

DOI: 10.32347/2076-815X.2025.89.488-502

УДК 528.8:332.3

д.п.н., професор **Браславська О.В.**,

oksana.braslavska@udpu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0852-686X,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,

к.т.н., доцент **Нестеренко С.В.**,

NesterenkoS2208@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2288-3524,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,

к.п.н., доцент **Герасимчук О.Л.**,

kgt_gol@ztu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1279-1888,

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДИСТАНЦІЙНИЙ ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ: КЛЮЧОВИЙ ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

Присвячено детальному розгляду передових методик дистанційного геодезичного моніторингу, що мають ключове значення для забезпечення стабільного розвитку територій. У центрі уваги знаходиться застосування таких технологій як аерофотознімання, супутникова інформація та використання дронів для систематичного спостереження за змінами у навколишньому середовищі, аналізу стану ґрунтів, виявлення процесів деградації земель та прогнозування можливих напрямків їх подальшого використання. Особливо наголошується на важливості цих інструментів для формування комплексного погляду на стан природних ресурсів регіону. Далі у статті розглядається ефективність впровадження та застосування конкретних програмних продуктів, таких як ArcView GIS, MapInfo GIS та RaportGIS, для автоматизації обробки супутникових знімків. Зазначається, що ці інструменти не лише покращують якість розпізнавання об'єктів на цифрових картах, але й забезпечують високопризначену візуалізацію геодезичних даних, що дуже важливо для професіоналів у галузі землепорядкування та природоохоронної справи. На основі проведеного дослідження було обґрунтовано необхідність створення інтегрованої системи моніторингу стану земельних ресурсів. Така система повинна поєднувати широкий спектр технічних засобів, включаючи аерофотознімання, лазерне сканування, супутникові дані та наземні геодезичні виміри. Це формує надалі комплексну оцінку земель, враховуючи всі можливі фактори їх зміни та деградації. Автори також представляють новаторський підхід щодо цифровізації для геодезичного моніторингу, яка передбачає перехід до електронних форматів обробки даних. Ця ініціатива має на меті забезпечити швидке оновлення інформації та її доступність для прийняття стратегічних

управлінських рішень. Введення цифрових технологій дозволяє оптимізувати процеси управління земельними ресурсами, зменшуючи час на аналіз та планування. Результати проведених досліджень свідчать про те, що використання сучасних технологій дистанційного моніторингу має значний позитивний вплив на ефективність управління земельними ресурсами. Вони дозволяють не лише оперативно реагувати на зміни в ландшафті, але й створюють основу для раціонального використання землі.

Ключові слова: дистанційний геодезичний моніторинг; геоінформаційні системи (ГІС); безпілотні літальні апарати (БПЛА); сталий розвиток земельних ресурсів; цифрова модель рельєфу; автоматизований просторовий аналіз.

Постановка проблеми. В умовах активного розширення урбанізованих територій, що супроводжується глобальними змінами клімату та зростаючим антропогенним навантаженням на земельні ресурси, застосування дистанційного геодезичного моніторингу набуває особливого значення для забезпечення принципів сталого розвитку. Інтеграція сучасних геоінформаційних технологій, супутникових систем позиціонування та інноваційних аерокосмічних методів, включаючи безпілотні літальні апарати, дає змогу проводити детальний аналіз стану земельних угідь. Дистанційний моніторинг відіграє ключову роль не лише у сфері екологічного контролю земельних територій, а й у стимулюванні сталого економічного розвитку, оскільки його впровадження дозволяє оперативно виявляти зміни у земельному покриві, аналізувати ерозійні процеси, виявляти незаконне землекористування, контролювати масштаби урбанізації та запобігати виникненню екологічних загроз. Особливого значення ця технологія набуває для України, де значна частина земельного фонду перебуває під впливом як природних, так і техногенних чинників, що зумовлює необхідність розроблення та впровадження ефективних механізмів моніторингу для підтримання екологічної рівноваги та підвищення ефективності управління земельними ресурсами. Беручи до уваги світові тенденції цифровізації та зростаючу роль автоматизованих технологій, дистанційний геодезичний моніторинг відкриває нові можливості для вдосконалення системи земельного адміністрування, раціонального використання земельних ресурсів та зміцнення їх екологічної безпеки. Це підкреслює актуальність наукових досліджень, орієнтованих на модернізацію методів збору, обробки та аналізу геопросторової інформації, що має забезпечити сталий розвиток і ефективне управління земельним фондом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові дослідження Чабанюк В., Поливач К. [1], Редді Г. П. О., Сінгх С. К. [2], підкреслюють

доцільність комплексності щодо проведення моніторингу стану як земельних ресурсів, так і окремих зелених насаджень. Впровадження перспективних методів збору геоданих, які включають як супутникове знімання, так і лазерне сканування, а також фотограмметрію зі спектральною характеристикою рослинності, буде необхідним для підвищення точності та достовірності отриманих даних спостережень. Одним із найбільш ефективних інструментів є створення ГІС з базами даних, що містять актуальну інформацію про земельні ресурси, отриману за результатами інвентаризації та дистанційного зондування (Мао В., Чжао Х., Хань В., Ту Х., Гао В. [3]).

Значний інтерес у науковій викликає використання супутникових знімків високого просторового розрізнення як джерела оперативної та надійної інформації про стан земельних ресурсів і зелених насаджень (Могильний С., Хайнюс Д., Винограденко С., Сопов Д. [4]). Використання таких даних дозволяє швидко отримувати інформацію про значні території, обробляти її за допомогою ГІС-технологій та актуалізувати таксаційні й картографічні матеріали для оновлення реєстрів земельних ділянок.

Окремі дослідження, як от Лашко С., Шелковська І., Міхно П., Козарь В. [5], доводять, що використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є одним із найбільш перспективних напрямів у сфері дистанційного моніторингу земельних ресурсів. Безпілотні технології дозволяють здійснювати регулярне знімання земельних ділянок, що сприяє отриманню високоточних зображень для оперативного аналізу змін у природному середовищі. Крім того, дослідження Сузукі Т., Такахаші Ю., Аmano Ю. [6], показують, що за допомогою БПЛА використовується фотограмметричний підхід для інтенсивного моніторингу стану земельних ресурсів та зелених насаджень.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – визначення та розробка ефективних підходів до дистанційного геодезичного моніторингу земельних ресурсів за допомогою сучасних геоінформаційних технологій для забезпечення сталого розвитку територій, оптимізації форм землекористування та покращення якості управління земельним фондом.

Завдання дослідження:

– вивчити актуальні методики та технології дистанційного геодезичного моніторингу земельних ресурсів, враховуючи можливості супутникового зондування, аерофотознімання та безпілотних літальних апаратів.

– розглянути шляхи інтеграції геоінформаційних систем та автоматизованих інструментів обробки просторових даних для підвищення точності та оперативності оцінки стану земельних ділянок;

– обґрунтувати потребу у створенні мультифункціональної системи дистанційного моніторингу земельних ресурсів, яка базується на комплексному підході до збору, обробки та аналізу просторової інформації;

– надати концепцію цифрової трансформації систем геодезичного моніторингу, яка передбачає перехід до електронного формату при обробці та зберіганні просторових даних, що сприятиме зростанню доступності та актуальності інформації у реальному часі.

Матеріали та методи. Для проведення дистанційного геодезичного моніторингу земельних ресурсів та суміжних територій доцільним є використання сучасного програмно-апаратного комплексу (ПАК), що включає високопродуктивні безпілотні літальні апарати (БПЛА) комерційного класу, такі як DJI Phantom 4 Pro+, доповнені спеціалізованим обладнанням, зокрема модернізованим набором Teokit. Оптимальним варіантом для отримання детальних геопросторових даних є застосування багатороторного повітряного судна, оснащеного чотирма електричними безколекторними двигунами, що забезпечує стабільність польоту та можливість виконання точних вимірювань на досліджуваній території.

Комплекс технічних засобів для дистанційного геодезичного моніторингу включає цифрову фотокамеру, повітряний лазерний сканер (лідар), мультиспектральну камеру, радіометричний тепловізор, газоаналізатор, а також бортові та наземні супутникові геодезичні приймачі. Для обробки та аналізу отриманих даних застосовується спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) для фотограмметричної обробки зображень, аналізу геодезичних вимірювань та створення геоінформаційних систем (ГІС), що дозволяє оперативно моделювати просторові характеристики досліджуваних об'єктів [7].

Для підвищення точності геодезичних вимірювань базова станція була розташована у заздалегідь закоординованій точці, розміщеній максимально близько до точки зльоту та посадки безпілотного літального апарата. При цьому відстань між базовою станцією та найвіддаленішими точками меж об'єкта дослідження не перевищувала 20 км, що забезпечувало високу точність вимірювань. Під час польотів здійснювався запис наземним GNSS-приймачем, що дозволяло мінімізувати похибки у визначенні просторових координат отриманих даних.

Погодні умови під час виконання робіт впливали на якість отриманих даних. Зокрема, мультиспектральне знімання, інфрачервоне сканування та детектування витоків метану проводилися 1 листопада 2024 року за умов похмурої погоди, швидкості вітру 4 м/с та температури -5°C. Досліджувана територія була частково вкрита нестійким сніговим покривом, що вимагало коригування параметрів обробки даних. Висота польоту для детектування

метанових витоків становила 30 м над рельєфом місцевості, тоді як для інших видів аерофотознімання – 100 м. При виконанні польотів рельєф місцевості не враховувався для коригування траєкторії руху БПЛА.

Для підготовки польотного завдання застосовувалося програмне забезпечення UGCS, яке дозволяло попередньо спланувати маршрути польоту та визначити ключові точки знімання. У програмному середовищі TEOBOT виконувалося зрівняння польоту відносно базової станції `tbs_kru`, що забезпечувало отримання точних координат центрів фотографування. Додатково, використання програмного продукту TEOBOX 3 дозволило врахувати зміщення камери щодо приймача GNSS на БПЛА, що підвищило точність геопросторових вимірювань. Фотограмметрична обробка отриманих даних виконувалася за допомогою програмного забезпечення, яке забезпечує автоматичну обробку знімків, отриманих у видимому спектрі. В результаті аналізу було створено ортофотоплан у форматі GeoTiff, що дає змогу проводити детальний аналіз території, а також цифрову модель поверхні (DSM) у форматі GeoTiff, яка дозволяє оцінювати топографічні особливості земельних ресурсів та здійснювати контроль за їхнім використанням у контексті сталого розвитку.

Результати та їх обґрунтування. Сучасний дистанційний геодезичний моніторинг земельних ресурсів та зелених насаджень, і відіграє провідну роль у своєчасному виявленні змін у природному середовищі, які відбуваються протягом певного періоду. Використання автоматизованих систем дозволяє значно підвищити ефективність обробки інформації про земельні ресурси, забезпечуючи високу точність оцінювання їхнього стану. Удосконалення методів моніторингу передбачає впровадження новітніх цифрових технологій, серед яких важливе місце займають геоінформаційні системи (ГІС), комп'ютерні технології автоматизованого проєктування (САПР), а також використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для збору просторових даних [8, с. 4-5].

Значний розвиток сучасних інформаційних технологій, а також прогрес у сфері обробки, зберігання та аналізу просторових даних, сприяє суттєвому розширенню можливостей ГІС у забезпеченні моніторингу земельних ресурсів. Використання програмних продуктів, таких як ArcView GIS, MapInfo GIS, RapoGama GIS, дозволяє проводити детальний аналіз матеріалів дистанційного зондування, що включає підвищення точності розпізнавання об'єктів на етапі обробки знімків, покращення достовірності цифрових моделей територій та забезпечення якісної інтерпретації просторової інформації. Ми можемо виокремити основні етапи створення геоінформаційної системи (ГІС)

дистанційного геодезичного моніторингу для оцінки стану земельних ресурсів [9].

- аналіз вимог до геоінформаційної системи моніторингу земель, що включає визначення основних характеристик території, оцінку необхідних даних та параметрів моніторингу;

- розробка архітектури ГІС та її програмного забезпечення для автоматизованого збору, обробки та збереження просторової інформації;

- наповнення ГІС даними, що включає первинний збір інформації за допомогою супутникового та аерофотознімання, польових досліджень та лазерного сканування. Якість та точність отриманих матеріалів значною мірою визначає ефективність подальшого аналізу;

- моніторинг, аналіз та прогнозування, що забезпечує багатфакторний аналіз просторових даних, їхнє узагальнення та моделювання майбутніх змін на основі статистичних методів;

- підтримка процесу прийняття рішень, яка передбачає інтеграцію геоінформаційних технологій у систему управління земельними ресурсами для їхнього раціонального використання [10, 11].

На підставі проведених досліджень доцільним є впровадження мультифункціональної структури системи геодезичного моніторингу земельних ресурсів, що поєднує використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), супутникових знімків та наземних геодезичних вимірювань. У межах такої системи необхідно визначити територіальні та часові рівні моніторингу, регламентувати методи збору даних, встановити відповідальність за виконання процедур аналізу та окреслити сфери застосування отриманих результатів. Використання БПЛА для виконання аерофотознімання надає значні переваги у швидкості збору інформації, гнучкості планування польотів, а також у можливості отримання детальних тривимірних моделей територій, що дозволяє підвищити ефективність просторового аналізу [12, с. 148-149].

Однак сучасні підходи до управління земельними ресурсами та зеленими насадженнями більше не можуть спиратися виключно на традиційні методи збору інформації, що передбачають використання значної частки ручної праці у процесі зіставлення та обробки даних дистанційного зондування. Враховуючи великі обсяги вхідної інформації, що накопичуються у процесі регулярного спостереження за станом земельних ресурсів, необхідним є масштабне впровадження автоматизації у процесі аналізу та обробки даних. Це передбачає використання спеціалізованих програмних засобів, здатних виконувати автоматичне розпізнавання змін у параметрах досліджуваних об'єктів, здійснювати статистичний аналіз просторових показників, проводити

моделювання процесів трансформації територій та формувати комплексні аналітичні висновки на основі оброблених даних [13].

З огляду на це, цифрова трансформація системи дистанційного моніторингу земельних ресурсів є необхідним кроком для підвищення ефективності управління земельним фондом, що надалі передбачає перехід до електронного формату обробки та зберігання даних, що дозволить забезпечити їхню актуалізацію в режимі реального часу, підвищити швидкість доступу до необхідної інформації та створити умови для інтеграції з іншими геоінформаційними системами.

Виконання робіт зі створення цифрового ортофотоплану та цифрової моделі поверхні досліджуваної території здійснювалося за допомогою програмного комплексу Agisoft Metashape Professional, що дозволяє обробляти великі масиви цифрових аерофотознімків. В процесі моделювання місцевості використовувалися фотографічні матеріали, що забезпечували повне покриття меж досліджуваного об'єкта, що дозволяло отримати безперервне ортофотозображення високої точності без видимих швів та розривів [14]. Одночасно з цим створювалася цифрова модель поверхні, що формувалася у процесі побудови ортофотоплану (рис. 1.).



Рис. 1. Ортофотоплан та межа об'єкта досліджень: межі рекультивації земельної ділянки; територія з плоским (неспланованим) рельєфом [15]

Таким чином, впровадження дистанційного геодезичного моніторингу у систему управління земельними ресурсами сприятиме забезпеченню їхнього сталого розвитку, підвищенню точності та достовірності картографічних матеріалів, оперативному виявленню змін у природному середовищі та розробці ефективних стратегій раціонального використання територій. Інтеграція передових технологій автоматизованої обробки геоданих та використання ГІС-технологій дозволить забезпечити ефективне управління земельним фондом. Для визначення основних типів ґрунтів на тестових ділянках моніторингу земель метод спектральної обробки використанням

знімків, близьких до гіперспектральних (КА Terra (Modis)), та створено тематичну карту ґрунтів тестових ділянок (рис. 2) [16].

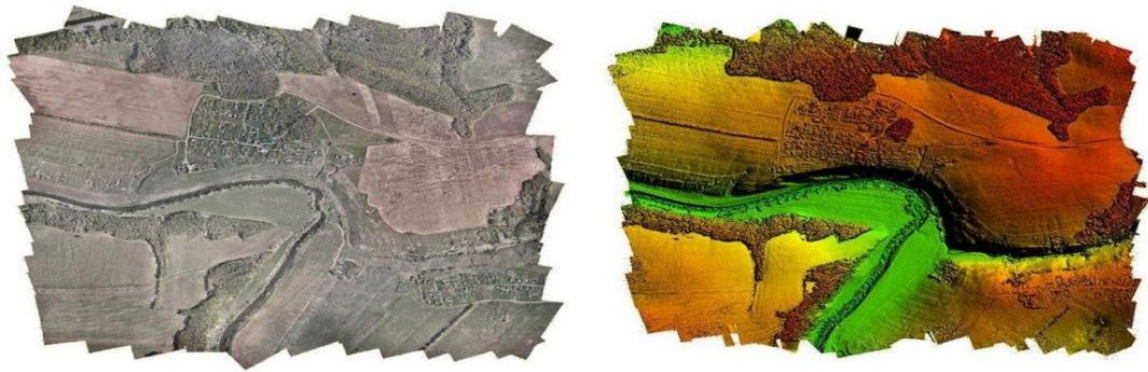


Рис. 2. Тематична карта стану ґрунтів для окремих земельних ділянок [15]

Дослідження рельєфу території за допомогою технологій дистанційного геодезичного моніторингу, зокрема із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), передбачає комплексний аналіз, що базується на даних аерофотознімання та результатах геодезичних вимірювань, отриманих за допомогою GPS-приймача MAGELLAN [17, с. 113]. У процесі дослідження тестових ділянок здійснюється створення цифрової моделі рельєфу, яка дозволяє детально оцінити особливості ландшафту, визначити ключові просторові параметри та сформувати точні електронні карти територій (рис. 3).

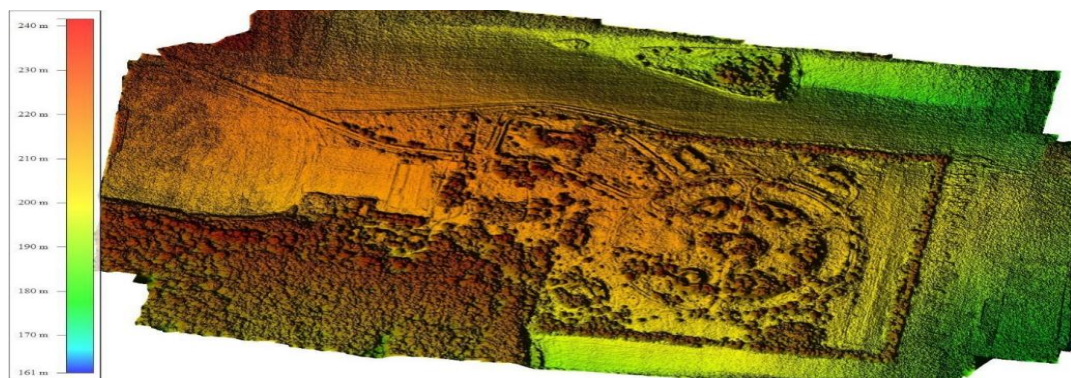


Рис. 3. Оцифрована модель земельної території у спектральному форматі (сформовано авторами)

На основі отриманих даних розраховуються точні площі ділянок, що дозволяє проводити глибокий аналіз змін у структурі земельного покриття та планувати подальші заходи щодо раціонального використання земельних ресурсів. Оптимізувати планування заходів щодо стабілізації земельних ресурсів, оцінюючи ефективність запланованих робіт із благоустрою, зміцнення схилів, створення дренажних систем та інших інженерних рішень. Використання БПЛА у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС) дає можливість здійснювати просторове моделювання різних сценаріїв розвитку

територій, що дозволяє вибрати найбільш раціональні та економічно обґрунтовані рішення для подальшого використання земель [18, с. 124].

У разі наявності багаторічних даних цей коефіцієнт може коригуватися за допомогою кореляційно-регресійного аналізу, що дозволяє визначити основну лінію тренду змін у процесах заростання земельних ресурсів. Отримані результати дають можливість моделювати лінії переходу територій від одного стану до іншого – від відкритих сільськогосподарських угідь до потенційного заростання рослинністю або інших форм деградації [19].

Підсумовуючи результати прогнозного моделювання, можна об'єднати кінцеві точки цих перехідних ліній, що дозволить сформувати контури майбутніх змін ландшафту, для подальшого створення точні картографічні моделі, які відображатимуть ймовірні процеси трансформації земельних ресурсів через n років (рис. 4).

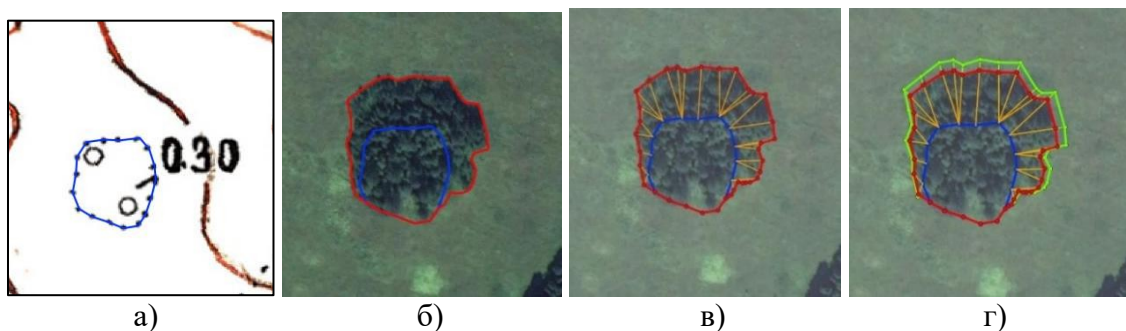


Рис. 4. Графічне подання алгоритму проведення моніторингу земель
а) початковий рівень деградації угідь (1990–2000 рр.); б) сучасний рівень деградації угідь (2010–2024 рр.); в) лінії тренду деградації (оцінка швидкості розвитку деградації); г) прогнозований рівень деградації угідь (2030) (сформовано автором)

Традиційно в ГІС-моделюванні використовується підхід, заснований на аналізі обмежувальних факторів, який передбачає визначення допустимих значень ключових показників та створення прогнозованих зон поширення досліджуваного явища, що дає технічну можливість здійснювати просторову оцінку змін ландшафту на основі різних природних та антропогенних факторів [20]. Таким чином, використання дистанційного геодезичного моніторингу у поєднанні з передовими геоінформаційними технологіями дозволяє підвищити ефективність управління земельними ресурсами, сприяти їхньому раціональному використанню та забезпечувати стаке планування територій.

Висновки та рекомендації. Вивчено потенціал застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для проведення аерофотознімання територій, що забезпечує оперативне отримання точних просторових даних, створення цифрових моделей рельєфу, оцифровку меж земельних ділянок та інтеграцію цих даних до геоінформаційних систем (ГІС). Проаналізовано сучасні напрямки розвитку дистанційного моніторингу земельних ресурсів та зелених насаджень,

які включають поєднання ГІС-технологій, методів аерофотознімання, лазерного сканування та автоматизованої обробки інформації для покращення ефективності управління територіями.

Дослідження виявило, як інтегрувати сучасні програмні засоби для аналізу геоданих: ArcView GIS, MapInfo GIS та Panorama GIS, з метою більш точного процесу обробки геоматеріалів, отриманих за допомогою дистанційного зондування. У статті обґрунтовується важливість розробки та впровадження мультифункціональної системи геодезичного моніторингу, яка поєднує в собі передові технологічні рішення, такі як використання БПЛА, супутникових даних та класичних наземних методів геодезичної збірки інформації. Такий комплексний підхід дозволяє провести всебічний аналіз стану земельних ресурсів, враховуючи широкий спектр факторів, які впливають на їх динаміку та зміни.

Наукова команда запропонувала розширити застосування ГІС для прогнозування можливих змін у структурі земельного покриття та оцінки перспектив його подальшого використання. Сам підхід має особливе значення для ефективного планування рекультиваційних робіт, розширення міської інфраструктури та оптимального розподілу природних ресурсів. Використання ГІС стає ключовим інструментом для формування стратегій тривалого управління земельними територіями. Крім того, було розроблено методологічний алгоритм для аналізу змін у структурі земельних ресурсів і наданий алгоритм базується на аналізі історичних даних за допомогою кореляційно-регресійних методів та побудови довгострокових трендів. Застосування такого підходу дозволяє проводити точні прогнози процесів заростання та деградації земельних територій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2020. No. 3(201). pp. 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005.
2. Reddy G.P.O., Singh S.K. (Eds.). *Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management*. Springer, 2018. 638 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4>
3. Mao W., Zhao H., Han W., Tu H., Gao W. Quality inspection of remote sensing farmland resource monitoring data achievements. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2021. Vol. XLIII-B3-2021. pp. 741–746. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-741-2021>
4. Могильний С.П., Хайнюс Д.В., Винограденко С.В., Сопов Д.О.

Геодезичний моніторинг полезахисних лісосмуг. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2023. Т. 8, № 1. С. 226–232. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-1-33>

5. Лашко С.П., Шелковська І.М., Міхно П.Б., Козарь В.І. Геодезичний і дистанційний моніторинг земель, відведених під сонячні електростанції. *Технічні науки та технології*. 2021. № 2(24). С. 257–264. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-257-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-257-264)

6. Suzuki T., Takahashi Y., Amano Y. Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. URL: http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf

7. ГІС Карти: Види Та Застосування Цифрової Картографії. URL: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/>

8. Semeniuk M., Fedoniuk M., Vovk O., Fedoniuk V., Merlenko I. Assessment land use dynamics in the border areas of Ukraine and Poland: a case study of Ratne Territorial Community and Lenchna County. *GeoTerrace-2023*. 2023. №87. pp. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002>

9. 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

10. Ng A. H.-M., Ge L., Chang H.-C., Du Z. (Eds.). *Geodetic Monitoring for Land Deformation*. MDPI, 2023. 316 p. ISBN 978-3-0365-6442-5. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-6443-2>

11. 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>.

12. Могильний С.Г., Хайнус Д.Д., Винограденко С.О. Аналіз точності кадастрових зйомок із застосуванням БПЛА. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 1. С. 146-151. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24>

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. Шевчук С.М., Прокопенко Н.І., Рожі Т.А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Кадастр, землеустрій та управління*

земельними ресурсами. 2024. № 7. С. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>.

15. GIS for Land Administration – Esri. URL: www.esri.com/industries/cadastre/

16. Bieliatynskyi A., Sorokina K., Mamonov K., Kovalenko L. Geocological monitoring of regional land use: definition and directions of formation. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 452. P. 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002>

17. Ситник О., Безлатня Л. Аналіз сучасних методів і засобів для обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель. Природничі науки та природокористування. 2024. Вип. 1. С. 112–113.

18. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.

19. Домбровська О.А. Інтелектуальна власність у сфері землеустрою, геодезії та кадастру. Journal of Management, Economics and Technology. 2024. № 2. С. 120. DOI: <https://doi.org/10.69803/2312-3427-2024-2-120>

20. Мамонов К.А., Паламар А.Ю., Вяткін Р.С. Просторове забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2024. № 115(2). С. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-199-206>

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **Braslavska Oksana**,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Nesterenko Svitlana**,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ph.D(Pedagogical Sciences), Associate Professor, **Herasychuk Olena**,
Zhytomyr Polytechnic State University

REMOTE GEODETIC MONITORING: A KEY TOOL FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT

The article analyzes innovative methods of remote geodetic monitoring of the state of land resources and their role in the sustainable development of regions. The study focuses on the use of aerial photography, satellite data and UAV technologies to track changes in nature, assess the state of soils, detect land degradation and predict their sustainable future use. It is emphasized that the use of GIS and remote sensing significantly accelerates the collection of spatial data and increases the accuracy of analysis, which is key for operational land resource management. The

effectiveness of the implementation and use of a number of software solutions (ArcView GIS, MapInfo GIS, Panorama GIS) in automating the processing of satellite images, improving object recognition on digital maps and high-quality visualization of geodetic data is considered. The study substantiated the need to create an integrated system for monitoring the state of land resources, which would combine such technical measures as: aerial photography, laser scanning, satellite data and ground geodetic measurements for a comprehensive assessment of land. Based on the conducted study, an algorithm for analyzing the dynamics of land changes using correlation-regression methods was proposed. The proposed approach allows for the prediction of degradation, overgrowth or changes in the intended use of land. A method for digitizing geodetic monitoring through the transition to electronic data processing formats was also developed, which ensures their prompt updating and availability for making management decisions on the issue of monitoring the state of land territories. The results confirm that modern remote monitoring technologies increase the efficiency of land fund management, allow for the prompt detection of landscape changes and contribute to rational land use. Integration of GIS with automated analysis methods expands the possibilities of predicting structural changes in land use, which is critically important for strategic planning of sustainable development of the land fund.

Keywords: remote geodetic monitoring; geographic information systems (GIS); unmanned aerial vehicles (UAVs); sustainable development of land resources; digital terrain model; automated spatial analysis.

REFERENCES

1. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*, No. 3(201), 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005 {in English}
2. Reddy, G.P.O., & Singh, S.K. (Eds.). (2018). *Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4>. {in English}
3. Mao, W., Zhao, H., Han, W., Tu, H., & Gao, W. (2021). Quality inspection of remote sensing farmland resource monitoring data achievements. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B3-2021*, 741–746. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-741-2021>. {in English}
4. Mohylnyi, S.P., Khainius, D.V., Vynohradenko, S.V., & Sopov, D.O. (2023). Heodezychnyi monitorynh polezakhysnykh lisosmu [Geodetic monitoring of field-protective forest strips]. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 8(1), 226–232. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-1-33> {in

Ukrainian}.

5. Lashko, S.P., Shelkovska, I.M., Mikhno, P.B., & Kozar, V.I. (2021). Heodezychnyi i dystantsiyni monitorynh zemel, vidvedenykh pid sonyachni elektrostantsii [Geodetic and remote monitoring of lands allocated for solar power plants]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii - Technical Sciences and Technologies*, 2(24), 257–264. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-257-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-257-264) {in Ukrainian}.

6. Suzuki, T., Takahashi, Y., Amano, Y. (2016). Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. Available at: http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf. {in English}

7. GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography. Retrieved from: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/> {in Ukrainian}.

8. Semeniuk, M., Fedoniuk, M., Vovk, O., Fedoniuk, V., & Merlenko, I. (2023). Assessment of land use dynamics in the border areas of Ukraine and Poland: A case study of Ratne Territorial Community and Lenchna County. *GeoTerrace-2023*, 87, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002>. {in English}

9. Makedon V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya syfrovykh 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}.

10. Ng, A. H.-M., Ge, L., Chang, H.-C., & Du, Z. (Eds.). (2023). *Geodetic monitoring for land deformation*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-6443-2>. {in English}

11. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenکو, 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}.

12. Mohylnyi, S.H., Khainus, D.D., & Vynohradenko, S.O. (2024). Analiz tochnosti kadastrykh zjomok iz zastosuvanniam BPLA [Analysis of the accuracy of cadastral surveys using UAVs]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky [Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology]*, 9(1), 146–151. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24>. {in Ukrainian}

13. 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}.

14. Shevchuk, S.M., Prokopenko, N.I., & Rozhi, T.A. (2024). Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody [Analysis of the use of geodetic data in planning and monitoring of agro-landscapes: Optimization of land use and nature conservation]. *Kadaastre, zemleustrii ta upravlinnia zemelnymy resursamy - Cadastre, Land Management, and Land Resource Administration*, 7, 445–458. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458> {in Ukrainian}.

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

16. Bieliatynskiy, A., Sorokina, K., Mamonov, K., & Kovalenko, L. (2023). Geocological monitoring of regional land use: Definition and directions of formation. *E3S Web of Conferences*, 452, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002>

17. Sytnyk, O., & Bezlatnia, L. (2024). Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv dlia obstezhennia ta vykonannia velykomasshtabnoho heodezychnoho zniattia meliorovanykh zemel [Analysis of modern methods and means for surveying and performing large-scale geodetic surveying of reclaimed lands]. *Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia [Natural Sciences and Nature Management]*, (1), 112–113. {in Ukrainian}

18. Yamelynets, T. (2022) *Informatsiynе gruntoznаvstvo: monohrafiya [Informational soil science: monograph]*. Lviv: LNU named after Ivan Franko. {in English}. {in Ukrainian}.

19. Dombrovska, O.A. (2024). Intelеktualna vlasnist u sferi zemleustroi, heodezii ta kadastru [Intellectual property in the field of land management, geodesy, and cadastre]. *Journal of Management, Economics and Technology*, 2, 120. <https://doi.org/10.69803/2312-3427-2024-2-120> {in Ukrainian}.

20. Mamonov, K.A., Palamar, A.Yu., & Vyatkin, R.S. (2024). Prostorove zabezpechennia vykorystannia nerukhomosti rehioniv dlia rozrobky heoinformatsiinykh monitorynhovykh kart [Spatial support for the use of regional real estate for the development of geo-information monitoring maps]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia - Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 115(2), 199–206. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-199-206> {in Ukrainian}.