagogical Sciences, Docent **Rozhi Inna**,
Lecturer **Rozhi Tomas**, Lecturer **Mandebura Sviatoslav**,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND ELECTRONIC GEODESIC DEVICES FOR MONITORING THE SPREAD OF INVASIVE PLANTS IN THE LANDSCAPES OF CENTRAL UKRAINE

The article focuses on the current problem of using geoinformation technologies and modern geodetic devices to study and monitor the spread of

invasive plants in the landscapes of Central Ukraine. This direction is of key importance for modern ecological and geoinformation research. During the study, the main patterns of spatial distribution of invasive plant species were identified, which made it possible to assess their impact on both natural and anthropogenically modified ecosystems of the region. Modern remote sensing methods used to analyze the dynamics of the spread of invasive flora were studied. The results obtained allowed us to study the spectral characteristics of vegetation in more detail, which significantly improves the accuracy of deciphering invasive species among other plant groups. The effectiveness of using geographic information systems for data visualization has been tested in practice, which ensured the integration of spatial characteristics of plant cover with geographical and climatic factors that affect invasion processes. Retrospective analysis of long-term remote sensing data made it possible to assess trends in the areas occupied by alien plant species, as well as identify the most active centers of invasions and predict the directions of their further spread. The scientific work justifies the need for an integrated approach to monitoring invasive processes, which is based on the use of satellite images, geographic information technologies and electronic geodetic instruments, which allows for high-precision mapping and in-depth analysis of changes in the structure of plant cover. An algorithm for automated determination of areas with the highest concentration of invasive plants, taking into account spatial and climatic conditions, has been developed, which will contribute to increasing the efficiency of environmental management. Scientists have proposed scientifically sound approaches to managing the spread of invasive plants, which are based on the integration of GIS analysis, remote sensing methods and ground geodetic surveys.

Keywords: geoinformation technologies; electronic geodetic instruments; invasive plants; plant cover monitoring; remote sensing of the earth; landscapes.

REFERENCES

1. Braslavskaya O.V., Dets T.I., Rozhi T.A. Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnologii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii. Prostorovyi rozvytok: Naukovyi zbirnyk / Holovn. red. O. Kovalchuk. Kyiv, KNUBA, 2023. Vyp. 5. S. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>. {in Ukrainian}
2. GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography. Retrieved from: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/>. {in Ukrainian}.
3. Dets T.I., Kyrlyuk V.P., Rozhi T.A. Vyvchennia vidobrazhennia i doslidzhennia ob'ektiv, yavyshch ta protsesiv u navkolyshnomu seredovyschi shliakhom kartohrafichnykh zobrazhen ta topografo-heodezychnykh vymiriuvan. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. Zbirnyk. Kyiv: KNUBA,

2024. Vyp. 85. S. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145>. {in Ukrainian}
4. DP "Lisy Ukrainy" [SE "Forests of Ukraine"]. Available at: <https://e-forest.gov.ua/>. {in Ukrainian}.
5. Znakhidky chuzhoridnykh vydiv rosllyn ta tvaryn v Ukrayini [Findings of alien plant and animal species in Ukraine]. (Series: "Conservation Biology in Ukraine", Issue 29). Kyiv; Chernivtsi: Druk Art, 2023. 520 p. {in Ukrainian}.
6. Tokariuk, A.I., Chornei, I.I., Budzhak, V.V., Protopopova, V.V., Shevera, M.V., Korzhan, K.V., Volutsa, O.D. (2018). Invaziini roslyny v Bukovynskomu Peredkarpatti: monohrafiia [Invasive plants in the Bukovinian Pre-Carpathians: monograph]. Edited by I. I. Chornei. Chernivtsi: Druk Art. 176 p. {in Ukrainian}.
7. Kyryliuk, V., Rozhi, T., Khariv, V. Heodezychne planuvannia v ahrolandshafti: stvorennia tsyfrovyykh kart ta modelei dlia optymizatsii zemlekorystuvannia. *Prostorovy rozvytok*, (6), (2023). S. 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>. {in Ukrainian}
8. Kyseliov, 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>. {in Ukrainian}.
9. Kocherihin, L.Yu., Kimeichuk, I.V. (2023). Heoinformatsiyni monitorynh zmin vkrytykh lisovoju 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. {in Ukrainian}.
10. Lozinska, T.P., Zadorozhnyi, A.I., Masalskyi, V.P. (2024). Doslidzhennia novykh tekhnolohii ta innovatsii u sferi lisovoho hospodarstva [Research on new technologies and innovations in the field of forestry]. *Ahrobiolohiia [Agrobiology]*, 1, 268–276. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-276>. {in Ukrainian}.
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>. {in Ukrainian}.

12. Makedon V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya syfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh 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. {in Ukrainian}.
13. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunen, 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>. {in English}.
14. Mosyakin, A.S. (2012). Suchasni metody biolohichnoho kontroliu (biolohichnoho rehuliuвання) aktyvnosti invaziynykh roslin: pryklady y perspektyvy zastosuvannya [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. {in Ukrainian}.
15. Polishchuk, Y., Goivanyuk, M., Vasylyshen, Yu. (2020). Lisnytstvo yak napryam smart spetsializatsiyi rehionu: yevropeys'ky dosvid [Forestry as a priority of smart specialization of the regions: european experience]. Efektyvna 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. {in Ukrainian}.
16. Rozhi I.H., Rozhi T.A., Fedii O.A. Heodezychni aspekty stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu dlia potreb heoinformatsiynykh system. Prostorovy rozvytok, Vyp. 8, 2024. S. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>. {in Ukrainian}.
17. Rozhi T.A. Vrakhuvannya landshaftnoi struktury terytorii hromad dlia ratsionalnoho pryrodokorystuvannya. 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>. {in Ukrainian}.
18. Savkov, P., Levinskova, N., Bondarchuk, H., Postarnichenko, N. (2021). Heoinformatsiini systemy v monitorynhi 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>. {in Ukrainian}.
19. Tsependa, M., Danilova, O., Zablotska, N. (2024). Zastosuvannya HIS-tekhnolohii dlia otsiniuvannya lisorekreasiynykh 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>. {in Ukrainian}.

20. Shevchuk S.M., Prokopenko N.I., Rozhi T.A. Analiz vykorystannia heodezichnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandschaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody. *Prostorovyi rozvytok*, Vyp. 7, 2024. S. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>. {in Ukrainian}.

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>. {in English}.

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>. {in English}.

23. GIS for Land Administration – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/. {in English}.

24. Makedon, V.V., Valikov, V. P., Fedyora, S. S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya 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, pp. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8. {in Ukrainian}.

25. Trysnyuk, V., 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>. {in English}.

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>. {in English}.