

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК 528.8:528.4

**ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ
ЗАВДАНЬ ЗЕМЛЕУСТРОЮ**

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 четвертого курсу
Корнюхіна Олега Юрійовича

Науковий керівник –
професор, доктор географічних наук
Даценко Людмила Миколаївна

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри № ___ від “___” _____ 20__ року
Завідувач кафедри проф. Даценко Л.М.

Київ – 2024

РЕФЕРАТ

Розглянуто методи дистанційного зондування, їх застосування в галузі землеустрою. Робота включає аналіз різних технологій дистанційного зондування, а також розглядає їх роль у зборі інформації про земельні ресурси, топографію, рельєф та інші параметри земельного ландшафту.

В роботі проводиться дослідження різних методів обробки даних дистанційного зондування, включаючи підвищення просторового розрізнення, фільтрацію зображень, побудову гістограм, аналіз вегетаційних індексів та інші. Застосування цих методів дозволяє отримати більш точні результати, покращити класифікацію об'єктів на знімках, виявити та відстежувати зміни в природних та антропогенних системах.

Результати дослідження свідчать про потенціал методів дистанційного зондування в землеустрої для розв'язання складних завдань, таких як оновлення існуючих ґрунтових картографічних матеріалів, відстеження змін у лісовому покриві, моніторинг урожайності земель та інші. Ці методи дозволяють отримати не лише візуальну інформацію, але й числові дані, які можна використовувати для статистичного аналізу, моделювання процесів та прийняття рішень.

Висновки роботи підтверджують, що дистанційне зондування в землеустрої є вагомим інструментом для отримання об'єктивної, точної та актуальної інформації про земельні ресурси. Дані, отримані з використанням ДЗЗ, дозволяють проводити детальний аналіз змін та трендів у землекористуванні та рослинному покриві, що в свою чергу допомагає приймати рішення та планувати дії з максимальною точністю та ефективністю.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, землеустрій, земельні ресурси, вегетаційні індекси, просторове розрізнення, класифікація.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	2
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА СФЕРИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ	6
1.1. ДЗЗ та сфери його застосування.....	6
1.2. Основні напрями дистанційного зондування.....	8
РОЗДІЛ 2. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	10
2.1. Аерофотозйомка. Розвиток фотограмметрії.....	10
2.2. Розвиток супутникової техніки.....	11
2.3. Деталізація аналізу об'єктів на земній поверхні.....	13
2.4. Сучасний стан дистанційного зондування.....	14
2.5. Майбутні методи ДЗЗ.....	16
2.6. Застосування методів дистанційного зондування в землеустрої.....	17
РОЗДІЛ 3. ЦИФРОВЕ ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ЗЕМЛЕУСТРОЮ	21
3.1. Інформаційні електронні ресурси для одержання даних космічних зйомок у землеустрої.....	21
3.2. Використання цифрових методів підвищення просторового розрізнення даних космічних зйомок, їх застосування у землеустрої.....	23
3.3. Концепція вегетаційних індексів, її застосування у землеустрої.....	25
3.4. Тематична обробка даних ДЗЗ у землеустрої.....	31
3.5. Сучасні рішення у землекористуванні.....	36
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42

ВСТУП

Актуальність теми. Землеустрій в сучасному світі розростається, використовуючи дистанційне зондування, що дозволяє отримати доступ до багатой геопросторової інформації. Це дає змогу детально аналізувати земельні ресурси, визначати зміни в природних та антропогенних об'єктах, відстежувати динаміку змін в землекористуванні та приймати обґрунтовані рішення в землевпорядній практиці. Використання дистанційного зондування в землеустрої відкриває нові можливості для отримання точної та актуальної інформації про земельні ресурси, стан довкілля, використання земель та розробки ефективних стратегій землеустрою. Розробка нових підходів та методик використання дистанційного зондування може допомогти вдосконалити процеси землеустрою, забезпечити більш точну та обґрунтовану роботу з даними, сприяти прийняттю ефективних рішень щодо використання земельних ресурсів та збереження довкілля.

Метою даної роботи є детальне дослідження різних методів дистанційного зондування для вирішення завдань землеустрою, а саме супутникової зйомки, лідару, радіолокаційного та теплового зондування, їх принципів роботи, переваг та обмежень, а також їх застосування в різних аспектах землеустрою, таких як кадастрові роботи, картографування місцевості, визначення властивостей ґрунту та гірських порід, виявлення змін в землекористуванні та інших сферах землеустрою.

Під метою даного дослідження розуміється постановка і вирішення різноманітних завдань і проблем, пов'язаних з управлінням та плануванням земельного простору. Основні завдання, що вирішуються дослідженням, включають: проведення аналізу наявних методів дистанційного зондування, розгляд основних етапів розвитку ДЗЗ, визначення ефективності застосування даних дистанційного зондування в головних задачах землеустрою, огляд методик покращення якості вирішення цих задач.

Об'єктом дослідження є дані дистанційного зондування Землі для вирішення задач землеустрою.

Предметом дослідження є розгляд застосування різноманітних методів дистанційного зондування для отримання інформації про земельні ресурси та процеси, пов'язані з землеустроєм.

РОЗДІЛ 1. ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА СФЕРИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. ДЗЗ та сфери його застосування.

Дистанційне зондування Землі є одним з найважливіших напрямів дослідження Землі. Воно дозволяє отримувати дані про земну поверхню в реальному часі та з високою точністю, що дуже важливо для різних досліджень. Зокрема, це дозволяє відстежувати зміни, які відбуваються на планеті, в тому числі зміни клімату та забруднення довкілля. За допомогою даних ДЗЗ можна проводити моніторинг природних ресурсів, визначати стан ґрунту та рослинності, контролювати стан водних об'єктів та багато іншого.

Дистанційне зондування Землі має дуже широке застосування у багатьох галузях, включаючи геологію, метеорологію, охорону довкілля, агрономію, лісове господарство, водне господарство та багато іншого. Ці дані допомагають у прийнятті рішень з питань землеустрою, містобудування, енергетики та інфраструктури. Також дані ДЗЗ можуть бути корисні для моніторингу катастроф та надзвичайних ситуацій, таких як повені, зсуви ґрунту, лісові пожежі тощо.

«Ефективність роботи сільськогосподарських підприємств залежить від інформованості про стан земель і посівів та здатності системно аналізувати наслідки проведених робіт та заходів. Таку інформованість забезпечують дані ДЗЗ, які пізніше, після дешифрування, опрацьовуються в геоінформаційних системах. Для цілей забезпечення найточнішою та оперативною інформацією здійснюється космічний моніторинг земель, в якому зацікавлені як виробники сільськогосподарської продукції, так і державні органи. З одного боку, оперативна та детальна інформація про стан вирощуваних культур дозволяє ефективно планувати агрономічні заходи й досягати максимальних урожаїв. З іншого боку, дані ДЗЗ – незалежне і об'єктивне джерело інформації для органів державної влади. Ці дані можуть використовуватись для здійснення кадастру земель сільськогосподарського призначення, проведення їх оцінки, перевірки і

уточнення меж сільськогосподарських угідь, контролю цільового використання земель.» - йдеться про ефективність ДЗЗ в сільському господарстві у [1].

У сучасному світі, де збільшується наша залежність від технологій та ресурсів, дистанційне зондування Землі стає все більш важливим інструментом для планування та прийняття рішень у багатьох галузях. Дистанційне зондування Землі є одним з найбільш прогресивних напрямків досліджень, які дозволяють нам збирати та аналізувати інформацію про нашу планету, а також допомагають забезпечити стійкий розвиток та захист навколишнього середовища.

Один з основних інструментів дистанційного зондування Землі - це супутники, що обертаються навколо Землі на різних висотах та збирають дані про земну поверхню за допомогою різних датчиків. Серед таких датчиків можна виділити оптичні, радіолокаційні та інфрачервоні камери, спектрометри, радіометри та інші.

Оптичні камери, зокрема, дозволяють отримувати зображення Землі в різних спектрах світла. Наприклад, за допомогою супутникових оптичних камер можна відстежувати стан рослинності та визначати кількість зеленого покриття, а також визначати рівень забруднення повітря та води. Радіолокаційні камери використовуються для визначення висоти поверхні Землі, а також для визначення вологості та складу ґрунту.

Інфрачервоні камери дозволяють отримувати зображення Землі в інфрачервоному спектрі світла, що дозволяє визначати температуру поверхні Землі, стан льодовиків та інші характеристики.

Спектрометри вимірюють спектральні характеристики електромагнітного випромінювання, що дозволяє визначати склад атмосфери, ґрунту та водних об'єктів.

Радіометри вимірюють інтенсивність випромінювання, що дозволяє визначати вологість ґрунту, температуру поверхні, товщину снігового покриття та інші характеристики.

Перелічені вище прилади можуть використовуватися й на інших літальних апаратах, таких як літаки та БПЛА.

Сфера застосування дистанційного зондування Землі охоплює багато наук, серед яких є і землеустрій. За останні роки ДЗЗ стало незалежним джерелом даних в управлінні земельними ресурсами. Застосовуючи різні інструменти дистанційного зондування, можна отримати необхідні для власних потреб дані.

1.2. Основні напрями дистанційного зондування.

ДЗЗ – це комплексний інструмент дослідження Землі, і розумно було б поділити його на напрямки, кожен з яких вирізняється певним набором використовуваних методів.

Дистанційне зондування ґрунтів є одним з тих напрямів ДЗЗ, що знайшли своє застосування в землеустрої.

Вивчення ґрунтового покриву за матеріалами космічних знімків виконується переважно із застосуванням методу багатозонального фотографування, який ґрунтується на фіксуванні відмінностей у спектральній яскравості різних ґрунтів.

Для безпосереднього дешифрування ґрунтів застосовують знімки, виконані в період максимальної їхньої “відкритості”, тобто в період весняний та осінній, коли сільськогосподарські поля розорані, або коли рослини мають мінімальну висоту та проективне покриття. Водночас саме природна і культурна рослинність є головним індикатором дешифрування ґрунтового покриву, материнських порід, форм рельєфу, ґрунтових вод тощо. Тому вивчення рослинності за космічними знімками і встановлення дешифрувальних ознак різних типів рослинного покриву має важливе значення [2].

Дистанційне зондування рослинності є важливим напрямком в дослідженні та управлінні природними ресурсами. З використанням супутникових знімків інфрачервоного та видимого діапазонів можна отримати інформацію про висоту рослинності, щільність лісів, площу поверхні та її характеристики, стан ґрунту та інші параметри.

Особливого значення набуло застосування матеріалів ДДЗ рослинності в сільському господарстві. Матеріали ДДЗ дають можливість розрізнити і картографувати ділянки з різними типами сільськогосподарського використання (рілля, посіви трав, посіви зернових, просапних і технічних культур, розпізнати посівні культури, пасовища, перелоги і т. п.), а також визначити площі земель, зайняті під різні сільськогосподарські угіддя, культури, чи під специфічні використання.

В теперішній час для України матеріали ДДЗ можуть активно використовуватись для інвентаризації земельних угідь, оперативного внесення змін в оцінку стану земельних ресурсів через їхнє використання не за призначенням, забур'янення, заростання самосівними деревними видами рослин.

В лісовому господарстві набутий значний досвід використання матеріалів дистанційних знімачів для картографування лісів, визначення складу порід, запасів деревини, тобто тих завдань, які традиційно вирішуються трудомісткими наземними лісотаксаційними методами з регулярністю 5–10 років. Застосування дистанційних методів дозволяє у 3–5 раз зменшити затрати на такі роботи, суттєво скоротити наземні роботи при повторних лісотаксаціях, навіть переглянути методи лісовпорядкування [2].

РОЗДІЛ 2. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

2.1. Аерофотозйомка. Розвиток фотограмметрії.

Методи дистанційного зондування, які використовуються для вивчення Землі, розвивалися протягом багатьох десятиліть. На початку доби авіації, зокрема, були зроблені значні кроки у розвитку технологій зондування Землі з повітря.

Одна з перших успішних спроб зондування Землі з повітря була здійснена в 1858 році над Парижем. Відомий фотограф Надар зробив з повітря знімки французького міста та пейзажів, перебуваючи на повітряній кулі. Згодом, у 1920-х роках, почали використовувати літаки для зондування Землі.

Цей період знаменитий своїм активним розвитком фотограмметрії. Так, у 1900-х роках науковці розпочали використовувати фотограмметрію в геодезії, що дозволило значно покращити точність картографування території. В 1920-1930-х роках з'явилися перші спеціалізовані фотограмметричні камери з автоматичним фокусуванням і збільшенням.

Після Другої світової війни фотограмметрія стала досить широко використовуватися у зондуванні Землі з повітря та космосу. У 1950-х роках відбулось значне покращення фотограмметричного обладнання та методів обробки фотографічних знімків, що дозволило досягнути значного прогресу у галузі картографії, топографії та геології. [3]

У 1927 році було створено перший спеціалізований літак для зондування Землі - Фоккер F.VII-3m. Літак мав камеру, яка була змонтована на спеціальній платформі, що дозволяла фотографувати з висоти до 10 тисяч метрів. Це дало змогу отримувати детальні знімки місцевості та створювати карти, що були корисними для географічних та геологічних досліджень.

Протягом наступних десятиліть, технології дистанційного зондування продовжували розвиватись. У 1950-х роках почали використовувати радіо- та

мікрохвильові системи для зондування Землі з повітря, що дозволило отримувати дані про властивості ґрунту та рельєфу.

2.2. Розвиток супутникової техніки.

Другий етап розвитку дистанційного зондування, який припадає на 1960-1970 роки, був переломним у розвитку цієї технології.

Із запуском перших супутників в 1957 році відкрилися нові можливості для дистанційного зондування Землі. На початку 1960-х років було запущено перші спеціалізовані супутники для зондування Землі, такі як Echo, Tiros та Nimbus. Вони були оснащені камерами, які реєстрували зображення Землі з висоти 200-1000 км. Це дало можливість отримувати дані про зміни покриву землі, метеорологічні умови та інші параметри.

У 1972 році був запущений перший мультиспектральний супутник Landsat, який став проривом в зондуванні Землі. Супутник мав здатність реєструвати різні діапазони електромагнітного випромінювання, що дало можливість отримувати зображення Землі з високою деталізацією та з великою кількістю інформації про земну поверхню (рис. 2.1). Landsat став основою для створення бази даних про покрив землі, що дало можливість вирішувати різні завдання, включаючи моніторинг змін покриву землі, оцінку стану лісів, виявлення забруднення та інші.

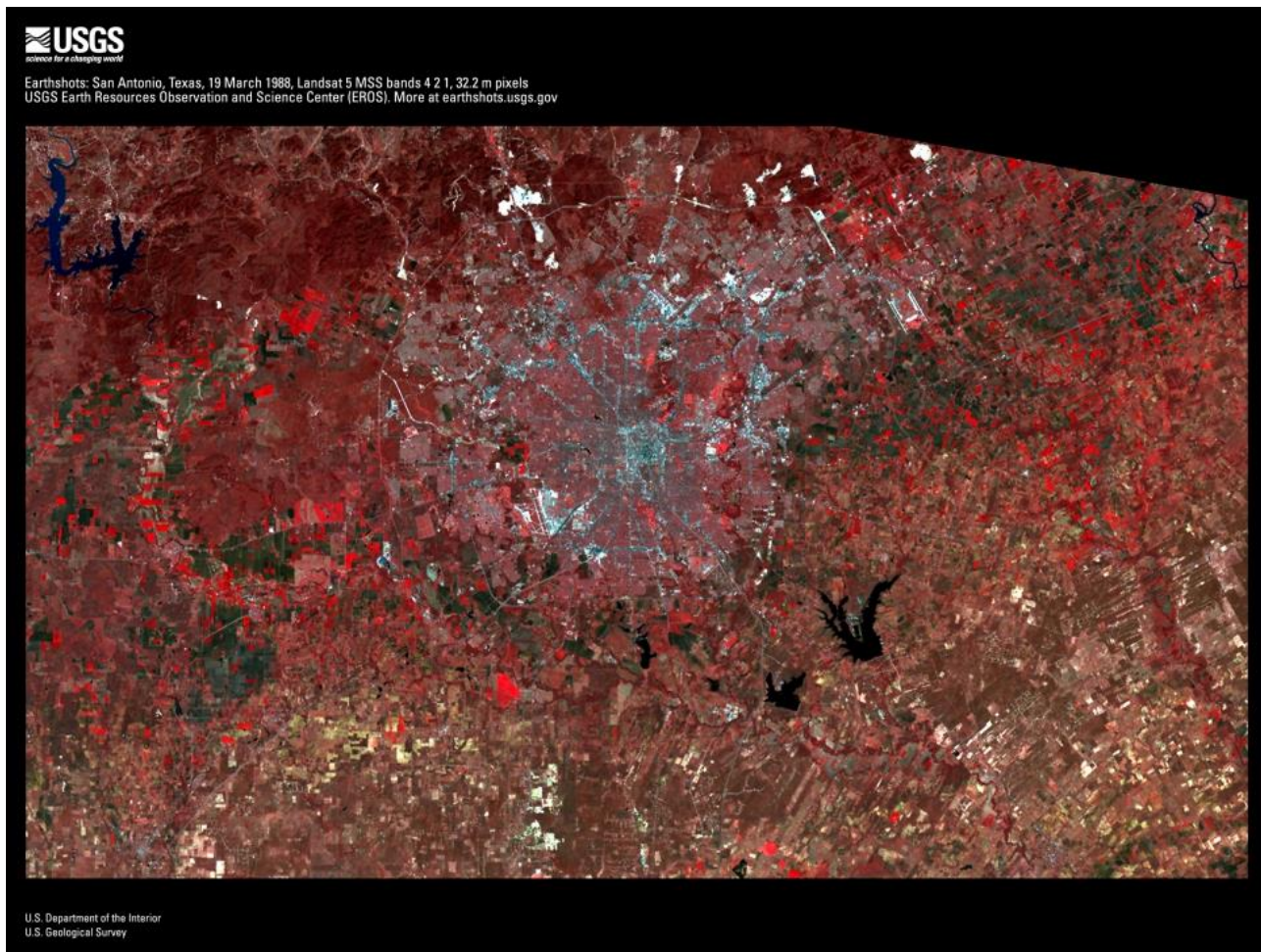


Рисунок 2.1. Зображення міста Сан Антоніо, США, отримане за допомогою супутника Landsat 5 [4]

У 1960-1970 роках дистанційне зондування стало широко застосовуватись в картографії, геології, лісовому господарстві, сільському господарстві та інших галузях. За допомогою даних з супутників та літаків вдалося створити детальні карти територій та їх рельєфу, оцінити запаси корисних копалин, виявити місця виникнення стихійних лих та багато іншого. [3]

В цілому, другий етап розвитку технології дистанційного зондування характеризувався швидким розширенням його застосування, що зумовлено запуском високотехнологічних супутників та розвитком більш складних сенсорів. Ці досягнення проклали шлях до розвитку нових галузей вивчення, у тому числі землеустрою.

2.3. Деталізація аналізу об'єктів на земній поверхні.

У третьому етапі розвитку технології дистанційного зондування (1980-1990 р.р.), зазначеному застосуванням мультиспектральних та гіперспектральних супутникових знімків, відбулося значне розкриття потенціалу цієї технології для більш детального аналізу об'єктів на земній поверхні. Завдяки цим знімкам стали можливими глибші дослідження рослинного покриву, водних ресурсів, ґрунтів та інших складових екосистеми. Більша кількість спектральних каналів у таких знімках дозволяє отримувати більше інформації про властивості об'єктів, їх хімічний склад, стан здоров'я тощо.

У цей період також значно розширилася сфера застосування дистанційного зондування. Воно стало невід'ємною складовою в екологічних дослідженнях, допомагаючи з'ясувати вплив людської діяльності на навколишнє середовище та виявити забруднення. Кліматологія отримала змогу вивчати мікрокліматичні процеси, динаміку хмарності, розподіл опадів та інші параметри, що є важливими для розуміння кліматичних змін. У галузі водного господарства дистанційне зондування дозволило вивчати водні ресурси, контролювати рівень води в річках, озерах та водосховищах, а також виявляти зони забруднення та відстежувати якість води [3].

Одним з головних переваг дистанційного зондування в третьому етапі його розвитку є можливість досліджувати великі території швидко та ефективно. Завдяки супутниковим знімкам можна охоплювати значну площу земної поверхні, що дозволяє збирати великий обсяг даних за короткий час. Це дає можливість проводити більш точні та детальні дослідження, а також прогнозувати зміни в екосистемах та природних ресурсах.

Застосування дистанційного зондування в третьому етапі розвитку технології відкрило нові можливості для більш глибокого дослідження планети Земля та вирішення актуальних екологічних проблем. Відомості, отримані з супутників, стали незамінним джерелом інформації для розуміння процесів, що відбуваються на нашій планеті. Наприклад, вивчення рослинного покриву

дозволяє оцінити стан лісових масивів, виявити проблеми з ерозією ґрунтів та зміни в розподілі рослинних видів. Контроль за водними ресурсами допомагає виявляти області посух, визначати забруднення водних джерел та відслідковувати стан водних екосистем.

Розвиток технології дистанційного зондування в третьому етапі приніс значні переваги у сфері наукових досліджень, екологічного моніторингу, прогнозування кліматичних змін та управління природними ресурсами. Ця технологія стала невід'ємною складовою в сучасній науці та дозволяє нам краще розуміти нашу планету та знаходити ефективні рішення для її охорони та сталого розвитку.

2.4. Сучасний стан дистанційного зондування.

Четвертий етап розвитку методів дистанційного зондування почався в 2000 році і триває до нашого часу. За цей період відбулось значне покращення технологій збору та обробки даних ДЗЗ, що зробило цей інструмент незамінним у багатьох галузях.

Сучасні методи дистанційного зондування поділяються на активні та пасивні. Прилади, що застосовують активні методи, мають власне джерело випромінювання, у той час як пасивні методи полягають у фіксації відбитого природнього випромінювання Сонця чи Землі.

До приладів активного ДЗЗ відносять:

- Радар – прилад, в якому для зйомки використовуються радіохвилі. За інтенсивністю відбитого від поверхні сигналу визначаються особливості поверхні: на радарних знімках чітко виділяються ділянки з водним та сніговим покривом, є можливість визначити вологість ґрунтів та висоту поверхні.
- Лідар – прилад, що сканує поверхню за допомогою лазерного променя. Основне його завдання – створення детальних цифрових

мап рельєфу. Прилад випускає лазерний промінь та вимірює час за який він повернеться, таким чином визначаючи висоту.

- Скаттерометр – прилад, який сканує поверхню в мікрохвильовому діапазоні. З його допомогою здійснюються вимірювання прозорості атмосфери, швидкості та напрямку вітру.

Основними перевагами активних методів є те, що їх можна застосовувати в будь-який час доби. Також результати вимірювань активними методами ДЗЗ мало залежать від погодних умов.

Пасивні методи позбавлені таких переваг, але основна причина їх масового застосування – отримання багатоспектральних знімків. Комбінуючи канали таких знімків, можна отримати велику кількість корисних даних.

Пасивні методи ДЗЗ застосовують наступні прилади:

- Спектрометр – дозволяє отримувати знімки у видимому та інфрачервоному спектрах.
- Радіометр – пристрій для фіксації зображень у мікрохвильовому спектрі.
- Спектрорадіометр фіксує випромінювання в широкому діапазоні спектрів, що дозволяє виконувати мультиспектральну зйомку.
- Гіперспектральний радіометр фіксує зображення, де кожен піксель представлений великим набором вузьконаправлених спектрів. На даний час це найточніший прилад даного виду ДЗЗ, що дозволяє отримувати набори зображень у видимому та інфрачервоному спектрах [5].

Розширення застосування ДЗЗ стало можливим завдяки зростанню зацікавленості різних галузей у використанні цього інструменту. Наприклад, геологи використовують ДЗЗ для пошуку рудних родовищ, а агрономи - для оцінки врожайності поля. Також ДЗЗ дозволяє відслідковувати зміни в екосистемах, виявляти ризики природних катастроф та розробляти стратегії їх запобігання.

Застосування ДЗЗ також стало незамінним інструментом у землевпорядкуванні, зокрема для оцінки урожайності земель та визначення типів землекористування.

2.5. Майбутні методи ДЗЗ.

За останні кілька десятиліть дистанційне зондування Землі пройшло значний шлях розвитку, починаючи від перших супутникових знімків до використання сучасних технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект. І хоча сучасні методи дистанційного зондування мають великий потенціал, науковці та інженери постійно шукають нові технології, які дозволять ще більш точно та ефективно вивчати землю з великої висоти.

В перспективі покращені засоби ДЗЗ мають повністю забезпечувати даними супутникової зйомки такі галузі як сільське та лісове господарство. Сучасні аналітичні засоби вже дозволяють прогнозувати урожайність ділянок та встановлювати дати збору урожаю на основі комплексного аналізу історичних даних, що в найближчому майбутньому дозволить кожному фермеру та спеціалісту розробляти плани вирощування та збору культур. Застосування нейронних мереж відкриває широкі можливості для автоматичної класифікації культур та деревних порід, визначення меж ділянок. Покращення роздільної здатності знімків дозволить значно підвищити точність класифікації та розмежування [6].

На даний час точність аналізу та моделювання комерційних даних ДЗЗ зазвичай становить понад 90%, чого недостатньо для сучасного землеустрою. Покращення супутникових методів збору даних має підвищити точність та роздільну здатність знімків для подальшого застосування в землеустрої.

Загалом, розвиток методів дистанційного зондування є важливим кроком у напрямку більш точного та ефективного використання ресурсів нашої планети. Розвиток супутникових технологій виводить дистанційне зондування на нові горизонти, інтегруючи його у все більше галузей науки.

2.6. Застосування методів дистанційного зондування в землеустрої.

Землеустрій - це наука та практика управління земельними ресурсами та використанням землі для різноманітних цілей. Він включає в себе регулювання власності, використання та розподіл землі, що відбувається в контексті соціально-економічного та екологічного середовища.

Згідно з Законом України «Про землеустрій» [7], землеустрій - сукупність соціально-економічних та екологічних заходів, спрямованих на регулювання земельних відносин та раціональну організацію території адміністративно-територіальних одиниць, суб'єктів господарювання, що здійснюються під впливом суспільно-виробничих відносин і розвитку продуктивних сил.

Для забезпечення ефективного землеустрою використовуються різні методи дистанційного зондування, які дозволяють отримувати детальну та точну інформацію про земельні ресурси та їх стан. Розглянемо деякі з них.

Мультиспектральна зйомка. Мультиспектральні знімки - це один з найпоширеніших методів дистанційного зондування в землеустрої. Завдяки супутникам, які обертаються навколо Землі на низьких та високих орбітах, можна отримати знімки з різної висоти та деталізації. Ці знімки допомагають визначати кількість землі під різними культурами, відслідковувати зміни в структурі ґрунту, контролювати ерозію та інші процеси.

Лазерне зондування. Лазерне зондування - це метод, який дозволяє отримувати точну інформацію про висоту поверхні Землі та її рельєф. Цей метод використовується для створення цифрових моделей рельєфу, що необхідні для планування будівництва доріг, залізниць, мостів та інших інфраструктурних об'єктів.

Гіперспектральне зондування. Гіперспектральне зондування - це метод дистанційного зондування, який використовує спектральні дані, зібрані на більш ніж 100 вузьких ділянках світла (від кількох до кількох десятків нанометрів кожна) для кожного пікселя, для отримання додаткової інформації про об'єкти

на Землі (рис. 3.1). Кожен об'єкт має унікальний спектральний відбиток, який можна використовувати для ідентифікації та картографування матеріалів, що складають об'єкти. Цей метод дозволяє відслідковувати якість земельних ресурсів та рослинного покриву, що знайшло широке застосування в сільському господарстві та землеустрої.

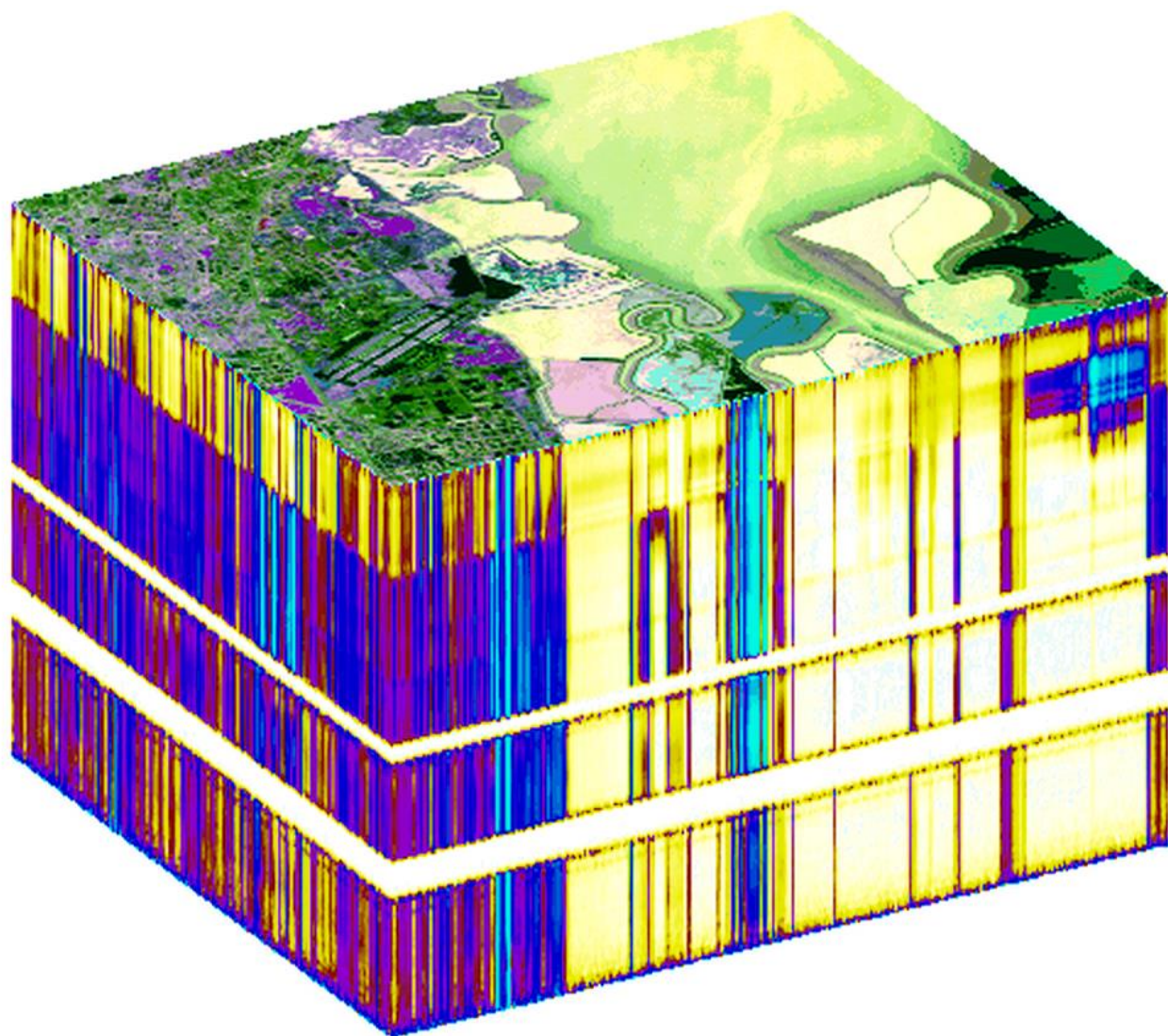


Рисунок 3.1. Наочне представлення гіперспектрального зображення [8].

Крім того, дистанційне зондування дозволяє також визначати рельєф місцевості та глибину водойми. Ці дані можуть бути використані для побудови карт забезпечення гідрогеологічної безпеки та прогнозування ризику наводнення. Крім того, вони можуть бути корисними для планування будівництва магістралей, тунелів та інших об'єктів інфраструктури.

Нарешті, дистанційне зондування також використовується в землеустрої для контролю використання землі та оцінки її екологічного стану. Наприклад, методом спектрального аналізу можна визначити склад ґрунту та його ерозійні процеси. Ці дані можуть бути використані для розробки стратегій землекористування та ефективного управління земельними ресурсами.

Межі використання дистанційного зондування в сучасному землеустрої чітко окреслює координатор проекту “Підтримка реформ в сільському господарстві та земельних відносинах” з питань ГІС, ІТ та кадастру В. Попов:

«– По-перше, можна буде чітко побачити межі ділянок (з урахуванням того, що роздільна здатність – 10 метрів), чи обробляються вони чи ні, які культури там ростуть, яка зволоженість ґрунту, який індекс вегетації культур на момент зйомки тощо. Якщо це буде зйомка навесні чи восени, коли немає трави та листя, то можна буде оцінити стан ґрунтів, ерозію тощо. Це буде груба оцінка, адже точно можна буде виміряти лише разом з польовими дослідженнями зі спектрометром. Але вона буде.

Можна сказати, що ДЗЗ з роздільною здатністю 10 метрів покаже Україну на долоні: ось вам поля, водні ресурси, лісові ресурси тощо. І це не просто знімок, це вже результат класифікації. Тому що якщо ви отримуєте знімками воду, то вона скрізь різна – глибина, забрудненість, цвітіння, не цвітіння. На наших знімках буде видно результат обробки даних. Те ж саме з лісами.» [9]

Ще варіанти використання даних супутникової зйомки пропонує Пілічева М.О. [10]:

«При вирішенні конкретних землевпорядних задач використовують ортознімки, які пройшли попередню обробку і являються аналогом плану або карти.

Космічні знімки успішно використовуються для вирішення землевпорядних задач, пов'язаних з використанням сільськогосподарських земель. За знімками навіть середнього (2,5 м) просторового дозволу можна дешифрувати межі угідь (ріллі, луки, сади тощо) та їх стан (порушення земель, заростання деревною рослинністю види посівів, зволоженість ґрунтів, ураження

шкідниками або бур'янами та інші). Межі сільськогосподарських земель визначаються при візуальному або автоматичному дешифруванні ...

... Ще однією з важливих задач землеустрою є оновлення існуючих ґрунтових картографічних матеріалів і одержання максимально достовірної інформації про стан ґрунтів. У короткі строки і з мінімальними витратами це можна зробити при використанні матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і фотографічної зйомки.»

Загалом, сучасні методи дистанційного зондування мають великий потенціал у землеустрої та можуть бути використані для вирішення багатьох глобальних проблем, пов'язаних з екологією та забезпеченням сталого розвитку. Вони дозволяють збирати великі обсяги даних з великої території, а також швидко та ефективно обробляти ці дані, що робить їх незамінним інструментом для управління земельними ресурсами. Застосування ДЗЗ разом з інструментами землеустрою може бути успішним у випадку ретельного аналізу та правильної обробки даних зондування.

РОЗДІЛ 3. ЦИФРОВЕ ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ЗЕМЛЕУСТРОЮ.

3.1. Інформаційні електронні ресурси для одержання даних космічних зйомок у землеустрої

Для основних задач землеустрою, таких як визначення типів земельного користування, відстеження змін у лісовому покриві, моніторинг урожайності земель та створення карт ґрунтів найчастіше застосовуються мультиспектральні знімки. Є різні ресурси та інструменти для отримання цих даних. Тут ми розглянемо інформаційні електронні ресурси, які допоможуть нам отримати доступ до космічних зйомок та їх аналізу.

Першим і найбільш відомим ресурсом для отримання космічних знімків є NASA Earth Observatory [11]. Це офіційний веб-сайт NASA, який містить велику кількість космічних знімків Землі, що можуть бути використані для досліджень та навчання. На сайті є можливість вибору різних фільтрів, щоб знайти знімки, які потрібні вам за конкретною темою. Крім того, на сайті є статті та новини про останні події, пов'язані з космічними зйомками.

Ще одним ресурсом для отримання космічних знімків є Google Earth Engine [12]. Це безкоштовний онлайн-інструмент, який дозволяє отримати доступ до великої кількості зображень Землі, зібраних різними космічними агентствами. Google Earth Engine пропонує можливість створювати власні карти та аналізувати дані за допомогою різних алгоритмів.

Ще одним корисним ресурсом для отримання космічних знімків є Landsat Look [13]. Це безкоштовний онлайн-інструмент, який дозволяє отримувати доступ до зображень супутників Landsat. Landsat Look містить велику кількість зображень, зібраних з 1972 року, та надає можливість швидко шукати зображення за регіоном, датою та типом зображення (рис. 3.1).

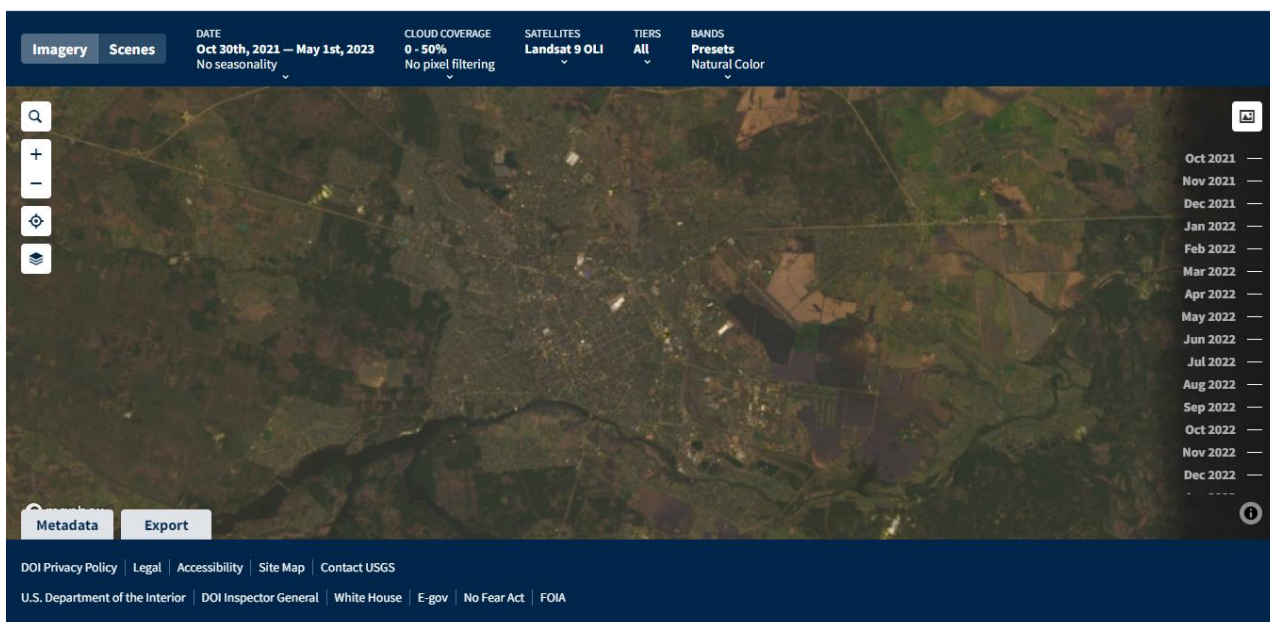


Рис. 3.1. Інтерфейс веб-ресурсу LandsatLook із зображенням міста Житомир [13].

Іншим ресурсом для отримання знімків з різних супутників є Sentinel Hub [14]. Цей безкоштовний онлайн-ресурс дозволяє отримати доступ до архіву знімків супутників Landsat, Sentinel, Envisat та інших. Sentinel Hub має інструменти порівняння знімків, пошуку та завантаження різних комбінацій спектральних каналів знімка (рис. 3.2), складання алгоритмів для отримання власних індексів на основі спектральних каналів. Цей ресурс є безкоштовним та вільним у використанні.

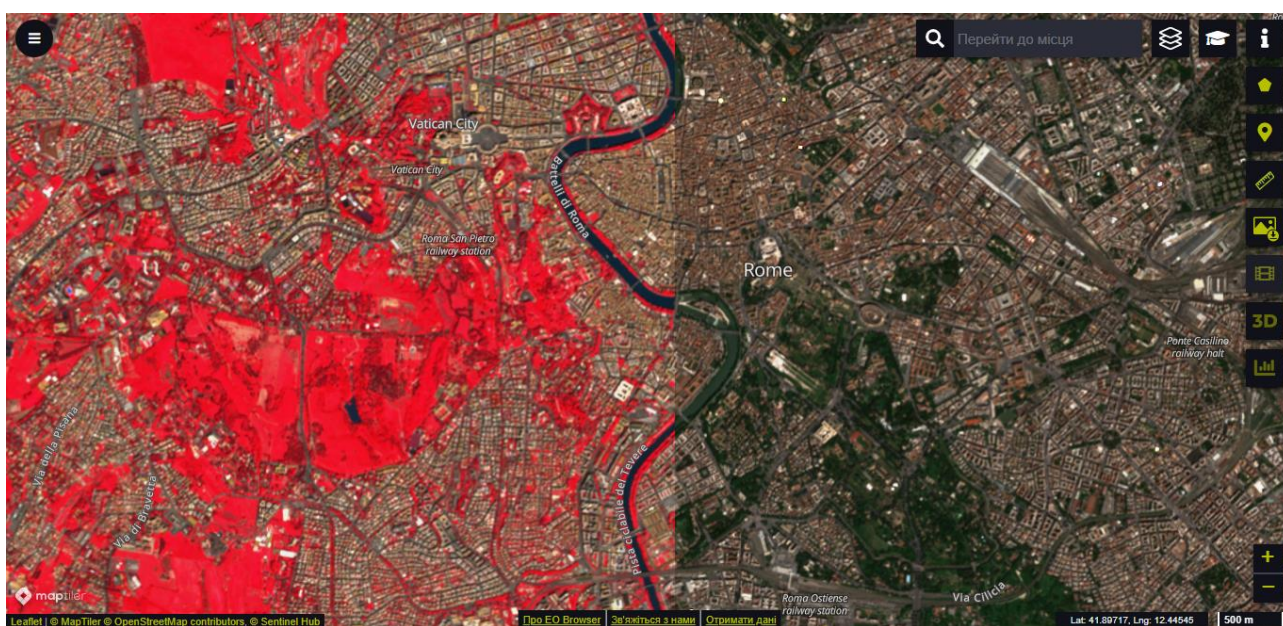


Рис. 3.2. Порівняння різних каналів знімка супутника Sentinel-2 в онлайн-ресурсі SentinelHub [14].

Окрім цього, користувачі можуть скористатися різними сервісами та програмними засобами для обробки та аналізу космічних знімків. Наприклад, програмне забезпечення ENVI (Environment for Visualizing Images) дозволяє обробляти, аналізувати та інтерпретувати дані, отримані з різних джерел, включаючи космічні знімки. Це дозволяє дослідникам здійснювати складні аналізи, виявляти зміни територій та прогнозувати подальший розвиток деяких процесів.

Також варто зазначити, що інформаційні електронні ресурси з космічних знімків використовуються в різних сферах, включаючи геологію, картографію, метеорологію, аграрний сектор та інші. Наприклад, сільськогосподарські підприємства можуть використовувати космічні знімки для оцінки врожайності та здоров'я рослин, що дозволяє планувати свої дії та забезпечувати належне використання земельних ресурсів.

Загалом, інформаційні електронні ресурси для одержання космічних знімків є незамінними для одержання об'єктивної, точної та актуальної інформації про земельні ресурси. Вони дозволяють збирати, аналізувати та використовувати інформацію у землекористуванні та рослинному покриві, що в свою чергу допомагає приймати рішення та планувати дії з максимальною точністю та ефективністю. Отже, використання інформаційних електронних ресурсів з космічних знімків є важливим інструментом управління земельними ресурсами.

3.2. Використання цифрових методів підвищення просторового розрізнення даних космічних зйомок, їх застосування у землеустрої.

Основна ідея цифрових методів підвищення просторового розрізнення полягає в обробці зображення з метою покращення деталізації зображення та зменшення розміру пікселів. Це досягається за допомогою математичних

алгоритмів, які дозволяють збільшити кількість пікселів у зображенні шляхом додавання нових пікселів між існуючими пікселями. Ці нові пікселі створюються на основі аналізу довкілля, яке оточує існуючі пікселі, та використовуються для виправлення неоднорідностей та зменшення шуму в зображенні.

«Перетворення якості зображення засновані на уяві про спектральний простір і простір зображення. Спектральний простір – це набір значень спектральних яскравостей, який можна трактувати як вектор у спектральному просторі. Розмірність простору відповідає кількості зон знімання, а координати векторів є спектральними ознаками об'єктів знімання. Простір зображення розглядає кожний піксель з його значеннями яскравості в системі координат растрового зображення, осі якого – рядки і колонки і пов'язані з просторовим положенням об'єктів. Відповідно до цього методи обробки мають назви – методи спектральних і просторових перетворень.

Методи спектрального покращення зображень реалізують з урахуванням індивідуальних значень яскравості пікселів у межах кожної ділянки спектра. В їх основі лежить аналіз і перетворення гістограм – графічного подання розподілу спектральних яскравостей знімка. При цьому нової інформації не утворюється, відбувається лише перерозподіл початкової інформації з метою підкреслювання спектральних властивостей об'єкта.

Методи просторового покращення засновані на аналізі значень сусідніх пікселів і застосовують їх або локально для деякого оточення заданого пікселя, або глобально – до всього зображення і одночасно в усіх зонах.» [15]

Серед методів спектрального покращення знімків можна виділити наступні:

- 1) Контрастування;
- 2) Еквалізація гістограм;
- 3) Підбір гістограм;
- 4) Інверсія зображень.

Методи просторового покращення зображень – фільтрація та перетворення Фур'є.

Серед методів просторового покращення знімків виділяється синтез зображення. Синтез зображень дозволяє отримувати зображення з високим розрізненням шляхом об'єднання інформації з кількох джерел. Основна ідея полягає в тому, що зображення формуються з множини низькорозрізнених зображень, отриманих з різних джерел, таких як супутники, літаки та дрони.

Саме синтез знімків найчастіше використовується у землеустрої, адже він не змінює спектральні характеристики зображення, на відміну від інших методів, тому активно застосовується перед тематичною обробкою знімків.

Отож, покращення просторової здатності зображень ДЗЗ є важливим етапом обробки даних, оскільки це дозволяє отримати більш точні та чіткі зображення, що можуть бути використані для подальшої обробки та аналізу.

3.3. Концепція вегетаційних індексів, її застосування у землеустрої.

Концепція вегетативних індексів є однією з ключових тем в області дистанційного зондування землі. Вегетаційні індекси - це числові параметри, що відображають стан зелених рослин, їхню активність та біомасу. Ці індекси визначаються на основі вимірювань космічних супутників та літаків з використанням різних спеціальних формул.

Індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) є одним з найпоширеніших індексів в області визначення рослинності за допомогою дистанційного зондування Землі. Він використовується для оцінки здоров'я і активності рослинного покриву на основі вимірювання відбиття світла в різних спектральних каналах.

NDVI розраховується за формулою:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}),$$

де NIR відповідає відбиттю світла в інфрачервоному діапазоні, а Red - в червоному діапазоні спектру.

Цей індекс використовується для визначення фізіологічного стану рослин і оцінки їх розподілу та вегетаційної активності на значній території. Основна

ідея полягає в тому, що здорові і активні рослини мають велике відбиття в інфрачервоному діапазоні, оскільки вони поглинають багато світла в червоному діапазоні для фотосинтезу та використовують його для росту і розвитку. Таким чином, високі значення NDVI вказують на наявність здорових рослин та більший рослинний покрив.

Застосування NDVI включає в себе визначення типів рослинності, виявлення посушливих територій, вимірювання врожайності, моніторинг екосистем та змін клімату, а також оцінку стану лісів і природних джерел води [16].

Особливості застосування індекса NDVI, як і інших вегетаційних індексів, описано в [15]:

«Використання вегетаційного індексу нормалізованої різниці (NDVI) як одного із найбільш поширених та обґрунтованих науковцями індексів пов'язане насамперед з його здатністю характеризувати густоту рослинного покриву, що дозволяє дати оцінку схожості культур, обґрунтувати продуктивність посівів та угідь. На величину індексу впливає тип рослинності, зімкнутість рослин, стан, експозиція та кут нахилу поверхні. Перш ніж використовувати вегетаційний індекс NDVI, слід врахувати, що одна нормалізована різниця двох спектральних каналів містить лише частину первинної інформації, яка може бути необхідною для оцінки стану рослинності, а сам індекс надає ту частку інформації, що наявна у первинних даних спектрального відбиття.

Тому будь-які вегетаційні індекси не забезпечують абсолютних кількісних показників властивостей рослинності, а їхні значення залежать від великої кількості чинників (просторового розрізнення, умов зйомки, стану атмосфери тощо). Одержані на основі вегетаційних індексів відносні характеристики властивостей рослинності інтерпретують з урахуванням наземних даних, одержаних при конкретних польових дослідженнях.»

Індекс EVI (Enhanced Vegetation Index) є одним з розширених індексів в області визначення рослинності за допомогою дистанційного зондування Землі. Він є покращеною версією індексу NDVI і використовується для оцінки здоров'я

і активності рослинного покриву на основі вимірювання відбиття світла в різних спектральних каналах.

EVI був розроблений з метою подолання деяких обмежень, які можуть виникати при використанні NDVI. Цей індекс враховує взаємодію світла з атмосферою, що дозволяє знизити вплив атмосферного розсіяння і хмарності на точність вимірювання рослинності. Крім того, EVI більш чутливий до змін рослинного покриву в порівнянні з NDVI.

Формула розрахунку індексу EVI включає в себе три компоненти: червоний (Red) канал, близький інфрачервоний (NIR) канал і синій (Blue) канал:

$$EVI = 2.5 * ((NIR - Red) / (NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)).$$

Використання EVI дозволяє більш точно оцінити активність рослинного покриву, особливо на територіях зі значним атмосферним впливом і в умовах великої вологості. Цей індекс допомагає виявляти недостатню або надмірну вологу, діагностувати стрес у рослин, оцінювати ефективність використання води, контролювати врожайність та вивчати вплив кліматичних змін на рослинний покрив.

Індекс SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) є одним з індексів, що використовуються в області визначення рослинності за допомогою дистанційного зондування Землі. Цей індекс був розроблений для компенсації впливу ґрунту на точність оцінки рослинного покриву.

Основна особливість SAVI полягає в його здатності враховувати вплив ґрунту, особливо в умовах з різними типами ґрунту або при наявності великої кількості сухої рослинності, яка може маскувати справжню активність рослин. Це робить SAVI корисним інструментом для оцінки рослинного покриву на різних типах територій.

Формула розрахунку індексу SAVI включає параметр L, який відповідає за чутливість індексу до змін відбиття світла від ґрунту:

$$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) * (1 + L),$$

де NIR відповідає відбиттю світла в інфрачервоному діапазоні, а Red - в червоному діапазоні спектру.

Застосування індексу SAVI дозволяє покращити оцінку рослинного покриву, зокрема на територіях з різними типами ґрунту та умовами росту. Він допомагає виявити активність рослин, яка може бути маскувана наявністю сухої рослинності або особливостями ґрунту.

Оцінка рослинного покриву за допомогою індексу SAVI використовується в різних галузях, включаючи аграрну науку, лісове господарство, охорону довкілля та моніторинг змін клімату [15].

Індекс LAI (Leaf Area Index) є важливим показником, що використовується для оцінки кількості листя на одиницю площі ґрунту. Він є мірою густоти листя та розкритості верхнього шару рослинного покриву. LAI використовується в області дистанційного зондування для кількісної оцінки зеленої маси на різних типах екосистем, таких як ліси, сільськогосподарські культури і природні джерела води.

Оцінка LAI здійснюється за допомогою різних методів, включаючи наземні вимірювання, використання спектрометрів і супутникового зондування. Один з найпоширеніших методів - це використання різних спектральних каналів, зокрема червоного і інфрачервоного діапазонів.

Формула розрахунку індексу LAI залежить від методу, який застосовується, але загальна ідея полягає в вимірюванні відношення відбиття або пропускання світла червоного і інфрачервоного діапазонів. Високі значення LAI вказують на густий рослинний покрив і більшу кількість листя, тоді як низькі значення LAI вказують на меншу кількість листя і меншу густоту рослин.

Застосування індексу LAI дозволяє оцінити багато аспектів екосистем, включаючи фотосинтетичну активність, продуктивність рослин, водний баланс та вплив змін клімату на рослинний покрив. LAI також використовується для калібрування та перевірки точності моделей росту рослин і планування врожаю в сільському господарстві.

Індекс GEMI (Global Environmental Monitoring Index) є індексом, який використовується для оцінки стану рослинності та екологічного здоров'я екосистем за допомогою дистанційного зондування Землі. Його розробили з

метою поєднання інформації про фотосинтетичну активність рослин та вплив атмосфери на спектральні характеристики.

GEMI є нормалізованим індексом, який враховує взаємодію світла з атмосферою та різницю між видимим та інфрачервоним діапазонами. Він використовується для компенсації атмосферних впливів, таких як розсіяння світла, вологість повітря та поглинання газів, що можуть спотворювати дані зондування Землі.

Формула розрахунку індексу GEMI має наступний вигляд:

$$GEMI = [(2 * ((NIR^2) - (Red^2)) + 1.5 * NIR + 0.5 * Red) / (NIR + Red + 0.5)] * (1 - 0.25 * ((2 * ((NIR^2) - (Red^2)) + 1.5 * NIR + 0.5 * Red) / (NIR + Red + 0.5))^0.5)$$

де NIR відповідає відбиттю світла в інфрачервоному діапазоні, а Red - в червоному діапазоні спектру.

Застосування індексу GEMI дозволяє отримати інформацію про стан рослинності та екосистем, включаючи рівень фотосинтетичної активності, рост та вегетаційну активність. GEMI також використовується для визначення впливу змін клімату, антропогенної діяльності та забруднення на рослинний покрив.

Крім того, існують інші вегетаційні індекси, такі як ARVI, (Atmospherically Resistant Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index) та TVI (Triangular Vegetation Index). ARVI розраховується з урахуванням впливу атмосферної діяльності, PVI є більш простим та чутливим до змін рослинного покриву, а TVI відображає кількість хлорофілу в рослинах [14, 15].

Насправді, вегетаційні індекси знайшли застосування в багатьох різноманітних областях. Один з прикладів - це використання вегетаційних індексів для вивчення місцевого клімату та змін клімату на глобальному рівні. В інших випадках, вегетаційні індекси використовуються для оцінки діяльності різних сільськогосподарських культур, вимірювання водного балансу в різних регіонах та попередження лісових пожеж.

Веgetаційні індекси можуть бути визначені за допомогою різних методів, таких як методи, засновані на вимірюваннях спектральної відповіді рослинних

видів, або методи, що використовують алгоритми машинного навчання. В будь-якому випадку, використання вегетаційних індексів для аналізу даних з космічних зйомок стає все більш поширеним в залежності від розширення космічної технології та доступності даних [16].

В землеустрої вегетаційні індекси використовують задля створення карт ґрунтів. Окрім визначення спектральних властивостей оголених ділянок ґрунту, для ідентифікації ґрунтів застосовуються вегетативні індекси рослинності, що покриває ґрунт. Таким чином можна визначити ступінь еродованості ґрунту: чим він більший, тим менше забезпечення рослинності азотом, що негативно впливає на її стан. Ця задача виконується із застосуванням таких індексів як – NDVI, EVI, GNDVI. В той час як перші два індекси просто описують стан рослинності, третій індекс визначає рівень азоту [17].

Ще однією сферою застосування вегетаційних індексів у землеустрої є бонітування ґрунтів. Процес оцінки родючості ґрунтів є доволі трудомістким і вимагає великої кількості польових досліджень. Вегетаційні індекси в цьому випадку сильно спрощують роботу землевпорядника.

Концепція вегетаційних індексів є потужним інструментом для вивчення рослинного, ґрунтового покриву та оцінки його стану. Вегетаційні індекси забезпечують широкий діапазон даних, які можуть бути використані для різних цілей, від аналізу водного балансу до оцінки хімічних, фізичних та біологічних характеристик земель. Дані, що містять вегетаційні індекси, використовуються для оцінки ресурсного потенціалу земель, виявлення змін використання земель, планування розташування інфраструктури та вирішення багатьох інших завдань землеустрою. Крім того, з розвитком космічної технології та збільшенням обсягу доступних даних, використання вегетаційних індексів у землеустрої стає все більш ефективним та популярним інструментом для дослідження рослинного та ґрунтового покриву.

3.4. Тематична обробка даних ДЗЗ у землеустрої.

Тематична обробка даних ДЗЗ є важливим етапом в аналізі та використанні зібраних даних. Вона полягає у виборі певних характеристик об'єкта, зокрема його кольору, форми, текстури, а також аналізу змін цих характеристик в часі. Такий аналіз дозволяє виявляти зміни в природних та антропогенних процесах, що відбуваються на Землі, та допомагає у прийнятті рішень щодо управління природними ресурсами.

Однією з основних задач тематичної обробки даних є класифікація поверхні Землі на різні класи за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Класифікація – автоматизований розподіл всіх пікселів знімка на групи, які відповідають різним об'єктам (класам), загалом за спектральними ознаками, тобто на основі відмінностей у значеннях спектральної яскравості.

За ступенем участі користувача в процесі автоматизованого дешифрування алгоритми класифікації поділяють на дві групи: класифікація без навчання (автономна класифікація, некерована класифікація, кластеризація) та класифікація з навчанням (керована класифікація).

Некерована класифікація – це процес, при якому розподіл пікселів зображення відбувається автоматично, на основі аналізу статистичного розподілу яскравості пікселів. Перед початком некерованої класифікації невідомо скільки, і яких об'єктів є на знімку, а після проведення класифікації необхідно дешифрування отриманих класів, щоб визначити, яким об'єктам вони відповідають [15].

Некерована класифікація застосовується у таких випадках, коли на знімку об'єкти погано розрізняються, або ж їх надто багато і вони мають складні межі. Також неконтрольована класифікація може бути попереднім етапом перед застосуванням контрольованої класифікації.

У некерованій класифікації використовуються алгоритми, які базуються на кластерному аналізі. Кластерний аналіз дозволяє виділяти контури з неконтрастною по спектральній яскравості структурою, наприклад рослинність,

відкриті ґрунти, воду, хмари та інші об'єкти. З використанням алгоритмів кластеризації виконується автоматичне розділення зображення на групи пікселів, подібних за спектральним характеристикам (кластери). Ці алгоритми потребують мінімум початкової інформації (число класів, кількість ітерацій). Є багато різних алгоритмів некерованої класифікації, серед яких у програмних продуктах для обробки зображень найчастіше використовують два наступних: ISODATA та К-середніх [18].

Ітераційна самоорганізована методика аналізу даних (Iterative Self-Organising Data Analysis Technique, ISODATA) – алгоритм, що потребує задання лише кількості кластерів від користувача. Алгоритм виконується у два кроки: спершу пікселі відносяться до кластерів, основним критерієм при цьому є різниця спектральної яскравості між пікселем та центром кластера. Потім перераховується положення центрів кластерів, враховуючи при цьому приєднані у першому кроці пікселі. Далі алгоритм виконує ці кроки, доки різниця положення центрів кластерів між інтервалами стане мінімальною.

Метод К-середніх для своєї роботи потребує введення граничної відстані між класами, кількості кластерів та кількості ітерацій. Під час роботи алгоритму для пікселя вираховується відстань до центру кожного кластера, після чого відбувається приєднання пікселя до найближчого кластера, після чого центральна точка кластера перераховується.

Метод К-середніх вирізняється швидкістю виконання, проте його недоліком є залежність від початкового розташування кластерів. В той же час метод ISODATA є досить повільним, але майже не залежить від людського фактору. Обидва методи взаємно доповнюють один одного, тож доцільно використовувати їх послідовно: швидко розбити ділянку на кластери методом К-середніх та послідовно розташувати їх методом ISODATA.

Керована класифікація (класифікація з навчанням) застосовується у випадках, коли наперед відома кількість класів об'єктів та їх типологічні особливості, тобто коли об'єкти на знімку чітко дешифруються. У процесі керованої класифікації розподіл пікселів на класи здійснюють на основі

порівняння значень характеристик кожного пікселя з еталонами (навчальними вибірками), які формують для кожного класу шляхом відбору пікселів з певним діапазоном характеристик відповідно до реальних об'єктів місцевості на знімку [3].

Класифікація проводиться в декілька етапів:

1. Визначення того, які класи об'єктів будуть виділені в результаті виконання всієї процедури.
2. Для кожного з класів об'єктів обираються типові для нього пікселі, тобто формується навчальна вибірка.
3. Вирахування параметрів “спектрального образу”, що сформовано в результаті набору еталонних пікселів.
4. Перегляд всього зображення і віднесення кожного з пікселів до певного класу.

Під час класифікації з навчанням використовують попередньо визначені людиною еталонні ділянки спектральної яскравості об'єктів. У інтерактивному задаванні цих значень і складається навчання. У процесі класифікації значення яскравості пікселя порівнюють з еталонним і піксель відноситься до найбільш придатного класу об'єктів. Якість навчання можна оцінити за правильністю класифікації еталонних ділянок – в цьому полягає контроль.

Навчальні вибірки, які називають еталонами об'єктів – це набори пікселів, які представляють образ розпізнавання та слугують його ідентифікації. Це певна ділянка земної поверхні, якій відповідає ділянка в пікселях на знімку, яка ідентифікується на основі істинних даних про поверхню.

Умовою проведення навчальної вибірки є наявність на знімку еталонних ділянок, тобто фрагментів зображення, об'єкти яких однозначно віднесено до певного класу. Джерелами, на основі яких виконується вибір еталонів, є матеріали польових робіт, карти, дешифровані аерознімки. Якість навчальної вибірки впливає на точність класифікації. Основною вимогою до даних навчальних вибірок є їхня репрезентативність, тобто пікселі мають відповідати

одному класу на місцевості, а кожен клас повинен займати територію, яка достатньо добре представлена пікселями на знімку.

Серед алгоритмів керованої класифікації можна виділити наступні: способи спектрального кута, паралелепіпедів, мінімальної відстані, максимальної правдоподібності, метод бінарного кодування [15].

Потужним програмним забезпеченням для класифікації знімків є ERDAS IMAGINE. ERDAS IMAGINE надає широкий спектр функцій і можливостей для обробки зображень, включаючи попередню обробку, покращення якості, класифікацію, сегментацію, аналіз спектральних характеристик, витягування атрибутів та візуалізацію даних. Програмний пакет підтримує різні формати зображень і спектральних даних, забезпечуючи гнучкість та сумісність з різними джерелами даних.

ERDAS IMAGINE використовує різні алгоритми для класифікації зображень, включаючи ISODATA та метод максимальної вірогідності. Програмний пакет надає можливості для інтеграції геопросторових даних, моделювання рельєфу та виконання різноманітних аналітичних завдань у галузі землеустрою, географії, екології, геології та інших галузях, де важлива обробка та аналіз зображень з дистанційного зондування.

Основним застосуванням тематично оброблених даних ДЗЗ в землеустрої є створення карт ґрунтів. Дані про ґрунти застосовуються при оцінці бонітету, якісній та кількісній характеристиці земельних ділянок, тому ґрунтові карти є наочним уявленням про характеристики природних ресурсів регіону.

Найкраще для класифікації ґрунтів підходять мультиспектральні знімки, адже різні типи ґрунтів відбивають світло в широкому спектральному діапазоні. Наприклад, для автоматичної класифікації засолених ґрунтів та солончаків використовують синю частину видимого спектру, де такі ґрунти найбільше вирізняються серед інших [2].

Задля визначення типів ґрунтів ще застосовується ґрунтова лінія, особлива залежність між яскравостями у червоному та інфрачервоному спектрах оголеного ґрунту. Залежність вираховується за формулою:

$$NIR = \beta_1 R \pm \beta_2$$

Де NIR – спектральна яскравість ґрунту в ближньому інфрачервоному спектрі, R – спектральна яскравість ґрунту в червоному спектрі, β_1 – кутовий коефіцієнт, β_2 – зміщення початку координат.

Згідно з цією залежністю, ґрунтова лінія є особливою для кожного типу ґрунту, що сприяє дешифруванню поверхні без витратних замірів на місцевості [20].

Тематична обробка даних ДЗЗ разом з універсальними інструментами автоматичної класифікації вирішують декілька задач землеустрою: визначення типів земельного користування, оцінка бонітету ґрунтів, відстеження змін у лісовому покриві, моніторинг урожайності земель тощо.

3.5. Сучасні рішення у землекористуванні.

Сучасне сільське господарство стає все більш залежним від супутникових технологій. Одним із головних постачальників геопросторових та супутникових даних у сільському господарстві є компанія EOS Data Analytics, заснована в Україні в 2017 році. Основним проектом, яким займається компанія у сфері землекористування, є EOSDA Crop Monitoring – передова супутникова платформа точного землеробства для виробників харчових продуктів, страхових компаній, постачальників засобів виробництва та інших учасників аграрного сектора. Серед проектів, що пропонує платформа, можна виділити наступні: прогнозування та моніторинг урожайності, класифікація сільськогосподарських культур, визначення меж полів, розширена аналітика вологості ґрунту, вміст органічного вуглецю у ґрунті.

Автоматичне визначення меж поля з допомогою нейронних мереж дозволяє ефективно оцінити розподіл орних земель регіонами а також є базовим кроком для створення карт та схем оцінки врожайності, моніторингу динаміки врожаю. EOSDA пропонує точність визначення меж понад 80% при мінімальному розмірі поля 3 га. Користувач отримує докладні карти меж поля у форматах .shp та .geotiff, доступ до вже існуючих баз даних для порівняння меж. Цей інструмент пропонується як для урядових організацій, так і для приватних бізнесів. Досить ефективно інструмент проявляє себе у поєднанні з нейросітковою класифікацією культур, значно підвищуючи якість класифікації (рис. 3.3)



Рис. 3.3. Поліпшення класифікації культур з допомогою розмежування полів [21]

Віддалений моніторинг урожайності – це визначення стану врожаю на окремих полях за вибрані дати на великих територіях, що впливає на планування польових робіт та розробку стратегії продажу. Основними завданнями які вирішує моніторинг урожайності є: оптимізація логістики збирання врожаю, забезпечення ефективного планування сівозміни, коригування засобів обробки ґрунту та внесення добрив, регулювання застосування інсектицидів та гербіцидів.

Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур дозволяє фермерам вирощувати сільськогосподарські культури у більш сталий спосіб. Рішення EOSDA для оцінки врожайності, розроблене на основі останніх технологічних досягнень у галузі машинного навчання та геопросторової аналітики, надає фермерам, агрохолдингам, компаніям, що забезпечують продовольчу безпеку, та іншим організаціям, відповідальним за прийняття рішень, важливі дані, необхідні для сталого та прибуткового виробництва культур.

Алгоритми EOSDA забезпечують точність прогнозування до 95% на період до трьох місяців для понад ста типів культур. Залежно від складності проекту прогноз готується максимум за два тижні.

Для прогнозу використовуються дві моделі прогнозування урожайності: біофізична (польові дослідження) та статистична (збір статистичних даних). Для отримання максимально можливої точності обидві моделі зливаються (рис. 3.4).

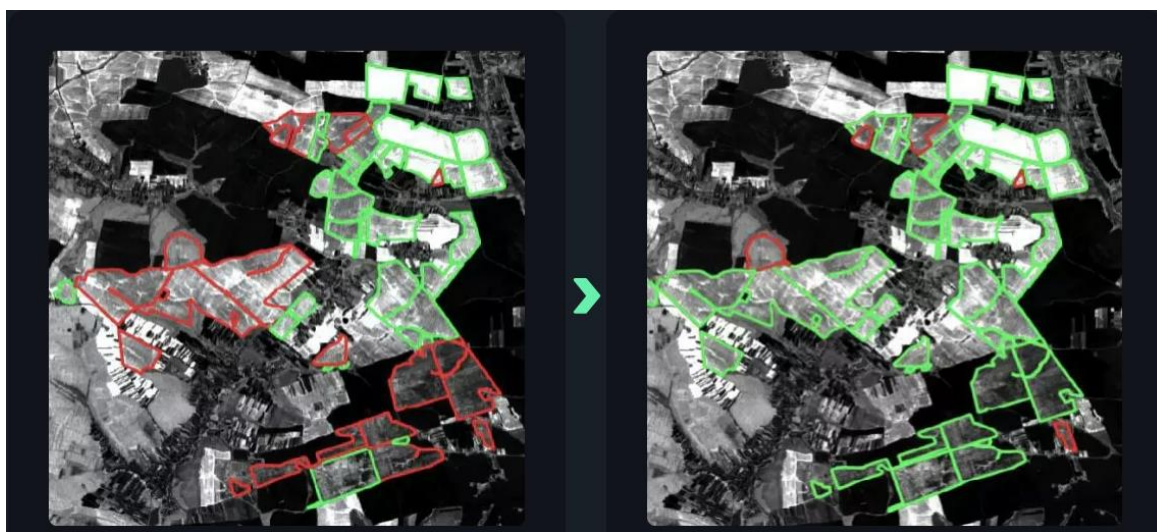


Рис. 3.4. Точність прогнозу урожайності до (зліва) та після (справа) проведення злиття моделей. Червоним кольором виділено поля, де точність прогнозування менше 80%, зеленим кольором – де більше 80% [22].

У 2020 році EOSDA реалізували проєкт з прогнозування обсягу врожайності для 6 основних культур: озимий ячмінь, озимий ріпак, озима/весняна пшениця, соняшник, соя та кукурудза.

Було згенеровано два прогнози врожайності: WOFOST (симуляційна модель) та LAI асиміляція (індекс листової поверхні), обидва прогнози були поєднані та порівняні (табл. 3.1).

	Точність (WOFOST)	Точність (WOFOST + LAI)
Кукурудза	0.75	0.91
Соеві боби	0.78	0.86
Соняшник	0.71	0.88
Ячмінь озимий	0.53	0.82
Озима пшениця	0.75	0.92

Таблиця 3.1. Порівняння точності моделей прогнозу врожайності.

Удосконаливши модель за допомогою асиміляції LAI (Індекс листової поверхні), вдалося підвищити точність оцінки врожайності до 30% у порівнянні з традиційним підходом WOFOST.

Класифікація сільськогосподарських культур на основі супутникових даних є важливою частиною аграрного бізнесу. Цей проект застосовується для проведення інвентаризації на великих площах та оцінки врожайності, ведення обліку сівозміни на окремих ділянках, заради спрощення управління землекористування.

Фахівці компанії EOSDA пропонують класифікацію понад 15 типів культур на полях площею понад 3 гектари. Для класифікації культур окрім даних в оптичному діапазоні використовуються також і супутники з радаром із синтезованою апертурою, що дозволяє отримувати зображення незалежно від погоди та часу доби [23].

Сучасні рішення у землекористуванні, що пропонує компанія EOSDA, показують, що ДЗЗ зайняло свою нішу у комерційній сфері. Приклади успішно реалізованих проектів показують, що застосування технологій ДЗЗ покращує точність прогнозування урожайності, дозволяє значно прискорити отримання результатів розмежування полів та класифікації культур у порівнянні із традиційними методами.

ВИСНОВКИ

В результаті проведення аналізу наявних методів дистанційного зондування було виявлено, що такі методи як мульти- та гіперспектральна зйомка, лазерне зондування можуть вирішувати різні завдання в землеустрої: створення карт ґрунтів, оцінка бонітету ґрунтів, визначення меж земельних ділянок.

Проведено розгляд основних етапів розвитку ДЗЗ, внаслідок якого встановлено, що початок впливу дистанційного зондування на роботу землеустрою почався у 70-х роках минулого століття, після запуску супутника Landsat.

У ході дослідження підтверджено, що застосування даних дистанційного зондування має великий потенціал у вирішенні головних задач землеустрою.

Успішне застосування методів дистанційного зондування в землеустрої вимагає комплексного підходу, який включає аналіз, інтерпретацію та використання отриманих даних у поєднанні з іншими інструментами землеустрою.

Застосування методів дистанційного зондування дозволяє зібрати великий обсяг даних про різні аспекти землеустрою, включаючи фізичні, хімічні та біологічні характеристики земель, використання земельних угідь тощо. Ці дані використовуються для оцінки ресурсного потенціалу земель, виявлення змін використання земель, планування розташування інфраструктури та вирішення багатьох інших завдань землеустрою.

Під час дослідження було розглянуто методики покращення якості даних дистанційного зондування та їх обробки. В результаті виявлено, що у землеустрої застосовується здебільшого синтез зображень, а серед методів обробки даних своє застосування знайшли вегетативні індекси та тематична обробка.

Узагальнюючи, дослідження підтверджує, що ці методи є важливим інструментом для збору, аналізу та використання інформації про Землю. Вони мають велику важливість для оцінки ресурсного потенціалу земельних ресурсів,

ефективного планування територій та виявлення змін у землекористуванні. Подальший розвиток цих методів та їх впровадження у практику землеустрою сприятимуть сталому використанню земельних ресурсів, збереженню природного середовища та підвищенню ефективності земельного управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Використання ГІС та ДЗЗ у землекористуванні. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 14-16 листопада 2012 р. – Миколаїв: КП «Миколаївська обласна друкарня», 2012. – 96 с.
2. Дистанційні дослідження Землі : Навчальний посібник / Г. Р. Байрак, Б. П. Муха. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 712 с.
3. Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.
4. Центр спостереження ресурсів та науки Землі [Електронний ресурс] earthshots.usgs.gov
5. Види Дистанційного Зондування Землі Та Їх Застосування [Електронний ресурс] <https://eos.com/uk/blog/vydy-dystantsiinoho-zonduvannia/>
6. Рішення Eos Data Analytics [Електронний ресурс] <https://eos.com/uk/solutions/>
7. Закон України «Про землеустрій» від 22.05.2003 № 2849-XI [Електронний ресурс] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
8. Гіперспектральне зображення [Електронний ресурс] https://web.archive.org/web/20110703101153/http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_24.html
9. Як зйомки з космосу допоможуть контролювати сівозміни, впроваджувати точне землеробство та підтримувати ОТГ? [Електронний ресурс] <https://kirovohradska.land.gov.ua/iak-ziomky-z-kosmosu-dopomozhut-kontroliuvaty-sivozminy-vprovadzhuvaty-tochne-zemlerobstvo-ta-pidtrymuvaty-oth/>
10. Пілічева М.О. Методи використання даних аерокосмічного знімання в задачах землеустрою : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.04. Харків, 2016. 151 с.
11. NASA Earth Observatory [Електронний ресурс] <https://earthobservatory.nasa.gov/>

12. Google Earth Engine [Електронний ресурс] <https://earthengine.google.com/>
13. LandsatLook [Електронний ресурс] <https://landsatlook.usgs.gov/explore>
14. SentinelHub [Електронний ресурс] <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
15. Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій / Т. М. Курач – К., 2021 – 50 с. [Електронний ресурс] https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/12/kurach-t_czo_konspekt-lekczij.pdf
16. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур / С. С. Кохан // Космічна наука і технологія. 2011. Т. 17. № 5. С. 58–63
17. Чорний С.Г., Садова Д.Ш. Діагностика еродованих південних чорноземів за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Ландсат-8». Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 83-89
18. Геодезія, архітектура та будівництво: Матеріали II Міжнародної конференції молодих вчених GAC-2009. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. С. 138-139
19. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення / Х.В. Бурштинська, Б.В. Поліщук, О.Ю. Ковальчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2013. Вип. 78. С. 101-110
20. Абрамов Д.А. Побудова ґрунтових ліній та визначення їх параметрів для ґрунтів правобережного степу України за допомогою супутникової інформації. Таврійський науковий вісник. Вип. 91. Херсонський державний аграрно-економічний університет. 2015. С. 11-15
21. Автоматичне Визначення Меж Поля З Допомогою Нейронних Мереж [Електронний ресурс] <https://eos.com/uk/products/crop-monitoring/custom-solutions/field-boundaries-detection/>

22. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур [Електронний ресурс] <https://eos.com/uk/products/crop-monitoring/custom-solutions/yield-prediction/>

23. Рішення EOSDA у сільському господарстві [Електронний ресурс] <https://eos.com/uk/solutions-tags/agriculture/>