

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**  
**Географічний факультет**  
**Кафедра геодезії та картографії**

На правах рукопису УДК: 528.8

**ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ  
ЗЕМЕЛЬ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»  
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»  
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота бакалавра  
студента 4 курсу  
освітнього рівня бакалавр  
Щербини Олександра Володимировича

Науковий керівник:  
Яценко Ольга Юріївна  
Асистент

Допущено до захисту:  
Протокол засідання кафедри No \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року  
Завідувач кафедри проф. Даценко Л.М.

**КИЇВ – 2024**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ .....	8
1.1. Загальні положення та історичний огляд моніторингу земель .....	8
1.1.1. Теоретичні аспекти моніторингу земель .....	12
1.1.2. Основні терміни та визначення .....	13
1.2. Дистанційне зондування в геоінформаційних дослідженнях .....	17
1.3. Огляд сучасних методів моніторингу земель .....	21
1.4. Роль супутникових знімків у геопросторовому аналізі .....	24
1.5. Технології обробки та аналізу супутникових знімків .....	25
Висновки до розділу 1 .....	26
РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ EOSDA.....	31
2.1. Технології та методи, використовувані EOSDA.....	31
2.1.1. Конкретні приклади використання EOSDA для аналізу змін в земельному покритті.....	32
2.1.2. Переваги та обмеження використання EOSDA в контексті моніторингу земель.....	35
2.2. Практичне застосування EOSDA в моніторингу земель .....	38
2.3. EOSDA та геодезія: зв'язок з технічними аспектами геопросторового аналізу.....	40
2.3.1. Пояснення використання геодезичних методів у процесі збору та обробки супутникових даних для моніторингу земель .....	46
Висновки до розділу 2 .....	51

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ТИПОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ.....	52
3.1. Вибір області дослідження, де буде здійснюватися моніторинг земель .....	52
3.2. Підбір інструментів для отримання та обробки супутникових знімків.....	55
3.3. Опис процесу аналізу та інтерпретації отриманих даних.....	60
Висновки до розділу 3 .....	68
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ.....	79

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 80 с., 3 рис., 1 табл., 1 додаток, 51 джерело.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу земель, який включає в себе вивчення стану та змін у земельному покриві на певних територіях.

Мета роботи – вивчення можливостей та ефективності використання супутникових знімків для моніторингу земельних ресурсів.

Методи досліджень – метод аналізу літературних джерел, метод систематизація та узагальнення інформації, метод критичного аналізу, метод синтезу та порівняння.

У роботі досліджено використання супутникових знімків для моніторингу земель, зокрема їх аналізу та впливу на геопросторовий аналіз. Теоретичні аспекти охоплюють історію та загальні положення моніторингу земель, основні терміни та визначення, а також методи дистанційного зондування, які стали ключовими для отримання даних про земельні ресурси. На прикладі компанії EOSDA розглядаються технології та методи, використовувані для аналізу змін в земельному покритті, їх переваги та обмеження, а також практичне застосування для різних галузей, включаючи сільське господарство, лісове господарство та міське планування. Методика досліджень включає вибір зразкової області дослідження, підбір інструментів для отримання та обробки супутникових знімків, а також аналіз та інтерпретацію отриманих даних. Ці дані дозволяють здійснювати точний моніторинг земельних ресурсів, виявляти зміни в їх використанні та розвитку, а також вплив людської діяльності на довкілля. У цілому, супутникові зображення та їх аналіз грають ключову роль у землеустрої, допомагаючи здійснювати точний моніторинг земельних ресурсів та приймати обґрунтовані рішення у сфері управління ними. Ця методика дозволяє отримувати важливі дані для різноманітних наукових та практичних досліджень, спрямованих на ефективне управління та збереження земельних ресурсів.

МОНІТОРИНГ, СУПУТНИКОВІ ЗНІМКИ, ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ.

## ВСТУП

У сучасному світі, де зростає тиск на земельні ресурси через зростання населення, зміни клімату та швидкий розвиток міст, використання супутникових знімків стає ключовим інструментом для моніторингу та управління земельними ресурсами. Супутникові дані надають можливість отримувати об'єктивну, точну та швидку інформацію про зміни в земельному використанні, що є критичним для розробки стратегій земельного управління, екологічної охорони та сталого розвитку.

Застосування супутникових знімків для моніторингу земель дозволяє вчасно виявляти зміни у земельному покриві, визначати обсяги використання ресурсів, а також оцінювати вплив людської діяльності на навколишнє середовище. Це дає змогу ухвалювати обґрунтовані рішення щодо розвитку сільського та міського господарства, лісового господарства, а також забезпечувати ефективне використання та охорону земельних ресурсів.

У цьому контексті, використання супутникових знімків для моніторингу земель стає невід'ємною частиною стратегічного планування та управління земельними ресурсами. Відповідно, дослідження в цій області має велике значення для розвитку стійкого земельного управління, збереження природних ресурсів та забезпечення екологічної стійкості.

**Мета дослідження** – вивчення можливостей та ефективності використання супутникових знімків для моніторингу земельних ресурсів.

**Завдання дослідження включають:**

1. Проведення теоретичного аналізу загальних положень та історичного огляду моніторингу земель, включаючи розгляд теоретичних аспектів, основних термінів та визначень.
2. Вивчення дистанційного зондування в геоінформаційних дослідженнях та огляд сучасних методів моніторингу земель.
3. Розгляд ролі супутникових знімків у геопросторовому аналізі та технологій їх обробки та аналізу.

4. Аналіз використання супутникових зображень для моніторингу земель на прикладі компанії EOS Data Analytics (EOSDA)
5. Визначення методики проведення типових досліджень з використанням супутникових знімків для моніторингу земель, включаючи вибір області дослідження, підбір інструментів для отримання та обробки зображень, а також процес аналізу та інтерпретації отриманих даних.

**Об'єктом дослідження** є процес моніторингу земель, який включає в себе вивчення стану та змін у земельному покриві на певних територіях.

**Предметом дослідження** є використання супутникових знімків у процесі моніторингу земель, зокрема, методи, технології та інструменти, які використовуються для отримання, обробки та аналізу цих зображень з метою оцінки стану та динаміки земельного покриву.

**Методологічна основа.** Під час дослідження було використано метод аналізу літературних джерел, метод систематизація та узагальнення інформації, метод критичного аналізу, метод синтезу та порівняння. Дослідження спирається на провідні джерела, що включають "Моніторинг і охорона земель" В. Аніщенка та В. Борового, "Основи моніторингу та прогнозування використання земель" Панаса, роботи про використання геоінформаційних систем та дистанційного зондування, а також "Geographic Information Systems and Remote Sensing" С. Менсона та інших авторів та "Моніторинг земельних відносин в системі правового моніторингу: поняття, становлення, перспективи" П. Кулинича. Усі ці джерела доповнюють та поглиблюють теоретичний та методологічний аспекти дослідження процесу моніторингу земель.

**Новизна дослідження** полягає в комплексному підході до використання супутникових знімків у моніторингу земель. Дослідження розглядає не лише технічні аспекти отримання та обробки супутникових даних, але й вивчає їх теоретичні основи, роль у геопросторовому аналізі та практичне застосування для моніторингу земельних ресурсів. Такий підхід дозволяє отримати глибоке розуміння можливостей та обмежень супутникових знімків у сучасному землевпорядкуванні та забезпечує підставу для подальших досліджень і

практичних застосувань у галузі агрокультури, лісового господарства та охорони довкілля.

**Практичне значення дослідження** полягає в дослідженні та виокремленні ефективних стратегій моніторингу земельних ресурсів за допомогою супутникових знімків. Отримані результати дослідження можуть бути використані для покращення управління земельними ресурсами, оптимізації сільськогосподарських процесів, планування розвитку територій та забезпечення стійкого використання природних ресурсів.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок, кількість використаних джерел становить 51.

## **РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ**

### **1.1. Загальні положення та історичний огляд моніторингу земель**

Моніторинг земель є системою спостережень, спрямованих на виявлення, оцінку, уникнення та вирішення негативних змін у стані земель. Його основна мета – прогнозування та виявлення змін у використанні земель та їх наслідків. Важливим завданням є формування та підтримання системи інформації про стан земельних ресурсів для їх ефективного використання. Об'єктом моніторингу є всі землі, що піддаються антропогенній дії, з наглядом за перевищенням норм навантаження та виявленням несприятливих ситуацій у їх використанні та охороні. На відміну від земельного кадастру, моніторинг фіксує перевищення норм навантаження та критичні ситуації використання та охорони земель.

У рамках системи моніторингу земель здійснюється збір, обробка, передача, збереження та аналіз інформації про стан земель, прогнозування їх змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень щодо запобігання негативним змінам стану земель та забезпечення екологічної безпеки. Важливо відзначити, що моніторинг земель є частиною загального екологічного моніторингу, який охоплює інші середовища та біосферу в цілому. Виникнення моніторингу земель пов'язане з інтенсифікацією землеробства, навантаженням на ґрунти, забрудненням їх важкими металами, пестицидами, радіонуклідами та іншими деградаційними процесами, такими як ерозія, гуміфікація, засолення та осолонцювання.

Історичний огляд моніторингу земель відображає поступовий розвиток методів та технологій, які використовувалися для вивчення та аналізу земельних ресурсів протягом різних етапів історії. Впродовж великого періоду часу, від давніх цивілізацій до сучасності, людство завжди виявляло інтерес до землі та її ресурсів, тому історія моніторингу земель є багатовіковою та цікавою.

У давні часи моніторинг земель проводився переважно за допомогою спостережень та досліджень, здійснюваних людьми на місці.

У Середньовіччі та епоху Ренесансу з'явилися перші топографічні карти та картографічні методи, що дозволили більш точно визначати кордони земельних ділянок та вирізняти їхні особливості.

З розвитком технологій, таких як фотографія та телекомунікації, з'явилися нові можливості для моніторингу земель. Аерофотозйомка стала більш доступною, що сприяло появі детальних та об'єктивних карт земельних угідь.

Починаючи з другої половини 20 століття, запуск супутників надав змогу отримувати знімки Землі з космосу. Супутникове зондування та геоінформаційні системи (ГІС) стали основними інструментами для моніторингу та аналізу земельних ресурсів [2].

Сьогоднішні технології моніторингу земель включають в себе використання супутникових знімків високої роздільної здатності, аналіз даних дистанційного зондування, використання штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизованого класифікації та аналізу земельного покриття.

Усі ці етапи в історії моніторингу земель відображають постійний розвиток технологій та методів, які допомагають збирати, аналізувати та інтерпретувати інформацію про земельні ресурси з метою ефективного управління та збереження навколишнього середовища.

Відповідно до адміністративно-територіального поділу України моніторинг земель розділяється на такі рівні:

- моніторинг земель на рівні України;
- моніторинг земель на рівні областей;
- моніторинг земель на рівні районів і міст;
- моніторинг земель на рівні окремих землеволодінь і землекористувань [11].

На кожному рівні адміністративно-територіального поділу структура моніторингу земель передбачає підсистеми, які відповідають основним категоріям земель, таким як сільськогосподарське використання, населені пункти, промисловість, транспорт, зв'язок, оборона, природоохорона, оздоровлення, рекреація, культурно-історичне значення, лісовий фонд, водні ресурси та інші.

Проведення моніторингу земель в Україні регулюється:

- Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища" у статті 22 [27];
- Земельним кодексом України у статтях 191 і 192 [11];
- Питанням Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2016 р. № 910-р. [23];
- Постановами Кабінету Міністрів України "Про затвердження положення про моніторинг земель" від 20 серпня 1993 року № 661 [25];
- Положенням про державну систему моніторингу довкілля від 30 березня 1998 року № 39191 [24].

Моніторинг земель включає в себе ряд технічних і аналітичних заходів, використання технічних засобів для контролю та оцінки якості земель, збір проб і проведення ґрунтових обстежень, аналіз і вимірювання хімічного і біологічного складу ґрунтів, а також їх фізичного стану. Крім цього, моніторинг включає оцінку стану земель, прогнозування негативних процесів на різних категоріях земель і розроблення заходів для їх запобігання. Також здійснюються спостереження за використанням земель, виявлення випадків нецільового використання, що може погіршити якість земель, а також загальної екологічної ситуації.

Моніторинг земель відіграє ключову роль у всіх інших видах моніторингу та кадастрів природних ресурсів. Отримані під час моніторингу земель дані повинні стати основою інформації для проведення моніторингу інших природних ресурсів і для ведення державних кадастрів, зокрема, державного земельного кадастру.

Загалом, ведення моніторингу земель покладено на Держгеокадастр, проте з обов'язковою участю Міністерства охорони навколишнього природного середовища, Української академії аграрних наук, Міністерства аграрної політики та продовольства.

Так, згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.11.2016 № 910-р "Питання Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру" [23], Уряд схвалив ідею надання Держгеокадастру можливості виконувати завдання та повноваження, які раніше належали до компетенції Державної інспекції сільського господарства, яка припиняє свою діяльність. Це включає проведення державного контролю в агропромисловому секторі з питань виконання земельного законодавства та збереження земель усіх категорій і родючості ґрунтів.

Після прийняття цього розпорядження Урядом України можна зауважити, що Держгеокадастр отримав всі повноваження стосовно державного нагляду в агропромисловому секторі, щодо дотримання земельного законодавства, використання та охорони земель усіх категорій та форм власності, а також щодо родючості ґрунтів, раніше покладені на Держсільгоспінспекцію. Для розуміння повної картини щодо правового регулювання здійснення Держгеокадастром державного нагляду за дотриманням земельного законодавства, використанням та охороною земель, варто розуміти та відстежувати сучасну нормативно-правову базу з цих питань, яка додатково розробляється та удосконалюється [3].

Важливо зауважити, що дані, зібрані під час спостережень за станом земель, систематизуються за районами, містами, областями, а також за окремими природними комплексами і передаються до пунктів збору автоматизованої інформаційної системи обласних управлінь земельних ресурсів.

На підставі результатів оцінки стану земель готуються звіти, прогнози та рекомендації, які надсилаються до місцевих виконавчих органів, органів місцевого самоврядування та Держгеокадастру для прийняття заходів щодо уникнення та усунення наслідків негативних процесів.

Попри наявність детального правового регулювання, система спостереження за станом земель на сьогоднішній день не досягла повної систематизації через ряд об'єктивних та суб'єктивних причин. Фактично, моніторинг земель поки не є повністю організованим, а існуюча система збору

інформації про стан земель не відповідає сучасним вимогам та завданням державного управління у цій галузі [30].

Отже, загальні положення та історичний огляд моніторингу земель свідчать про постійний розвиток та вдосконалення методів та технологій, які використовуються для вивчення та аналізу земельних ресурсів. З історичних перспектив моніторинг земель розпочався з використанням традиційних методів та інструментів, таких як аерофотозйомка та терміатурна карта, а згодом еволюціонував до використання сучасних супутникових технологій та геоінформаційних систем. Новітні підходи, такі як аналіз супутникових знімків, використання ГІС та дистанційного зондування, дозволяють отримувати детальну та об'єктивну інформацію про земельний покрив, що є важливим для прийняття рішень у сфері природокористування та земельного господарства. Завдяки поєднанню традиційних та сучасних методів моніторингу земель можна здійснювати ефективне управління земельними ресурсами, виявляти та прогнозувати зміни в природному середовищі, а також вирішувати актуальні екологічні та економічні проблеми.

### **1.1.1. Теоретичні аспекти моніторингу земель**

Система моніторингу земель ґрунтується на використанні наявних організаційних структур об'єктів моніторингу та працює на основі єдиної нормативної, організаційної, методологічної та метрологічної підтримки, що об'єднує складові частини та уніфіковані компоненти цієї системи.

Теоретичні аспекти моніторингу земель включають в себе розуміння основних понять, принципів та методів, що використовуються для вивчення та аналізу земельних ресурсів. Основні теоретичні концепції моніторингу земель включають [12; 15]:

- Моніторинг земель повинен забезпечувати оперативне та об'єктивне збирання та аналіз даних про стан та зміни земельних ресурсів. Це означає, що дані повинні бути доступні вчасно та бути надійними та об'єктивними.

- Моніторинг земель має охоплювати широкий спектр параметрів та характеристик земельних угідь, включаючи їхні фізичні, хімічні, біологічні та географічні особливості.
- Моніторинг земель повинен бути інтегрований з іншими системами моніторингу, такими як моніторинг клімату, водних ресурсів, біорізноманіття тощо, для отримання комплексної інформації про стан довкілля.
- Моніторинг земель повинен використовувати сучасні технології, такі як супутникове зондування, ГІС, дистанційне зондування та штучний інтелект, для забезпечення ефективності та точності збору та аналізу даних.
- Методологія моніторингу земель повинна бути сталою та стандартизованою, щоб забезпечити порівнюваність даних в часі та просторі.
- Моніторинг земель повинен допомагати управляти ризиками та приймати обґрунтовані рішення щодо використання та охорони земельних ресурсів.

Врахування цих теоретичних аспектів допомагає забезпечити ефективний та збалансований моніторинг земель, що сприяє сталому управлінню та збереженню земельних ресурсів.

Водночас організаційна інтеграція учасників системи моніторингу на всіх рівнях виконується відповідно до директив Мінекобезпеки на основі наступних заходів:

- розроблення загальнодержавних та регіональних (місцевих) програм моніторингу земель, які включають програми на відповідних рівнях, запропонованих учасниками моніторингу;

- укладення угод про спільну діяльність під час здійснення моніторингу земель на відповідному рівні між усіма учасниками системи моніторингу.

Для виконання зазначених програм суб'єкти системи моніторингу земель можуть залучати підприємства, установи та організації незалежно від їх підпорядкування та форми власності.

Методичне забезпечення складових частин і компонентів системи моніторингу ґрунтується на наступних принципах:

- використання єдиної науково-методичної бази для вимірювання параметрів і визначення показників стану земель, біоти та джерел антропогенного впливу на них;

- застосування уніфікованих методів для аналізу та прогнозування властивостей ґрунтів, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації;

- дотримання загальних правил стосовно створення та ведення розподілених баз і банків даних та знань, картування та картографування екологічної інформації, а також використання стандартних технологій з використанням геоінформаційних систем.

Методичне забезпечення складових частин і компонентів системи моніторингу здійснюється Мінекобезпекою зі залученням суб'єктів цієї системи, а також наукових установ, таких як Національна академія наук (НАН), Українська аграрна академія (УААН), та Національне агентство з питань інформації при Президентові України.

Суб'єкти системи моніторингу на місцевому рівні, такі як адміністрації та органи місцевого самоврядування, підприємства, установи та організації незалежно від їх підпорядкування та форми власності, мають такі обов'язки:

- розробляти та узгоджувати з органами Мінекобезпеки плани здійснення заходів для спостереження за станом екологічно небезпечних об'єктів та запобігання екологічно небезпечним виробничим, господарським та іншим видам діяльності;

- захищати пункти спостережень за об'єктами довкілля, які зареєстровані у системі моніторингу, від потенційних пошкоджень;

- виділяти земельні ділянки відповідно до встановленого порядку для створення нових спостережних пунктів на основі схвалених програм удосконалення та розвитку елементів системи моніторингу [1].

Інфраструктура системи моніторингу, її складові частини та системоутворюючі уніфіковані компоненти формуються відповідно до відповідних технічних завдань і проектів, що підлягають схваленню у визначеному порядку. Зазначені технічні завдання і проекти мають бути зареєстровані в Мінекобезпеці.

Реалізація прийнятих проектних рішень здійснюється у межах щорічних заходів загальнодержавних та регіональних (місцевих) програм екологічного моніторингу довкілля.

Отже, теоретичні аспекти моніторингу земель визначаються системою організації, методології та методичного забезпечення, які сприяють створенню єдиної та ефективної системи контролю та збереження земельних ресурсів.

### **1.1.2. Основні терміни та визначення**

У залежності від призначення, моніторинг земель може бути розділений на такі типи: загальний, оперативний і фоновий.

1. Загальний (базовий, стандартний) моніторинг земель представляє собою систему спостережень, яка охоплює оптимальний набір параметрів стану та використання землі, що інтегрується у єдину інформаційно-технологічну мережу. Це дозволяє здійснювати оцінку та прогнозування стану земельних ресурсів і формувати необхідні управлінські рішення.
2. Оперативний (кризовий) моніторинг земель - це система спостережень за спеціальними показниками на цільовій мережі пунктів або станцій, що розташовані в окремих об'єктах підвищеного екологічного ризику, у регіонах, що визначені як зони надзвичайної екологічної ситуації, або в районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками. Метою цієї системи є забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та ухвалення відповідних заходів для їх усунення.
3. Фоновий (науковий) моніторинг земель передбачає спеціальні спостереження за всіма компонентами екосистеми землі, а також за змінами

у складі ґрунтів, процесами, пов'язаними з втратою родючості (наприклад, ерозія, втрата гумусу, погіршення структури, заболочення, засолення тощо). Завдяки цьому моніторингу встановлюють джерела або причини, що призводять до руйнування ґрунтів [19].

Залежно від мети спостережень та охоплення територій, фоновий моніторинг земель може бути такого типу: національний (охоплює всі землі на території України); регіональний (проводиться на територіях, що мають однакові фізико-географічні, екологічні та економічні умови); локальний (охоплює окремі земельні ділянки або частини ландшафтно-екологічних комплексів).

Важливо відзначити, що моніторинг земель включає систематичні спостереження за їхнім станом, включаючи агрохімічну паспортизацію земельних ділянок, огляд та виявлення будь-яких змін у них, оцінку стану використання земельних ділянок, моніторинг процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів, включаючи водну та вітрову ерозію, втрати гумусу, а також забруднення земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами, проводиться. Також здійснюється огляд стану берегових ліній річок, морів, озер, водосховищ та гідроспоруд. Проводиться моніторинг процесів, пов'язаних з утворенням ярів, зсувів та інших природних явищ. Оцінюється стан земель населених пунктів, територій, де розміщені нафтодобувні об'єкти, очисні споруди, склади паливно-мастильних матеріалів, добрив, пестицидів, а також ділянки, де розміщені стоянки автотранспорту, зони захоронення токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів та інше.

Вибір параметрів для моніторингу земель здійснюється в залежності від потреб. Наприклад, для ґрунтів ключовими показниками можуть бути такі критерії:

- Оцінка основних функцій ґрунтового покриву.
- Динаміка сучасних процесів утворення ґрунтів.
- Рівень інтенсивності руйнівних або деградаційних процесів.
- Зміни основних властивостей ґрунту та інші.

Спостереження за станом земель здійснюються з різною періодичністю:

- Базові спостереження (вихідні), які фіксують стан об'єкта на момент початку моніторингу.

- Періодичні спостереження (робляться через рік або більше).

- Оперативні спостереження, які фіксують поточні зміни [22].

Отже, розуміння основних термінів та визначень, що стосуються моніторингу земель, дозволяє ефективно організувати та проводити дослідження з метою збереження та раціонального використання цінних природних ресурсів.

## **1.2. Дистанційне зондування в геоінформаційних дослідженнях**

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це спостереження за земною поверхнею за допомогою авіаційних і космічних засобів, обладнаних різноманітними типами приладів для запису енергії, яка випромінюється від поверхні планети.

Аналіз систем дистанційного зондування та географічних інформаційних систем (ГІС) включає використання технологій для збору, обробки та аналізу просторових даних з метою розуміння різноманітних явищ. Дистанційне зондування означає отримання інформації про земну поверхню за допомогою пристроїв, розташованих на відстані від неї, зазвичай це супутники, які обертаються навколо Землі, або літаки [8]. ГІС представляє собою комп'ютерні системи, які використовуються для збору, зберігання, аналізу та відображення географічної інформації. Ці дві технології часто використовуються разом для оцінки природних ресурсів та моніторингу змін у навколишньому середовищі. Соціологи можуть аналізувати точну просторову та часову динаміку різних соціальних явищ, використовуючи дані дистанційного зондування, поєднуючи їх з соціально-економічними даними за допомогою ГІС та розробляючи на основі цих даних цифрові моделі та аналітичні інструменти.

Платформи дистанційного зондування різняться за своїми спектральними, просторовими та часовими характеристиками або доменами. Спектральний діапазон визначається як частина електромагнітного спектру, яку використовує

датчик. Термін "мультиспектральний" вказує на здатність датчика захоплювати багато різних фрагментів або "смуг" спектру, тоді як панхроматичний стосується датчика, який збирає дані лише у одному електромагнітному діапазоні, що може призводити до чорно-білих або відтінків сірого зображення [13]. Деякі датчики відомі як гіперспектральні, оскільки вони здатні охоплювати сотні окремих частин спектру. Існує різноманітність підходів та характеристик сенсорів.

У видимому та ближньому інфрачервоному (тепловому) діапазоні електромагнітного спектру, поверхню землі зазвичай характеризують за допомогою індексів рослинності, таких як нормалізований різницевий індекс рослинності. Ці індекси пов'язані з різними характеристиками рослинності та станом рослин, включаючи фотосинтетичну активність, поглинену радіацію, атрибути полога (такі як індекс зеленої біомаси або площа зеленого листя), а також стан рослинності (наприклад, інтенсивність або стрес рослинності). Сезонні варіації вегетаційних індексів пов'язані з фенологією та сезонністю біома.

У тепловому діапазоні спектру, тепла енергія суші може бути отримана та пов'язана з поверхневим енергетичним балансом, наявністю вологи та випаровуванням. Емпіричні дослідження підтверджують корисність термічних даних для визначення місць розташування густого лісу та моніторингу циклу росту сільськогосподарських культур, включаючи системи зрошення.

Активні датчики випромінюють і вимірюють відбите світло або інші сигнали. Технологія виявлення світла та визначення дальності використовує лазерне світло для створення високороздільних 3D зображень поверхонь. Мікрохвильові датчики також використовуються, вони збирають інтенсивність мікрохвиль, яка залежить від геометричних і електричних характеристик поверхні. Існують активні та пасивні мікрохвильові датчики, де активні системи мають власне джерело енергії, а пасивні сприймають природні сигнали, які випромінює або відбиває земна поверхня. Мікрохвильове зондування забезпечує високу просторову роздільну здатність даних у будь-яких погодних умовах, хоча його операційний рівень поки не досяг того ж рівня, що й оптичне дистанційне зондування [43].

Просторовий домен визначається роздільною здатністю датчика (найменшою дискретною ділянкою на землі), його протяжністю та можливістю розрізнити просторові візерунки на зображенні. Ландшафтний просторовий малюнок включає розміри лісових ділянок, розташування сільськогосподарських ділянок та форму поля. Текстура інформація зображень може бути виміряна за допомогою різноманітних індексів, таких як дисперсія або математична морфологія.

Часовий домен може стосуватися тривалості одного знімка та періодичності його отримання. Деякі знімки є миттєвими, але деякі датчики можуть усереднювати дані, зібрані протягом короткого часу. Аерофотозйомка зазвичай проводиться з інтервалом, визначеним виробниками, але зазвичай це відбувається щороку або рідше через великі витрати.

Супутники, хоча дорогі для запуску на орбіту, здатні здійснювати зйомку зображень дуже часто - від кількох тижнів до кількох днів. Ця частота, відома як інтервал повернення, може впливати на корисність зображень для різних цілей. Наприклад, для швидкоплинних явищ, таких як повінь, можуть потрібні часті знімки, в той час як сезонний моніторинг вирубки лісів може здійснюватися на платформах з меншою частотою.

Соціальні та поведінкові вчені використовують дистанційне зондування та ГІС для вивчення соціальних явищ у контексті навколишнього середовища та екологічної сфери. Ці дослідження часто базуються на "соціалізації" пікселів, або аналізі інформації, вбудованої в просторові зображення, які безпосередньо стосуються ключових тем соціальних наук, і використовують її для формулювання концепцій і теорій, пов'язаних з цими темами.

Створення прямого зв'язку між чіткою просторовою інформацією про земельний покрив, отриманою за допомогою дистанційного зондування, і інформацією про процеси землекористування вимагає постійного розвитку нових методів та моделей, які поєднують ландшафтні дані з даними про поведінку людини. Більшість цієї роботи використовує землекористування та ґрунтовий покрив як основу для аналізу. Дистанційне зондування широко використовується

для картографування ґрунтового покриву та землекористування. Зазвичай алгоритми класифікації можуть виділити десяток класів земного покриву, включаючи різні стадії рослинності. Однак для досягнення такого рівня деталізації необхідно збирати польові спостереження з геоприв'язкою. Багато датчиків не дуже точно визначають типи поселень або системи землеробства, що стає все більш актуальними за допомогою дрібномасштабних платформ [7].

Окрім цього, дистанційне зондування полегшує моніторинг змін у просторових моделях ландшафтів, викликаних землекористуванням. Виявлення змін може бути використане для аналізу динаміки, такої як розширення зон землеробства, зростання міст або ерозія територій. Дистанційне зондування також дозволяє ідентифікувати "гарячі точки" змін у земному покриві, такі як фрагментація земельного покриву або пожежі. У поєднанні з ГІС, дистанційне зондування дозволяє ідентифікувати та вимірювати ключові соціально-економічні та екологічні характеристики систем землекористування, такі як форми культивування та тенденції землекористування.

Також дистанційне зондування та ГІС дозволяють екстраполювати локальні спостереження на більші площі. Проблема глибини досліджень динаміки землекористування полягає у великих зусиллях зі збору даних на місцях і рівнях сюжету. Дистанційне зондування, вимірюючи показники землекористування, допомагає визначити регіони з схожим землекористуванням і встановити просторову стратифікацію. Це спрощує екстраполяцію результатів на інші території з аналогічними характеристиками. Просторова стратифікація перед польовими дослідженнями може допомогти у точному налаштуванні вибірки та визначенні об'єктів дослідження.

У свою чергу, об'єднання даних соціально-економічного обстеження з інформацією дистанційного зондування постійно розширюється. Однією з важливих проблем є визначення відповідних одиниць просторового спостереження і розроблення відповідних зв'язків між даними домогосподарства та дистанційного зондування. Прив'язка дистанційних спостережень до соціально-

економічних даних в масштабі адміністративних одиниць може бути викликана втратаю інформації, аналізуючи мінливість всередині одиниць [8].

Підсумовуючи, дистанційне зондування грає важливу роль у геоінформаційних дослідженнях, надаючи можливість збирати великий обсяг даних про земну поверхню та зміни, які відбуваються на ній. Використання сучасних датчиків та технологій дозволяє отримувати детальну інформацію про різноманітні аспекти землекористування, ґрунтового покриву, та інших географічних явищ. Це відкриває широкі можливості для вивчення і аналізу динаміки змін у природному та антропогенному середовищі, що є важливим для розробки стратегій управління ресурсами та прийняття рішень у сфері природокористування. Таким чином, дистанційне зондування є ефективним інструментом для дослідження та моніторингу земної поверхні з використанням сучасних геоінформаційних методів.

### **1.3. Огляд сучасних методів моніторингу земель**

Серед ключових принципів системи моніторингу земель можна виділити:

1. Принцип об'єктивності. Всі показники моніторингу повинні бути достовірними та відображати реальний стан земельних територій щодо їх використання.

2. Принцип системного підходу. Дослідження об'єкту відбувається як системного, що означає орієнтацію на вивчення цілісності об'єкту та виявлення різноманітних зв'язків у ньому, що об'єднуються у єдину теоретичну картину.

3. Принцип комплексності означає проведення комплексних спостережень за станом та змінами земельного фонду країни.

4. Принцип наочності й доступності інформації для споживача [10].

Далі здійснимо огляд та аналіз сучасних методів моніторингу земель

#### **1. Супутникове зондування**

- Принцип дії: використання супутникових знімків, які реєструють відбиття електромагнітних хвиль від земельного покриву на різних довжинах хвиль.

- Переваги: об'єктивність і повнота отриманої інформації; можливість отримання даних на великій площі та в реальному часі.
- Недоліки: обмеження роздільної здатності залежно від типу супутника та області дослідження; вплив погодних умов на якість знімків.

## 2. Географічні інформаційні системи (ГІС)

- Принцип дії: збір, аналіз та візуалізація геопросторової інформації про земельний покрив.
- Переваги: інтеграція різноманітних джерел даних для комплексного аналізу; можливість моделювання та прогнозування змін у земельному покриві.
- Недоліки: високі вимоги до комп'ютерної потужності та програмного забезпечення; потреба у спеціалізованому навчанні для користувачів.

## 3. Термінові виїзди на місце

- Принцип дії: проведення польових досліджень для підтвердження та уточнення результатів, отриманих за допомогою супутникових знімків.
- Переваги: підтвердження об'єктивності та достовірності даних, отриманих з висоти; збирання додаткової інформації, яка не доступна за допомогою супутникових методів.
- Недоліки: високі витрати часу та коштів на організацію та проведення виїздів; обмежене покриття території в порівнянні з супутниковими методами.

## 4. Дрони (БПЛА - безпілотні літальні апарати)

- Принцип дії: використання безпілотних літальних апаратів для отримання знімків з висоти низького польоту з високою роздільною здатністю.
- Переваги: висока роздільна здатність зображень, що дозволяє отримувати детальні дані про земельний покрив; гнучкість та можливість швидкого реагування на потреби моніторингу.
- Недоліки: обмежена площа обстеження за один політ у порівнянні з супутниковим зондуванням; потреба у навичках пілотування та управління дронами.

## 5. Радіоактивні мітки та GPS-трекінг

- Принцип дії: використання радіоактивних міток або GPS-трекінгу для визначення місцезнаходження та руху об'єктів на земельній ділянці.
- Переваги: точне визначення місцезнаходження об'єктів та їх руху; можливість створення віртуальних меж для моніторингу земель.
- Недоліки: високі витрати на встановлення та обслуговування системи; обмежена діяльність в умовах обмеженого прийому сигналу GPS.

#### 6. Методи аналізу мультиспектральних даних

- Принцип дії: аналіз мультиспектральних знімків для визначення параметрів земельного покриву, таких як тип культури, вологість ґрунту тощо.
- Переваги: високий рівень інформації, що отримується з одного знімку; можливість визначення параметрів, які не доступні для вимірювання з висоти.
- Недоліки: потреба у висококваліфікованих спеціалістах для аналізу мультиспектральних даних; обмежена точність результатів в залежності від умов освітлення та атмосферних умов.

#### 7. Аналіз геопросторових даних від супутників з синтетичним апертурним радіолокаційним зондуванням (SAR)

- Принцип дії: використання радіолокаційних знімків, які можуть проникати через хмари та отримувати дані навіть у нічний час.
- Переваги: незалежність від погодних умов та освітлення, що дозволяє отримувати дані навіть в умовах обмеженої видимості; можливість виявлення підземних об'єктів та глибоких структур.
- Недоліки: обмежена роздільна здатність знімків порівняно з оптичними супутниками; високі витрати на придбання та обробку даних SAR.

#### 8. Методи геодезичного моніторингу

- Принцип дії: використання геодезичних вимірювань, таких як GPS, для визначення геометричних параметрів земельних об'єктів та їх змін в часі.
- Переваги: висока точність вимірювань, можливість виявлення мікрорельєфу та малих змін у земельній поверхні.

- Недоліки: потреба у встановленні та обслуговуванні мережі геодезичних станцій; обмежена площа покриття мережею GPS в деяких регіонах.
9. Методи аналізу даних від датчиків, вбудованих у сільськогосподарські машини та обладнання
- Принцип дії: збір даних про стан ґрунту, врожайність та інші параметри земельних ділянок під час сільськогосподарських робіт.
  - Переваги: можливість отримання даних в реальному часі під час виконання сільськогосподарських операцій; інтеграція даних з іншими системами моніторингу.
  - Недоліки: потреба у встановленні та обслуговуванні спеціалізованого обладнання; обмежена покриття даними залежно від масштабу виробництва та обсягу використання сільськогосподарської техніки [21].

Отже, загальний огляд сучасних методів моніторингу земель свідчить про важливість та різноманітність підходів до вивчення та аналізу земельних ресурсів. Використання цих методів забезпечує можливість вчасного виявлення проблемних тенденцій у землекористуванні, ефективного контролю за використанням природних ресурсів та розробки стратегій їхнього оптимального використання. Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити стійке та ефективне управління земельними ресурсами з урахуванням поточних екологічних, економічних та соціальних викликів.

#### **1.4. Роль супутникових знімків у геопросторовому аналізі**

Супутникові знімки відіграють ключову роль у геопросторовому аналізі, що є важливою складовою геоінформаційних систем (ГІС) та процесів моніторингу земель. Вони забезпечують можливість отримання об'єктивних та повних даних про земельний покрив на великих територіях у реальному часі.

Перш за все, супутникові знімки забезпечують великий охоплення території, що дозволяє аналізувати зміни на значних площах, від місцевих ділянок

до великих регіонів. Це особливо корисно для великих міст, регіонального планування, моніторингу екосистем та природних ресурсів [17].

Друге, супутникові знімки забезпечують високу роздільну здатність, що дозволяє отримувати детальні дані про земельний покрив. Це важливо для виявлення і аналізу змін у використанні земель, таких як зміни в землекористуванні, розвитку міських районів або втрати природних середовищ.

Третє, супутникові знімки можуть використовуватися для різних типів аналізу, включаючи класифікацію земель, детальний аналіз ландшафту, визначення водних ресурсів, виявлення зон природного пожежного ризику та інші. Їх можна використовувати як візуальні дані для ідентифікації особливостей земельного покриву, так і як джерело для кількісних аналізів.

Крім того, супутникові знімки дозволяють виконувати часовий аналіз, що дозволяє виявляти зміни на земельній поверхні протягом часу. Це дозволяє виявляти тенденції, а також визначати часові межі конкретних подій, таких як зміни в розподілі земельних використань або екологічні кризи [12].

Отже, супутникові знімки є незамінним інструментом для геопросторового аналізу земельного покриву, надаючи об'єктивні, повні та деталізовані дані, необхідні для ефективного моніторингу та управління земельними ресурсами.

### **1.5. Технології обробки та аналізу супутникових знімків**

Технології обробки та аналізу супутникових знімків включають ручне дешифрування, напівавтоматичне дешифрування з розрахунком спектральних індексів та пороговою класифікацією, автоматичну класифікацію(некерована), аналіз геофізичних даних із супутникових знімків.

Ручне дешифрування супутникових знімків включає в себе візуальне аналізу знімків оператором з метою класифікації різних об'єктів на земельній поверхні. Оператор визначає різні класи земельного покриву, такі як ліс, водойми, сільськогосподарські угіддя тощо, та вручну позначає їх на знімку. Цей метод є

часомістким і залежить від кваліфікації оператора, але може бути ефективним для невеликих обсягів даних або в разі потреби у високій точності класифікації.

У методі напівавтоматичного дешифрування з розрахунком спектральних індексів та порогової класифікації використовується обробка спектральних індексів, які вимірюють характеристики відображення земельного покриву на різних діапазонах електромагнітного спектра. Спектральні індекси, такі як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), можуть вказувати на різні типи рослинності або стан землі. Порогова класифікація полягає в тому, що для кожного пікселя на знімку встановлюється поріг значень спектрального індексу, який визначає клас земельного покриву. Цей підхід є більш автоматизованим, але все ще потребує втручання оператора для налаштування параметрів порогової класифікації [13].

У свою чергу, автоматична класифікація використовує алгоритми машинного навчання для автоматичного розподілу пікселів на знімку до різних класів земельного покриву. Ці алгоритми можуть виявляти і відокремлювати різні об'єкти на знімку без необхідності передварного визначення класів. Популярні методи включають класифікацію на основі нейронних мереж, кластерний аналіз та методи, засновані на статистичних моделях. Цей метод є найбільш автоматизованим і ефективним для обробки великих обсягів даних, але може потребувати додаткового налаштування параметрів алгоритмів.

Аналіз геофізичних даних з супутникових знімків включає в себе вивчення геоморфологічних, геологічних та геохімічних характеристик земельної поверхні. Це може включати визначення структури рельєфу, виявлення геологічних формацій та дослідження геохімічних властивостей ґрунтів. Аналіз геофізичних даних може доповнювати інші методи аналізу знімків та надавати додаткову інформацію про стан земельного покриву.

Ці технології обробки та аналізу супутникових знімків надають різні підходи до виявлення та класифікації земельних об'єктів, що дозволяє ефективно використовувати супутникові дані для моніторингу земель та природних ресурсів.

Обробка даних дистанційного зондування включає в себе різноманітні методи, проте їх основна мета полягає в створенні карти на основі космічного знімка. Отримана карта повинна містити інформацію про певні об'єкти і явища, що цікавлять дослідника. Цей процес відомий як дешифрування знімка, і в залежності від завдання та доступних даних можуть використовуватися автоматичні, напівавтоматичні або ручні методи дешифрування [43].

Найбільш ефективним є аналіз космічних знімків, підкріплений наземними дослідженнями, що дозволяють перевірити дистанційні дані. Також корисно використовувати будь-яку довідкову інформацію, таку як відкриті дані OpenStreetMap, тематичні геопортали, фотографії місцевості тощо.

Півавтоматичне дешифрування включає в себе розрахунок спектральних індексів та застосування порогової класифікації. Спектральні індекси визначаються співвідношенням відбиття електромагнітної хвилі в різних каналах супутникового зображення, спеціально розроблені для оцінки стану рослинності і відомі як вегетаційні індекси. Застосування порогової класифікації дозволяє перетворити спектральні канали таким чином, щоб виділити інформацію, яка найбільше відповідає вивченому об'єкту, виключаючи непотрібну інформацію. Цей підхід може покращити результати як візуального дешифрування, так і простих методів автоматичної класифікації.

Автоматична класифікація, або некерована, використовується для отримання тематичної інформації про типи землекористування та наземний покрив на різних масштабних рівнях за допомогою космічних знімків. Цей процес заснований на автоматичних (комп'ютеризованих) методах обробки зображень і відомий як автоматична тематична класифікація.

Класифікація включає в себе аналіз місця розташування пікселя у спектральному просторі та його порівняння з певним класом наземних об'єктів, що іноді відомі як спектральне розпізнавання. З цієї перспективи важливо розрізнити два ключові терміни:

- Спектральні класи: групи пікселів, які проявляють подібність у своєму розташуванні у просторі спектральних ознак і мають схожі значення спектрального відбиття.

- Тематичні класи: відносяться до типів наземних об'єктів, які потрібно ідентифікувати на знімку, наприклад, різні типи рослинності, водойми, відкритий ґрунт та інше [22].

Отже, основне завдання класифікації полягає у встановленні зв'язку між спектральними класами і тематичними.

Аналіз геофізичних даних з супутникових знімків дозволяє збирати інформацію про стан земної та водної поверхонь, проводити розрахунки різних спектральних індексів, а також використовувати різноманітні моделі, такі як кліматичні, гідрологічні, хімічні тощо. Це в поєднанні з наземними даними зі станцій моніторингу дозволяє створювати картографічні зображення геофізичних показників стану довкілля на глобальному рівні.

Проте, через складність моделювання таких даних та їх значну залежність від мережі наземних спостережень, просторова роздільність цих даних зазвичай залишається низькою, варіюючись від одного до десятків кілометрів. У той же час, їх часова роздільність, тобто частота зйомки, зазвичай є високою - один раз на день. Це дозволяє ефективно використовувати ці дані службами моніторингу та передбачати надзвичайні ситуації, такі як повені, посухи або поширення вулканічного пилу.

Вважаємо доцільним вказати компанії, що займають лідерські позиції, та активно розвивають технології обробки та аналізу супутникових знімків.

EOS Data Analytics (EOSDA) спеціалізується на обробці та аналізі супутникових знімків для різних галузей, таких як сільське господарство, лісове господарство, геологія та інші.

Planet Labs пропонує великомасштабну систему мікросупутників для збору зображень Землі високої роздільної здатності.

Maxar Technologies має широкий спектр послуг, пов'язаних із супутниковим зображенням, включаючи високоякісне зйомку, обробку зображень та аналіз геопросторових даних.

DigitalGlobe надає високоякісні супутникові знімки та геопросторові розвідувальні послуги для цивільних та військових клієнтів.

Descartes Labs спеціалізується на аналізі геопросторових даних, використовуючи штучний інтелект та машинне навчання для витягування цінної інформації з супутникових знімків.

Ці компанії є міжнародними. Вони мають клієнтів та операції по всьому світу і надають свої послуги в різних країнах. Їхні технології та рішення використовуються у різних галузях, включаючи сільське господарство, лісове господарство, енергетику, міське планування та інші.

Наприклад, компанія EOSDA має досвід у роботі з різними клієнтами та проектами по всьому світу. Їхня репутація в галузі обробки та аналізу супутникових знімків свідчить про їхню ефективність та професіоналізм [29]. У наступному розділі буде детально розглянуто діяльність саме цієї компанії, оскільки, на наш погляд, вона є найбільш прогресивною щодо винайдення технологій для обробки та використання супутникових знімків для моніторингу земель.

Отже, технології обробки та аналізу супутникових знімків відіграють важливу роль у вивченні та моніторингу земельних ресурсів, динаміки змін у природних та антропогенних процесах. Використання різноманітних методів, таких як ручне дешифрування, напівавтоматичне дешифрування, автоматична класифікація та аналіз геофізичних даних, дозволяє отримувати об'єктивну та деталізовану інформацію про зміни в ландшафті та земельному покриві. Використання сучасних методів обробки та аналізу супутникових знімків є ключовим елементом у розробці стратегій сталого управління земельними ресурсами та збереження природного середовища.

## **Висновки до розділу 1**

У цьому розділі були розглянуті теоретичні аспекти моніторингу земель, що охоплюють історичний огляд та основні положення системи моніторингу, включаючи визначення ключових термінів. Основна увага приділялася аналізу сучасних методів моніторингу земель, з особливим акцентом на роль дистанційного зондування і використання супутникових знімків у геопросторовому аналізі. Розглянуто, як ці технології сприяють ефективному контролю, управлінню та збереженню земельних ресурсів.

Дистанційне зондування і супутникові знімки демонструють свою важливість у виявленні змін у ландшафті, надаючи об'єктивні та деталізовані дані, що є незамінними для геопросторового аналізу. Високий потенціал сучасних технологій обробки супутникових знімків вказує на можливості покращення методик моніторингу земель, що сприятиме розробці стратегій сталого управління природними ресурсами.

Таким чином, розглянутий матеріал підкреслює важливість подальшого розвитку інструментарію та методологій моніторингу, які мають відповідати сучасним вимогам екологічної безпеки та ефективного управління земельними ресурсами.

## **РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ EOSDA**

### **2.1. Технології та методи, використовувані EOSDA**

EOS Data Analytics (EOSDA) - це компанія, яка спеціалізується на аналізі та обробці супутникових даних для різноманітних цілей, включаючи моніторинг земель. EOSDA водночас є платформою, що розробляє програмне забезпечення для супутникової аналітики. Таким чином, вони вважаються як компанія, яка надає послуги в сфері супутникової аналітики, так і платформа з відповідним програмним забезпеченням для обробки та аналізу космічних даних.

EOSDA використовує дані від різних супутникових систем, таких як Sentinel-2, Landsat, і інших, для отримання зображень земельного покриву. Вони використовуються для виявлення змін у використанні земель, моніторингу впливу людської діяльності на довкілля та розвитку різних секторів, таких як землеустрій, сільське господарство, лісове господарство та міське планування.

Перевагами компанії є EOSDA LandViewer та EOS SAT. EOSDA LandViewer - це найбільший репозиторій супутникових знімків, а також високоякісний інструмент для обробки супутникових даних. EOS SAT - це унікальне угруповання з семи оптичних супутників, призначене для надання підтримки агропідприємствам, від виробників продуктів харчування до страхових компаній, у прийнятті кращих та більш обґрунтованих рішень в більш стійкий спосіб. Це перше у своєму роді супутникове угруповання, спеціалізоване саме на землеустрої [36].

EOSDA використовує різноманітні методи обробки та аналізу даних, такі як напівавтоматичні та автоматичні алгоритми класифікації, аналіз спектральних індексів, геофізичні моделі, а також методи машинного навчання та штучного інтелекту. Ці методи дозволяють ефективно виявляти та аналізувати різноманітні типи земельного покриву та зміни в ньому.

Також EOSDA використовує ГІС для інтеграції та аналізу супутникових даних разом з іншими геопросторовими даними, такими як картографічні дані, дані ділянок землі, топографічні дані тощо. Це дозволяє забезпечити комплексний аналіз стану земельних ресурсів та їх використання.

Окрім цього, EOSDA розробляє власні програмні засоби та інструменти для обробки, аналізу та візуалізації супутникових даних, що дозволяє користувачам ефективно використовувати ці дані для своїх потреб.

В цілому, EOSDA використовує широкий спектр технологій та методів для аналізу супутникових зображень з метою моніторингу земель та забезпечення клієнтів якісною та корисною інформацією для прийняття рішень.

### **2.1.1. Конкретні приклади використання EOSDA для аналізу змін в земельному покритті**

Конкретними прикладами використання EOSDA для аналізу змін в земельному покритті є рішення, які пропонує EOSDA, серед яких: розширена аналітика вмісту вологи у ґрунті, карти ґрунтового органічного вуглецю, класифікація культур, класифікація ґрунтово-рослинного покриву, карти рослинності та продуктивності.

Під час розширеної аналітики вмісту вологи у ґрунті, EOSDA виконуємо додаткові проліти супутника через 1-2 дні з метою частішого оновлення даних та виявлення різких стрибків рівня вологи якнайшвидше. Додатково, архівні дані з 2002 року дозволяють виявити раніше непомічені тенденції щодо посух та підтоплень і вжити необхідних запобіжних заходів. Цей алгоритм забезпечує високу точність розрахунків вмісту вологи як на поверхні ґрунту, так і в його кореневій зоні.

Щодо карт ґрунтового органічного вуглецю, рішення EOSDA дозволяє моделювати та картографувати його для підтримки сталого сільськогосподарського виробництва та створення вуглецевих кредитів. Завдяки цьому вдається прогнозувати зміни вмісту ґрунтового органічного вуглецю з

часом за допомогою модифікованої моделі, розробленої на основі визнаної моделі кругообігу органічного вуглецю в ґрунті RothC, що використовується ФАО. Розрахунки враховують також параметри топографії, екологічні фактори та методи обробки ґрунту, що робить нашу модель значно точнішою порівняно з простою методикою інтерполяції [29].

Отримавши такі дані, кінцевий споживач зможе:

- Покращити процеси прийняття рішень щодо розподілу ресурсів, наприклад, застосовувати внесення добрив зі змінною нормою, що сприяє сталому сільськогосподарському виробництву.

- Визначити базовий рівень органічного вуглецю в ґрунті на основі моделювання, що дозволить позитивно впливати на довкілля та збільшувати прибуток.

- Створювати точні карти ґрунтів.

Інше рішення - класифікація культур надає ключову інформацію про землекористування та сівозміну в регіоні.

Для отримання надійної інформації EOSDA використовує знімки Sentinel-2 з роздільною здатністю 10 м та перевіряє їх за допомогою наземних даних, а потім використовує нейронні мережі для визначення меж полів і класифікації сільськогосподарських культур. Отримані дані можна візуалізувати на карті. Ця модель забезпечує точність до 90%.

За допомогою карти класифікації культур кінцевий споживач зможе провести повну інвентаризацію посівів в регіоні протягом будь-якого вегетаційного періоду, визначити орні та неорні землі або розрахувати посівну площу для кожного типу культур.

Класифікація ґрунтово-рослинного покриву представляє собою потужний інструмент для віддаленої ідентифікації різних об'єктів на великих територіях та їх подальшої візуалізації у зручному растровому форматі. Основні можливості цієї системи включають:

- Класифікацію у сім різних класів ґрунтово-рослинного покриву, таких як оголений ґрунт, штучні об'єкти, водні та орні землі, сільськогосподарські угіддя, лісові масиви тощо.

- Високу точність та надійність аналізу завдяки використанню нейромережевої моделі FCRM та даним класифікації ґрунтово-рослинного покриву від ESRI та ESA.

- Виявлення змін для контролю стану посівів, відстеження вирубки лісів та інших змін у природному середовищі.

- Покриття всіх куточків світу (доступно для будь-якої країни за запитом).

- Швидкий доступ до детальних та актуальних результатів, що сприяє пришвидшенню процесу прийняття рішень.

З точною класифікацією ґрунтово-рослинного покриву можна виявити, як ці області змінилися протягом конкретного періоду, та як це вплинуло на екосистему. Це дозволяє вдосконалювати стратегії прийняття рішень та планування в сільському, лісовому господарствах та інших сферах діяльності.

У свою чергу, API для зонування дозволяє створювати картографічні зображення рослинності та продуктивності, що сприяють індивідуальному внесенню добрив та насіння на поля. Поля мають різні характеристики, тому для досягнення максимальної ефективності необхідно реагувати на потреби кожної зони. Завдяки функції зонування, яка доступна через API, можна створити:

- Карти продуктивності, які оцінюють потенціал врожайності окремих ділянок поля за допомогою аналізу динаміки вегетації протягом вибраного періоду.

- Карти вегетації, що дозволяють оцінити поточний стан культур у різних ділянках поля на основі різних вегетаційних індексів.

Ці обидва типи карт є невід'ємними інструментами для підвищення продуктивності орних земель за рахунок раціонального внесення добрив, насіння та інших ресурсів.

Підсумовуючи, EOSDA виявляється надзвичайно потужним інструментом для аналізу змін у земельному покритті, пропонуючи рішення, які забезпечують

широкий спектр можливостей для дослідження та управління цими змінами. З розширеною аналітикою вмісту вологи у ґрунті ми можемо не лише виявити різкі стрибки рівня вологи, але й використовувати архівні дані для виявлення тенденцій та прогнозування майбутніх змін. Карти ґрунтового органічного вуглецю дозволяють не лише моделювати його розподіл, а й прогнозувати зміни з часом, що може бути корисним для підтримки сталого сільськогосподарського виробництва. Класифікація культур та ґрунтово-рослинного покриву забезпечує цінну інформацію для аналізу землекористування та виявлення змін у природному середовищі. Крім того, API для зонування дозволяє створювати картографічні зображення, що допомагають індивідуалізувати внесення ресурсів на поля та підвищувати їх продуктивність. З цими рішеннями EOSDA стає незамінним інструментом для вивчення та управління змінами в земельному покритті з метою забезпечення сталого використання земельних ресурсів та збереження природного середовища.

### **2.1.2. Переваги та обмеження використання EOSDA в контексті моніторингу земель**

Використання супутникових знімків для моніторингу земель є невід'ємною складовою в сучасному науковому та професійному середовищі. Однією з основних переваг використання платформи EOSDA є зручний та оперативний доступ до високоякісних супутникових знімків, що дозволяє дослідникам, аналітикам та фахівцям з різних галузей ефективно використовувати ці дані для моніторингу земельних ресурсів. Висока роздільна здатність зображень, що надаються, дозволяє отримувати докладну інформацію про різні аспекти земель, включаючи використання землі, стан вегетації, ерозію та зміни в ґрунті. Це сприяє ефективному виявленню проблемних зон та виробленню стратегій для їх вирішення.

Окрім того, глобальне охоплення, яке забезпечує EOSDA, дозволяє проводити моніторинг земельних ресурсів у будь-якому регіоні світу, що

особливо важливо для досліджень з міжнародним аспектом або для компаній з розподіленими об'єктами у різних регіонах. Крім того, швидкий доступ до актуальних даних дозволяє оперативно реагувати на зміни у земельному використанні або на надзвичайні ситуації, що допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень та запобігає негативним наслідкам.

Однак, варто враховувати деякі обмеження використання EOSDA. Вартість доступу до платформи та супутникових знімків може бути високою для деяких дослідницьких проектів або організацій з обмеженим бюджетом. Крім того, залежно від регіону або типу даних, які необхідно отримати, доступність актуальних знімків може бути обмеженою. Технічні обмеження, такі як якість зображень чи обробка великих обсягів даних, також можуть ускладнювати використання EOSDA для моніторингу земельних ресурсів.

Для ефективного використання EOSDA в контексті моніторингу земельних ресурсів, дослідники та фахівці повинні мати достатні навички у роботі з супутниковими знімками та їх аналізом. Це включає вміння визначати потрібні області інтересу, обирати відповідну роздільну здатність зображень та використовувати різні спектральні індекси для виявлення змін у земельному використанні та вегетації.

Однією з переваг EOSDA є можливість використання різних функцій для обробки та аналізу супутникових знімків безпосередньо на платформі. Це дозволяє зменшити час та зусилля, необхідні для обробки великих обсягів даних, а також спрощує процес вибору потрібних інструментів для аналізу [36].

Однак важливо враховувати, що супутникові знімки можуть бути обмежені у своїй здатності виявляти певні типи змін у земельному використанні, зокрема, якщо ці зміни є дуже малими або відбуваються у дуже темних або вологих областях. Також слід пам'ятати про необхідність періодичного оновлення даних, оскільки зміни у земельному використанні можуть відбуватися досить швидко, а старі дані можуть втратити актуальність.

Ще однією перевагою використання EOSDA для моніторингу земель є глобальне охоплення, що дозволяє отримувати дані для будь-якої області інтересу

по всьому світу. Це особливо корисно для досліджень, що охоплюють великі території або мають міжнародний характер. Платформа також пропонує різні роздільні здатності супутникових знімків, що дозволяє вибрати оптимальний рівень деталізації зображень залежно від конкретної задачі моніторингу [36].

Однак важливо враховувати обмеження використання EOSDA, зокрема, вартість отримання супутникових знімків та їх обробки може бути високою, особливо для великих обсягів даних або для користувачів з обмеженими фінансовими можливостями. Крім того, для ефективного використання платформи необхідно мати доступ до навчання та підтримки від фахівців у сфері обробки супутникових даних, щоб забезпечити правильне інтерпретування результатів аналізу.

Додатковими перевагами використання EOSDA для моніторингу земель є простота інтеграції з існуючими ГІС-системами та іншими аналітичними інструментами. Це дозволяє забезпечити швидкий доступ до супутникових знімків та їх аналізу без значних інвестицій у розвиток власних програмних засобів.

Також важливою перевагою є можливість отримання актуальних та свіжих даних шляхом щоденного оновлення супутникових знімків. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни у земельному використанні та виявляти потенційні проблеми, такі як забруднення, деградація ґрунтів або зміни в розміщенні та розмірах земельних ділянок.

Проте, серед обмежень варто відзначити обмежену точність супутникових знімків у деяких випадках, особливо в умовах хмарного покриття або в лісистих районах. Це може призвести до необхідності використання додаткових джерел даних або методів корекції для забезпечення достовірності результатів моніторингу.

Крім того, існує ризик перешкоди для точного спостереження земельних ділянок через штучні об'єкти або природні перешкоди на землі, такі як хмари, тумани або сніг. Ці фактори можуть ускладнювати процес отримання знімків та аналізу даних і вимагати додаткових заходів для їх подолання.

Узагальнюючи, використання EOSDA для моніторингу земель є потужним інструментом, який надає доступ до широкого спектру супутникових знімків та аналітичних можливостей. Однак для успішного використання цієї платформи важливо враховувати як переваги, так і обмеження та використовувати їх у розумний спосіб для досягнення поставлених цілей моніторингу.

## **2.2. Практичне застосування EOSDA в моніторингу земель**

Практичне застосування EOSDA в моніторингу земель полягає у використанні супутникових знімків для отримання актуальної інформації про зміни у земельному використанні та вирішення реальних проблем, пов'язаних з управлінням територіями. Зокрема, це може включати виявлення зон деградованої землі, моніторинг змін в розмірі та структурі земельних ділянок, виявлення забруднень та інших негативних впливів на довкілля, а також визначення оптимальних місць для сільськогосподарської або будівельної діяльності. Використання супутникових знімків через платформу EOSDA дозволяє здійснювати ці завдання ефективно та оперативно, забезпечуючи при цьому широкі можливості для аналізу та вивчення земельних ресурсів.

Додатково, практичне застосування EOSDA в моніторингу земель дозволяє здійснювати точні вимірювання змін в земельному використанні, враховуючи географічні та кліматичні особливості різних регіонів. Це допомагає в управлінні земельними ресурсами, плануванні територіального розвитку, а також моніторингу впливу людської діяльності на екосистеми та біорізноманіття. Крім того, завдяки високій роздільній здатності супутникових знімків, користувачі можуть отримати детальну інформацію про стан земельних ресурсів навіть у важкодоступних або екологічно чутливих районах. Таким чином, EOSDA сприяє підвищенню ефективності управління земельними ресурсами, забезпечуючи оперативний доступ до потрібної інформації та підтримуючи стале розвиток суспільства.

Враховуючи потужність і доступність EOSDA для аналізу супутникових знімків, ця платформа може знайти широке застосування в моніторингу земель. Наприклад, вона може бути використана для:

- Виявлення змін в земельному використанні. EOSDA дозволяє оперативно виявляти зміни в земельному покритті, що дозволяє владі, дослідникам і організаціям моніторити та оцінювати вплив людської діяльності на природні екосистеми.
- Оцінка екологічних показників. За допомогою супутникових знімків, оброблених на платформі EOSDA, можна визначати здоров'я екосистем, рівень забруднення, зміни в розподілі біорізноманіття та інші важливі екологічні параметри.
- Моніторинг впливу кліматичних змін. Аналіз супутникових знімків дозволяє виявляти зміни в земельному використанні, пов'язані зі змінами клімату, такими як зсуви, ерозія ґрунту та зміна меж річок.
- Управління природними ресурсами. EOSDA допомагає управляти природними ресурсами, такими як ліси, водні ресурси та сільськогосподарські угіддя, шляхом виявлення нелегальної вирубки лісів, виявлення змін в водних ресурсах та оцінки використання земель для сільськогосподарських цілей.
- Планування міського розвитку. Застосування EOSDA у моніторингу земель допомагає міським владам ефективно планувати розвиток міст та місцевих інфраструктур, прогнозувати ризики та визначати зони екологічного ризику.
- Моніторинг земельних конфліктів. Шляхом аналізу супутникових знімків за допомогою EOSDA можна виявляти земельні конфлікти, спірні ділянки та незаконне використання землі, що сприяє покращенню правової та соціальної стабільності в регіонах.

Загалом, платформа EOSDA відкриває безліч можливостей для моніторингу земель, дозволяючи урядовим структурам, дослідникам та громадським організаціям здійснювати широкий спектр аналізів і приймати обґрунтовані рішення щодо управління земельними ресурсами.

Ще однією перевагою використання EOSDA для моніторингу земель є можливість виявлення та аналізу змін у земельному використанні на різних етапах. Від розкриття потенційних нових ділянок для розвитку до виявлення порушень земельного законодавства та нелегального землекористування, EOSDA допомагає управляти земельними ресурсами ефективно та екологічно стійко.

Крім того, EOSDA забезпечує можливість доступу до історичних супутникових знімків, що дозволяє проводити ділянковий аналіз та виявляти тренди у змінах земельного використання протягом часу. Це дозволяє розуміти динаміку змін, виявляти загрози для екосистем та розробляти стратегії для їх захисту та відновлення.

Однак, використання EOSDA також має свої обмеження. Наприклад, для успішного аналізу змін у земельному використанні необхідна велика кількість супутникових знімків високої роздільної здатності, що може призвести до значних витрат часу та ресурсів.

Також важливо враховувати, що точність та надійність аналізу EOSDA залежить від якості супутникових знімків та правильності їх обробки. Не завжди можливо отримати достатньо детальні зображення для виявлення малих змін у земельному використанні.

Також слід враховувати технічні обмеження EOSDA, такі як обмежені можливості в обробці великого обсягу даних одночасно та обмежена доступність супутникових знімків для деяких регіонів або періодів часу.

Отже, при використанні EOSDA для моніторингу земель важливо уважно оцінювати якість та достовірність даних, а також враховувати технічні та обмеження на стадії планування та аналізу досліджень.

### **2.3. EOSDA та геодезія: зв'язок з технічними аспектами геопросторового аналізу**

EOSDA (Earth Observation and Spatial Data Analysis) та геодезія мають глибокий зв'язок з технічними аспектами геопросторового аналізу. Геодезія надає

базові дані про геопростір, такі як координати точок, висоти та топографічні ознаки, що є ключовими для будь-якого аналізу земної поверхні. EOSDA використовує дані з супутників та інших джерел для отримання великого обсягу геопросторової інформації, яка може бути аналізована для виявлення змін у природних та антропогенних процесах на земній поверхні. Таким чином, геодезія і EOSDA спільно допомагають у розумінні та аналізі геопросторових явищ для вирішення різних завдань, включаючи землевпорядкування, відстеження змін клімату, дослідження природних лих тощо.

Під час проведення супутникових вимірювань застосовуються різні методи, виконання яких залежить від типу та моделі приймачів, а також від програмного забезпечення для обробки даних. Для виконання робіт важливо користуватися керівництвом користувача, яке відповідає супутнику, що використовується.

Статичний метод є традиційним підходом до супутникових вимірювань, де вимірювання проводяться одночасно за участю двох чи більше нерухомих приймачів протягом тривалого періоду. Під час цих вимірювань геометричне розташування супутників змінюється, що має велике значення для вирішення невизначеності. Завдяки великій кількості вимірювань можна виявити пропуски в циклах і правильно їх моделювати. Статичний метод використовується для виконання високоточних робіт та вимірювань векторів, що перевищують 15-20 км, а також в обмежених вікнах спостережень з мінімальною кількістю супутників. Тривалість сеансу залежить від довжини вимірюваних ліній, кількості одночасно спостережуваних супутників, типу приймачів і потрібної точності. Протягом 90% часу спостережень сигнали повинні прийматися від не менше ніж 4 супутників [31].

Основні вимоги статичного методу включають такі:

- Проведення спостережень з мінімум чотирьох супутників на пункті.
- Інтервал запису даних становить 20 секунд.

Усі супутникові вимірювання здійснюються з використанням фазового центру антени, що підкреслює необхідність тщательності при вимірюванні висоти антени. Помилка у вимірі висоти антени має вплив на точність визначення всіх

трьох координат пункту. Висота антени вимірюється двічі: до початку та після закінчення спостережень за допомогою рулетки або спеціального пристрою. Якщо різниця у висоті антени на початку та в кінці сеансу перевищує 2 мм, то цей сеанс виключається з обробки, а якщо вона не перевищує 2 мм, то вона усереднюється.

Активація приймача дозволяється за 5 хвилин до запланованого початку вимірювань. Будь-яке запізнення недопустиме, оскільки це може скоротити час спільної роботи приймачів та негативно позначитися на результаті. Для забезпечення точного часу роботи приймачів рекомендується мати радіозв'язок між виконавцями (бригадами). Рішення про припинення сеансу до закінчення строку приймає керівник робіт. Перед початком вимірювань перевіряються (установлюються) робочі параметри приймача, такі як кут відсічення (маска) спостережуваних супутників, інтервал запису, збереження вимірювань і обсяг вільної пам'яті. Інтервал запису повинен бути однаковим для всіх спільно працюють приймачів. Після активації приймача необхідно переконатися, що він відстежує необхідну кількість супутників і обчислює своє місце розташування. Перед початком сеансу спостережень в приймач вводиться назва пункту, висота антени, код оператора та інша необхідна інформація.

Під час проведення спостережень необхідно систематично контролювати роботу приймача кожні 15 хвилин. Перевіряються такі аспекти: живлення, прийом сигналів від супутників, кількість зловлених супутників та значення DOP. Якщо виявляється погіршення цих показників, рекомендується збільшити тривалість спостережень.

Метод швидкостатичних супутникових вимірювань (ШСМ) поєднує в собі високу точність статичного методу з перевагами короткого часу спостережень. Це досягається за допомогою оптимального використання якісних вимірів на двох частотах, що використовуються двочастотними приймачами та відповідною програмою обробки даних. Благодаря короткому періоду вимірювань, метод виявляє чутливість до недостачі вимірів, а також до впливу розташування та кількості зловлених супутників, а також інтервалу запису. Використовується

ШСМ для вимірювання векторів до 10-15 км в мережах з великою кількістю пунктів, і тривалість сеансу залежить від довжини вимірюваних ліній [35].

Основні вимоги методу швидкостатичних супутникових вимірювань (ШСМ) включають таке:

- Проведення спостережень на пункті з участю не менше 5 супутників.
- Під час переміщення з пункту на пункт не потрібно підтримувати захоплення.
- Інтервал запису даних становить 5-10 секунд.

Процедури та вимоги на станції виконуються відповідно до методу статичних вимірювань.

При формуванні геодезичних та знімальних мереж, крім статичного та швидкісного методів, можна використовувати більш продуктивні методи вимірювань, що значно скорочують час вимірювань, такі як псевдокінематичний (ПКМ) та Stop & Go кінематика, а також їх модифікації. ПКМ, переважно, використовується з одночастотними приймачами. Цей метод скорочує час вимірювань у порівнянні зі статичним методом, використовуючи два періоди спостережень тривалістю 5-10 хвилин, розділені часовим інтервалом, щоб змінилося взаємне розташування спостережуваних супутників. Це означає, що мобільні приймачі можуть відвідати декілька пунктів створеної мережі, проводячи вимірювання протягом 5-10 хвилин на кожному, протягом близько однієї години, після чого цикл повторюється у тих же пунктах.

Під час обробки вимірів, отриманих при першому та повторному відвідуванні, їх комбінують в одне рішення. Недоліком псевдокінематичного методу (ПКМ) є потреба у подвійному відвідуванні пункту, що призводить до збільшення часу, необхідного для переміщення та установки на пункті. ПКМ використовується у мережах з короткими відстанями між пунктами та у випадках, коли інші методи не можуть вирішити неоднозначності вимірів.

Основні вимоги до ПКМ включають наступне:

- Проведення спостережень не менше чотирьох супутників під час обох відвідувань пункту.

- Інтервал запису даних складає 5-10 секунд.
- Перерва між відвідуваннями пункту не менше однієї години (див. Посібник користувача для конкретного приймача).
- Збереження однакової висоти антени під час обох відвідувань пункту.

Залежно від обраної схеми побудови мережі, застосовуються різні варіанти ПКМ.

Метод Stop & Go, або "Стій-Іди" кінематика, передбачає проведення одночасних спостережень між референсним і одним або кількома мобільними приймачами. Визначення координат відбувається шляхом безпосереднього розташування антени на попередньо визначених пунктах, що означає, що вимірювання проводяться з закріплених точок на місцевості. Завдячуючи безперервності роботи приймачів зростає обсяг вимірювань, що дозволяє отримати точність, схожу до статичного методу. Метод Stop & Go застосовується у мережах з великою кількістю пунктів на відкритій місцевості. Тривалість часу вимірювань на пункті становить до 1-2 хвилин.

Основні вимоги методу Stop & Go включають:

- Вирішення неоднозначності перед початком вимірювань (ініціалізація).
- Підтримка постійного зловлення не менше 4 супутників під час руху.
- Інтервал запису даних становить 5-10 секунд (див. Посібник користувача).
- У випадку втрати захоплення супутників необхідно повернутися на попередню відому точку і повторити вимірювання або виконати процедуру ініціалізації знову..

У методі Stop & Go перед початком вимірювань мобільний приймач повинен розв'язати неоднозначність, тобто пройти процедуру ініціалізації. Існує кілька способів ініціалізації, включаючи статичну сесію, обмін антен, використання відомої базисної лінії, а також ініціалізацію On-The-Fly (On-The-Way) - під час руху [32].

Кінематика в режимі реального часу (RTK - Real-Time Kinematic) вимагає такого обладнання: референсна станція, одна або декілька мобільних станцій,

спеціальне обладнання для передачі даних від референцної до мобільної станції (радіомодем), та спеціалізоване програмне забезпечення для приймачів.

Референцна станція розташовується на пункті з відомими координатами. Референцний приймач обчислює та передає коригування для вимірювань псевдодальностей на мобільний приймач через зв'язок. Ці коригування визначаються як різниця між виміряними псевдодальностями та фактичною відстанню, розрахованою за точними координатами, введеними в приймач. Цей процес проводиться на кожній епосі спостережень. Мобільний приймач використовує отримані коригування для псевдодальностей та виправлені значення відстаней для обчислення свого положення.

Координати негайно встановлюються на місці в умовах поля за допомогою системи RTK. Цей метод використовується в мережах з великою кількістю пунктів на відкритій місцевості, особливо під час створення знімальних мереж. Тривалість вимірювань на кожному пункті скорочується до менше ніж 1 хвилини. Основні вимоги аналогічні вимогам методу Stop & Go, а методика виконання вимірювань за допомогою RTK подібна до техніки методу Stop & Go.

Існують специфічні вимоги до засобів передачі коригувальних сигналів, таких як радіомодеми. Рекомендується розміщення референцної станції на відкритому та високому місці для забезпечення неперервного радіозв'язку між приймачами та збільшення радіусу дії радіомодема. Перед початком вимірювань важливо перевірити кабельні з'єднання та забезпечити, що встановлено зв'язок з мобільним приймачем [45].

Підсумовуючи, EOSDA (Earth Observation and Spatial Data Analysis) тісно пов'язана з геодезією через їх спільний інтерес до технічних аспектів геопросторового аналізу. Геодезія, надаючи базові дані про геопростір, співпрацює з EOSDA, щоб отримувати та аналізувати великий обсяг геопросторової інформації з супутників та інших джерел. Ця спільна робота допомагає розуміти та аналізувати геопросторові явища для різноманітних цілей, таких як землевпорядкування, відстеження змін клімату та дослідження природних явищ. Під час проведення супутникових вимірювань

використовуються різні методи, що вимагає відповідного програмного забезпечення та дотримання вказівок відповідно до типу супутника та моделі приймача. Такі методи, як статичний, псевдокінематичний (ПКМ) та кінематика Stop & Go, є важливими складовими супутникової геодезії.

### **2.3.1. Пояснення використання геодезичних методів у процесі збору та обробки супутникових даних для моніторингу земель**

Якщо розглядати еволюцію методів супутникової геодезії, то початковим можна вважати геометричний підхід. Цей метод ґрунтується на одночасному фотографуванні схем зоряного неба з мінімум двох різних точок на поверхні Землі, що дозволяє визначити складові вектора, який з'єднає ці точки.

Масив таких векторів утворює просторову мережу, відому як супутникова (космічна) триангуляція. Обробка та аналіз цієї мережі дозволяють визначати координати нових точок у системі координат вихідних точок.

Завдяки високій висоті спостережуваних супутників стало можливим створення мережі супутникової триангуляції зі сторонами приблизно 1500-2000 км. Це, в свою чергу, сприяло об'єднанню материків та островів Землі у єдину глобальну геодезичну мережу.

Однією з переваг геометричного методу є можливість виключити теорію руху супутників та такі складні фактори, як відхилення орбіт супутників, спричинені аномальним гравітаційним полем планети, вплив тяжіння Місяця та Сонця, тиск сонячного випромінювання тощо.

Недолік цього підходу полягає у тому, що результати визначають лише відносні координати нових пунктів у системі координат вихідних пунктів, без прив'язки до центру мас Землі.

Тому найбільш загальним методом у супутниковій геодезії вважається динамічний метод, що базується на вивченні зміни орбіти супутників у часі.

Динамічний метод є складнішим за геометричний, оскільки для його виконання потрібна адекватна модель руху супутників. Точність результатів

значною мірою залежить від точності урахування факторів, які впливають на рух супутників, таких як сила тяжіння, вплив тяжіння Місяця та Сонця, тиск сонячного випромінювання тощо [42].

Метод динамічного визначення дозволяє встановити місцезнаходження точок у всесвітній системі координат, відлічуючи від центра мас Землі, і встановити зовнішнє гравітаційне поле планети. Особливо важливий це метод має для визначення параметрів гравітаційного поля Землі, які є джерелом інформації для вивчення структури внутрішніх шарів планети. Ці параметри визначаються шляхом аналізу збурень у орбітах супутників.

Для реалізації динамічного методу потрібно виконати значний обсяг обчислень, щоб спільно визначити координати наземних пунктів, елементи орбіт супутників та уточнити параметри моделей збурюючих сил шляхом послідовних наближень.

Якщо в динамічному методі визначаються лише координати точок та коригуючі величини для елементів орбіти без врахування параметрів гравітаційного поля Землі, цей підхід відомий як орбітальний метод. У цьому методі параметри гравітаційного поля вважаються вихідними даними. Важливо підкреслити, що ні в динамічному, ні в орбітальному методах не потрібна синхронізація спостережень з наземних пунктів і супутників.

Перші штучні супутники Землі переважно використовувалися для збирання загальної інформації про космічний простір навколо планети. Згодом з'явилися супутники, спрямовані на вирішення конкретних завдань. Залежно від їх призначення, можна виділити такі класи супутників: зв'язку, метеорологічні, навігаційні, геодезичні, океанографічні, ресурсні (для вивчення природних ресурсів), астрономічні та військові.

Супутники, що використовують відбите сонячне світло для спостережень, відомі як пасивні. Вони переходять у статус активних, якщо мають імпульсні лампи-спалаху та/або спеціальне передавальне обладнання на борту. Особливу важливість мають супутники, які обладнані уголковими відбивачами для лазерних спостережень [38].

Супутники, які працюють у відбитому сонячному світлі, вважаються пасивними. Їх можна перетворити на активні, якщо на борту є імпульсні лампи-спалахи та (або) спеціальне передавальне обладнання. Особливо важливими є супутники, які мають уголкові відбивачі для лазерних спостережень.

Методи штучних спостережень Землі часто класифікуються на оптичні та радіотехнічні (радіоелектронні). Оптичні включають в себе візуальні, фотографічні, фотоелектричні та лазерні спостереження. До радіоелектронних методів відносяться інтерференційні, доплерівські, дальномірні. Зараз дедалі частіше використовуються поєднані методи радіоелектронних спостережень.

Оптичні методи вимагають прямого зорового контакту між пунктом і супутником, а також специфічного розташування пункту, супутника і Сонця. Ця остання умова створює значні обмеження для спостереження пасивних супутників.

У порівнянні, радіоелектронні методи можуть бути використані у будь-яких метеорологічних умовах (включаючи дощ, туман і т. д.) та в будь-який час доби. Для вирішення завдань супутникової геодезії використовуються різні системи координат, які відрізняються способом їх задання: прямокутні (як плоскі, так і просторові) або криволінійні (як сферичні, так і еліпсоїдальні). Принципові відмінності між цими системами координат пов'язані з вибором початку відліку, основної площини та орієнтацією головної осі координат.

Як уже зазначалося, супутникові вимірювання можуть бути проведені за допомогою наступних методів:

- метод статичних вимірювань (Static);
- метод швидкостатичних вимірювань (Fast Static, Rapid Static);
- метод псевдокінематичних вимірювань (псевдостатичний, реокупація);
- метод кінематичних вимірювань [32].

Статичний метод вимагає проведення вимірювань протягом тривалого періоду між двома або більше нерухомими приймачами.

Швидкостатичний метод зменшує час вимірювань у порівнянні із статичним, використовуючи оптимальне поєднання якісних вимірювань при двох

частотах протягом 5-10 хвилин. Вимога використання двочастотних приймачів є обов'язковою.

Псевдокінематичний метод скорочує час вимірювань за рахунок використання двох періодів спостережень тривалістю 5-10 хвилин, розділених годинниковим інтервалом. Це забезпечує зміну положення спостережуваних супутників.

Кінематичний метод передбачає одночасні спостереження між референсним і мобільним приймачами. Ініціалізація виконується на першому пункті, а переміщення між пунктами вимагає постійного захоплення 4-5 супутників. У разі втрати захоплення повторюється ініціалізація. Метод має дві форми: метод Stop & Go та метод реального часу (RTK).

Метод Stop & Go включає фіксацію антени мобільного приймача на визначених пунктах для вимірювань, що тривають близько 1 хвилини.

RTK, подібно до методу Stop & Go за технологією польових робіт, відрізняється технологією обробки, заснованою на передачі поправок від референсного приймача до мобільного через радіомодем. Результати надаються негайно після виконання вимірювань.

Точність вимірювань за допомогою сучасних геодезичних супутникових приймачів залежить від типу приймача і обраного методу вимірювань. Стандартні показники точності наведені в таблиці 4.

Зазвичай точність визначення геодезичних висот на 1,5 рази нижча, ніж точність визначення векторів.

Для забезпечення точності супутникових вимірювань необхідно дотримуватися певних умов спостережень:

- 1) Мінімальна кількість спостережуваних супутників повинна бути 4-5.
- 2) Значення DOP (Dilution Of Precision) не повинно перевищувати 4 (або іншого паспортного значення) протягом усього вимірювання.
- 3) Не повинно бути невідновлюваних збоїв (переривань циклів) під час прийому супутникових сигналів протягом усього вимірювання.

4) Мінімальний кут піднесення спостережуваних супутників над горизонтом повинен бути не менше  $15^\circ$ .

5) Не повинно бути перешкод, які можуть впливати на прийом або спотворювати сигнал (наприклад, багатоколіїних перешкод).

6) Повинні бути нормальні атмосферні умови [47].

Використання більшої кількості одночасно спостережуваних супутників під час вимірювань сприяє збільшенню обсягу вимірювань, що в свою чергу підвищує точність та надійність визначення векторів. Значення DOP враховує геометричне розташування супутників та антени на момент вимірювань; менше значення вказує на кращу геометрію та умови вимірювань.

Пропуски циклів виникають при тимчасовій втраті захоплення супутників, що може призвести до неправильного визначення векторів. Сигнали супутників, що знаходяться при кутах піднесення менше  $15^\circ$ , піддаються впливу тропосфери, що може спотворити їх. Багатоколіїність впливає на точність визначення векторів, знижуючи її.

Вибір схеми побудови мережі та використання методів залежить від типу та конструкції приймача, а також наявного програмного забезпечення. Геометрична структура мережі не впливає на точність визначення координат, але для використання результатів супутникових вимірювань у визначенні геометричних елементів за традиційними методами потрібно враховувати відповідні вимоги до структури мережі. Порівняльні обчислення в таких мережах виконуються за стандартними програмами, які використовуються у традиційній геодезії.

Підсумовуючи можна зазначити, що геодезичні методи відіграють важливу роль у процесі збору та обробки супутникових даних для моніторингу земель. Починаючи з геометричного підходу, який базується на фотографуванні схем зоряного неба з різних точок на поверхні Землі, і закінчуючи динамічним методом, що використовує аналіз змін орбіт супутників, геодезія надає важливі дані для визначення різноманітних параметрів, включаючи координати, висоти та параметри гравітаційного поля Землі.

Незважаючи на складність і вимоги до точності, використання супутникових методів у геодезії дозволяє отримати високу достовірність та точність визначення координат та інших параметрів земельних об'єктів. Також важливо враховувати умови спостережень та кількість спостережуваних супутників для забезпечення найкращих умов для вимірювань.

У цілому, геодезія та супутникові методи взаємодоповнюють один одного, допомагаючи здійснювати ефективний моніторинг та аналіз земельних ресурсів та природних процесів на Землі.

## **Висновки до розділу 2**

У цьому розділі було детально розглянуто використання супутникових зображень для моніторингу земель на прикладі платформи EOSDA. Аналізувалися технології та методи, використовувані в рамках EOSDA, а також їх практичне застосування та взаємозв'язок з геодезією.

EOSDA виявляється потужним інструментом для аналізу змін у земельному покритті, що дозволяє не лише виявляти різкі стрибки вологості ґрунту, але й прогнозувати тенденції та майбутні зміни. Використання цієї платформи дозволяє отримувати цінну інформацію для аналізу землекористування, виявлення змін у природному середовищі та підтримки сталого сільськогосподарського виробництва.

Також висвітлено обмеження EOSDA, такі як обмежені можливості обробки великих обсягів даних та обмежена доступність супутникових знімків для деяких регіонів чи періодів часу. Ці обмеження потрібно враховувати при плануванні та аналізі досліджень.

У контексті геодезії супутникові методи використовуються для отримання точних вимірювань координат та інших параметрів земельних об'єктів. Геодезія та супутникові методи взаємодоповнюють один одного, допомагаючи здійснювати ефективний моніторинг та аналіз земельних ресурсів та природних процесів.

Отже, використання EOSDA для моніторингу земель є важливим інструментом, який дозволяє отримувати доступ до супутникових знімків та аналітичних можливостей. Враховуючи як переваги, так і обмеження цієї платформи, можна досягти успішних результатів у моніторингу та управлінні земельними ресурсами.

## **РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ТИПОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ**

### **3.1. Вибір області дослідження, де буде здійснюватися моніторинг земель**

У межах цього підрозділу розглянемо вимоги та особливості еталонної ділянки для розробки методики для майбутнього моніторингу схожих територій. Початково, для вибору області дослідження з метою моніторингу земель слід враховувати географічні та геологічні особливості, такі як рельєф, тип ґрунтів, кліматичні умови та інші. Потрібно визначити межі дослідження, які включатимуть в себе різноманітні ландшафтні зони та типи ґрунтів. Наприклад, вибір області може бути обґрунтований різноманітністю рельєфу та висотними поясами, що впливають на розподіл ґрунтів та їх властивостей. Також важливо враховувати адміністративний поділ, природоохоронні аспекти та доступність даних для аналізу.

Крім географічних та геологічних аспектів, при виборі області для моніторингу земель також важливо враховувати наступні особливості:

- Екологічний стан (область повинна представляти різноманіття екосистем та екологічний стан, включаючи наявність природно-заповідних територій, агроекосистем, промислових зон тощо).
- Антропогенний вплив (варто враховувати ступінь та характер людського впливу на земельні ресурси, такі як промислові та сільськогосподарські зони, міські та сільські населені пункти, інфраструктура тощо).
- Доступність даних (область має мати доступні дані для аналізу та порівняння стану земельних ресурсів на різних етапах моніторингу).
- Стратегічність (вибрана область повинна бути стратегічно важливою з точки зору збереження природних ресурсів, відновлення ґрунтів, а також розвитку сталого природокористування)

- Репрезентативність (область дослідження повинна бути репрезентативною для більшої території чи регіону, щоб отримані дані та висновки могли бути узагальнені та застосовані на більшу шкалу)
- Стабільність (область для моніторингу земель має бути стабільною з точки зору змін в природних та антропогенних умовах, щоб забезпечити надійність даних та можливість порівняння результатів у часі)
- Унікальність (область може мати особливу цінність через унікальні природні особливості, рідкісні види рослин або тварин, або важливі екосистемні функції, що вимагають особливого вивчення та охорони)
- Співробітництво (важливо також враховувати можливість співробітництва з місцевими владами, науковими установами, громадськими організаціями та місцевими жителями для забезпечення успішності та підтримки проекту моніторингу)
- Ефективність ресурсів (область повинна бути обрана таким чином, щоб забезпечити оптимальне використання обмежених ресурсів, включаючи фінансові, технічні та людські ресурси)
- Перспективність (вибрана область повинна мати перспективи для майбутнього розвитку та використання результатів дослідження для прийняття рішень щодо землекористування, природоохоронних заходів та сталого розвитку)
- Динаміка змін (область дослідження може бути вибрана з урахуванням історії змін у використанні земель та їхніх наслідків, що дозволить зрозуміти тенденції та прогнозувати майбутні зміни)
- Участь зацікавлених сторін (важливо залучити участь різних зацікавлених сторін, таких як місцеві жителі, сільськогосподарські підприємства, наукові установи та органи влади, для забезпечення відкритості, взаємодії та прийняття спільних рішень)
- Моніторинг різноманітності (область дослідження може бути обрана для вивчення різноманітності земельних угідь, що включає різні типи ґрунтів, використання земель, та біорізноманіття)

- Масштаби дослідження (слід враховувати масштаби дослідження, включаючи локальні, регіональні та національні масштаби, в залежності від цілей та потреб проекту)
- Потенціал для інтерпретації результатів (область дослідження повинна мати потенціал для інтерпретації отриманих результатів та висновків, щоб забезпечити їхню придатність для прийняття рішень та розробки стратегій управління земельними ресурсами) [40].

Зазначені особливості дозволять вибрати оптимальну область для моніторингу земель, що забезпечить збір достовірних даних, вивчення різноманітних аспектів земельного використання та впливу людської діяльності на екосистеми. Врахування цих аспектів дозволить ефективно здійснювати моніторинг та розробляти рекомендації для сталого управління земельними ресурсами в майбутньому.

Після визначення географічної рамки для дослідження моніторингу земель, важливо уточнити мету та напрямок дослідження. Наприклад, це може бути вивчення змін використання земель, оцінка стану ґрунтів та їх властивостей, а також виявлення впливу людської діяльності на екосистеми. Далі слід провести аналіз доступних даних про землекористування, кліматичних умов, розподілу рослинності та інших факторів, що впливають на стан ґрунтів. Враховуючи ці аспекти, можна розробити методику моніторингу, яка включатиме в себе встановлення пунктів спостереження, вибір параметрів для аналізу та частоту збору даних. Крім того, важливо забезпечити методику збирання даних, яка буде точною, повторюваною та може враховувати зміни в часі. Наприклад, це може включати використання сучасних технологій, таких як дистанційне зондування або географічні інформаційні системи, для аналізу великих обсягів даних та виявлення патернів змін. Приклади супутникових зображень для моніторингу земельного покриття наведено у Додатку 1.

Підсумовуючи, вибір області для моніторингу земель є ключовим етапом у процесі дослідження, і він повинен базуватися на ретельному аналізі різноманітних факторів. На перший погляд, географічні та геологічні особливості,

такі як рельєф, типи ґрунтів і клімат, відіграють важливу роль у виборі області. Однак, додатково слід враховувати екологічний стан, антропогенний вплив, доступність даних, стратегічність, репрезентативність, стабільність, унікальність, співробітництво, ефективність ресурсів, перспективність, динаміку змін, участь зацікавлених сторін та масштаби дослідження. Врахування цих аспектів дозволить вибрати оптимальну область для моніторингу, яка буде ефективною для аналізу та управління земельними ресурсами в майбутньому. Після вибору області, важливо розробити методику моніторингу, яка буде включати в себе встановлення пунктів спостереження, вибір параметрів для аналізу та збір даних з урахуванням змін в часі.

### **3.2. Підбір інструментів для отримання та обробки супутникових знімків**

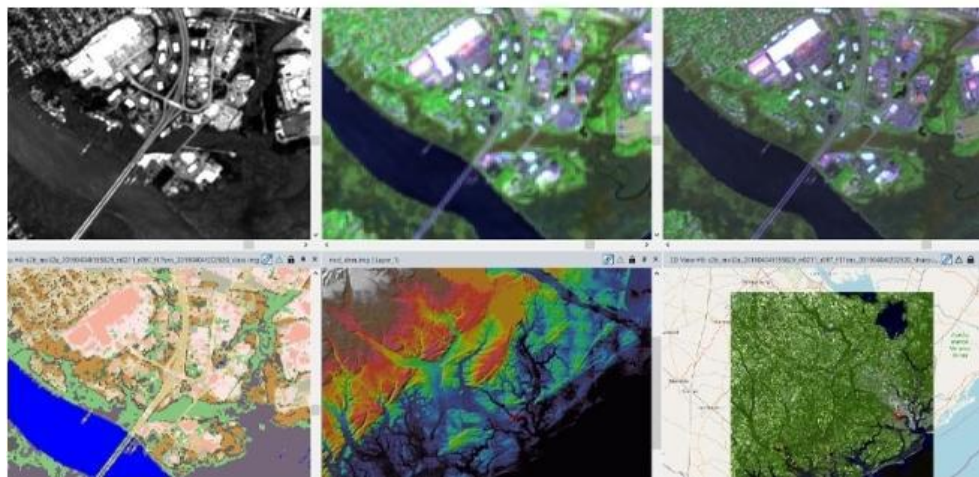
Отримання та обробка супутникових знімків вимагає вибору відповідних інструментів залежно від типу даних та конкретних потреб користувача. Немає універсального підходу, оскільки різні типи даних вимагають різних методів обробки.

Широкі класи даних можуть бути краще видимими залежно від типу даних і діапазону наявних значень. Наприклад, хмарний покрив, туман, вода, сніг, лід, вогонь, дим, каміння, пісок і рослинність - це лише деякі з можливих класів. Для більш точної ідентифікації класів даних можуть бути використані програмні засоби, які зменшують ступінь дисперсії та дозволяють візуалізувати різницю між ними.

При обробці цифрових даних, комерційні або некомерційні програми для геоінформаційних систем та дистанційного зондування можуть бути використані для аналізу та візуалізації даних. Для аналізу друкованих даних на папері або ацетаті можуть використовуватися інструменти, які збільшують пікселі або покращують кількість світла для покращення ідентифікації та інтерпретації. Однак, такі методи рідко використовуються в сучасних умовах.

Для аналізу супутникових зображень використовується кілька методів і інструментів, зокрема:

- Програмне забезпечення для обробки зображень. Ці інструменти використовуються для покращення, класифікації та аналізу супутникових зображень. Приклади включають ENVI, ERDAS Imagine і PCI Geomatica. Наприклад, ERDAS IMAGINE спрощує класифікацію та сегментацію зображень, ортотрансформацію, мозаїку, репроекцію, вилучення рельєфу та інтерпретацію зображень (Рис. 1).



*Рис.1 Можливості ERDAS Imagine*

- Програмне забезпечення ГІС, яке можна використовувати для накладання супутникових зображень на інші типи даних, наприклад топографічні карти або демографічні дані, для створення детальної візуалізації та виконання просторового аналізу. Приклади включають ArcGIS і QGIS.
- Програмне забезпечення для дистанційного зондування. Ці інструменти розроблено спеціально для аналізу супутникових і аерофотознімків. Приклади включають eCognition і Definiens.
- Машинне та глибоке навчання. Ці методи можна використовувати для автоматичної класифікації та вилучення інформації із супутникових зображень. Наприклад, згорткові нейронні мережі можна використовувати для класифікації земельного покриву або виявлення змін у рослинності з часом.

- Google Earth Engine (хмарна платформа для геопросторового аналізу планетарного масштабу, яка використовує потужні картографічні та аналітичні можливості Google для різноманітних наборів даних)
- OpenCV (бібліотека функцій програмування, в основному спрямована на комп'ютерне бачення в реальному часі) [37].

Ці інструменти та методи можна використовувати для виконання широкого діапазону аналізів, таких як класифікація земельного покриву, виявлення змін і реєстрація зображень.

Існують кілька методів, які можна використовувати для ідентифікації об'єктів за допомогою супутникових зображень із високою роздільною здатністю. Найбільш традиційний і широко використовуваний метод - це візуальна інтерпретація, коли людина-інтерпретатор візуально переглядає зображення та визначає особливості на основі своїх знань і досвіду. Інший метод - це обробка зображень, яка передбачає застосування різних алгоритмів для покращення або виділення певних функцій, таких як виявлення країв, фільтрація та виділення функцій. Також можна використовувати класифікацію зображень, де комп'ютерні алгоритми навчаються автоматично визначати та класифікувати елементи на основі їхніх характеристик, таких як текстура, колір і форма. Це можна здійснити за допомогою методів навчання під наглядом або без нього.

Цінним є об'єктно-орієнтований аналіз зображення (OBIA). Ця техніка передбачає сегментування зображення на менші сегменти або об'єкти, а потім аналіз атрибутів і взаємозв'язків цих об'єктів для визначення особливостей. Це можна зробити за допомогою різних алгоритмів, таких як зростання регіону та кластеризація, також важливими є сегментація та класифікація (Рис. 2).



*Рис. 2 Результат OBIA для земного покриву, включаючи сегментацію та класифікація*

Техніка глибокого навчання передбачає використання глибоких нейронних мереж, таких як згорткові нейронні мережі, для автоматичного визначення та класифікації об'єктів із супутникових зображень. Цей метод є нещодавньою розробкою та показує багатообіцяючі результати у визначенні особливостей на супутникових зображеннях високої роздільної здатності [39].

У свою чергу, техніка об'єднання різних джерел даних передбачає об'єднання даних із кількох джерел, таких як супутникові зображення, ЛіДАР і наземні спостереження, для підвищення точності та надійності ідентифікації об'єктів. Варто зазначити, що найкращий метод залежатиме від конкретного застосування, і в деяких випадках може використовуватися комбінація методів.

Існує кілька доступних програм і послуг, які допомагають аналізувати супутникові дані. Ось кілька прикладів: ENVI - це потужне програмне забезпечення, яке може обробляти та аналізувати супутникові дані. Він має багато функцій, таких як сегментація зображень, виділення функцій і класифікація. ERDAS Imagine - це ще одне програмне забезпечення, яке може обробляти та аналізувати супутникові дані. Він також пропонує такі функції, як сегментація зображень, виділення функцій і класифікація. QGIS — це безкоштовна географічна інформаційна система (GIS) із відкритим вихідним кодом, яка може обробляти й аналізувати супутникові дані. Він має такі функції, як сегментація зображень, виділення ознак і класифікація. Google Earth Engine – це хмарна платформа, яка може обробляти й аналізувати супутникові дані. Він пропонує такі функції, як сегментація зображень, виділення ознак і класифікація.

У процесі вибору програмного забезпечення або послуги для аналізу супутникових даних важливо враховувати ряд ключових факторів. Спочатку необхідно уважно розглянути тип супутникових даних, які планується аналізувати, оскільки різні програми та сервіси можуть бути оптимізовані для різних видів даних з різним рівнем роздільної здатності. Крім того, слід врахувати фінансові можливості, оскільки деякі рішення можуть бути доступні за безкоштовними тарифними планами, тоді як інші можуть вимагати підписки або

оплати. До того ж, важливо врахувати рівень власного досвіду та кваліфікації, оскільки деякі програми можуть бути більш складними у використанні, ніж інші, і вимагати певного рівня технічного навиків.

Під час аналізу супутникових даних важливо дотримуватися ряду рекомендацій:

1. Чітко визначити цілі, щоб досягти бажаних результатів.
2. Провести очищення даних, а саме слід сунути будь-які неточності або невідповідності у вихідних даних, що може викривляти результати дослідження.
3. Здійснити нормалізацію даних, мається на увазі, що для спрощення процесу аналізу слід перетворити дані у єдиний формат, що дозволить однозначно їх порівнювати та обробляти.
4. Обрати відповідні методи аналізу. Вибір методів аналізу повинен базуватися на типі даних та конкретних цілях дослідження, щоб отримати максимально точні та релевантні результати.
5. Інтерпретувати отримані результати, а саме важливо ретельно розглянути отримані висновки та зрозуміти їх значення в контексті вихідних даних та поставлених завдань.

У цілому, аналіз супутникових даних є складним, але водночас корисним інструментом, що дозволяє отримувати важливі інсайти для різноманітних наукових та практичних досліджень.

### **3.3. Опис процесу аналізу та інтерпретації отриманих даних**

Методи класифікації загалом можна згрупувати на контрольовані (напівавтоматичні), неконтрольовані (автоматичні) та об'єктні методи класифікації. Класифікація ґрунтового покриття і землекористування базується на різних спектральних відгуках різних матеріалів. Фундаментальний принцип спектральної класифікації полягає в розрізненні об'єктів за допомогою змін у властивостях відбиття або випромінювання, що залежить від довжини хвилі.

Однак, спектральна класифікація стикається з труднощами та нижчою точністю в регіонах, де багато типів ґрунтового покриву мають подібні моделі відбиття, що призводить до спектральної плутанини. Визначення класу здійснюється за спектральними характеристиками кожного зразка. Спектральні діапазони багатоспектральної супутникової місії Worldview-3 наведено у Таблиці 1.

*Таблиця 1. Спектральні діапазони багатоспектральної супутникової місії Worldview-3 [46]*

<b>Спектральна смуга</b>	<b>Області застосування</b>
Берегова	Прибережні дослідження; виявлення тіні; диференціація поверхні землі та води
Синя	Дослідження узбережжя; класифікація лісів; розрізнення ґрунту та рослинності; водні поверхні
Зелена	Типи сільськогосподарських культур; батиметрія; виявлення морських трав
Жовта	Концентрація CO <sub>2</sub> ; розрізнення залізних руд; аналіз відкладів
Червона	Класифікація та аналіз рослинності; поглинання хлорофілу
Червоний край	Здоров'я, вік і тип рослинності; морська трава і рифи; поділ землі
Ближня інфрачервона 1	Вивчення біомаси; стрес рослин; розрізнення матеріалів; розділення водяних поверхонь; виявлення вологості ґрунту
Ближня інфрачервона 2	Вивчення біомаси; стрес рослин; розрізнення матеріалів

Електромагнітне випромінювання, яке не видно людині, дозволяє визначати потрібний елемент візуально за допомогою інтерпретації. Відбиття електромагнітних хвиль залежить від хімічних та фізичних властивостей ґрунту. Наприклад, вміст води та вологи призводить до низького відображення у видимій частині спектра і в ближній інфрачервоній області через поглинання чистої води. Високі відбиття в червоній і ближній ділянці спектра свідчать про високу концентрацію речовини у воді [46].

Контрольований метод класифікації охоплює класифікацію конкретної сцени або зображення на основі попередньо визначених користувачем зразків. Ці зразки використовуються для визначення класів ґрунтового покриву та інших об'єктів. Визначення класу здійснюється за спектральними характеристиками кожного зразка. Самі звичайні алгоритми контрольованої класифікації мають велику кількість пікселів і включають вибіркочу спектральну характеристику для категорій інформації. Рекомендується, щоб позначені області містили принаймні 100 пікселів для кожного класу. Переваги контрольованої класифікації полягають у тому, що оператор має контроль над вибраною інформацією для певного місця. Однак головним недоліком цього методу є те, що оператор визначає структуру класифікації самостійно, що може призвести до несхожості класів із природними. Крім того, відібрані оператором зразки можуть неадекватно відображати умови, що присутні у решті зображення. Додатковим недоліком є часові затрати на вибір даних лише для зразків, а також обмеження людини як класифікатора, що може призвести до хибної суб'єктивної оцінки категорій інформації [35].

Неконтрольовані методи класифікації, такі як автоматичний метод класифікації без нагляду, здійснюють класифікацію сцени на основі статистичного групування спектральних особливостей та характеристик. Основна ідея полягає в тому, щоб групувати пікселі таким чином, щоб їх спектральні значення відповідали певному критерію однорідності. Для деяких алгоритмів цей критерій можна встановити заздалегідь, вказавши допустиму змінність значень пікселів, але лише для деяких алгоритмів вказується бажана кількість категорій. Після встановлення параметрів алгоритм класифікації знаходить природну структуру в наборі даних. Результатом є набір спектральних класів, які потім об'єднуються у інформаційні категорії. Користувачеві потрібно лише визначити кількість класів, які будуть створені. Різні алгоритми групування використовуються для визначення груп статистичних даних, і пікселі згруповані разом відповідно до їх спектральної подібності. Потім комп'ютер аналізує кожну групу та класифікує їх окремо на відповідні класи. Наприклад, якщо аналітик визначив, що зображення потрібно класифікувати на 10 різних класів, алгоритм

створить запропоновані 10 класів відповідно до спектральної подібності пікселів. До найвідоміших алгоритмів групування відносяться K-means і ISODATA [51].

Переваги неконтрольованої класифікації включають автоматизацію, спрощення завдань аналітиків, зменшення ймовірності людських помилок і відсутність необхідності у глибокому розумінні обробки зображення. У неконтрольованій класифікації більшість процесів автоматизовані, і вплив аналітиків на сам процес класифікації зведений до мінімуму. Недоліки та обмеження неконтрольованої класифікації в основному пов'язані з опорою на "природне" групування та складнощами при класифікації їх у відповідні інформаційні класи відповідно до фокусу дослідження.

Контрольовані та неконтрольовані методи були досліджені для управління землями на основі спектрального аналізу кожного пікселя у досліджуваній області, ігноруючи просторову та контекстуальну інформацію навколишніх пікселів. Специфічність підходів, заснованих на аналізі пікселів у зображеннях з високою роздільною здатністю, створює ефект "солі й перцю" (Рис. 3), що може призводити до неточної класифікації.



*Рис. 3 Ефект «солі з перцем» у процесі класифікації на основі пікселів*

Для вирішення цих проблем були розроблені процедури класифікації з орієнтацією на об'єкти, що дозволяють аналізувати просторові та спектральні властивості під час сегментації. Загалом, під час дослідження повинно бути оцінено кілька методів класифікації, щоб визначити найточніший, оскільки їх ефективність зазвичай залежить від властивостей початкових даних. Інтегруючи

ці сегменти в ітеративні навчальні алгоритми, головною метою є досягнення більшої точності результатів, ніж застосування методів, що базуються на пікселях. Класифікації з орієнтацією на об'єкти - це метод, який створює об'єкти різних форм і розмірів, водночас як методи класифікації на основі пікселів генерують квадратні пікселі.

Проблеми, які впливають на вибір зображень, можуть виникати з різниці характеристик супутників та їхніх датчиків. Більшість супутникових датчиків для зображень Землі працюють у кількох спектральних смугах, кожна з яких чутлива до певного діапазону довжин хвиль у електромагнітному спектрі. Деякі датчики спеціалізуються на видимих та інфрачервоних довжинах хвиль, що робить інтерпретацію даних поза цими діапазонами складною. Однак для деяких застосувань, наприклад, у радарних датчиках, важливі саме певні довжини хвиль [48].

Визначальними характеристиками датчика є розмір зображення, область Землі, яка охоплюється, найменші розрізнені ознаки, діапазони, частота отримання зображень та час роботи датчика. До невирішальних питань також належать витрати на придбання та обмін даними, оскільки ліцензування може змінюватися залежно від продукту, датчика та організації.

Площа зображення визначається шириною та довжиною шляху, що охоплюється супутником. Ширина шляху обмежується відстанню до кожного боку, яку датчик може охопити, і може коливатися від 8 до понад 2000 кілометрів. Довжина шляху для зображень із високою та середньою роздільною здатністю, як правило, має тенденцію створювати номінально квадратні зображення, в той час як для зображень із низькою роздільною здатністю може бути характерною велика довжина.

Більшість супутників, які спостерігають за Землею, рухаються від полюса до полюса та синхронізовані з сонцем, що означає, що вони завжди перебувають над певною точкою у той самий час кожного дня. Найменше перекриття між їхніми шляхами спостерігається поблизу екватора, а більша частина перекриття відбувається у верхніх широтах. Деякі регіони, особливо близькі до полюсів,

можуть бути недосяжні для цих супутників. З іншого боку, деякі супутники перебувають у геостаціонарних орбітах, тому вони спостерігають лише за однією півкулею протягом усього дня.

Щодо просторової роздільної здатності, це відстань між сусідніми зразками на зображенні, що записані цифровими супутниковими датчиками. Коли супутник пересувається над Землею, він фіксує яскравість поверхні на регулярних інтервалах. Просторова роздільна здатність цифрового датчика відрізняється від фотоапарата, оскільки вона базується на частоті дискретизації, а не на розмірі зерна плівки. Коли розмір фотографії збільшується, зображення стає шумним, а супутникове зображення розкладається на пікселі, що відображають крихітні елементи зображення. Наприклад, якщо просторова роздільна здатність супутникового зображення складає 30 метрів, це означає, що кожен піксель на зображенні представляє площу 30 на 30 метрів на поверхні Землі. На зображеннях із такою низькою просторовою роздільною здатністю, маленькі будівлі можуть бути нерозрізнені, але футбольне поле можна однозначно впізнати. Деякі супутникові датчики, які мають дуже низьку просторову роздільну здатність, більшу ніж 1 км, застосовуються для загального картографування великих територій або моніторингу рослинності. Тимчасом інші, з роздільною здатністю 1 метр, можуть розпізнавати окремі дерева і користуються для отримання більш деталізованих зображень [50].

Спектральна роздільна здатність, на відміну від просторової, визначається вибіркою електромагнітного спектра. Концептуально, використання більшої кількості вузьких смуг сприяло б різноманітності у розрізненні різних типів ґрунтового покриву. Однак у реальності більшість інформації міститься в обмеженому числі смуг, що є надлишковим. Розробники датчиків намагаються оптимізувати вибір смуг так, щоб вони найкраще відображали різноманітність типів покриву, використовуючи мінімум смуг. Типові групи включають синій, зелений, червоний, ближній інфрачервоний, середній інфрачервоний та тепловий інфрачервоний. Наприклад, синя смуга є корисною для моніторингу коралових рифів та морської трави, оскільки добре проникає у воду. Однак вона також дуже

чутлива до вологості в атмосфері, тому вологі кліматичні умови можуть викликати шум на зображеннях. Зелена смуга вважається відносно високою, тоді як червона смуга вважається відносно низькою для рослинності. Смуги ближнього інфрачервоного діапазону мають високу чутливість до інтенсивного росту рослин. Середні або короткі хвилі інфрачервоних діапазонів чутливі до вологості, тоді як теплові інфрачервоні діапазони реагують на випромінюване теплове випромінювання, таке як гарячі плями у місті або розподіл температури у водоймі.

Повторні цикли та дати операцій є важливими для розуміння роботи супутників. Орбітальні шляхи більшості робочих супутників фіксовані. Повторний цикл датчика визначає кількість днів, через яку певна область може бути знову побачена. Цей цикл може варіюватися від кількох днів до тижнів. Деякі датчики мають шляхи, що перекриваються, тоді як інші є точковими, що дозволяє їм забезпечувати більш часті спостереження.

Важливість повторних циклів полягає в тому, що деякі типи моніторингу вимагають частого спостереження. Крім того, хмарний покрив може перешкоджати збору даних. Супутники з довгими циклами повторення, зазвичай з високою просторовою роздільною здатністю, можуть здійснювати спостереження лише в разі відсутності хмар протягом кількох років у деяких кліматичних умовах [38].

Процес аналізу та інтерпретації отриманих даних включає в себе взаємодію різних характеристик, таких як просторова та спектральна роздільна здатність, повторні цикли та дати операцій.

Широкі стежки, як правило, асоціюються з низькою просторовою роздільною здатністю, що означає меншу деталізацію зображення. З іншого боку, висока просторова роздільна здатність призводить до більших обсягів даних та коротших циклів повторення. Для досягнення високої просторової роздільної здатності деякі датчики використовують широкі панхроматичні смуги, що ускладнює обробку даних.

Просторова роздільна здатність або розмір пікселя визначається частотою дискретизації датчика. Об'єкти на землі повинні бути значно більшими за роздільну здатність датчика для ефективного виявлення. Спектральна роздільна здатність визначається різними частинами електромагнітного спектра, які датчики використовують для збору інформації про об'єкти на землі.

Повторні цикли та дати операцій визначають час, через який певна область може бути знову побачена. Часте покриття збільшує ймовірність отримання зображень без хмар. Використання даних з різних повторних циклів дозволяє вивчити зміни в рослинності та землекористуванні протягом років.

Підсумовуючи, процес аналізу та інтерпретації отриманих даних зазначеної теми полягає в застосуванні методів класифікації для ідентифікації різних об'єктів на зображеннях. Методи класифікації включають контрольовані (напівавтоматичні), неконтрольовані (автоматичні) та об'єктні методи.

Контрольована класифікація використовує попередньо визначені користувачем зразки для класифікації сцени на основі їх спектральних відгуків. Недоліками цього методу є суб'єктивність визначення класів та обмеження оператора як класифікатора.

Неконтрольована класифікація здійснює групування пікселів на основі їхніх спектральних особливостей та характеристик без попередньо визначених зразків. Цей метод автоматизує процес, але може призвести до менш точних результатів.

Об'єктні методи класифікації враховують не лише спектральні особливості, а й просторову та контекстуальну інформацію навколишніх пікселів, що дозволяє отримати більш точні результати.

Крім методів класифікації, важливо враховувати спектральні характеристики електромагнітного випромінювання та їх зв'язок з хімічними та фізичними властивостями ґрунту.

Після проведення класифікації потрібно здійснити інтерпретацію результатів, що включає аналіз та розуміння класів та їх значень у контексті досліджуваної області. Важливо враховувати якість даних, можливість помилок та неоднозначностей у результаті класифікації.

Отже, процес аналізу та інтерпретації даних включає застосування різних методів класифікації та уважне вивчення отриманих результатів з урахуванням контексту дослідження.

### **Висновки до розділу 3**

У цьому розділі розглянуто методику здійснення типових досліджень з використанням супутникових знімків для моніторингу земель. Аналізувалися етапи вибору області дослідження, підбору інструментів для отримання та обробки супутникових знімків, а також процесу аналізу та інтерпретації отриманих даних.

Процес аналізу та інтерпретації даних включає застосування різних методів класифікації та уважне вивчення отриманих результатів з урахуванням контексту дослідження. Аналіз супутникових даних є складним, але корисним інструментом, що дозволяє отримувати важливі інсайти для наукових та практичних досліджень.

Для аналізу супутникових зображень використовуються різні методи та інструменти, такі як програмне забезпечення для обробки зображень, ГІС, програмне забезпечення для дистанційного зондування, а також методи машинного та глибокого навчання. Кожен з цих інструментів має свої переваги та особливості, які важливо враховувати при виборі для конкретного дослідження.

Також важливо враховувати методи класифікації, такі як контрольована та неконтрольована. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і вибір конкретного методу залежить від поставлених цілей дослідження та характеристик даних.

Отже, методика здійснення досліджень з використанням супутникових знімків для моніторингу земель є складним, але дуже важливим процесом, що дозволяє отримувати важливі дані для прийняття рішень у галузі землекористування та охорони навколишнього середовища.

## ВИСНОВКИ

Супутникові зображення широко використовуються для моніторингу земель з метою отримання важливих даних про їх стан та зміни в часі. Методи та технології обробки супутникових даних надають можливість аналізувати земельні ресурси з точністю та деталізацією, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень з управління землею.

Теоретичний аналіз та історичний огляд моніторингу земель допомагає розібратися в основних концепціях та історії розвитку цієї галузі, що є важливим для зрозуміння сучасних підходів та їх ефективного використання. Проведений теоретичний аналіз та історичний огляд моніторингу земель надає фундаментальні знання для подальших досліджень та практичного застосування в галузі землеустрою та екології.

Вивчення сучасних методів дистанційного зондування та огляд методів моніторингу земель дозволяє ознайомитися з найновішими технологіями та підходами, які можуть бути використані для отримання точної та достовірної інформації про земельний покрив, а також вказує на можливості використання новітніх технологій для ефективного відстеження змін в земельному покриві та вирішення актуальних проблем.

Розгляд ролі супутникових знімків у геопросторовому аналізі та технологій їх обробки та аналізу вказує на значення цих інструментів у вирішенні конкретних завдань, таких як моніторинг змін в земельному використанні та оцінка стану довкілля. Окрім цього варто відзначити потенціал цих інструментів у розробці стратегій управління земельними ресурсами та контролю за їх використанням.

Загальний процес аналізу та інтерпретації отриманих даних включає в себе використання різних методів класифікації для розпізнавання різних об'єктів на зображеннях. Класифікаційні методи охоплюють контрольовані, неконтрольовані та об'єктні підходи. Контрольована класифікація базується на передбачених користувачем зразках для класифікації сцен на основі їх спектральних відгуків,

проте цей підхід має недоліки, такі як суб'єктивність та обмеження оператора. Неконтрольована класифікація здійснює групування пікселів без попередньо визначених зразків, що може призвести до менш точних результатів, але автоматизує процес. Об'єктні методи класифікації враховують спектральні, просторові та контекстуальні характеристики пікселів, що дозволяє отримати більш точні результати. Крім цього, важливо враховувати спектральні характеристики електромагнітного випромінювання та їх взаємозв'язок з хімічними та фізичними властивостями ґрунту. Після проведення класифікації необхідно здійснити інтерпретацію результатів, враховуючи якість даних та можливість помилок. Таким чином, процес аналізу та інтерпретації даних включає застосування різних методів класифікації та детальне вивчення результатів з урахуванням контексту дослідження.

Аналіз використання супутникових зображень для моніторингу земель на прикладі компанії EOS Data Analytics (EOSDA) демонструє практичні застосування результатів дослідження в реальних проектах та бізнес-сфері. EOSDA (Earth Observation and Spatial Data Analytics) є прикладом компанії, яка успішно використовує супутникові знімки для моніторингу земель та аналізу їх стану, демонструючи потенціал цього методу в практичних застосуваннях.

EOS Data Analytics (EOSDA) представляє собою компанію, що спеціалізується на аналізі та обробці супутникових даних для різноманітних цілей, включаючи моніторинг земель. Вона також функціонує як платформа, яка розробляє програмне забезпечення для супутникової аналітики. EOSDA використовує дані від різних супутникових систем, таких як Sentinel-2, Landsat, для отримання зображень земельного покриву. Ці дані використовуються для виявлення змін у використанні земель, моніторингу впливу людської діяльності на довкілля та розвитку різних секторів, таких як землеустрій, сільське господарство, лісове господарство та міське планування.

Перевагами компанії є дві ключові продуктивні лінії: EOSDA LandViewer та EOS SAT. EOSDA LandViewer, що є найбільшим репозиторієм супутникових знімків, відомий як високоякісний інструмент для обробки супутникових даних.

Зокрема, EOS SAT, що представляє собою унікальне угруповання з семи оптичних супутників, спеціалізується на наданні підтримки агропідприємствам та іншим галузям у прийнятті обґрунтованих рішень. Це перше у своєму роді супутникове угруповання, спеціалізоване саме на землеустрою.

У свою чергу, геодезія тісно пов'язана з супутниковим моніторингом, надаючи необхідні дані для точного визначення параметрів земельних об'єктів. Вибір області для моніторингу земель є важливим етапом і вимагає комплексного аналізу різних факторів, включаючи географічні, екологічні, соціальні та економічні аспекти. Розробка методики моніторингу є ключовим етапом у впровадженні супутникових даних для ефективного управління земельними ресурсами та оцінки їх стану.

Практичний внесок автора полягає в наступному:

1. Виокремлено, систематизовано та проаналізовано можливості компанії EOSDA в процесі моніторингу земель за допомогою супутникових знімків.

2. Побудовано конкретний алгоритм вибору області дослідження, де буде здійснюватися моніторинг.

3. Наочно представлено результати аналізу супутникових зображень за допомогою програмного забезпечення, на прикладі ERDAS IMAGINE.

4. Наочно доведено ефективність застосування методів класифікації (а саме: контрольованих та неконтрольованих методів) для ідентифікації різних об'єктів на зображеннях.

У цілому, аналіз супутникових даних є складним, але водночас корисним інструментом, що дозволяє отримувати важливі інсайти для різноманітних наукових та практичних досліджень з метою ефективного управління та збереження земельних ресурсів.

Супутникові зображення та їх аналіз грають ключову роль у землеустрої, допомагаючи здійснювати точний моніторинг земельних ресурсів, виявляти зміни в їх використанні та розвиток, а також вплив людської діяльності на довкілля. Ця методика дозволяє отримувати важливі дані для прийняття обґрунтованих рішень

у сфері розробки та управління земельними ресурсами, забезпечуючи ефективність та стабільність у землеустрої.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аніщенко В.О., Боровий В. О. Моніторинг і охорона земель. Навч. посібн. Чернігів, 2016. 208 с.
2. Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г., Греков В.О., Балаєв А.Д.: Національна доповідь «Про стан родючості ґрунтів України». К., 2016. 111 с.
3. Бусуйок Д. Законодавче та правове регулювання моніторингу земель в Україні. Підприємництво, господарство і право. 2012. № 8. С. 56-59.
4. Веремеєнко С. І., Трушева С. С. Моніторинг ґрунтів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 227 с.
5. Веремеєнко С.І. Охорона ґрунтів та відновлення їх родючості. Навч. посібн. Рівне, 2015. 219 с.
6. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
7. Дистанційне зондування землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навчально-методичний посібник / [уклад.:] С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків ; Міністерство освіти і науки України, Національна академія наук України, Національний центр "Мала академія наук України". Київ : Національний центр "Мала академія наук України", 2020. 267 с."
8. Добряк Д.С. Сучасний стан земельної реформи та перспективи розвитку земельних відносин в Україні. Землевпорядний вісник. 2015. № 4. С. 2-4.
9. Жулканич О.М. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення в системі аграрного природокористування. Науковий вісник Ужгородського університету. 2014. Серія: Економіка. № 2 (43). С. 74-77.
10. Зацерковний В. І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування Землі в задачах ефективного землекористування. Математичне моделювання в економіці. 2014. № 1. С. 40-48.

11. Земельний кодекс України. Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення: 01.03.2024).
12. Ковальчук М. С., Юдіна Н. Є. Моніторинг та охорона земель: курс лекцій. К.: Вид-во Нац. Авіа. Ун-ту «НАУ-друк», 2016. 76 с.
13. Конспект лекцій з дисципліни «Супутникова геодезія» (для студентів 4 курсу денної форми навчання, спеціальності 7.070900 «Геоінформаційні системи та технології»)/Авт. Шумаков Ф.Т. Х., ХНАМГ, 2009. 88 с.
14. Критська Я. О., Білобородова Т. О. Дослідження методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2022. С. 11-17.
15. Кулинич П.Ф. Моніторинг земельних відносин в системі правового моніторингу: поняття, становлення, перспективи. 2019. № 10. С. 50-56.
16. Кукуль Н. М. Геоінформаційна інфраструктура моніторингу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій. Наука та інновації. 2010. Т. 6. № 4. С. 13–20.
17. Мартинюк В. О., Томченко О. В. Використання засобів дистанційного зондування Землі до оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону. Український журнал дистанційного зондування Землі. 2021. № 8 (2). С. 27-35.
18. Медведєв В. В. Родючість ґрунтів. Моніторинг та управління К.: Урожай, 2012. 232 с.
19. Оверковська Т.К. Моніторинг земель України: правові аспекти. Юридичний вісник. 2015. № 1 (34). С. 125-128.
20. Основи моніторингу та прогнозування використання земель: Навчальний посібник. Львів: Новий Світ, 2007. 183 с.
21. Панас Р.М. Основи моніторингу та прогнозування використання земель: навч. посіб. Нац. ун-т "Львів. політехніка". Л.: Новий Світ-2000, 2007. 222 с.
22. Перович Л.М., Лудчак О.Є., Гулько О.Р. Аналіз світового досвіду використання методів космічного знімання для моніторингу земель

сільськогосподарського призначення. Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК, 2018.

23. Питання Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2016 р. № 910-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/910-2016-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.03.2024).
24. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 № 391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text> (дата звернення: 01.03.2024).
25. Про затвердження Положення про моніторинг земель. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.08.1993 р. № 661. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF> (дата звернення: 01.03.2024).
26. Про охорону земель. Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 01.03.2024).
27. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 01.03.2024).
28. Радзій В.Ф. Моніторинг та охорона земель : конспект лекцій. Луцьк : Вол. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2022. 98 с.
29. Рішення EOS Data Analytics. EOSDA: веб-сайт. URL: <https://eos.com/uk/solutions/> (дата звернення: 01.03.2024).
30. Смирнова С. М., Смирнов В. М., Мась А. Ю., Борисова А. В. Сучасний стан і перспективи розвитку моніторингу земельних відносин. Інвестиції: практика та досвід. 2021. №4. С. 62-66.
31. Супутниковий моніторинг в метеорології та агрометеорології. Навч. посіб. з дисциплін «Сільське господарство» та «Спутникова метеорологія». для студентів денної форми навчання ОПП «Агрометеорологія», рівень освіти другий (магістр), ОПП «Організація метеорологічного та геофізичного

- забезпечення Збройних Сил України», рівень освіти другий (бакалавр), ОПП Гідрометеорологія, рівень освіти другий (бакалавр) / д.геогр.н., проф. Семенова І.Г. Одеса, ОДЕКУ, 2023. 165 с.
- 32.Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. К.: Аграр. наука, 2019. 204 с.
- 33.Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій/ Т. М. Курач. К., 2021. 50 с.
- 34.Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем /В. Д. Шипулін. Харків : ХНАМГ, 2012. 312 с.
- 35.Dinh D.B., Ngo D.T., Nguyen H.D., Nguyen H.H.V., Dang N.T. Free satellite image data application for monitoring land use cover changes in the kon ha nung plateau, vietnam. Heliyon. 2023. № 9 (1). e12864.
- 36.EOS Data Analytics: веб-сайт. URL: <https://eos.com/uk/> (дата звернення: 01.03.2024).
- 37.Erwin S. A boom in Earth observation satellites creating new demands for intelligence. Space News: website. URL: <https://spacenews.com/a-boom-in-earth-observation-satellites-creating-new-demands-for-intelligence/> (дата звернення: 01.03.2024).
- 38.Fisher J. R. B., Acosta E. A., Dennedy-Frank P. J., Kroeger T., Boucher T. M. Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2018. № 4(2). pp. 137-149.
- 39.Hossain M. D., Chen D. Segmentation for ObjectBased Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. № 150. pp. 115-134.
- 40.Kuenzer C., Fosnight G. Satellite Images for Land Cover Monitoring – Navigating Through the Maze. UNEP Information for Decision Making Series. 2001.
- 41.Kuenzer C., Satellite Images for Land Cover Monitoring – Navigating Through the Maze. Information for Decision Making Series. 2001. 6 p.


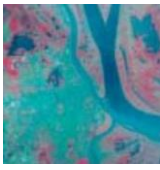
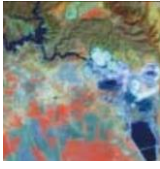
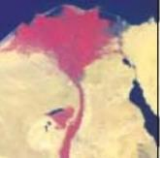
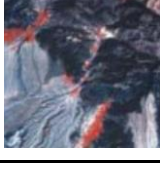


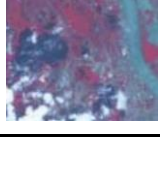
42. Land Use Analysis with Satellite Image. The Study on the Sustainable Groundwater Development for Bogota Plain, Colombia. № 10. pp. (10-1)-(10-12).
43. Manson S., Bonsal D., Kernik M., Lambin E. Geographic Information Systems and Remote Sensing. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. 2015. № 5. pp. 64-68.
44. Nasiri V., Deljouei A., Moradi F., Sadeghi S.M.M., Borz S.A. Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods. Remote Sensing. 2022. № 14. 18 p.
45. Nedd R., Light K., Owens M., James N., Johnson E., Anandhi A. A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies: Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape. Land. 2021. № 10(9). pp. 1-30.
46. Panda L., Radocaj D., Milosevic R. Methods of Land Cover Classification Using Worldview-3 Satellite Images in Land Management. Tehnički glasnik. 2024. № 18. pp. 142-147.
47. Pereira P., Bogunovic I., Muñoz-Rojas M., Brevik E. C. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. Current Opinion in Environmental Science & Health. 2018. № 5. pp. 7-13.
48. Radocaj D., Jurisic M., Gasparovic M., Plascak I., Antonic O. Cropland Suitability Assessment Using SatelliteBased Biophysical Vegetation Properties and Machine Learning. Agronomy. 2021. № 11(8). 1620.
49. Radočaj D., Obhodaš J., Jurišić M., Gašparović M. Global Open Data Remote Sensing Satellite Missions for Land Monitoring and Conservation: A Review. Land 2020. № 9(11). 23 p.
50. Thabtah F., Hammoud S., Kamalov F., Gonsalves A. Data imbalance in classification: Experimental evaluation. Information Sciences. 2020. № 513. pp. 429-441.




51. Zhao S., Wang Q., Li Y., LiunS., Wang Z., Zhu L., Wang Z. An overview of satellite remote sensing technology used in China's environmental protection. *Earth Science Informatics*. 2017. № 10(2). pp. 137-148.

## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А.

*Приклади супутникових зображень для моніторингу земельного покриття*

Супутник	Сенсор/датчик	Зображення	Джерело
Landsat	Мультиспектральний сканер		Зображення NASA
	Тематичний картограф		Зображення NASA
SPOT	Багатоспектральний і панхроматичний		SPOT Image
	Рослинність		SPOT Image
IRS	LISS-III (Linear Imaging and Self Scanning sensor)		Space Imaging
	Панхроматичне		Space Imaging
	WIFS Wide Field Sensor)		Euromap
Terra	ASTER		NASDA

	MODIS		NASDA
AVHRR (The Advanced Very High Resolution Radiometer)			NOAA
Ikonos			Space Imaging