

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.498-513

УДК 528.4:528.7:004.9(477)

к.т.н., доцент **Дорожко Є.В.**,
evgeniy.dorozhko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2894-2131,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

к.б.н., доцент **Скляр Ю.Л.**,
sul_bio@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5790-1331,
Сумський національний аграрний університет

к.с.-г.н., доцент **Шемякін М.В.**,
misha.uman@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3621-1446,
Уманський національний університет

СУПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЇ: ПОТЕНЦІАЛ ІНТЕГРАЦІЇ Й СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Досліджено інтеграції супутникових технологій у процеси геодезичного знімання та землеустрою, з акцентом на їх застосування для підвищення ефективності моніторингу земельних ресурсів Полтавського району Полтавської області. Актуальність дослідження зумовлена зростаючою потребою в оперативних, точних і економічно вигідних методах збору просторових даних, особливо в аграрному секторі України, де традиційні геодезичні методи є затратними та не завжди ефективними для великих територій. Інтеграція супутникових технологій відкриває можливості для системного моніторингу земель, прогнозування змін і підтримки сталого землекористування, що є критично важливим для економічного розвитку та екологічної стабільності. Мета дослідження полягала в оцінці потенціалу супутникових технологій, зокрема даних Sentinel-2, для автоматизації геодезичних вимірювань і землеустрійних процесів, а також у розробці методології аналізу змін земного покриву на основі відкритих геопросторових даних. У роботі використано супутникові знімки Sentinel-2 за 2016 та 2023 роки, оброблені в програмних середовищах QGIS 3.26.2 та GRASS GIS. Проведено кольорову корекцію, конвертацію даних у формат TIFF, автоматизовану класифікацію земного покриву без навчання, векторизацію та порівняльний аналіз супутникових знімків для виявлення змін у процесах землекористування та проведення геодезичних робіт на теренах Полтавського району. Наукові результати показали, що супутникові технології забезпечують високу точність (до 10 м) і дозволяють виявляти зміни в структурі агроландшафтів, зокрема деградацію земель і трансформацію посівних площ. Класифікація без навчання довела ефективність для швидкого картографування великих територій. Перспективи подальших досліджень

включають удосконалення алгоритмів автоматизованої класифікації, інтеграцію даних із супутників надвисокої роздільної здатності (до 40 см) та розробку адаптивних моделей прогнозування змін землекористування для підтримки цифрового кадастру й управління земельними ресурсами для України.

Ключові слова: Супутникові технології; дистанційне зондування; геодезичне знімання; землеустрій; класифікація знімків; просторовий аналіз.

Постановка проблеми. У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та зростаючої потреби в точному просторовому аналізі територій усе більшої значущості набуває впровадження супутникових технологій у сферу геодезії та землеустрою. Особливої актуальності ця проблема набуває для України, яка перебуває в стані активної трансформації систем просторового планування, управління земельними ресурсами та модернізації інфраструктури. У цьому контексті використання даних дистанційного зондування Землі з космосу є не лише технологічним проривом, а й необхідною умовою ефективного прийняття рішень у сферах містобудування, землепорядкування, кадастрового обліку, сільського господарства, охорони довкілля та безпеки територій.

Одним із найважливіших видів геопросторової продукції, що ґрунтується на космічному зніманні, є високоточні цифрові знімки, створення яких потребує не лише якісних супутникових знімків із високим просторовим розрізненням, а й ретельної геодезичної прив'язки зображень до наземних опорних точок. Втім, практика показує, що у багатьох випадках кількість таких об'єктів на знімках виявляється недостатньою, особливо за наявності великих кутів нахилу або обмеженої розрізненості, що значно ускладнює процес дешифрування та позиціонування. Подібні питання формують подальшу низку технічних та організаційних викликів, пов'язаних із забезпеченням достовірності результатів геодезичних вимірювань, особливо в умовах урбанізованих територій, гірської місцевості чи зони бойових дій. Як варіант вирішення зазначених труднощів пропонується залучення лінійних об'єктів, таких як прямолінійні ділянки доріг, мости, дамби, труби, огорожі або краю будівель, які можуть бути використані як додаткові опорні елементи у процесі геодезичної прив'язки. Разом із тим, впровадження зазначених технологій вимагає подолання низки технічних, нормативних та кадрових бар'єрів, що й зумовлює актуальність і практичну цінність проведеного дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз наукових праць свідчить, що використання супутникових даних значно розширює можливості геодезичних знімань, особливо у контексті моніторингу земельних ресурсів,

визначення меж ділянок та оновлення кадастрової інформації (Друзяка Б., Оболонков Д. [1]). Дослідження, проведені Боровий В., Браславська О., Максютів А., Проценко О. [2], підтверджують, що супутникові знімки високої роздільної здатності дають технічну можливість досягати точності вимірювань на рівні 10-30 см, що є достатнім для більшості землепорядних заходів.

Однак, як зазначають українські дослідники Шевчук С., Домашенко Г., Куришко Р. [3], основним викликом для широкого впровадження супутникових методів в Україні залишається відсутність стандартизованих процедур інтеграції ДЗЗ-даних у національні кадастрові системи. Наприклад, у роботі Белятинський А., Сорокіна К., Мамонов К., Коваленко Л. [4], підкреслюється, що автоматизована обробка супутникових знімків у відповідних програмних середовищах, значно прискорює процес класифікації земельних угідь, але виникають труднощі з верифікацією результатів через недостатню кількість референс-даних. Факторним аспектом є також застосування алгоритмів машинного навчання для аналізу супутникових зображень. Дослідження від Македон В., Мячин В. [5] демонструють високу ефективність неконтрольованих методів класифікації для виявлення змін у землекористуванні, проте їхня точність залежить від якості попередньої обробки даних. Перспективним напрямом є поєднання супутникових технологій із традиційними геодезичними методами, зокрема GNSS-вимірюваннями та фотограмметрією. Науковці Лю Ч., Лі Х., Сюе Ю., Лу В., Чжан Ч. [6], доводять, що інтеграція цих підходів дозволяє мінімізувати похибки позиціонування, особливо у районах зі слабкою інфраструктурою геодезичних мереж.

Таким чином, аналіз літератури підтверджує значний потенціал супутникових технологій для модернізації геодезичних та землепорядних процесів в Україні, але водночас виявляє низку викликів, пов'язаних із технічною інфраструктурою, якістю даних та регулюванням. Подолання цих обмежень потребує подальших досліджень, спрямованих на розробку інтегрованих практик, адаптованих до умов України.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – дослідження складових та ефектів поєднання супутникових технологій та геодезичного знімання для земельного фонду України з урахуванням сучасних технічних можливостей дистанційного зондування.

Завдання дослідження:

- дослідити технічні можливості сучасних супутникових знімків для виконання геодезичних робіт та питань землеустрою;
- обґрунтувати прикладні засади використання супутникових даних для моніторингу стану земельних ресурсів;

– розробити технічні рекомендації щодо вдосконалення цифрового картографування та кадастрового забезпечення на основі супутникових технологій.

Матеріали та методи. Для реалізації дослідження було здійснено аналіз території Полтавського району Полтавської області, використовуючи сучасні геоінформаційні системи, зокрема програмне забезпечення QGIS у версії 3.26.2 та GRASS GIS, які забезпечили обробку даних, отриманих із супутникових знімків Sentinel-2, що є відкрито доступними та широко застосовуються для моніторингу земної поверхні. Для порівняльного аналізу змін у землекористуванні та геодезичних характеристик обрано знімки за весняний період, а саме за березень 2016 та 2023 років, що дозволило оцінити динаміку трансформацій на території за шестирічний період. Особливу увагу в процесі дослідження приділяли вибору якісних супутникових знімків, які б відповідали вимогам геодезичної точності та відображали реальний стан території, а також визначенню оптимальної площі дослідження, що охоплювала ключові об'єкти землеустрою Полтавського району. У процесі виконання роботи було реалізовано низку послідовних етапів, спрямованих на інтеграцію супутникових даних у геодезичні та землеустрійні задачі:

- 1) Визначення об'єкта дослідження, що включав території з різними типами землекористування в межах Полтавського району.
- 2) Підбір відповідних супутникових знімків Sentinel-2, які відповідали критеріям якості та сезонності.
- 3) Імпорт даних у середовище QGIS для первинної обробки та подальший експорт у GRASS GIS для поглибленого аналізу.
- 4) Проведення класифікації знімків із застосуванням алгоритмів для виділення категорій земного покриття.
- 5) Посткласифікаційна обробка, спрямована на усунення шумів і підвищення точності отриманих карт.
- 6) Векторизація растрових даних для створення геометрично точних об'єктів, придатних для землеустрійних задач.
- 7) Порівняльний аналіз знімків в програмному пакеті QGIS для виявлення змін у структурі землекористування.
- 8) Обґрунтування отриманих результатів з урахуванням геодезичних аспектів.

Результати та їх обґрунтування. У сучасному науковому та прикладному дискурсі дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дедалі частіше розглядається як універсальний інструмент збору інформації про об'єкти, розташовані на значній відстані, без потреби у фізичному контакті з ними, що відкриває нові горизонти для розвитку геодезії, картографії, землеустрою та

управління земельними ресурсами. Суть цього методу полягає у фіксації електромагнітного випромінювання, яке відбивається або випромінюється об'єктами земної поверхні та уловлюється чутливими сенсорами супутників, у результаті чого формується зображення, що може бути проаналізоване за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Такі зображення надають змогу оперативно отримувати великі обсяги просторових даних з високим рівнем деталізації та достовірності, що особливо актуально для територій з недостатньою кількістю наземної інфраструктури спостереження.

Хоча найчастіше дані космічного знімання застосовуються у сфері дослідження природних ресурсів, проте їх інтеграція у соціально-економічні напрями, зокрема в аграрний сектор та систему землеустрою, демонструє значний потенціал щодо підвищення ефективності управління територіями, планування сільськогосподарських робіт та моніторингу стану земель. Сільське господарство, як одна з базових галузей економіки України, гостро потребує сучасних технологічних рішень для вирішення проблем, пов'язаних із контролем великих площ угідь, своєчасною оцінкою стану посівів і ґрунтів, а також прогнозуванням врожайності, з метою оптимізації витрат та підвищення рентабельності виробництва [7, с. 21]. Особливу складність становить системне отримання актуальних картографічних даних про змінність меж посівів, деградацію ґрунтів, зміни мікрокліматичних умов і вплив стихійних явищ, оскільки традиційні методи моніторингу є затратними, повільними та не завжди охоплюють віддалені ділянки. У цьому контексті супутникові технології мають значні переваги та виступають як оптимальне рішення, що дозволяє здійснювати постійний, автоматизований контроль за станом агроєкосистем, а також створювати цифрові плани й кадастрові карти, які відповідають міжнародним стандартам (табл. 1).

На початковому етапі роботи супутникові знімки були завантажені в QGIS, де проводилася корекція кольорового відображення для забезпечення чіткості візуалізації, а також конвертація даних у формат TIFF, який є оптимальним для подальшої обробки в GRASS GIS. Даний етап був необхідним для підготовки знімків до класифікації, що дозволила виділити основні типи земного покриття та оцінити їх зміни в контексті геодезичних і землеустрійних завдань Полтавського району (рис. 1. та рис. 2.) [8].

Таблиця 1

**Переваги та технічні можливості супутникових технологій
при виконанні геодезичних робіт**

Перевага	Технічна можливість	Застосування в геодезичних роботах	Ефект для виконання робіт
1. Висока точність вимірювань	Використання GNSS (GPS, Galileo) та супутникових знімків із роздільною здатністю до 10 м (наприклад, Sentinel-2)	Визначення координат точок, створення цифрових моделей рельєфу, контроль геометричної точності об'єктів	Зменшення похибок до сантиметрів, підвищення достовірності топографічних планів і карт
2. Широке покриття території	Дистанційне зондування дозволяє отримувати дані з великих площ за один сеанс знімання	Моніторинг розлогих територій, таких як Полтавський район, для інфраструктурних чи сільськогосподарських проєктів	Скорочення потреби в польових вимірах, економія часу на обстеження великих ділянок
3. Автоматизація обробки даних	Інтеграція з ГІС (QGIS, ArcGIS) та платформами обробки (Copernicus, Google Earth Engine) для аналізу супутникових знімків	Автоматизована класифікація земного покриву, побудова 3D-моделей і векторизація об'єктів	Прискорення створення геодезичних продуктів, зниження трудовитрат на обробку.
4. Доступ до відкритих даних	Безкоштовні супутникові знімки (Sentinel, Landsat) та хмарні сервіси забезпечують легкий доступ до актуальної інформації	Використання даних для регулярного оновлення топографічних карт і геодезичних баз	Зниження витрат на закупівлю даних, підвищення доступності для малих геодезичних компаній
5. Моніторинг у реальному часі	Супутники надають періодичні знімки з високою частотою (5–10 днів для Sentinel-2), дозволяючи відстежувати зміни	Виявлення деформацій рельєфу, контроль будівельних майданчиків, оцінка природних змін	Забезпечення актуальності геодезичних даних, підтримка динамічного планування проєктів



Рис. 1. Супутниковий знімок угідь Полтавського району (Полтавська обл.) зроблений супутником Sentinel-2 у 2016 р. [9]



Рис. 2. Супутниковий знімок угідь Полтавського району (Полтавська обл.) зроблений супутником Sentinel-2 у 2023 р. [9]

У процесі реалізації дослідження, присвяченого інтеграції супутникових технологій у геодезичне знімання та землеустрій, одним із важливих етапів аналізу супутникових знімків стало застосування методів автоматизованої класифікації зображень за допомогою геоінформаційної системи GRASS GIS, зокрема без використання попереднього навчання моделі. Такий підхід дає змогу поділити всю територію, зображену на супутниковому знімку, на окремі ділянки з подібними спектральними та текстурними характеристиками, що є особливо цінним у тих випадках, коли відсутні достовірні польові еталонні дані або коли обсяг території унеможливує проведення повномасштабного натурального дешифрування (рис. 3.) [10, с. 38].

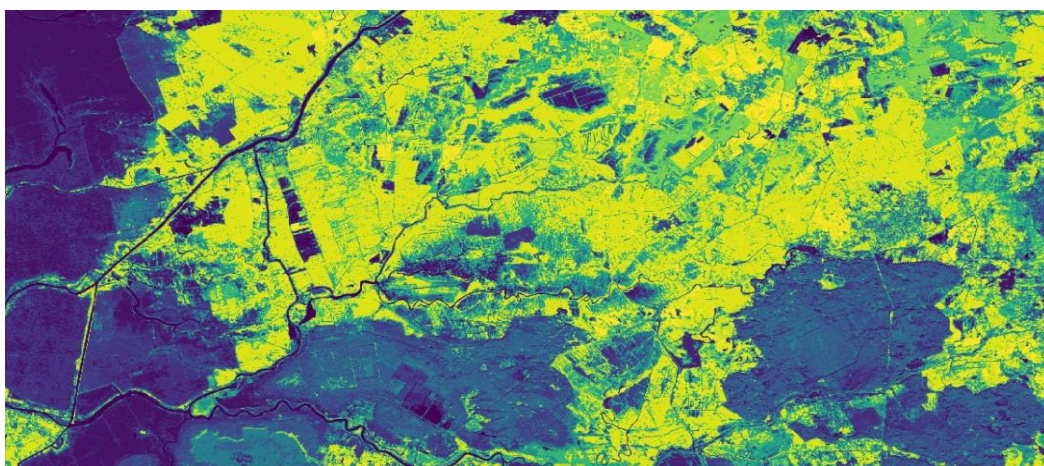


Рис. 3. Узагальнена класифікація класу «Поля» згідно з супутниковими даними 2023 року для території Полтавського району (Полтавська обл.) [9]

На відміну від методів класифікації з навчанням, які передбачають ручне виділення еталонів на зображенні та подальше їх використання для автоматизованого пошуку схожих ділянок із подібною структурою або

спектральною сигнатурою, класифікація без навчання ґрунтується на алгоритмах поділу пікселів зображення на визначену користувачем кількість кластерів. Такі алгоритми автоматично групують області з однорідною текстурою або спектром відбиття у межах заданих порогових значень, не потребуючи попередньої ідентифікації кожного класу вручну. У межах цього дослідження було обґрунтовано доцільність поділу зображення на 25 окремих класів, що дозволило створити класифіковану карту, яка за умови належного вибору параметрів здатна відображати просторову структуру землекористування на досліджуваній території [11].

Поява супутникових знімків надвисокої роздільної здатності, що дозволяють отримувати інформацію з точністю до 40 см на місцевості, суттєво трансформувала підходи до здійснення геодезичних знімань і створення великомасштабної картографічної продукції в Україні, зокрема у сфері землеустрою. Завдяки цим технологіям стає можливим не лише оперативно оновлювати наявні просторові дані, а й формувати нові планово-картографічні матеріали на основі дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що значно прискорює процеси збору, аналізу та актуалізації просторової інформації на національному рівні (рис. 4).



Рис. 4. Пошук змін стану земельних ресурсів для території виділеної земельної ділянки Полтавського району в Полтавській області (стрілками показані зони та лінії змін рельєфу) [12]

Відповідно до запропонованого підходу до геодезичної прив'язки супутникових знімків високої роздільної здатності із залученням лінійних об'єктів як опорних елементів, передбачається виконання точних вимірювань на зображенні вибраних фрагментів цих об'єктів, зокрема шляхом фіксації координат певної довільної точки, що розташована між двома кінцевими точками заданого відрізка. Така методика дозволяє суттєво розширити можливості прив'язки знімків у випадках, коли кількість доступних чітко окреслених точкових орієнтирів є обмеженою, особливо в умовах сільської місцевості або природного ландшафту [13].

На рис. 5. мовно позначено ключові елементи вимірювального процесу: точки «1» і «2» позначають кінці відрізка треку на супутниковому знімку, де «а» – точка, яку необхідно виміряти, а «а'» – фактичне місце, де було виконано вимірювання. Помилка визначення координат, що виникає у результаті зміщення точки «а'» відносно справжньої точки «а», може бути виражена у вигляді відхилень за осями координат l та S , що фіксується у пікселях і зумовлює втрату точності геодезичної прив'язки.

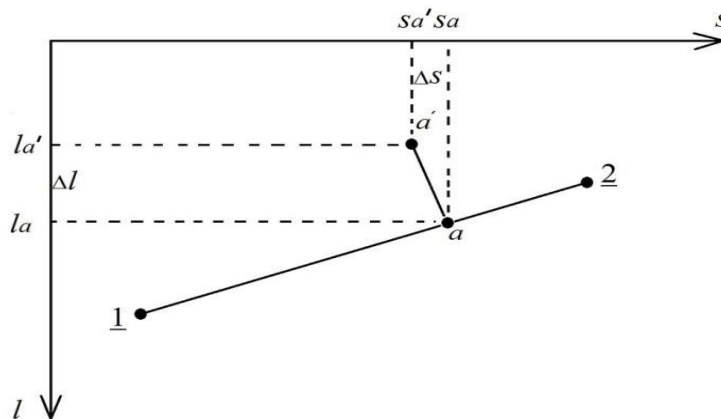


Рис. 5. Схема похибки геодезичного вимірювання точки на супутниковому знімку при використанні лінійного об'єкта як опорного відрізка (розроблено авторами)

З огляду на актуальність точного позиціонування в межах проєктів землеустрою, зокрема при встановленні меж земельних ділянок та створенні кадастрових карт, зазначене питання набуває особливого значення. Воно вказує на необхідність удосконалення алгоритмів дешифрування супутникових знімків, автоматизованого розпізнавання лінійних об'єктів та підвищення точності вимірювань у цифровому середовищі

Одним із центральних етапів землеустрою є встановлення меж земельних ділянок, або межування, яке включає визначення їх фактичних меж, точне закріплення поворотних точок і обчислення площ. У щільно забудованих міських умовах, де вимагається надвисока точність координат і дотримання юридичних норм, цей процес здійснюється виключно за допомогою інструментальних геодезичних методів, зокрема із застосуванням GNSS-обладнання, тахеометрії та лінійно-кутових вимірювань. Водночас на інших територіях, зокрема в сільській місцевості, у природоохоронних зонах чи важкодоступних гірських і прикордонних районах все ширше впроваджується фотограмметричний метод визначення меж за супутниковими або аерофотознімками з точністю в межах 20–50 см.

Окрім визначення меж, інтеграція супутникових технологій у процеси землеустрою забезпечує ефективне вирішення завдань системного моніторингу стану земельного фонду. На основі регулярної зйомки здійснюється виявлення і

просторовий аналіз явищ, пов'язаних із деградацією земель, зокрема процесів водної та вітрової ерозії, утворення ярів, заростання залежних площ, сезонних змін снігового покриву, паводків, підтоплень та інших змін, які мають суттєвий вплив на стан і функціонування агроландшафтів. Такий підхід сприяє формуванню цілісної картини змін у межах землекористування та є основою для розробки адаптивної політики землекористування [14, с. 81].

Особливо вагомим є внесок дистанційного зондування у сферу сільського господарства, де за допомогою супутникових даних можливо не лише здійснювати повноцінну інвентаризацію сільськогосподарських угідь, а й проводити багаторівневий контроль за станом посівів на різних етапах вегетації, відслідковувати динаміку росту культур, виявляти потенційні загрози (засуха, шкідники, хвороби) та прогнозувати врожайність. Завдяки спектральному дешифруванню супутникових знімків можливо класифікувати типи вирощуваних культур на полях, визначати ділянки із зниженим рівнем вегетації або ознаками стресу, що дозволяє аграріям вчасно вживати необхідних агротехнічних заходів [15]. Очікувані ефекти від поєднання супутникових технологій та геодезичних робіт показані в табл. 2.

Таблиця 2

Очікувані ефекти від інтеграції супутникових технологій в процеси геодезичного знімання та землеустрою (розроблено авторами)

Аспект впливу	Опис ефекту	Переваги для геодезичної зйомки	Переваги для землеустрою	Довгостроковий результат
1	2	3	4	5
Підвищення точності даних	Використання супутникових знімків (наприклад, Sentinel-2) та GNSS-технологій забезпечує високу просторову та геометричну точність вимірювань	Отримання координат і висот з точністю до сантиметрів, що зменшує похибки при створенні топографічних планів	Точне визначення меж земельних ділянок, що знижує ризик кадастрових помилок.	Створення надійної бази геопросторових даних для регіонального планування
Скорочення часу обробки	Автоматизація обробки супутникових даних у ГІС (QGIS, GRASS GIS) прискорює аналіз великих територій	Швидке створення цифрових моделей рельєфу та карт для інфраструктурних проєктів	Прискорення підготовки землеустрійної документації та кадастрових планів	Оптимізація термінів реалізації проєктів з розвитку територій
Економічність та ефективність	Використання відкритих даних (Sentinel-2, Copernicus) зменшує витрати на закупівлю комерційних знімків і польові роботи	Зниження витрат на традиційні геодезичні вимірювання завдяки дистанційним методам	Економія ресурсів на моніторинг земель та оцінку їх стану	Зменшення бюджетних витрат на геодезичні та землеустрійні роботи

1	2	3	4	5
Екологічний моніторинг	Супутникові технології дозволяють відстежувати деградацію земель, ерозію та зміни екосистем у реальному часі	Виявлення змін рельєфу для прогнозування природних ризиків (зсуви, повені)	Контроль за раціональним використанням земель та виявлення незаконних змін	Підтримка сталого розвитку та збереження природних ресурсів
Покращення управління	Інтеграція супутникових даних у ГІС забезпечує доступ до актуальної інформації для прийняття рішень	Координація геодезичних робіт на основі єдиної бази даних для різних проєктів	Покращення планування землекористування та розподілу земельних ресурсів.	Формування прозорої системи управління територіями
Доступність даних	Відкриті супутникові дані та хмарні платформи (Copernicus, Google Earth Engine) спрощують доступ до інформації	Забезпечення геодезистів актуальними знімками без необхідності спеціалізованого обладнання	Надання землепорядникам даних для аналізу змін у землекористуванні	Створення умов для широкого використання геопросторових даних місцевими громадами

Крім того, супутникові знімки дедалі частіше застосовуються для контролю за дотриманням норм сівозміни, цільовим використанням земельних ділянок, аналізом термінів і якості виконання інженерно-будівельних і агротехнічних заходів. Такий комплексний підхід до використання супутникових технологій у системі геодезичного знімання та землеустрою України дозволяє створити високоточну, динамічну та оперативну картину змін у земельному фонді. Окреме значення має використання матеріалів супутникового знімання для ведення державного земельного кадастру, який у сучасних умовах має бути не лише інструментом юридичного оформлення прав на землю, а й ефективним засобом моніторингу використання територій, контролю за цільовим призначенням ділянок та попередження несанкціонованих змін [16, с. 526]. Саме тому інтеграція супутникових технологій у сферу геодезичного знімання та землеустрою є не лише логічним кроком у напрямі цифровізації земельних відносин в Україні.

Висновки та рекомендації. Дослідження показало, що сучасні супутникові технології та дані дистанційного зондування Землі надають широкі можливості для оптимізації геодезичних робіт і вдосконалення землеустрою. Аналіз високороздільних супутникових знімків виявив їх здатність забезпечувати геометричну точність вимірювань у межах кількох десятків сантиметрів. Ці процеси формують ефект застосування фотограмметричних методів межування в сільській місцевості та важкодоступних регіонах України,

де традиційні методи вимірювань є економічно недоцільними або технічно складними.

Було досліджено переваги використання відкритих супутникових даних (наприклад, Sentinel-2) та автоматизованих платформ обробки інформації. Окреслені інструменти істотно заощаджують ресурси, прискорюють обробку даних, підвищити точність оцінки стану земної поверхні та відстежувати ключові просторові зміни майже в реальному часі.

У ході роботи були протестовані алгоритми неконтрольованої класифікації на основі спектральних та текстурних характеристик супутникових зображень. Запропонований підхід успішно виділив різні категорії землекористування, зокрема сільськогосподарські угіддя, без необхідності попереднього еталонного навчання. Класифікація зображення на 25 класів продемонструвала високу деталізацію структури землекористування Полтавського району Полтавської області. Обґрунтовано комплексну методичну схему застосування супутникових технологій у геодезичних роботах, яка включає попередню обробку знімків у QGIS, автоматизовану класифікацію території в середовищі GRASS GIS, геодезичну прив'язку з використанням лінійних опорних об'єктів та подальше оновлення кадастрової інформації. Запропоновано використовувати супутникові технології як основний елемент сучасної моделі цифрового землеустрою України, яка базується на принципах відкритості, оперативності, автоматизації та високої точності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Друзяка Б.Ю., Оболонков Д.Ф. Сучасні засоби супутникової геодезії. Збірник наукових праць ДонНАБА. 2024. № 2 (33). С. 18-23.
2. Боровий В., Браславська О., Максютов А., Проценко О. Обґрунтування технології створення супутникової геодезичної мережі в умовах низьких широт. Природничі науки та природокористування. 2024. № 1. С. 5-12.
3. Шевчук С.М., Домашенко Г.Т., Куришко Р.В. Геодезичний моніторинг при розробці комплексних планів просторового розвитку. Географія та туризм. 2024. Вип. 76. С. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2024.76.31-37>
4. Bieliatynskiy 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>
5. 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>.

6. Liu C., Li X., Xue Y., Lu W., Zhang C. Development and applications of an integrated space-air-ground observation network in natural resource monitoring and supervision. *E3S Web of Conferences*. 2024. No 520. P. 04018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452004018>

7. 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)

8. Giorgi G., Schmidt T.D., Trainotti C., Mata Calvo R. Advanced Technologies for Satellite Navigation and Geodesy. *Advances in Space Research*. 2019. Vol. 64, No. 6. P. 1256-1273. DOI: [10.1016/j.asr.2019.06.010](https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.06.010).

9. Sentinel-2. Colour vision for Copernicus. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

10. Краснощок С.Л., Нікіфорова Н.А., Нетеца А.М., Косячевська С.М. Використання супутникової геодезії в транспортній інфраструктурі України. *Фізична металургія та термічна обробка металів*. 2022. № 3(98). С. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.270922.33.903>.

11. Папуша Д.Я., Оболонков Д.Ф. Автоматизація процесів обробки геодезичних даних за допомогою штучного інтелекту та машинного навчання. *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2024. № 1(32). С. 36-41.

12. Sentinel-2. Online. <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-2>

13. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. URL: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/>

14. Македон В.В., Холод О.Г., Ярмоленко Л.І. Модель оцінки конкурентоспроможності високотехнологічних підприємств на засадах формування ключових компетенцій. *Академічний огляд*. 2023. № 2 (59). С. 75-89. DOI: [10.32342/2074-5354-2023-2-59-5](https://doi.org/10.32342/2074-5354-2023-2-59-5).

15. 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>.

16. Прокопенко Н., Нестеренко С., Дорошко Є. Геодезія та землеустрій у вирішенні проблем стійкості та безпеки гідротехнічних споруд: аналіз методів моніторингу та діагностики. *Просторовий розвиток*. 2024. № 10. С. 519-530. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.519-530>.

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, **Dorozhko Yevhen**,
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, **Skliar Yurii**,
Sumy National Agrarian University,
Ph.D. in Agricultural Sciences, Assistant Professor **Shemiakin Mykhailo**,
Uman National University

SATELLITE TECHNOLOGIES IN GEODESY AND LAND MANAGEMENT: INTEGRATION POTENTIAL AND CURRENT CHALLENGES FOR UKRAINE

The article is devoted to the study of the integration of satellite technologies into the processes of geodetic surveying and land management, with an emphasis on their application to increase the efficiency of monitoring land resources in the Poltava district of the Poltava region. The relevance of the study is due to the growing need for operational, accurate and cost-effective methods of collecting spatial data, especially in the agricultural sector of Ukraine, where traditional geodetic methods are costly and not always effective for large areas. The integration of satellite technologies opens up opportunities for systematic land monitoring, forecasting changes and supporting sustainable land use, which is critically important for economic development and environmental stability. The purpose of the study was to assess the potential of satellite technologies, in particular Sentinel-2 data, for automating geodetic measurements and land management processes, as well as to develop a methodology for analyzing land cover changes based on open geospatial data. The work used Sentinel-2 satellite images for 2016 and 2023, processed in the QGIS 3.26.2 and GRASS GIS software environments. Color correction, data conversion to TIFF format, automated land cover classification without training, vectorization and comparative analysis of satellite images were performed to detect changes in land use processes and conduct geodetic works in the Poltava district. Scientific results showed that satellite technologies provide high accuracy (up to 10 m) and allow detecting changes in the structure of agricultural landscapes, in particular land degradation and transformation of crop areas. Classification without training has proven effective for rapid mapping of large areas. Prospects for further research include improving automated classification algorithms, integrating data from ultra-high resolution satellites (up to 40 cm), and developing adaptive models for predicting land use changes to support a digital cadastre and land management for Ukraine.

Keywords: Satellite technologies; remote sensing; geodetic surveying; land management; image classification; spatial analysis.

REFERENCES

1. Druziaka, B.Yu., & Obolonkov, D.F. (2024). Suchasni zasoby sputnykovoї heodezii [Modern tools of satellite geodesy]. Zbirnyk naukovykh prats DonNABA, 2(33), 18-23. {in Ukrainian}.
2. Borovyi, V., Braslavska, O., Maksutov, A., & Protsenko, O. (2024). Obgruntuvannia tekhnolohii stvorennia sputnykovoї heodezychnoi merezhi v umovakh nyzkykh shyrot [Justification of the technology for creating a satellite geodetic network in low latitudes]. Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia, 1, 5-12. {in Ukrainian}.
3. Shevchuk, S.M., Domashenko, H.T., & Kuryshko, R.V. (2024). Heodezychnyi monitorynh pry rozrobtsi kompleksnykh planiv prostorovoho rozvytku [Geodetic monitoring in the development of integrated spatial development plans]. Heohrafiia ta turizm, 76, 31-37. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2024.76.31-37>. {in Ukrainian}.
4. 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>. {in English}
5. 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}
6. Liu, C., Li, X., Xue, Y., Lu, W., & Zhang, C. (2024). Development and applications of an integrated space-air-ground observation network in natural resource monitoring and supervision. E3S Web of Conferences, 520, 04018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452004018>. {in English}
7. Makedon V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiya vprovadzhennia 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}.
8. Giorgi, G., Schmidt, T. D., Trainotti, C., & Mata Calvo, R. (2019). Advanced technologies for satellite navigation and geodesy. *Advances in Space Research*, 64(6), 1256-1273. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.06.010>
9. Sentinel-2. Colour vision for Copernicus (2025). URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2. {in English}

10. Krasnoshchok, S.L., Nikiforova, N.A., Netetsa, A.M., & Kosyachevska, S.M. (2022). Vykorystannia suputnykovoï heodezii v transportnii infrastrukturi Ukrainy [Use of satellite geodesy in the transport infrastructure of Ukraine]. *Fizychna metalurhiia ta termichna obrobka metaliv*, 3(98), 33-41. <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.270922.33.903>. {in Ukrainian}.
11. Papusha, D. Ya., & Obolonkov, D. F. (2024). Avtomatyzatsiia protsesiv obrobky heodezychnykh danykh za dopomohoiu shtuchnoho intelektu ta mashynnoho navchannia [Automation of geodetic data processing using artificial intelligence and machine learning]. *Zbirnyk naukovykh prats DonNABA*, 1(32), 36-41. {in Ukrainian}.
12. Sentinel-2. Online (2025). <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-2>. {in English}
13. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. (2023). Retrieved from: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/> {in English}
14. Makedon V.V., Kholod O.H., Yarmolenko L.I. (2023). Model' otsinky konkurentospromozhnosti vysokotekhnolohichnykh pidpryyemstv na zasadakh formuvannya klyuchovykh kompetentsiy [The model of assessing the competitiveness of high-tech enterprises based on the formation of key competencies]. *Akademichnyy ohlyad*, 2(59), 75-89. DOI: 10.32342/2074-5354-2023-2-59-5. {in Ukrainian}.
15. 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 geodetic data usage in the planning and monitoring of agro-landscapes: optimization of land use and environmental protection]. *Kadastr, zemleustrii ta upravlinnia zemelnymy resursamy*, 7, 445-458. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>. {in Ukrainian}.
16. Prokopenko, N., Nesterenko, S., & Dorozhko, Ye. (2024). Heodeziia ta zemleustrii u vyrishenni problem stiikosti ta bezpeky hidrotekhnichnykh sporud: analiz metodiv monitorynhu ta diahnostryky [Geodesy and land management in solving the problems of stability and safety of hydraulic structures: analysis of monitoring and diagnostics methods]. *Prostorovy rozvytok*, 10, 519-530. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.519-530>. {in Ukrainian}.