

УДК 004.93

СУПУТНИКИ, СУПУТНИКОВІ ЗНІМКИ ТА СПЕКТРАЛЬНІ ДІАПАЗОНИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Д. О. Глинський, А. І. Опанасенко, Б. М. Сачковський,
здобувачі вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 2 курс,
спеціальність «Комп'ютерні науки», навчально-науковий інститут кібернетики,
інформаційних технологій та інженерії
Науковий керівник – к.т.н., доцент О. Р. Мічута

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті досліджено широкі можливості застосування супутникових знімків і технологій дистанційного зондування Землі у різних галузях, зокрема в аграрному секторі, екологічному моніторингу, геології, гірничодобувній промисловості. Розглянуто відмінності між активними та пасивними методами ДЗЗ, типи сенсорів, спектральні діапазони, які вони використовують, а також інструменти спектроскопії, що забезпечують високоточний аналіз поверхні планети. Особливу увагу приділено гіперспектральному зондуванню та можливості ідентифікації мінералів за їх спектральною сигнатурою. У роботі підкреслюється значення дистанційного зондування у створенні цифрових моделей поверхні Землі та його внесок у сучасні наукові дослідження, охорону довкілля й сталий розвиток.

Ключові слова: супутникова зйомка, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), мікрохвильові методи, спектроскопія, дистанційний моніторинг, датчик електромагнітні хвилі, кліматологія, супутникова дистанційна телеметрія.

The article explores the wide-ranging applications of satellite imagery and Earth remote sensing technologies across various sectors, particularly in agriculture, environmental monitoring, geology, and the mining industry. It examines the differences between active and passive remote sensing methods, types of sensors, spectral ranges they utilize, and spectroscopic tools that enable high-precision analysis of the planet's surface. Special attention is given to hyperspectral sensing and the ability to identify minerals based on their spectral signature. The paper emphasizes the importance of remote sensing in the creation of digital models of the Earth's surface and its contribution to modern scientific research, environmental protection, and sustainable development.

Keywords: satellite imaging, Earth remote sensing (ERS), microwave methods, spectroscopy, remote monitoring, electromagnetic wave sensor, climatology, satellite remote telemetry.

Електромагнітні хвилі, що випромінюються та відбиваються від Землі, містять різноманітну інформацію, яка вказує на стан Землі в кожен момент. Оскільки інформація різниться залежно від довжини електромагнітних хвиль, важливо багаторазово аналізувати стан Землі за допомогою датчиків, які можуть фіксувати різні довжини хвиль. Наприклад, рослинність на суші має сильне відбиття від червоного видимого світла до майже інфрачервоного діапазону, тому можна спостерігати за рослинністю за допомогою місії спостереження за глобальними змінами клімату «SHIKISAI» (GCOM-C) і передового супутника наземного спостереження «DAICHI» (ALOS), які спостерігають у цьому діапазоні довжин хвиль.

Метою статті є дослідження потенціалу використання супутникових знімків і технологій дистанційного зондування Землі в різних сферах діяльності, а також аналіз технічних особливостей методів ДЗЗ, зокрема активних і пасивних сенсорів, спектральних діапазонів та гіперспектрального зондування, з метою оцінки їхньої ефективності у наукових дослідженнях, охороні довкілля та сталому розвитку.

Супутники спостереження за Землею – це орбітальні космічні апарати з датчиками, які використовуються для збору зображень і вимірювань поверхні Землі. Ці супутники є основним джерелом інформації за короткостроковою погодою, довгостроковими змінами клімату, стихійними лихами. Супутники для спостереження Землі надають інформацію для дослідницьких суб'єктів, яким корисно дивитися на поверхню Землі з висоти (наприклад, метеорологія, океанографія, екологія суші, гляціологія, атмосферні науки, гідрологія, геологія та багато іншого). Датчики на супутниках спостереження Землі часто вимірюють випромінювану енергію в певній частині електромагнітного спектру (наприклад, ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне, мікрохвильове або радіо).

Є два основні типи датчиків:

- **Активний датчик:** сам датчик випромінює електромагнітні хвилі та спостерігає за компонентами, відбитими від частинок, таких як краплі дощу в атмосфері та поверхні землі.

- **Пасивний датчик:** сам датчик не випромінює електромагнітні хвилі, але спостерігає слабкі електромагнітні хвилі, що випромінюються та розсіюються Землею.

Пасивний датчик приймає сигнали, які природним чином випромінюються від поверхні Землі, тому зона спостереження є відносно широкою. З іншого боку, активний датчик має обмежену ширину спостереження, але він може отримувати тривимірну інформацію, включаючи напрямки висоти, оскільки можна визначити відстань між датчиком і об'єктом за часом, який потрібен електромагнітним хвилям, які випромінює датчик, щоб відобразитися об'єктом [1].

Існує також класифікація технологій дистанційного зондування за типом енергії, яку вони використовують. Деякі технології покладаються на видиме світло, тоді як інші технології розширюють діапазон довжин хвиль, що більш наближені до ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання.

- **Оптичне зондування:** при вимірюванні відбитого сонячного світла в цій довжині хвиль вони називаються пасивними оптичними технологіями зондування, оскільки прилади використовують класичну оптику у своїй конструкції. Форма активного оптичного зондування називається лідаром, виявленням світла та діапазоном.

- **Теплове зондування** схоже на пасивне оптичне зондування, за винятком того, що енергія, виміряна датчиком, знаходиться в «тепловій області» спектра довжин хвиль.

- **Мікрохвильові зондування:** переходячи до видів випромінювання, які ми не можемо ні бачити, ні відчувати себе, мікрохвильове зондування є важливою частиною дистанційного зондування.

- **Гравіметричне зондування:** інший вид приладу, який був поставлений на супутники з великим успіхом, вимірював гравітаційне поле Землі і те, як воно змінюється просторово.

- **Акустичне зондування** принципово відрізняється від раніше перерахованих технологій тим, що в ньому використовуються акустичні хвилі (тобто хвилі, що утворюються в результаті стиснення і розширення водних мас).

- **Наземні датчики:** всі технології дистанційного зондування спочатку розробляються і випробовуються в лабораторіях на суші, де проводиться фундаментальна наука, виробляються і тестуються прототипи, аналізуються вихідні дані, а технологія дозріває.

- **Космічні датчики** знаходяться на супутнику, надають можливість збирати дані безперервно протягом багатьох років без необхідності приземлятися, заправляти, подавати плани польотів тощо [2].

Супутникова зйомка дозволяє отримувати зображення Землі або інших планет, дані якої використовуються для військових і цивільних спостережень, навігації, прогнозування погоди, наукових досліджень тощо [5]. Нині в космос відправлено більше 3000 супутників, причому понад 2500 з них походять з Росії та США. Ці супутники підтримують різні висоти, нахили, ексцентриситети, синхронізації та орбітальні центри, дозволяючи їм зображувати найрізноманітніші поверхневі особливості та процеси [6]. Один із методів отримання знімків – **дистанційне зондування Землі (ДЗЗ)**, що дозволяє визначати типи земного покриття, відстежувати зміни ландшафту, оцінювати стан посівів, моніторити екологічні процеси [5].

ДЗЗ поділяється на **активне** та **пасивне**. Активне ДЗЗ використовує власні джерела випромінювання, наприклад, радар. Характерною рисою його є антена, що випромінює імпульси, лідар, що визначає відстань за допомогою світла, лазерний альтиметр (висотомір), що вимірює висоту за допомогою лідара. Це дозволяє отримувати дані незалежно від часу доби чи погодних умов. Датчики пристроїв цього методу спрямовують сигнал, а потім аналізують його інтенсивність. Надалі ці дані застосовуються в картографії, рятувальних операціях, метеорології та сільському господарстві. Саме завдяки йому в межах топографічної місії шатла Shuttle Radar Topography Mission було зібрано дані про рельєф Землі (рис. 1).



Рис. 1. Принцип активно ДЗЗ

Дистанційне зондування з космосу за допомогою лідара використовувалось у розробці цифрових моделей поверхні нашої планети. Також вони мають вирішальне значення у моніторингу важкодоступних місць під час пошуково-рятувальних операцій. Ехолоти використовуються у розробці прогнозів погоди, тому що можуть вертикально досліджувати шари атмосфери та надавати дані про

вологість, опади, температуру та відсутність або наявність хмарного покриття.

Пасивне ДЗЗ, навпаки, залежить від природного випромінювання і використовує спектрометри та радіометри для аналізу різних спектральних діапазонів. Через це даний вид дистанційного зондування Землі можливий лише за достатньої кількості сонячного світла (рис. 2). У пасивних методах використовують мультиспектральні або гіперспектральні датчики. Вони вимірюють інтенсивність сигналу за допомогою комбінацій каналів, які різняться за їхньою кількістю (смуги двох або більше видів довжини). Діапазон каналів включає спектри в межах та за межами людського зору (видимий, ближній та тепловий інфрачервоний, а також мікрохвилі).

Гіперспектральний радіометр відноситься до найточніших приладів даного виду дистанційного зондування Землі. Завдяки високій роздільній здатності, він здатний розрізняти сотні дуже вузьких діапазонів спектра в межах видимого, а також ближнього та середнього інфрачервоного випромінювання. Також приладами пасивного ДЗЗ є спектрометр, який розрізняє та аналізує спектрові діапазони, радіометр, що визначає інтенсивність випромінювання, яка походить від об'єкта, у певних діапазонах спектра (видимий, інфрачервоний, мікрохвильовий), спектрорадіометр, який вимірює силу випромінювання у кількох діапазонах спектра та акселерометр, що виявляє зміни швидкості

за одиницю часу (наприклад лінійні або ротаційні). Такі методи широко застосовуються в метеорології, екології та моніторингу земних ресурсів.



Рис. 2. Принцип пасивного ДЗЗ

Програма Landsat – один із найзначніших та яскравих прикладів пасивного дистанційного зондування Землі. Понад 40 років супутники Landsat збирають та фіксують дані про планету, які знаходяться у відкритому доступі. Це дозволяє знаходити інформацію за весь період та використовувати її у різноманітних галузях: геології, картографії, екології, лісовому та сільському господарстві, океанології, метеорології тощо.

Застосування даного виду дистанційного зондування Землі у сільському господарстві засноване на відбивних здібностях рослин. Вимірювання інтенсивності відображення дозволяє оцінити здоров'я культур за допомогою вегетаційних індексів. Їхні значення відповідають стану певних рослин на конкретній стадії розвитку. Платформа EOSDA Crop Monitoring допомагає фермерам у всьому світі виконувати повсякденні завдання, а також своєчасно інформує про зміни стану полів. Це дозволяє зберегти та підвищити врожайність [5].

Окремо варто виділити **мікрохвильові методи ДЗЗ**, які можуть бути як пасивними, так і активними. Пасивні мікрохвильові методи аналізують природне випромінювання земних поверхонь, допомагаючи визначати вологість ґрунту або змінювати кліматичні параметри. Активні мікрохвильові методи надсилають сигнал і аналізують його відбиття, що дає змогу отримувати точні дані про рельєф, льодовики, океанічні течії та погодні явища.

Якість супутникових знімків визначається кількома параметрами: просторовою роздільною здатністю (детальність зображення), спектральною (кількість та ширина спектральних діапазонів), тимчасовою (частота оновлення знімків) і радіометричною (чутливість сенсорів до яскравості).

Переваги дистанційного зондування Землі:

- Глобальне покриття – можливість отримувати дані з будь-якої точки Землі.
- Висока точність – сучасні супутникові системи забезпечують детальні знімки поверхні.
- Оперативність – супутники можуть швидко передавати дані, що важливо для моніторингу стихійних лих, військових конфліктів, зміни клімату.
- Моніторинг важкодоступних територій – ДЗЗ дозволяє досліджувати місцевості, куди складно дістатися наземними засобами.
- Безконтактний метод – не потребує фізичної присутності дослідників у небезпечних або важкодоступних місцях.

Недоліки дистанційного зондування Землі:

- Висока вартість – запуск і обслуговування супутників потребує значних фінансових ресурсів.

- Обмеження погодними умовами – пасивні методи ДЗЗ неефективні при хмарності, тумані або опадах.

- Обмежена роздільна здатність – не всі супутникові знімки мають високу деталізацію, особливо ті, що надаються у відкритому доступі.

- Залежність від орбіти супутника – певні території можуть оновлюватися з різною періодичністю, що впливає на актуальність даних.

- Необхідність обробки даних – отримані знімки потребують спеціального аналізу та інтерпретації, що вимагає залучення фахівців і відповідного програмного забезпечення.

Крім супутникових знімків, широко використовується **аерофотозйомка** – отримання зображень із літаків, дронів, повітряних куль. Вона дозволяє створювати детальні карти місцевості та застосовується в міському плануванні, екологічному моніторингу, сільському господарстві та рятувальних операціях [6].

Окремо хотілося б розглянути застосування ДЗЗ у гірничодобувній промисловості [3]. Дистанційне спостереження за гірничодобувними об'єктами є важливою складовою проєктів з розвідки родовищ корисних копалин. Спектр їх застосування досить широкий. Вони надають геологам і польовим бригадам інформацію про наявність автомобільних і ґрунтових доріг, огорож тощо. Іншими словами, супутникові знімки є основою для створення карт ґрунтово-рослинного покриття. Це необхідно для складання карт потенційних під'їзних шляхів до розвіданих ділянок і оцінки можливих екологічних наслідків великих проєктів.

Супутниковий дистанційний моніторинг спрощує і прискорює геологічну розвідку у важкодоступних регіонах. Наприклад, Європа майже вичерпала запаси високоякісної руди, тому фахівці змушені шукати нові родовища у віддалених районах. Супутникові карти також корисні для виявлення місць відслонення та вивітрювання гірських порід, а також моніторингу рослинності в розвідувальних районах.

Моніторинг кар'єрів (розташованих на поверхні Землі) під час видобутку корисних копалин – ще одне можливе застосування супутникових даних. Метою такого моніторингу є забезпечення безпеки працівників шляхом своєчасного виявлення потенційних проблем та інформування керівництва шахти для вжиття заходів щодо запобігання нещасним випадкам.

Мультиспектральні супутникові знімки використовують для рекультивації гірничих районів (відновлення земель після видобутку корисних копалин до стану, близького до первісного), оскільки вони дають змогу відстежувати стан рослинності і так званий кислотний дренаж (відтік кислих вод із залізорудних та вугільних шахт).

Супутникові знімки допомагають у картуванні родовищ корисних копалин [3]. Завдяки своєму хімічному складу кожен вид корисних копалин відбиває, пропускає та розсіює сонячну радіацію характерним для нього чином, що визначається спектральною сигнатурою. Спектральну сигнатуру мінералу можна визначити з космосу, вимірявши дрібні коливання довжини електромагнітних хвиль за допомогою супутникових сенсорів. Ці апарати дають змогу робити знімки окремих територій з космосу та інтерпретувати зображення, отримані в частинах спектра за межами видимого діапазону. Наприклад, дані в інфрачервоному і короткохвильовому діапазоні використовують для виявлення структурних особливостей земної поверхні.

Завдяки спектральним знімкам і тематичному картографуванню дослідники отримують інформацію про відбиваючі та поглинальні властивості ґрунтів, склад гірських порід і рослинності. Такі дані дають змогу виявити поклади глини та оксидів і визначити типи ґрунтів на супутникових знімках. Спектральний аналіз активно використовується в мінералогії. Враховуючи, що кожен мінерал має унікальний спектр, який залежить від його хімічного складу, кристалічної структури та домішок, спектральні методи застосовують для [4]:

- ідентифікації мінералів у геологічних дослідженнях, що дозволяє визначати породоутворюючі компоненти та мінерали, які містять корисні копалини;
- контролю якості дорогоцінного каміння та синтетичних аналогів, що важливо для ювелірної промисловості;
- дослідження змін у структурі мінералів під впливом температури та тиску, що має значення для петрографії та вулканології;
- виявлення домішок, що можуть впливати на властивості матеріалу, наприклад, у металургії та виробництві високотехнологічних керамічних матеріалів;
- використання в астрономії та планетології для аналізу складу мінералів на інших небесних тілах.

Таким чином, дистанційне зондування Землі є надзвичайно ефективним інструментом для отримання високоточної інформації про стан природних ресурсів, земної поверхні та атмосфери. Його можливості значно розширюються завдяки поєднанню спектроскопічних методів, активних та пасивних сенсорів і багатоспектральних знімків. Успішне застосування дистанційного зондування Землі у таких сферах, як сільське господарство, метеорологія, геологія, рятувальні операції та гірничодобувна промисловість, свідчить про його універсальність та потенціал у вирішенні складних прикладних і наукових задач. Надалі розвиток технологій дистанційного зондування Землі сприятиме підвищенню точності аналізу, розширенню сфер застосування і зростанню доступності супутникових даних для дослідників та практиків.

1. Супутники Землі. URL: <https://www.satnavi.jaxa.jp/en/satellite-knowledge/whats-eosatellite/observation/index.html>. (дата звернення: 14.03.2025).
2. Що таке дистанційне зондування? URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8E/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F_\(%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0\)/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_\(Knudby\)/01%3A_%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%96%D0%BB%D0%B8/1.01%3A_%D0%92%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF](https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8E/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F_(%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0)/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_(Knudby)/01%3A_%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%96%D0%BB%D0%B8/1.01%3A_%D0%92%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF) (дата звернення: 14.03.2025).
3. Застосування ДЗЗ у гірничодобувній промисловості. URL: <https://eos.com/uk/blog/zastosuvannia-dzz-u-hirnychodobuvnii-promyslovosti/> (дата звернення: 14.03.2025).
4. Спектроскопія. URL: <https://www.britannica.com/science/spectroscopy> (дата звернення: 14.03.2025).
5. Види дистанційного зондування Землі та їх застосування. URL: <https://eos.com/uk/blog/vydy-dystantsiinoho-zonduvannia/> (дата звернення: 14.03.2025).
6. Супутникові знімки та аерофотозйомка. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8E/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F_\(%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0\)/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%3A_%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8_%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC_\(Campbell_%D1%96_Shin\)/04%3A_%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%96_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%93%D0%86%D0%A1/4.03%3A_%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%B7%D0%BD%D1%96%D0%BC%D0%BA%D0%B8_%D1%82%D0%B0_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B9%D0%BE%D0%BC%D0%BA%D0%B0](https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8E/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F_(%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0)/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%3A_%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8_%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC_(Campbell_%D1%96_Shin)/04%3A_%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%96_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%93%D0%86%D0%A1/4.03%3A_%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%B7%D0%BD%D1%96%D0%BC%D0%BA%D0%B8_%D1%82%D0%B0_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B9%D0%BE%D0%BC%D0%BA%D0%B0) (дата звернення: 14.03.2025).