

УДК 528.9 : 332.14

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.38>

КАРТОГРАФУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ЯК ДІЄВИЙ МЕХАНІЗМ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

Давидова І.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології та природоохоронних технологій,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0001-6535-3948

Мельник-Шамрай В.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології та природоохоронних технологій,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0002-3551-5085

Іськов С.С. – к.т.н.,

доцент кафедри маркшейдерії,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0002-9618-489X

У статті розглянуто сучасні підходи до картографування земельного покриву на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) як механізму управління земельними ресурсами. Зростання антропогенного навантаження, інтенсивне використання територій у сільському господарстві, промисловості та урбанізованих системах, а також наслідки кліматичних змін формують потребу у створенні надійної інформаційної основи для прийняття управлінських рішень. ДЗЗ у поєднанні з геоінформаційними системами дозволяє отримувати оперативні, масштабні й об'єктивні дані, необхідні для моніторингу стану та динаміки земельного покриву.

Розкрито прикладні напрями використання супутникових даних: моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням індексів рослинності (NDVI, EVI, SAVI), оцінка стану лісів та процесів деградації земель, контроль урбанізаційних змін і транспортної інфраструктури, а також запобігання екологічним кризам шляхом завчасного виявлення негативних тенденцій.

Визначено переваги та виклики використання ДЗЗ. До основних переваг віднесено оперативність збору даних, охоплення значних територій і незалежність від суб'єктивних оцінок, що забезпечує високу достовірність інформації. Серед обмежень виділено високу вартість надвисокоточної зйомки, складність обробки й інтерпретації даних, а також залежність оптичних сенсорів від погодних умов.

У статті окреслено перспективні напрями розвитку технологій картографування земельного покриву. Зокрема, йдеться про впровадження штучного інтелекту та глибокого навчання для автоматизованої класифікації супутникових знімків, інтеграцію супутникових даних із результатами спостережень безпілотних літальних апаратів для створення багаторівневої системи моніторингу, а також формування відкритих національних і глобальних баз геопросторової інформації. Це сприятиме підвищенню точності оцінок, прозорості у сфері землекористування та забезпечить широке залучення наукової спільноти й органів управління до процесів планування територій.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, картографування земельного покриву, управління земельними ресурсами, землеустрій, геоінформаційні системи, сталий розвиток.

Davydova I.V., Melnyk-Shamrai V.V., Iskov S.S. Land cover mapping using remote sensing as an effective mechanism for effective land resource management

The article examines modern approaches to land cover mapping based on remote sensing (RS) data as a mechanism for land resource management. Increasing anthropogenic pressure, intensive use of territories in agriculture, industry, and urban systems, as well as the consequences

of climate change, create the need for a reliable information base to support decision-making. Remote sensing combined with geographic information systems (GIS) makes it possible to obtain timely, large-scale, and objective data necessary for monitoring the state and dynamics of land cover.

Applied directions of satellite data use are revealed, including monitoring of agricultural lands using vegetation indices (NDVI, EVI, SAVI), assessment of forest conditions and land degradation processes, control of urbanization changes and transport infrastructure, as well as prevention of environmental crises through early detection of negative trends.

The advantages and challenges of RS application are identified. The main advantages include the timeliness of data collection, the ability to cover large areas, and independence from subjective assessments, which ensures high reliability of information. The limitations include the high cost of high-resolution imagery, the complexity of data processing and interpretation, as well as the dependence of optical sensors on weather conditions.

The article outlines promising directions for the development of land cover mapping technologies. In particular, the implementation of artificial intelligence and deep learning for automated classification of satellite imagery, integration of satellite data with observations from unmanned aerial vehicles to create a multi-level monitoring system, and the development of open national and global geospatial databases are highlighted. These measures will contribute to improving the accuracy of assessments, ensuring transparency in land use, and fostering broad involvement of the scientific community and authorities in spatial planning processes.

Key words: *remote sensing, land cover mapping, land resource management, land use, geographic information systems, sustainable development.*

Постановка проблеми. Актуальність проблеми управління земельними ресурсами зумовлена постійним зростанням антропогенного навантаження, зміною клімату та інтенсивним використанням територій у сільському господарстві, промисловості та урбанізованих системах. Раціональне використання земель та забезпечення їх екологічної збалансованості є одним із ключових завдань сучасної науки та практики, адже саме земля є базовим природним ресурсом, від якого залежить продовольча безпека, економічний розвиток та якість життя населення.

У сучасних умовах, зокрема в період воєнних дій, можливості проведення традиційних польових досліджень істотно обмежені через небезпеку та складність доступу до багатьох територій. Це створює потребу у використанні альтернативних методів збору інформації. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) у таких ситуаціях виступає надійним інструментом, що дозволяє отримувати оперативні, точні та об'єктивні дані про стан земельного покриву без безпосереднього контакту з досліджуваною місцевістю. Воно забезпечує можливість своєчасно реагувати на зміни, відстежувати трансформації ландшафтів та планувати заходи з відновлення й раціонального використання земель.

Поєднання методів ДЗЗ із геоінформаційними системами (ГІС) забезпечує комплексний підхід до аналізу й моделювання просторових даних, що робить ці технології потужним інструментом як для наукових досліджень, так і для практичного землекористування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні десятиліття відзначаються значним прогресом у сфері картографування земельного покриву за допомогою дистанційного зондування Землі, що зумовлено розширенням спектру доступних даних та вдосконаленням методів їх обробки. У світовій науковій літературі наголошується на зростаючій ролі високороздільних супутникових знімків, таких як Sentinel, Landsat, Planet та інших комерційних платформ, які дають змогу не лише деталізувати інформацію про землекористування, а й здійснювати його регулярний моніторинг [1; 2]. Водночас активно розвиваються підходи, що інтегрують багатоспектральні та радіолокаційні дані, дозволяючи компенсувати обмеження, пов'язані з хмарністю чи сезонними змінами [3].

Особливе місце в сучасних дослідженнях посідає використання алгоритмів машинного та глибокого навчання. Моделі на основі згорткових нейронних мереж та трансформерів поступово витісняють класичні методи класифікації, оскільки забезпечують вищу точність та автоматизацію процесу обробки великих масивів даних [4; 5]. Однак критичний аналіз цих робіт виявляє низку проблем, зокрема брак маркованих локальних даних для навчання моделей, складність забезпечення узагальнюваності алгоритмів у різних регіональних умовах та обмежену інтерпретованість результатів для практичного використання у сфері управління земельними ресурсами.

Водночас у сучасних міжнародних публікаціях наголошується на важливості інтеграції часових рядів супутникових спостережень, що дає змогу відслідковувати динаміку змін у землекористуванні та оперативно реагувати на прояви деградації ґрунтів, незаконні вирубки чи урбанізаційний тиск [6]. Дослідження також демонструють потенціал поєднання дистанційного зондування з даними польових вимірювань, однак ця опція часто залишається обмеженою, особливо в умовах воєнних дій, де доступ до територій унеможливлений [7]. У таких ситуаціях саме ДЗЗ стає єдиним надійним джерелом актуальної інформації для картографування та моніторингу.

В українському науковому контексті питання застосування технологій дистанційного зондування для потреб землеустрою та екологічного моніторингу активно розробляється. У навчальних посібниках та методичних вказівках закладу значна увага приділяється практичним аспектам використання супутникових знімків та індексів рослинності для аналізу стану земельних ресурсів. Крім того, у наукових публікаціях дослідники університету розглядають прикладні аспекти застосування ДЗЗ для оцінки стану земельних ресурсів, зокрема моніторингу деградованих територій і використання індексів NDVI та NDMI для аналізу динаміки змін [8, 9]. У ширшому контексті екологічних досліджень важливими є також роботи, присвячені просторовій оцінці міграції та розподілу забруднювачів у довкіллі, що демонструє потенціал геоінформаційних і дистанційних методів для комплексного аналізу екосистем [10].

Разом з тим критичний аналіз наявних публікацій виявляє низку обмежень. Попри суттєвий прогрес у методологічному та прикладному напрямках, все ще бракує комплексних робіт, що поєднують сучасні алгоритми глибинного навчання з локалізованими українськими даними та практичною інтеграцією результатів у процеси управління земельними ресурсами. Недостатньо розробленими залишаються також підходи до швидкої адаптації методів у кризових умовах, зокрема під час воєнних дій, коли оперативне отримання картографічної інформації є критично важливим для ухвалення управлінських рішень [7].

Отже, незважаючи на наявність численних міжнародних та національних досліджень, комплексна проблема поєднання передових методів дистанційного зондування з реальними завданнями ефективного управління земельними ресурсами в умовах обмеженого доступу до територій залишається недостатньо розкритою.

Формулювання цілей статті. Запропоноване дослідження відповідає сучасним науковим пріоритетам у сфері геоінформатики, картографії та управління природними ресурсами. Використання ДЗЗ у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС) дозволяє створювати актуальні картографічні матеріали, що мають прикладне значення для органів державного управління, місцевих громад, екологічних служб та аграрного сектору. Таким чином, робота поєднує науково-методичний аспект – вдосконалення підходів до картографування земельного

покриву – з практичною спрямованістю, орієнтованою на підвищення ефективності управління земельними ресурсами.

Метою статті є обґрунтування можливостей картографування земельного покриву на основі даних дистанційного зондування Землі як дієвого механізму ефективного управління земельними ресурсами.

Для досягнення мети визначено такі завдання:

- Проаналізувати сучасні підходи до моніторингу земельного покриву та землекористування із застосуванням ДЗЗ.
- Дослідити переваги використання супутникових даних у порівнянні з традиційними методами збору інформації.
- Визначити можливості інтеграції методів ДЗЗ у ГІС-технології для створення тематичних карт.
- Оцінити перспективи практичного використання результатів картографування у сфері управління земельними ресурсами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективне управління земельними ресурсами неможливе без чіткого розуміння структури та стану земельного покриву, оскільки саме він є основним об'єктом спостереження та аналізу у процесі картографування за допомогою дистанційного зондування Землі.

Земельний покрив розглядається як сукупність природних і антропогенних компонентів поверхні Землі, які формують зовнішній шар літосфери та характеризуються просторовою і функціональною неоднорідністю. Під земельним покривом розуміють фактичний стан використання земельних ділянок у певний момент часу, що відображає як природні особливості території, так і результати господарської діяльності людини.

Класифікація земельного покриву здійснюється з метою систематизації інформації та створення уніфікованих картографічних моделей для подальшого аналізу й управління земельними ресурсами. Найбільш поширеним є поділ земельного покриву на такі категорії:

- сільськогосподарські угіддя (рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища);
- лісові землі (лісові масиви, чагарники, інші деревні насадження);
- природні екосистеми (луки, степи, болотні угіддя);
- антропогенно трансформовані території (населені пункти, промислові зони, транспортна інфраструктура);
- водні об'єкти та прибережні зони (ріки, озера, водосховища, прибережні смуги).

Така класифікація дозволяє не лише описати сучасний стан земель, а й здійснювати моніторинг змін у динаміці, що має важливе значення для ефективного управління природними ресурсами.

Картографування земельного покриву є ключовим етапом у процесі моніторингу та управління земельними ресурсами, оскільки дозволяє отримати систематизовану та просторово прив'язану інформацію про стан і динаміку використання територій. Застосування дистанційного зондування Землі забезпечує можливість отримання великого обсягу актуальних даних, які обробляються різними методами залежно від завдань дослідження.

Серед основних методів картографування виділяють (табл. 1):

- Візуальна інтерпретація знімків – передбачає ручний аналіз супутникових або аерофотознімків експертами з метою визначення типів земельного покриву. Метод є простим у застосуванні, проте відзначається суб'єктивністю.

– Класифікація зображень – автоматизований метод, що полягає у розподілі пікселів зображення на класи за спектральними характеристиками. Використовується для створення тематичних карт землекористування.

– Спектральні індекси (наприклад, NDVI, EVI) – розрахункові показники, які дозволяють оцінити стан рослинного покриву, відокремити ділянки різної продуктивності та визначити зони деградації.

– Геоінформаційні системи (ГІС) – забезпечують інтеграцію та аналіз багатопланових просторових даних, що дозволяє поєднувати супутникову інформацію з іншими картографічними та статистичними матеріалами.

– Методи машинного навчання та штучного інтелекту – сучасні алгоритми, які забезпечують високу точність розпізнавання та дозволяють автоматизувати процеси класифікації навіть у великих масивах даних.

Таблиця 1

Характеристика основних методів картографування земної поверхні

Метод картографування	Переваги	Недоліки
Візуальна інтерпретація знімків	Простота застосування; можливість швидкої оцінки території; не потребує складного програмного забезпечення	Суб'єктивність оцінок; залежність від кваліфікації експерта; обмежена масштабність
Класифікація зображень	Автоматизація процесу; висока точність при наявності якісних даних; можливість використання для великих територій	Потреба у попередній обробці даних; складність налаштування алгоритмів; можливі похибки при змішаних пікселях
Спектральні індекси (NDVI, EVI)	Дає змогу оцінити стан рослинності; оперативність розрахунків; можливість моніторингу у часі	Обмежене застосування поза рослинністю; залежність від погодних умов та сезонності
Геоінформаційні системи (ГІС)	Інтеграція різних джерел даних; просторовий аналіз у комплексі з іншими матеріалами; можливість моделювання	Висока вартість ліцензійного ПЗ; потреба у кваліфікованих спеціалістах
Машинне навчання та штучний інтелект	Висока точність розпізнавання; автоматизація класифікації; можливість обробки великих масивів даних	Висока вартість та складність реалізації; потреба у великих навчальних вибірках

Використання зазначених методів у комплексі створює передумови для отримання більш точних та об'єктивних картографічних моделей, що значно підвищує ефективність управління земельними ресурсами.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним із найефективніших інструментів отримання просторової інформації про стан та зміни земельного покриву. Його суть полягає у фіксації та аналізі відбитого або випроміненого землею поверхнею

електромагнітного випромінювання за допомогою спеціальних сенсорів, розміщених на супутниках, літаках чи безпілотних літальних апаратах.

Принцип роботи ДЗЗ ґрунтується на різній здатності об'єктів земної поверхні відбивати або поглинати випромінювання у певних діапазонах спектра. Наприклад, рослинність активно відбиває хвилі у ближньому інфрачервоному діапазоні, водні об'єкти мають високе поглинання у видимому та інфрачервоному спектрі, тоді як міські забудови відзначаються стабільними відбивними характеристиками у широкому діапазоні довжин хвиль.

Застосування ДЗЗ забезпечує отримання оперативної та об'єктивної інформації на різних масштабних рівнях – від глобального до локального. Це створює основу для подальшого картографування земельного покриття та дозволяє ефективно аналізувати просторово-часову динаміку змін у землекористуванні.

Супутникові дані посідають провідне місце серед джерел інформації для картографування земельного покриття, оскільки забезпечують систематичне, багаторівневе та масштабне спостереження за поверхнею Землі. Вони дозволяють відстежувати просторові й часові зміни в землекористуванні, а також створювати високоточні картографічні моделі.

Найбільш поширені супутникові системи (табл. 2):

– Landsat – серія супутників, які з 1972 року забезпечують безперервний глобальний моніторинг із просторовою роздільною здатністю 30 м. Їхні дані є відкритими та активно застосовуються для аналізу динаміки землекористування, моніторингу лісів, водних ресурсів та сільськогосподарських угідь.

– Sentinel-2 (програма Copernicus) – супутники з високою роздільною здатністю (10–20 м) та періодом повторного знімання 5 днів. Використовуються для детального моніторингу стану рослинності, урбанізованих територій і деградованих земель.

Таблиця 2

**Характеристика супутникових систем
для картографування земельного покриття**

Супутник	Просторова роздільна здатність	Період повторного знімання	Основні сфери застосування
Landsat	30 м	16 днів	Моніторинг змін землекористування, лісів, водних ресурсів, сільського господарства
Sentinel-2	10–20 м	5 днів	Оцінка стану рослинності, деградація земель, урбанізація
WorldView	0,3–1 м	1 день	Детальні карти міських територій, інфраструктури, об'єктів охорони довкілля
MODIS (Terra, Aqua)	250–1000 м	1–2 дні	Глобальний моніторинг кліматичних процесів, рослинності, екологічних змін

– WorldView – комерційні супутники з надвисокою роздільною здатністю (до 0,3 м), що забезпечують створення детальних карт міських територій, інфраструктури та природних об'єктів.

– MODIS (на супутниках Terra та Aqua) – інструмент із середньою просторовою роздільною здатністю (250–1000 м), який використовується для глобального моніторингу кліматичних процесів, динаміки рослинного покриття та екологічних змін.

Кожна з цих систем має свої переваги залежно від цілей дослідження: відкритість і тривалі ряди даних (Landsat), висока деталізація та оперативність (Sentinel-2), надвисока точність (WorldView), глобальність і довгострокові часові ряди (MODIS). Використання їх у комплексі дозволяє формувати багаторівневу інформаційну базу для ефективного управління земельними ресурсами.

Ефективне картографування земельного покриття на основі даних дистанційного зондування Землі значною мірою залежить від використання сучасних технологій обробки супутникових знімків. Вони дозволяють не лише отримати візуальне зображення території, але й витягти кількісну інформацію про стан та зміни землекористування.

Класифікація зображень є одним із ключових інструментів для створення тематичних карт. Вона передбачає розподіл пікселів супутникового зображення на класи відповідно до їхніх спектральних характеристик. Розрізняють керовану класифікацію, коли алгоритм навчається на зразках, що відповідають відомим типам покриття (ліси, сільськогосподарські угіддя, водойми, міські території), та некеровану класифікацію, яка базується на автоматичному групуванні даних без попередньої інформації. Використання алгоритмів машинного навчання (Random Forest, Support Vector Machines, нейронні мережі) значно підвищує точність класифікації.

Індекси рослинності є важливим аналітичним інструментом для оцінки стану екосистем (рис. 1). Найбільш поширеним є NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), що дозволяє виявити ступінь розвитку рослинності та її продуктивність. Поряд із ним застосовують інші індекси, наприклад, EVI (Enhanced Vegetation Index) для підвищення чутливості в густо вкритих рослинністю регіонах, або SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), який враховує вплив ґрунтового фону. Такі показники дозволяють оперативно оцінювати стан сільськогосподарських угідь, виявляти зони деградації чи посухи.

Аналіз змін базується на порівнянні супутникових зображень за різні часові періоди. Це дає змогу відстежувати динаміку землекористування, визначати масштаби вирубок лісів, розширення міських територій чи трансформацію агроландшафтів. Методи аналізу змін поділяються на піксельні (порівняння значень спектральних відбиттів у часовому ряді) та об'єктно-орієнтовані (аналіз змін цілісних об'єктів, виділених на зображеннях).



Рис. 1. Етапів картографування земельного покриття на основі ДЗЗ

Використання комплексного підходу – поєднання класифікації, розрахунку індексів рослинності та аналізу змін – дозволяє створювати високоточні карти земельного покриття та отримувати інформацію, необхідну для прийняття управлінських рішень у сфері землекористування та охорони довкілля.

Ефективне використання результатів дистанційного зондування Землі можливе лише за умови їх інтеграції у геоінформаційні системи (ГІС). Саме поєднання супутникових даних із просторовими базами дозволяє здійснювати глибокий аналіз, моделювання та візуалізацію процесів, що відбуваються у земельному покритті.

1. Геоприв'язка та калібрування. Перед завантаженням у ГІС дані ДЗЗ проходять геометричну та радіометричну корекцію. Геоприв'язка забезпечує точне співвіднесення знімків із координатною системою, що дозволяє інтегрувати їх із іншими картографічними шарами (топографічними картами, кадастровими планами, даними моніторингу).

2. Формування баз даних. Оброблені супутникові знімки перетворюються на інформаційні шари, які зберігаються у вигляді просторових баз даних. Це дозволяє створювати багаторівневі моделі території, що містять відомості про землекористування, ґрунтовий покрив, рослинність, водні об'єкти та інші компоненти довкілля.

3. Просторовий аналіз. Інтеграція ДЗЗ у ГІС відкриває широкі можливості для застосування інструментів просторового аналізу: накладання шарів, буферизації, зонування, аналізу щільності чи мережевих моделей. Це дозволяє оцінювати вплив антропогенних факторів, прогнозувати зміни земельного покриття та формувати сценарії розвитку території.

4. Візуалізація та картографування. ГІС-технології дають змогу представити результати у вигляді інтерактивних карт і 3D-моделей. Завдяки цьому користувачі отримують зручний інструмент для прийняття рішень у сфері планування, землекористування та охорони природних ресурсів.

Таким чином, інтеграція даних дистанційного зондування у ГІС забезпечує не лише накопичення та систематизацію інформації, а й створення гнучкого аналітичного інструменту, що поєднує наукові дослідження з практичними завданнями управління земельними ресурсами.

Картографування земельного покриття на основі даних дистанційного зондування Землі має вагоме прикладне значення для різних галузей господарства та екологічного управління. Воно дозволяє не лише виявляти просторові та часові зміни, а й приймати обґрунтовані управлінські рішення (табл. 2).

1. Моніторинг сільськогосподарських угідь. Завдяки супутниковим знімкам і розрахунку індексів рослинності (NDVI, EVI, SAVI) можна здійснювати оперативний контроль за станом посівів, визначати площі, що перебувають у стресовому стані через посуху або хвороби, а також прогнозувати врожайність. Це забезпечує оптимізацію агротехнічних заходів та раціональне використання ресурсів.

2. Оцінка стану лісових масивів та деградації земель. Картографування дозволяє виявляти незаконні вирубки, оцінювати масштаби поширення шкідників та наслідки лісових пожеж. Одночасно супутниковий моніторинг дає змогу відслідковувати процеси деградації ґрунтів, зокрема ерозію, засолення чи опустелювання. Це має критичне значення для збереження біорізноманіття та екологічної рівноваги.

Таблиця 2

**Прикладні напрями картографування земельного покриття
за даними дистанційного зондування Землі**

Напрямок застосування	Можливості картографування	Практичне значення
Моніторинг сільськогосподарських угідь	Використання супутникових знімків та індексів рослинності (NDVI, EVI, SAVI) для контролю стану посівів, виявлення стресових ділянок, прогнозування врожайності	Оптимізація агротехнічних заходів, раціональне використання ресурсів
Оцінка стану лісів та деградації земель	Виявлення незаконних вирубок, моніторинг поширення шкідників, наслідків пожеж, процесів деградації ґрунтів (ерозія, засолення, опустелювання)	Збереження біорізноманіття, підтримка екологічної рівноваги
Контроль урбанізації та змін у землекористуванні	Аналіз розширення міських територій, структури забудови, розвитку транспортної інфраструктури	Підтримка регіонального планування, оцінка впливу урбанізації на довкілля
Запобігання екологічним кризам і планування територій	Оперативне виявлення деградації екосистем, підтоплення, знищення ландшафтів	Прийняття рішень для збереження природних ресурсів, запобігання кризам, сталий розвиток територій

1. Контроль урбанізації та змін у землекористуванні. Завдяки регулярним супутниковим знімкам можна простежувати розширення міських територій, зміну структури забудови, зростання транспортної інфраструктури. Це особливо важливо для регіонального планування, оскільки дозволяє оцінювати вплив урбанізації на довкілля та баланс між забудованими й природними територіями.

2. Запобігання екологічним кризам та планування територій. Оперативний моніторинг земельного покриття дає можливість завчасно виявляти негативні тенденції – деградацію екосистем, підтоплення, знищення природних ландшафтів. Використання цих даних у системі просторового планування допомагає приймати ефективні рішення, спрямовані на запобігання екологічним кризам, збереження природних ресурсів та раціональне управління територіями.

Таким чином, практичне значення картографування земельного покриття полягає у створенні надійної інформаційної основи для прийняття стратегічних і тактичних рішень у сфері землекористування, охорони довкілля та сталого розвитку територій.

Застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у процесі картографування земельного покриття має як беззаперечні переваги, так і певні виклики, які необхідно враховувати під час практичного використання цієї технології (табл. 3). Насамперед варто відзначити оперативність отримання інформації: супутникові системи забезпечують регулярний доступ до актуальних даних, що дозволяє відстежувати динамічні процеси у землекористуванні, розвиток

сільськогосподарських культур чи поширення природних катастроф. Не менш важливою перевагою є масштабність спостережень, адже супутникові знімки охоплюють значні території, надаючи можливість здійснювати комплексний аналіз як локальних, так і регіональних або навіть глобальних змін. Додатковим фактором є об'єктивність даних: інформація, отримана дистанційним способом, мінімізує вплив суб'єктивних чинників і забезпечує формування надійної доказової бази для прийняття управлінських рішень.

Водночас широке впровадження технологій ДЗЗ стикається з низкою обмежень. Одним із них є висока вартість знімків надвисокої роздільної здатності, які часто потрібні для детальних досліджень. Попри наявність відкритих супутникових платформ, придбання більш точних даних може бути фінансово обтяжливим для невеликих організацій чи місцевих структур. Другою проблемою виступає потреба у спеціалізованому програмному забезпеченні та висококваліфікованих кадрах, здатних працювати з великими масивами даних, застосовувати складні алгоритми обробки й інтегрувати результати у системи управління. Крім того, значний вплив мають погодні умови: оптичні супутникові сенсори не можуть забезпечити якісні результати під час хмарності, туманів чи задимленості. Частково ці труднощі вирішуються за допомогою радарних технологій, однак їхня обробка вимагає додаткових ресурсів і знань.

Таблиця 3

Переваги та виклики застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у процесі картографування земельного покриття

Переваги		Виклики	
Оперативність	Регулярне отримання актуальних даних для моніторингу процесів.	Вартість високоточних даних	Обмеження доступу до знімків надвисокої роздільної здатності.
Масштабність	Охоплення великих територій і можливість аналізу локальних, регіональних та глобальних змін.	Складність обробки та інтерпретації даних	Потреба у спеціалізованому програмному забезпеченні та кваліфікованих фахівцях.
Об'єктивність даних	Незалежність від суб'єктивних чинників, формування надійної бази для прийняття рішень.	Залежність від погодних умов	обмеження оптичних систем у випадку хмарності, туманів чи диму.

Сучасний розвиток дистанційного зондування Землі відкриває нові можливості для картографування земельного покриття та управління земельними ресурсами. Одним із найперспективніших напрямів є застосування штучного інтелекту та методів машинного навчання для автоматичної класифікації об'єктів на супутникових знімках. Використання інтелектуальних алгоритмів дозволяє значно скоротити час обробки даних, підвищити точність результатів і забезпечити оперативне виявлення змін у структурі землекористування. Це особливо важливо для моніторингу великих територій, де традиційні методи аналізу є надто трудомісткими.

Іншим важливим напрямом є інтеграція супутникових спостережень із даними, отриманими за допомогою безпілотних літальних апаратів. Дрони здатні забезпечити високодетальну інформацію на локальному рівні, яка, у поєднанні з широкомасштабними супутниковими знімками, створює багаторівневу систему моніторингу. Такий підхід дозволяє одночасно охоплювати як глобальні процеси, так і локальні особливості стану земельного покриття.

Не менш значущою тенденцією є формування відкритих національних і глобальних баз даних на основі матеріалів дистанційного зондування. Вільний доступ до таких ресурсів сприяє демократизації геопросторової інформації, підвищує прозорість у сфері землекористування та забезпечує широке залучення науковців, органів влади й громадськості до процесів планування та моніторингу. У перспективі це створює потужну інформаційну основу для прийняття ефективних рішень, спрямованих на раціональне використання земельних ресурсів і досягнення цілей сталого розвитку.

Висновки. Картографування земельного покриття на основі даних дистанційного зондування Землі є одним із ключових інструментів сучасного управління земельними ресурсами. Використання супутникової інформації у поєднанні з геоінформаційними системами забезпечує оперативність, масштабність та об'єктивність аналізу, що дозволяє своєчасно виявляти просторово-часові зміни та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Застосування технологій ДЗЗ відкриває широкі можливості для моніторингу сільськогосподарських угідь, оцінки стану лісових екосистем, контролю урбанізаційних процесів і запобігання екологічним кризам.

Попри наявні виклики, пов'язані з вартістю високоточних знімків, складністю їх обробки та залежністю від погодних умов, дистанційне зондування зарекомендувало себе як надійний механізм у сфері землеустрою та екологічного управління. Подальший розвиток технологій, зокрема використання штучного інтелекту, інтеграція супутникових і дронівих даних, а також формування відкритих баз просторової інформації, створюють перспективи для підвищення ефективності землекористування в Україні та світі.

Таким чином, дистанційне зондування Землі стає не лише інструментом моніторингу, а й стратегічною основою для сталого розвитку територій, сприяючи збереженню природних ресурсів, екологічній рівновазі та зміцненню національної продовольчої й екологічної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Wang, Y., et al. A review of regional and global scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2023.
 2. Xu, Q., et al. High-Resolution Global Land Cover Maps and Their Applications. *MDPI Remote Sensing*, 2025.
 3. Giri, C. Remote sensing of land use and land cover: principles and applications. *CRC Press*, 2021.
 4. Zhang, X., et al. Review of Land Use/Land Cover Mapping AI Methodology and Application. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2024.
 5. Wu, H., et al. A review of crowdsourced geographic information for land-use and land-cover mapping. *International Journal of Digital Earth*, 2024.
 6. Belgiu, M., Csillik, O. Sentinel-2 cropland mapping using time-series analysis. *Remote Sensing of Environment*, 2018.
-

7. Anderson, K., Ryan, B. Remote sensing in conflict zones: challenges and opportunities. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2022.
8. Shomko O., Davydova I. Assessment of forest vegetation potential of reclaimed areas after ilmenite mining using the remote earth sensing method. *Scientific journal «Environmental Problems»*. 2024.
9. Пархоменко, О. В., Сидоренко, Л. А. Практичні аспекти застосування ДЗЗ для моніторингу деградованих земель. *Вісник Житомирської політехніки. Серія: Екологія та землевпорядкування*, 2022.
10. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Shomko O., Gandziura V., Khamdosh I. Analytical assessment of heavy metals polyelement distribution in urbanized hydroecosystem components: spatial differentiation and migration patterns. *Journal Environmental Problems*. 2025.

Дата першого надходження рукопису до видання: 25.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 30.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025
