

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ «Інститут геології»  
Кафедра геоінформатики

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій  
освітня програма «Геоінформаційні системи та технології»

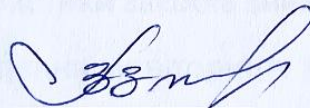
**ТЕМА: «МОНІТОРИНГ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ  
ДЗЗ»**

Виконав

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

студент 3-го (скороченого) курсу  
кафедри геоінформатики  
Ящук Петро Михайлович

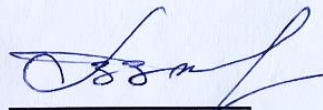
Науковий керівник

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

професор, доктор технічних наук  
Зацерковний В.І.

Робота рекомендується до захисту (протокол № 14 засідання  
кафедри геоінформатики від 13.06.23 р.)

Завідувач кафедри

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

професор, доктор технічних наук  
Зацерковний В.І.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНИТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ .....	5
1.1 Застосування аерокосмічних методів для вирішення проблем моніторингу зелених насаджень .....	5
1.2. Історія та досвід використання матеріалів дистанційного зондування для моніторингу зелених насаджень .....	8
1.3. Моніторинг зелених насаджень за космічними знімками .....	12
2. ОСОБЛИВОСТІ ДЕШИФРУВАННЯ ЗНІМКІВ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНИТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ .....	16
2.1 Спектрометричні характеристики рослинного покриву .....	16
2.2. Використання індексів класифікації для зелених насаджень .....	21
2.3. Інтерпретація та візуалізація результатів класифікації .....	31
3. СТВОРЕННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНИТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ (НА ПРИКЛАДІ М ДЗІВНУВ (DZIWNOW), РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА).....	38
3.1 Географічна характеристика об'єкту дослідження .....	38
3.2. Технічні характеристики засобів знімання .....	39
3.3. Методика проведення моніторингу зелених насаджень з допомогою технологій LiDAR, аерофотознамання, косомзнімання, аналіз, порівняння результатів .....	48
ВИСНОВКИ .....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

## ВСТУП

Зелені насадження є одним із найважливіших факторів не тільки формування ландшафту міста, а й створення системи санітарного, санітарно-гігієнічного, мікрокліматичного та екологічного стану мешканців житлової зони.

Важливість зелених насаджень як елементів ландшафту полягає насамперед у тому, що вони зменшують вплив негативних факторів, зокрема акустичного забруднення, електромагнітного випромінювання та передачі забруднюючих речовин. Зелені рослини є природними адсорбентами летких забруднювачів, а також можуть зменшувати величину коливань вологості повітря та температури.

Одним з ключових помічників у моніторингу зелених насаджень є дистанційне зондування Землі. Безпілотні літальні апарати, літаки з аерофотоапаратами, з подальшою картографічною візуалізацією результатів, усі мають свою роль у моніторингу зелених насаджень, формуванні та підтримці безпечної екосистеми міста. Це зумовлює високу актуальність дослідження використання безконтактних дистанційних методів для потреб моніторингу зелених насаджень.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблемами у сфері моніторингу зелених насаджень займалися учені: Фомін В., Писаренко П., Бредун В., Вовк Т., Тіан Ю. (Tian Y), Венг Х. (Wang H), Джим С. (Jim C). та ряд інших.

Рослинний світ забезпечує людину всім необхідним для її життєдіяльності, і не аби як важливо зберегти його екологічний потенціал. Для цього необхідний якісний підхід для спостереження та моніторингу зелених насаджень. Необхідність знаходження найбільш оптимального методу для моніторингу рослинності, спричинило вибір саме такої теми дипломної роботи.

**Мета роботи** – оцінка потенціалу технологій дистанційного зондування Землі, для моніторингу зелених насаджень.

Для виконання цієї мети, потрібно вирішити такі завдання:

- дослідження істинних аспектів застосування аерокосмічних методів;

- розглянути досвід використання матеріалів ДЗЗ для моніторингу зелених насаджень;
- оцінити спектрометричні характеристики рослинного покриву;
- розглянути використання індексів класифікації;
- виконати інтерпретацію та візуалізацію;
- комплексно проаналізувати методика проведення моніторингу зелених насаджень з допомогою технологій LiDAR, аерофотознімання, косомзнімання;
- виконати аналіз та порівняння результатів;
- обґрунтувати подальший напрям розвитку у сфері моніторингу зелених насаджень з допомогою технологій ДЗЗ.

**Об'єктом дослідження** є територія м. Дзінув (Dziwnów), Республіка Польща.

**Предмет дослідження** – шляхи розвитку моніторингу зелених насаджень за допомогою технологій ДЗЗ.

**Методи дослідження.** Використано такі основні методи, як описовий, порівняльний, математичний, аналітичний, автоматизованої класифікації, ручної класифікації, картографічний, комплексного підходу.

Інформаційна база роботи, являє собою наукові праці вітчизняних та іноземних вчених, інтернет-ресурси, публікації, статті.

**Наукова новизна** – застосування, та аналіз комплексних методів моніторингу стану та розвитку зелених насаджень з допомогою технологій ДЗЗ, оцінка їх потенціалу як складової в системі моніторингу.

**Практичне значення** – Впровадження в практику пропозицій та рекомендацій щодо подальших перспектив розвитку моніторингу зелених насаджень, з допомогою комплексних технологій ДЗЗ.

Дана робота тісно пов'язана з такими науковими дисциплінами, як дистанційне зондування, геоінформаційні системи.

# 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНІТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ

## 1.1 Застосування аерокосмічних методів для вирішення проблем моніторингу зелених насаджень

Величезні можливості відкрили космічні супутникові системи в забезпеченні достовірності, оперативності і періодичності вимірювань, пов'язаних із дослідженням стану зелених насаджень та динаміки його змін.

На даний час в нашій країні, маємо перспективний напрям використання даних дистанційного зондування для потреб моніторингу, не лише зелених насаджень, а й інших об'єктів важливих для людських потреб, наприклад сільське господарство, критично важлива інфраструктура, виявлення та усунення надзвичайних ситуацій та інші вузькоспеціалізовані напрями.

Дешифрування зелених насаджень здійснюється насамперед, з метою, обліку земельного фонду, раціонального управління земельними ресурсами, дослідження землеустрою. Практика систематичного спостереження за зеленими насадженнями в країнах ЄС показала, що найефективніше можна проводити їх за допомогою даних ДЗЗ та із залученням результатів вже проведених знімів, якщо такі є наявні (*Моніторинг зелених насаджень, 2023*).

При виконанні дистанційного дослідження зелених насаджень, можна умовно виділити кілька напрямів:

- визначення стану і складу зелених насаджень;
- поточний контроль за станом зелених насаджень, їх оцінка;
- прогнозування та розробка автоматизованих інформаційних систем;
- виявлення різних захворювань та рівня пошкодженості зелених насаджень;
- вивчення та оцінка ресурсів;
- вивчення динаміки використання земель;
- повний моніторинг зелених насаджень;

- прогнозування та виявлення несприятливих явищ, пов'язаних з використанням зелених насаджень.

Визначення складу зелених насаджень проводиться з допомогою багатоканальних зйомок. Також використовують знімки зняті в різний час вегетації рослини, це значно підвищує точність майбутнього дешифрування. Поділ зелених насаджень відповідно до багатозональних знімків виконується з використанням безпосередньо характеристик їх відбивної здатності. Існує ще метод, який заснований на порівнянні з вже відомими значеннями які мають ті чи інші рослини, з так званими еталонами, які вже досконало вивчені, та занесені в таблиці еталонних значень.

Практичне застосування має дослідження методів ДЗЗ для дослідження зелених насаджень, вивчення їхнього стану та розвитку, прогнозування.

Одним із способів прогнозу стану зелених насаджень базується на оцінці стану рослин, за матеріалами аерофотознімання. Ділянки різної біомаси різняться за спектральною відбивальною здатністю. Вміст вологи в культурних рослинах надійно корелюється в ІЧ-діапазонах спектра. Індивідуальні особливості зміни кольору рослин на різних стадіях вегетації відображаються на вигляді спектральної кривої. Відповідно, правильний вибір строків знімання та спектральних каналів багатозональної знімальної системи забезпечить можливість розпізнавання зелених насаджень (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

З допомогою високого розрізнення знімків можливе розпізнавання стану зелених насаджень – пошкодження шкідниками, нестачу води в рослинах, пожовтіння.

Для характеристики біомаси рослинного покриву використовують різні вегетаційні індекси (VI, NDVI, EVI), які отримують на основі аналізу спектральної яскравості в червоній і ближній інфрачервоній зонах (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

Важливим критерієм оцінки стану рослин є оперативна інформація про їх захворюваність, пошкодження шкідниками. Вибір параметрів знімальної системи, визначення частоти і часу дистанційних спостережень виконуються на основі даних про різні захворювання та їхній прояв через зміну спектральної відбивної здатності хворих і здорових рослин. Уражені хворобами зелені рослини мають відмінний від здорових характер спектральної кривої, дещо згладжений із підвищенням у зеленій і найбільшій у червоній області спектра. Яскравість збільшується в середньому ІЧ-діапазоні й одночасно зменшується у ближньому. Зміна спектральної яскравості хворих рослин залежить від низки факторів: спектральної яскравості самих рослин, зміни вмісту хлорофілу в листі, зміни забарвлення та яскравості листя, оскільки зменшується обсяг листяного покриву, збільшується вплив ґрунту на відбивні властивості тощо. Для вивчення негативних проявів зміни спектральної яскравості рослин перспективним є використання інфрачервоного й пасивного радіотеплового видів знімання.

Експерименти, проведені з зображеннями, отриманими в невидимій частині спектра, показали, що визначені захворювання рослин можуть бути зафіксовані датчиками дистанційного зондування, перш ніж вони будуть помічені за допомогою візуальних засобів (*В. В. Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

Фотознімки є основою для різних геометричних вимірювань і стереоскопічного дешифрування, необхідного для визначення площі зелених насаджень. За відомим масштабом фотознімка площі під зеленими насадженнями можна визначити з доволі високою точністю (*Основи дешифрування супутникових знімків, 2021*).

Сучасні засоби програмного забезпечення дозволяють використовувати для контролю розмірів, виявлення ерозійних ділянок, моніторингу та прогнозу стану зелених насаджень.

Нині напрацьовано чимало алгоритмів оброблення космічних знімків, створено системи супутникового моніторингу зелених насаджень на глобальному рівні (*Monitoring Agricultural Resources, n. d.*).

Оскільки супутникові знімки містять інформацію про спектральні характеристики, текстурні параметри та вегетаційні індекси, що розраховуються математичними методами.

## 1.2. Історія та досвід використання матеріалів дистанційного зондування для моніторингу зелених насаджень

Науковий термін «дистанційне зондування» з'явився приблизно на початку 1960-х років, коли з'ясувалося, що раніше вживаний термін «повітряне фотографування», яким на той час активно оперувалися, є вже недостатнім для опису нових видів робіт та зображень, які створені з допомогою пасивного ДЗЗ. Після цього почалася ера супутників.

Першим супутником, який був створений для моніторингу Землі став ERTS-1 (1972 рік), якого потім перейменували на Landsat-1. У 1984 році при ООН створили Комітет із супутників спостереження Землі (CEOS), а потім ООН затвердила «Принципи космічного дистанційного зондування Землі», якими встановлено основні положення та засади регулювання міжнародних відносин у сфері дистанційного зондування Землі.

Членами CEOS є різні державні космічні агенції, центри космічних досліджень країн Європи, Сполучених Штатів, Канади, Індії, Японії, Китаю, у тому числі – й Національне космічне агентство України (*Історія розвитку та застосування аерокосмічних методів у лісовому господарстві, n. d.*).

Перші спроби використання дистанційних методів для вивчення рослинності на теренах СРСР були зроблені у 1925 р. Першими об'єктами аерофотознімання були: Саблинське лісництво поблизу Ленінграду (9141 га), Железинське і Федяйківське лісництва в колишній Тверській губернії (65000 га).

Аерофотознімання було проведене організованим при Акціонерному товаристві «Доброліт» аерознімальним відділом під керівництвом М.Д. Бонч-Бруєвича. У 1926 році це ж товариство (за договором з лісовими організаціями) виконало аерофотознімання на площі 524 тис. га в Марійській АРСР (*Історія розвитку та застосування аерокосмічних методів у лісовому господарстві, н. д.*).

Повітряне фотографування для фахівців лісового господарства і лісової промисловості становило в той час особливий інтерес, так як зелені насадження є одним із найцінніших багатств будь-якої країни.

Крім того, для забезпечення розвитку промисловості необхідним було інтенсивне використання лісових масивів у нових районах, а для цього потрібно було терміново здійснити інвентаризацію лісів з метою виявлення їхньої цінності і значущості для потреб народного господарства (*Історія розвитку та застосування аерокосмічних методів у лісовому господарстві, н. д.*)

Першою спеціальною організацією для проведення аерофотознімання зелених насаджень був трест лісової авіації, створений у 1936 році, на основі реорганізації інституту лісової авіації Всесоюзної академії сільськогосподарських наук. З 1936 р. по 1953 р. було проведено в двічі більше аерофотознімання зелених насаджень ніж за роки існування інституту. За допомогою матеріалів аерофотознімання до 1956 року вдалося повністю завершити облік лісового фонду колишнього СРСР.

Якщо брати до уваги космічну історію України, то вона була доволі розвиненою космічною державою, та закріпилася у списку космічних держав.

У середині 50-х років на Україні проводиться розробка і запускаються в серійний випуск ракети Р-12, Р-14, Р-16. Одноступінчасті ракети Р-12, Р-14, двоступінчаста та міжконтинентальна ракети Р-16 стали основою для організації ракетних військ стратегічного призначення. Перший (і відразу успішний) пуск ракети Р-12 відбувся 22 червня 1957 року.

У березні 1959 р. комплекс із цією ракетою, що мала дальність польоту 2000 кілометрів, уже був узятий на озброєння. У 1961 р. була взята на озброєння нова ракета Р-14 із дальністю польоту 4500 кілометрів, а через якийсь час і перша балістична ракета Р-16, як і попередні, на компонентах висококиплячого палива, але вже з міжконтинентальною дальністю польоту 13 тисяч кілометрів. У 1952 р. на основі реконверсованого Дніпропетровського автозаводу почалося виготовлення ракет, розроблених С.П.Корольовим (*Історія розвитку та застосування аерокосмічних методів у лісовому господарстві, н. д.*)

10 квітня 1954 р. постановою Ради Міністрів СРСР було створено Спеціальне конструкторське бюро для проектування і розробки ракет стратегічного призначення, воно за короткий час стає головним у галузі бойової, а потім і космічної техніки колишнього Радянського Союзу, перетворивши ракетно-космічну галузь України в головну не тільки в СРСР, але й у світі.

На початку 60-х рр. на основі бойової ракети Р-12 створюється носій 63С1. З його допомогою 16 березня 1962 р. був виведений на орбіту перший Дніпропетровський супутник ДС-1, що поклав початок серії супутників «Космос». Після цього на орбіті вже побувало близько 400 супутників Землі, виготовлених на «Південмаші», приблизно 50 різних типів, у тому числі 23 із серії «Інтеркосмос» успішно виконували своє завдання на орбіті.

За оцінками незалежних експертів, 28 % космічного потенціалу країни належало Україні. Сучасний стан розвитку аерокосмічної галузі дозволяє у повному обсязі розвивати методи ДЗЗ.

Розвиток ДЗЗ в Україні передбачає досягнення наступних цілей:

- створення можливості постійного моніторингу та доступу до даних ДЗЗ;
- розвиток галузі в цілому, вдосконалення існуючих апаратів для моніторингу, шляхом оснащення апаратури новітніми технологіями, які на балансі в інших розвинених країнах;
- навчання, підготовка та практика спеціалістів в області ДЗЗ.

- інтеграція космічної системи спостереження Землі «Січ» в європейську (GMES) та міжнародну (IGOS) системи спостереження Землі.

Прикладом використання космічних методів для вирішення задач моніторингу зелених насаджень є експеримент LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) з оцінки зелених насаджень, що виконувався в середині 70-х рр. XX ст. в серії подібних експериментів в рамках програм супутника Landsat. Основне завдання експерименту - розробка методики дистанційної оцінки площ, стану зелених насаджень.

Для контролю точності прогнозу залучалися наземні дані за ключовими ділянках на території США, які були необхідні для оцінки похибок і проміжної корекції з метою підвищення надійності прогнозу (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

Прикладом моніторингу зелених насаджень в межах міста, є дослідження китайських науковців з Пекінського університету: Ю. Тіан (Y. Tian), Х. Венг (H. Wang) та С. Джім (C.Y. Jim). Об'єктом дослідження стало м. Гонконг, а саме три основні адміністративні частини: Гонконг, Коулун і Нові території разом з деякими невеликими островами. Взаємопов'язаний характер ландшафту вимагає їх спільного застосування при аналізі моделей, та екологічних процесів.

Використовуючи геоінформаційну систему, дистанційне зондування та методи факторного аналізу, ландшафтні моделі міських зелених просторів (UGS) у компактному місті Гонконг були проаналізовані щодо їх ландшафтно-екологічної якості в різних землекористуваннях і районах. За допомогою програмного забезпечення Fragstat було вибрано деякі ключові індекси для характеристики ландшафтно-екологічної мозаїки посилення на розмір ділянки, форму ділянки, співвідношення близькості та конфігурацію краю. Деякі старі райони мають менші та більш неоднорідні ландшафтні моделі міських зелених просторів, ніж новіші, через відносно низьку якість ландшафту та їх атрибутів.

Ландшафтні моделі міських зелених просторів мають тенденцію бути більшими та одноріднішими для покращення екосистеми міста. Оскільки дають можливість представити розміщення, структуру зелених насаджень в міському просторі.

### 1.3. Моніторинг зелених насаджень за космічними знімками

Міська зелена зона є досить важливим компонентом екологічної системи та відіграє центральну роль у покращенні екологічного середовища міста. Для захисту та управління проектами міста необхідні дані про структуру та тип міських зелених насаджень. У минулому цю інформацію отримували поєднанням польових вимірювань та інтерпретації аерофотознімків. Зазвичай інтенсивна інтерпретація експертами-аналітиками та методи перехресної перевірки потрібні для забезпечення узгодженості. Не так давно супутникові зображення стали загальнодоступними і для оцінки характеристик міських зелених насаджень, з різною просторовою здатністю.

Моніторинг зелених насаджень з допомогою супутників, являє собою технологію спостереження за змінами індексу вегетації, отриманих за допомогою спектрального аналізу супутникових знімків, на досліджуваній ділянці, що дозволяє оперативно проводити аналіз зелених насаджень, відстежувати динаміку розвитку рослинності.

Якщо виникає різниця в динаміці розвитку, це свідчить про диспропорції у розвитку зелених насаджень, та необхідність проведення додаткових робіт на окремих ділянках, які цього потребують.

Спектрометричні дані вимірювань з штучних супутників Землі LANDSAT, NOAA (США), SPOT (Франція), IRS (Індія), отримали широкий ступінь застосування в галузі моніторингу.

Нааявний досвід аналізу інформації отриманої з допомогою супутників, свідчать про принципову можливість використання даних багатоспектральної супутникової зйомки для моніторингу зелених насаджень: визначення структури площ, параметрів рослинного покриву, стану зелених насаджень та інших ознак (*Використання ГІС та ДЗЗ у землекористуванні, 2012*).

Питання про регулярне оновлення карт, вирішує періодичність зйомок з допомогою штучних супутників Землі. Наприклад, у супутника Landsat періодичність сканування однієї і тієї ж ділянки становить 16 днів, SPOT - 1 день, NOAA - кілька годин. На даний час, є обмежена кількість супутників, які оснащені апаратурою, яка дозволяє проводити бічну зйомку під кутом до траси польоту, як результаті скорочення періодичності знімання, та розширення смуги огляду.

Можна виділити загальні властивості діючих систем моніторингу зелених насаджень. Така система повинна містити в собі всю доступну соціально-економічну й статистичну інформацію про місто та зелені насадження. Для моніторингу необхідно володіти кліматичними даними й довгочасними рядами метеорологічних спостережень, інформацією про характеристики ґрунтового покриву. ДЗЗ дозволяють вводити в систему моніторингу найоперативнішу й необхідну інформацію про фактичний розвиток рослин. На основі математичного моделювання з використанням ДЗЗ, метеорологічних і інших допоміжних даних можливе прогнозування майбутнього стану зелених насаджень. Такий прогноз дозволяє виділити регіони, які зазнали ризику та нестачі зелених насаджень й визначити заходи, необхідні для усунення цієї нестачі. Найефективніше використовувати супутники різної розрізненості для рішення окремих завдань моніторингу: побудови карт зелених насаджень, моніторингу розвитку зелених насаджень, спостереження за окремими ділянками, прогнозування (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

Світовий досвід створення та використання систем моніторингу стану зелених насаджень, за даними ДЗЗ свідчить про те, що головна увага надається розвитку локальних та національних (транснаціональних) систем.

Прикладом системи моніторингу стану зелених насаджень за даними ДЗЗ регіонального рівня є система KARS, розроблена регіональним Центром використання наук про Землю в рамках Програми прикладного використання даних ДЗЗ штату Канзас (США). Починаючи з 1996 р., ця система на основі оперативних даних ДЗЗ та аналізу ретроспективних статистичних даних кожні два тижні надає відомості (так званій “GreenReport”<sup>®</sup>) про стан рослинності в розрізі деяких регіонів США (*Зацерковний В. І., Кривоберець С. В., Сергієнко В. В., 2011*).

В Україні елементи системи моніторингу стану зелених насаджень на основі даних ДЗЗ локального рівня використовуються в дослідному господарстві корпорації “АГРО-СОЮЗ” .

До найбільш відомих прикладів діючих систем супутникового моніторингу зелених насаджень на глобальному рівні можна віднести системи, які розроблені Міністерством сільського господарства США, проект MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) Європейської Комісії й систему GIEWS (Global Information and Early Warning System), розроблену Організацією по продовольству й сільському господарству (ФАО, англ. FAO, скор. Food and Agricultural Organization of the United Nations) (*Організація по продовольству й сільському господарству (ФАО — FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations), н. д.*).

Роботи з визначення площ зелених насаджень проводяться в Україні за даними космічних зніманих на територіях адміністративних районів.

Для визначення структури, визначення їхнього стану в межах окремих регіонів згідно з розробленою методикою використовують матеріали космічних зніманих високої розрізненості, трансформовані на цифрову картографічну основу.

Видовий склад, співвідношення їхніх площ, розміщення (розмір, форма, взаємне розташування тощо) і співвідношення їхніх фаз розвитку визначають рисунок і співвідношення кольорових сигнатур зображення протягом сезону вегетації, формують оптичний (спектральний) аспект ландшафту (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

На даний час в Україні наукові колективи різних відомств, з допомогою науково-методичних основ застосування дистанційних аерокосмічних методів, розробляють найоптимальніші методи для вирішення завдань моніторингу. Для прикладу у систему Національної академії аграрних наук України (НААНУ) до впровадження дистанційних методів у сільськогосподарську науку й практику залучено кілька організацій. Зокрема, у секторі дистанційного зондування ґрунтового покриву Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства й агрохімії ім. А. Н. Соколовського» (*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства й агрохімії ім. А. Н. Соколовського», н. д.*) на базі матеріалів багатоспектрального космічного сканування й ГІС-технологій здійснюється моніторинг різноманітних характеристик ґрунту та створюються електронні ґрунтові карти. Інститут агроекології (НААНУ) функціонує лабораторія аерокосмічного зондування, одним з основних завдань якої є проведення фундаментальних досліджень і прикладних розробок у сфері дистанційного зондування зелених насаджень (*Інститут агроекології і природокористування НААНУ, н. д.*).

Таким чином, в Україні фахівці різних установ уже мають певний досвід роботи з матеріалами супутникової зйомки у сфері застосування цих даних для вирішення різноманітних завдань моніторингу зелених насаджень. Проте низка проблем заважає створити в Україні єдину систему космічного моніторингу.

## 2. ОСОБЛИВОСТІ ДЕШИФРУВАННЯ ЗНІМКІВ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНІТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ

### 2.1 Спектрометричні характеристики рослинного покриву

Методи спектрометрії являють собою найпоширеніші та найінформативніші методи, які знайшли широке застосування в різних галузях, зокрема і при моніторингу зелених насаджень.

Спектрометричні методи базуються на взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням. Ця взаємодія супроводжується явищами, найважливішими з яких є випускання (емісія, випромінювання), поглинання і розсіювання електромагнітного випромінювання атомами, молекулами чи іонами речовини. Сигнали, які виникають при цьому, несуть якісну і кількісну інформацію про речовину, тобто вони зв'язані з природою і кількістю речовини. Ці сигнали фіксують і вивчають у вигляді спектрів – сукупності довжин хвиль, частот або енергій фотонів, з яких складається випромінювання, випущене або поглинуте частинками речовини (*Вступ до курсу “Спектроскопічні методи аналізу”, н. д.*).

Спектр – це найважливіша характеристика здатності частинок речовини до випускання, поглинання чи розсіювання електромагнітного випромінювання. Спектр може бути дискретним (смугастим або лінійчастим) чи суцільним (*Вступ до курсу “Спектроскопічні методи аналізу”, н. д.*).

Як правило об'єкти земної поверхні неоднаково відбивають сонячні промені й також по-різному їх поглинають. Для кожного об'єкта місцевості характерні певні особливості відбиття та поглинання. Якщо брати до уваги аерокосмічне знімання, тут в пріоритеті відбивна здатність об'єктів земної поверхні, оскільки саме відбиті промені діють на світлочутливий шар.

Основними показниками властивостей відбиття є:

- ✓ спектральне альbedo;
- ✓ коефіцієнт відбивання;

- ✓ коефіцієнти спектральної та інтегральної яскравості.

Вище вказані параметри мають пряму залежність від фізичних, хімічних, біологічних властивостей об'єктів, ступеня зволоженості, фенологічного складу тощо.

Від коефіцієнту відбивання (альbedo,  $A$ ) залежить відбивна здатність поверхні. Значення Альbedo дорівнює відношенню світлового потоку, відбитого від поверхні  $\Phi_m$ , до падаючого світлового потоку  $\Phi_e$  пропонується визначати по формулі:

$$A = (\Phi_m / \Phi_e) * 100\% \quad (2.1)$$

Значення альbedo коливаються від 0 до 1 або від 0% до 100%. Чим вище значення альbedo, тим більш ясною є поверхня. Найбільше альbedo спостерігається для снігу, який недавно випав, воно становить 80-90%, а для снігу, що лежить давно, - близько 50% і нижче. Альbedo гладкої водної поверхні становить від кількох відсотків при високому сонці й до 70% при низькому; хмарного покриву – у середньому 50-60%; поверхні ґрунту взагалі може бути в межах 10-30%; для вологого чорнозему воно знижується до 5%, а для сухого світлого піску може підвищуватись до 40%; альbedo рослинного покриву (ліси, луки, поля) становить 10-25% (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Для різних ландшафтних об'єктів яскравість має різні значення (табл. 2.1), відповідно до умов освітлення, й передається коефіцієнтом інтегральної яскравості, який являє собою відношення яскравості відбиваючих світло об'єктів  $V$  до яскравості прийнятого еталона – ідеально білої поверхні,  $V_0$  рекомендується обчислювати за формулою:

$$K = V / V_0 \quad (2.2)$$

За еталон, як правило, беруть білу матову поверхню, яка вкрита сірчаноокислим барієм, вона має найбільшу відбивну здатність:  $\rho = 99\%$ , яку умовно беруть за 100% (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

**Таблиця 2.1 – Коефіцієнти яскравості природних утворень**

<b>Назви об'єктів</b>	<b>Коефіцієнт яскравості</b>	<b>Довжина хвиль, мкм</b>
<b>Сніг</b>	0,80-0,09	0,25-0,90
<b>Льодовий покрив на ріках і озерах</b>	0,30-0,35	0,4-1,3
<b>Водна поверхня</b>	0,15-0,01	0,4-0,9
<b>Болота мохові</b>	0,05-0,15	0,5-1,3
<b>Пісок сухий</b>	0,14-0,46	0,4-1,0
<b>Чорнозем зораний мокрий</b>	0,02-0,06	0,4-0,6
<b>Чорнозем зораний сухий</b>	0,02	0,4-0,8
<b>Ліс хвойний</b>	0,63-0,46	0,4-1,0
<b>Ліс листяний улітку</b>	0,04-0,68	0,4-1,0
<b>Ліс листяний узимку</b>	0,05-0,11	0,4-0,9
<b>Луки зелені</b>	0,03-0,55	0,4-0,9
<b>Луки пожовклі</b>	0,04-0,67	0,4-0,9
<b>Дорога ґрунтова суха</b>	0,12-0,31	0,4-0,9
<b>Дорога ґрунтова мокра</b>	0,03-0,07	0,4-0,6
<b>Шосе сухе</b>	0,08-0,22	0,3-0,9
<b>Шосе мокре</b>	0,05-0,07	0,3-0,6
<b>Цегла червона</b>	0,07-0,76	0,4-0,9
<b>Жито зріле</b>	0,07-0,71	0,4-0,8
<b>Степ цілинний</b>	0,03-0,26	0,4-0,8

Коефіцієнт інтегральної яскравості завжди менший за одиницю, оскільки частина падаючої на об'єкти сонячної радіації поглинається. Ідеально біла поверхня, яку взято за еталон (гіпсова та вкрита барієм пластини), має здатність рівномірно розсіювати випромінювання в усіх напрямках і коефіцієнт її яскравості - одиниця.

У природі близький до одиниці коефіцієнт яскравості спостерігається для свіжого снігу (його альbedo становить 80-90%); а рілля, хвойний ліс мають найменший коефіцієнт інтегральної яскравості (0,02-0,03) (табл. 1) (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Здатність по-різному відбивати ті чи інші об'єкти в основному зумовлює їх колір, не менш важливим є характер відображення на космознімку, так як риси ландшафту які мають деякі об'єкти місцевості, можуть погано відображатися на загальному фоні й можуть бути зафіксовані лише в променях визначеної довжини хвилі у видимій або невидимій частинах спектра. З допомогою спектрометра, можна виміряти відбивну здатність.

Згідно з класифікацією природних об'єктів і утворень Е.Л. Кринова, 1947 року, всі природні утворення, які відбивають сонячну радіацію тільки їм властивим чином, тобто за характером спектрального відбиття, умовно поділяються на чотири класи (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Перший клас включає чотири типи: 1 - чорноземи й супісчані ґрунти та ґрунтові дороги; 2 - ґрунти опідзолені суглинисті, шосейні дороги, деякі типи будівель; 3 - піски й гірські породи; 4 - вапняки, глини, різноманітні світлі об'єкти.

Спектральна крива цього класу має поступовий підйом у бік довгих хвиль, типи поверхні різняться нахилом кривих.

Другий клас - це рослинні утворення. Тут представлені 4 види поверхонь: 1 - хвойні породи лісових насаджень у зимовий період; 2 - хвойні породи лісових насаджень у літній період, луки на суходолах, трав'янисті породи з недостатньою кількістю вологи; 3 - лісові насадження листяних порід у літній період, трав'янисті покрови з густою рослинністю; 4 - лісові насадження в період осіннього забарвлення та дозрівання польових культур.

Спектральна крива цього класу має підйом у бік довгих хвиль з максимумом довжини хвилі 0,8-1,0 мкм. Типи поверхонь цього класу відрізняються головним чином величиною спектральної відбивної здатності для цієї області спектра.

Клас третій - водні поверхні - водойми, водна поверхня під деяким, достатньо значним кутом до нормалі. Цей клас відрізняється від інших невеликими змінами спектральної відбивної здатності залежно від довжини хвилі. Коефіцієнти яскравості водних поверхонь досить малі й незначно змінюються за спектром, характеризуються монотонним зменшенням відбивної здатності від синьо-фіолетової до червоної області спектра, оскільки зі збільшенням довжини хвилі сильніше поглинаються водою.

Клас четвертий - хмари та снігові поверхні – вони мають найвище значення спектральної яскравості у ближній ІЧ-зоні. Пониження різко збільшується з насиченням снігу водою. Також для них відмічається деяке зменшення величини спектральної відбивної здатності в бік коротких довжин хвиль і сильне зменшення в бік довгих.

Наведені спектральні характеристики природних об'єктів застосовуються як до окремих елементів, що утворюють природний покрив даної місцевості, так і до цілих ландшафтів.

Пустелі, випалені степи, оголені скелі та області помірного поясу ранньої весни або пізньої осені, коли переважає жовто-буре забарвлення, можуть бути віднесені до першого класу, а області, укриті зеленою рослинністю - до другого класу (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Вище вказана класифікація враховує лише загальні закономірності, які як правило в кожному індивідуальному випадку уточнюються залежно від стану поверхні, умов освітленості тощо.

Відмінності оптичних властивостей рослин залежить від можливості їх дистанційного вивчення. Спектральний склад відбитого сонячного випромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,4-2,5 мкм залежить головним чином від інтенсивності поглинання радіації хлорофілом у видимій області та водою в середній ІЧ-зоні спектра, а також від інтенсивності відбивання, що залежить від гістології листя в ближній ІЧ-зоні спектра. У видимій області спектра відбувається найбільш інтенсивна асиміляція променистої енергії рослинами.

Найбільше поглинання припадає на інтервали 0,40-0,47 мкм у синій і 0,59-0,68 мкм у червоній областях спектра, а найбільше відбивання - у зеленій, з максимумом близько 0,54 мкм. У ближній ІЧ-зоні відбивна здатність рослин максимальна - 40-50% і залежить від структури листа (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

З розвитком рослин, доки їхнє забарвлення визначається хлорофілом, спостерігається деяке зниження інтенсивності відбивання у видимій області спектра та збільшення в ближній ІЧ-зоні. У період дозрівання та в'янення рослин листя набуває жовтого й червоного кольору. Інтенсивність відбивання при цьому у видимій області спектра збільшується, а в ближній інфрачервоній зменшується. Аналіз спектральної відбивної здатності рослин дає можливість правильного вибору знімальної системи й термінів проведення знімання, завдяки чому можливо визначати види та стан рослин (*Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011*).

## 2.2. Використання індексів класифікації для зелених насаджень

Здорова рослинність забезпечує баланс екосистеми, що не аби як важливо для формування флори в місті. Функцію рослинності можна оцінити, досліджуючи динамічні процеси та оцінюючи властивості рослин, які самі є динамічними. Використовуючи підходи, засновані як на ознаках, так і на основі процесу, спектроскопія може оцінити функцію рослинності в багатьох масштабах, використовуючи різні датчики та платформи, починаючи від проксимальних до бортових і супутникових вимірювань.

Різні види рослинності, мають різну відбивну здатність на різних довжинах хвиль. Цю характеристику можна використовувати при їх дослідженні.

Для прикладу на основі комбінації значень кольору та яскравості в певних каналах, які будуть найбільш інформативними для його відділення, розрахунку «спектральних індексів» створюється зображення, яке буде відповідати відповідному значенню індексу.

Це дозволяє оперативно отримувати інформацію про актуальний стан зелених насаджень. Ці індекси отримали назву – індекси вегетації.

Вегетаційний індекс (VI) - показник, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) даних дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. Ефективність VI визначається особливостями відображення; ці індекси виведені, головним чином, емпірично (*Зацерковний В.І., 2018*).

Беручи до уваги моніторинг існуючих індексів, матимемо наразі приблизно 150 різних вегетаційних індексів. Індивідуально для кожного дослідження вони підбираються, відповідно виходячи з початкової мети дослідження.

Розрахунок більшості вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних (що не залежать від інших чинників) ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

На червону зону спектра (0,62 - 0,75 мкм) припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближню інфрачервону зону (0,75 - 1,3 мкм) максимальне відбиття енергії клітинною структурою листа. Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з великою фітомасою рослинності) веде до більш низьких значень коефіцієнтів відбиття в червоній зоні спектра і більшим значенням в ближній інфрачервоній. Співвідношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів (*Зацерковний В.І., 2018, Agam N. A., 2007*).

Класифікація деяких груп вегетаційних індексів:

- **Broadband Greenness** [5 indices]: Normalized Difference Vegetation Index, Simple Ratio Index, Enhanced Vegetation Index, Atmospherically Resistant Vegetation Index, Sum Green Index.
- **Narrowband Greenness** [7 indices]: Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, Modified Red Edge Simple Ratio Index, Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, Vogelmann Red Edge Index 1, Vogelmann Red Edge Index 2, Vogelmann Red Edge Index 3, Red Edge Position Index.
- **Light Use Efficiency** [3 indices]: Photochemical Reflectance Index, Structure Insensitive Pigment Index, Red Green Ratio Index.
- **Canopy Nitrogen** [1 index]: Normalized Difference Nitrogen Index
- **Dry or Senescent Carbon** [3 indices]: Normalized Difference Lignin Index, Cellulose Absorption Index, Plant Senescence Reflectance Index.
- **Leaf Pigment** [4 indices]: Carotenoid Reflectance Index 1, Carotenoid Reflectance Index 2, Anthocyanin Reflectance Index 1, Anthocyanin Reflectance Index 2.
- **Canopy Water Content** [4 indices]: Water Band Index, Normalized Difference Water Index, Moisture Stress Index, Normalized Difference Infrared Index.

Broadband Greenness – розраховуються із даними в широких спектральних зонах, й мають безпосереднє відношення до параметрів рослинності в кожному досліджуваному пікселі. Це так звані «зелені» індекси.

Найбільш популярний і часто вживаний індекс - **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** - нормалізований різницевий індекс рослинності, вперше був описаний Роуз Б. Дж. ( Rouse B.J.) в 1973 р - простий кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси (зазвичай званий вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що використовують кількісні оцінки рослинного покриття (Зацерковний В.І., 2018).

Індекс розраховується за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (2.3)$$

де NIR - коефіцієнт відображення в ближній інфрачервоній області спектра;  
RED - коефіцієнт відбиття в червоній області спектра.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) – це простий показник біомаси рослин. Якщо говорити мовою неспеціаліста, використання NDVI дає можливість дізнатися, наскільки рослина здорова. З допомогою NDVI, можна відокремити різні типи рослинності, поверхневі водні об'єкти, забудовані території, землі не вкриті рослинністю (Зацерковний В. І., Ящук П. М., 2023).

Розрахунок NDVI базується на двох найстабільніших (що не залежать від інших чинників) ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній області спектра (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листка.

Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого в інфрачервоній (рис.2.1) (Зацерковний В.І, 2018.)

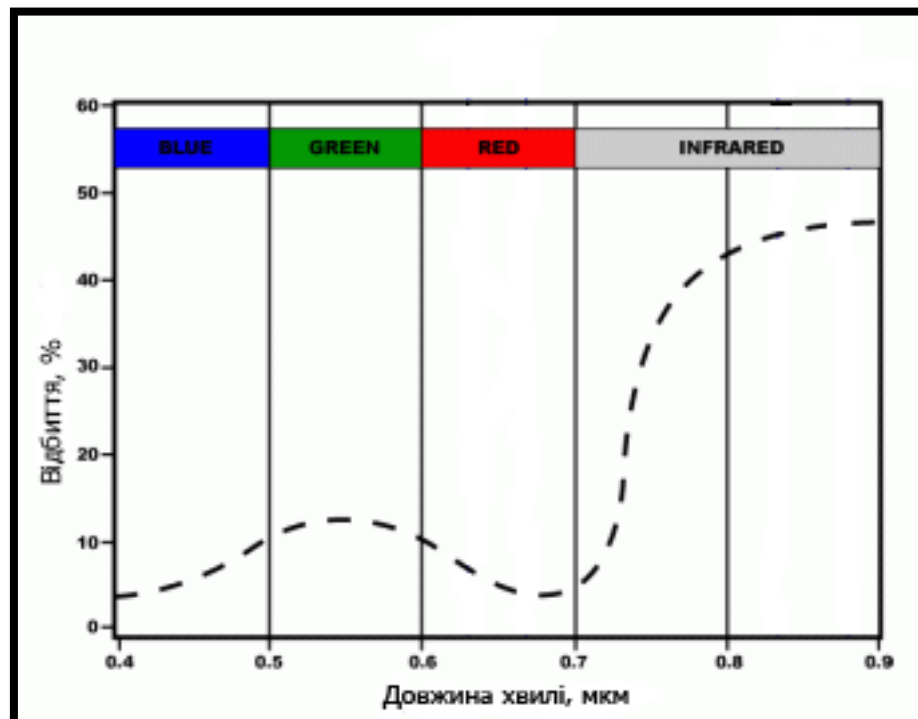


Рис. 2.1 – Ділянки відбиття рослинності, для розрахунку NDVI (джерело <https://eos.com/uk/blog/ndvi-pytannia-i-vidpovid/>)

Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів. Використання ж не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття збільшує точність вимірювання, дозволяє зменшити вплив таких явищ як різниця умов освітлення знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою тощо (Jiang Z., 2006).

Для рослинності індекс NDVI набуває додатних значень, і чим більше зелена фітомаса, тим вони вищі.

На значення індексу впливає також видовий склад рослинності, її компактність, стан, експозиція і кут нахилу поверхні, колір ґрунту під розрідженою рослинністю. Індекс помірно чутливий до змін ґрунтового фону, крім випадків, коли густина рослинного покриву нижча 30%. Індекс може набувати значень від -1 до 1.

Для зеленої рослинності індекс зазвичай приймає значення від 0,2 до 0,8.

Завдяки особливості відображення в NIR-RED областях спектра, природні об'єкти, не пов'язані з рослинністю, мають фіксоване значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації (табл. 2.2).

**Таблиця 2.2 – Аналіз значень коефіцієнтів в NIR-RED областях спектра для NDVI (джерело (Зацерковний В.І.,2018)**

Тип об'єкта	Коефіцієнт відбиття в червоній області спектра	Коефіцієнт відбиття в ближній інфрачервоній області спектра	Значення NDVI
Густа рослинність	0,1	0,5	0,7
Розріджена рослинність	0,1	0,3	0,5
Відкритий ґрунт	0,25	0,3	0,025
Хмари	0,25	0,25	0
Сніг і лід	0,375	0,35	-0,05

Вода	0,02	0,01	-0,25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

NDVI може бути розрахований на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької роздільної здатності, що мають спектральні канали в червоному (0,55-0,75 мкм) і інфрачервоному діапазоні (0,75-1,0 мкм).

Алгоритм розрахунку NDVI вбудований практично в усі поширені пакети програмного забезпечення, пов'язані з обробкою даних дистанційного зондування (ArcView Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView тощо).

Головною перевагою вегетаційних індексів є легкість їх отримання і широкий діапазон завдань, що вирішуються за їх допомогою. Так, NDVI часто використовується як один з інструментів при проведенні більш складних типів аналізу, результатом яких можуть бути карти продуктивності лісів і сільськогосподарських земель, карти ландшафтів і природних зон, ґрунтови, аридні, фіто-гідрологічні, фенологічні та інші еколого-кліматичні карти. Також на його основі можливе отримання численних даних для використання в розрахунках оцінки і прогнозування врожайності і продуктивності, біологічного різноманіття, ступеня порушення і збитку від різних стихійних лих, техногенних аварій тощо (Jiang Z., 2006).

NDVI дозволяє виявити проблемні зони пригніченої рослинності, даючи можливість приймати найбільш вірні в довгостроковій перспективі рішення. Ділянки з різним станом рослинності або об'ємом зеленої фітомаси можуть бути зображені різними кольорами (Jiang Z., 2006).

Недоліки використання NDVI-індексу (Jiang Z., 2006) :

- Для обрахування індексу NDVI, потрібно проводити попередню підготовку знімків, зокрема виконати радіометричну корекцію (калібрування) знімків, в такому разі вони будуть готові до обрахунків.

- Якщо рослини досягнули свого порогу розвитку, індекс втрачає чутливість. Тобто, якщо рослина має дуже активний розвиток, то за NDVI не можна відрізнити аномально зелену рослину від «звичайної» зеленої.

- Точність індексу напряму залежить від погоди. Наприклад над однією ділянкою довгий час можлива хмарність, а на іншій майже завжди ясна безхмарна погода. В таких випадках, виникають похибки, яких частково можна уникнути, шляхом використання модернізованих коефіцієнтів NDVI, композитних зображень за певний період часу. Як правило саме цей підхід використовують, коли створюють карти з допомогою індексу NDVI.

- Можливість використання індексу тільки під час сезону вегетації зелених насаджень.

З допомогою цього індексу, можна виконувати загальну оцінку рослинності та її стану, вони відображають загальну кількість рослинності, вплив хлорофілу, площу «зеленої» поверхні, структуру, щільність рослинного покриву (Зацерковний В.І., 2018).

Narrowband Greenness являють собою комбінації каналів відбивної здатності, чутливих до комбінованих ефектів, розраховуються за даними у вузьких спектральних зонах.

Red Edge Position Index (REPI) - це індекс є вузькосмуговим вимірюванням відбиття яскравості спектрального діапазону і є чутливим до змін концентрації хлорофілу. Підвищена концентрація хлорофілу розширює характеристику поглинання та переміщує червону межу до більшої довжини хвилі та пропонується визначати по формулі:

$$REP = \frac{NIR + RED}{2}$$

(2.5)

Результати представлені як довжина хвилі максимальної похідної відбивної здатності в рослинній червоній частині спектру в мікронах від 690 нм до 740 нм. Загальний діапазон для зеленої рослинності становить від 700 до 730 нм. Застосування включають моніторинг зелених насаджень, виявлення порушень екосистеми, моделювання фотосинтезу та стресу рослинного покриву, викликаного кліматом та іншими факторами.

**Light Use Efficiency** - індекси ефективності використання світла дають способи кількісної оцінки здатності рослинності використовувати падаюче світло для фотосинтезу. Враховуючи широкий електромагнітний спектр, лише невеликий діапазон фактично використовується рослинами під час фотосинтезу. Цей діапазон потрапляє у видиму частину спектру, від 400 нм до 700 нм. Здатність рослини ефективно поглинати енергію в межах цього діапазону може бути хорошим показником швидкості росту зелених насаджень.

Structure Insensitive Pigment Index (SIPI) є хорошим індексом для використання в районах з високою мінливістю структури та площі листя. Цей індекс дає можливість оцінити стан зелених насаджень, а саме швидкість росту рослин. Чим більша кількість хлорофілу в рослинному покриві, тим кращий стан рослин. Індекс рекомендується обчислювати за формулою:

$$SIPI = (800 \text{ нм} - 445 \text{ нм}) / (800 \text{ нм} - 680 \text{ нм}) \quad (2.6)$$

Діапазон SIPI становить від 0 до 2, де здорова зелена рослинність становить від 0,8 до 1,8.

Canopy Nitrogen представлений Normalized Difference Nitrogen Index (NDNI).

Нормований різницевий індекс азоту вимірює зміни кількості азоту в зелених насадженнях, що дає можливість проаналізувати стан екосистем міста. Індекс пропонується визначати за формулою:

$$\text{NDNI} = (\log_1 1510 \text{ нм}) - (\log_1 1680 \text{ нм}) / (\log_1 1510 \text{ нм}) + (\log_1 1680 \text{ нм}) \quad (2.7)$$

Значення коливається від 0 до 1. Загальний діапазон для зеленої рослинності становить від 0,02 до 0,1.

**Dry or Senescent Carbon** група індексів, які визначають суху частку вуглецю в рослинах та використовують для визначення сухих чи вже старих зелених насаджень. Досить необхідний індекс при моніторингу зелених насаджень міста, оскільки дає можливість виокремити насадження, які потрібно замінити.

Було обрано **Cellulose Absorption Index (CAI)** - індекс поглинання целюлози, який кількісно визначає відкриті поверхні, які містять висушений рослинний матеріал. Сильні властивості поглинання, присутні в діапазоні від 2000 нм до 2200 нм, вказують на сильну присутність целюлози. При визначенні індексу застосовується формула:

$$\text{CAI} = 0,5 (2000 \text{ нм} + 2200 \text{ нм}) - 2100 \text{ нм} \quad (2.8)$$

Діапазон значень цього індексу коливається від -3 до більше 4. Загальний діапазон для зеленої рослинності становить від -2 до 4.

**Leaf Pigment** група індексів, яка вимірює кількість пігментів, пов'язаних зі стресом, присутніх у рослинності. Пігменти, пов'язані зі стресом, включають каротиноїди (жовті пігменти) та антоціани (рожеві, фіолетові та червоні пігменти), які, як правило, присутні у вищих концентраціях, коли рослинність перебуває в ослабленому стані. Та використовують при дослідженні екосистем міст, аналіз стресу рослинності.

Для моніторингу зелених насаджень було обрано один індекс з цієї групи – **Anthocyanin Reflectance Index 2 (ARI2)**, котрий вимірює відбивну здатності та досить чутливий до антоціанів у листі рослин. Індекс рекомендується обчислювати за формулою:

$$\text{ARI2} = 800 \text{ нм} [(1/550 \text{ нм}) - (1/700 \text{ нм})] \quad (2.9)$$

Значення цього індексу коливаються від 0 до 0,2. Загальний діапазон для зеленої рослинності становить від 0,001 до 0,1.

**Canopy Water Content** група індексів для оцінки вмісту вологи в рослинах, оскільки це вказує здорову рослинність. Для дослідження було обрано Normalized Difference Infrared Index, який визначається за формулою:

$$NDII = \frac{p_{819} - p_{1649}}{p_{819} + p_{1649}} \quad (2.10)$$

Значення цього індексу коливаються від -1 до 1. Загальний діапазон для зеленої рослинності знаходиться між значеннями від 0,02 до 0,6.

NDII застосовується для вимірювання відбивної здатності, крім того, досить чутливий до змін вмісту води в рослинних покривах. NDII використовує формулювання нормалізованої різниці замість простого співвідношення, а значення індексу зростають зі збільшенням вмісту води. Даний індекс використовують зазвичай для моніторингу зелених насаджень і виявлення стресової рослинності.

Кожні з вище наведених груп індексів, призначені для моніторингу та оцінки властивостей зелених насаджень, і містять по кілька індексів. Як правило індекси, або група індексів, підбирається індивідуально для кожної досліджуваної ділянки, та підбирається емпірично. Так для одних умов підходять одні індекси, для інших вони будуть недостатньо інформативні. Такий підхід суттєво підвищує точність результатів для подальшої обробки.

Варто зазначити, що з допомогою вегетаційних індексів, не можна отримати абсолютних кількісних показників досліджуваної ділянки, вони дають лише відносну оцінку рослинного покриву. Ці дані можуть бути перетворені абсолютні обрахунки, але для цього потрібно залучати безпосередньо польові дані.

### 2.3. Інтерпретація та візуалізація результатів класифікації

Основне завдання дешифрування - розпізнавання об'єктів (явищ, процесів) на зображенні і визначення їх характеристик. Суть вирішення цього завдання істотно відрізняється від натурних обстежень тих же об'єктів. Основна відмінність полягає у ракурсі спостереження - при натурному обстеженні виконавець розглядає об'єкти «збоку», з висоти свого зростання; аеро- або космічні зйомки місцевості виконують «зверху» і, в більшості випадків, при прямовисному направленні оптичної осі кадрової знімальної системи (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Дистанційне вивчення зелених насаджень виконується з метою визначення їхнього типу, стану, продуктивності, швидкості поновлення тощо. Дешифрувальними ознаками виступають колір (тон), текстура зображення рослинних асоціацій, що залежать від фази вегетації, положення ділянки відносно знімальної системи, освітленості й інших факторів. Текстура зображення визначається мозаїкою різних рослинних комбінувань і зміною їхнього складу у зв'язку зі зміною умов їхнього росту, а також зі змінами властивостей (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Не аби якою важливою дешифрувальною ознакою при виконанні моніторингу зелених насаджень є колір. При виконанні візуального дешифрування, за ним можна визначити площі уражені шкідниками, оцінити масштаби ураження.

З допомогою тону зображення, з використанням синтезованих знімків, можна визначити види рослинності, їх вікові особливості, стан.

Колір є доволі важливою дешифрувальною характеристикою, яка використовується для дослідження зелених насаджень. За ним можна визначити певні шкідливі чинники, як то бур'яни, певні хвороби рослин, оцінити їх площу. Часто використовують синтезовані зображення, наприклад, на основі індексу NDVI.

Однією з важливих характеристик зображення є текстура, з її допомогою можна визначити щільність рослинного покриву, виконати підрахунок їх кількості.

Застосовують чотири можливі способи дешифрування знімків: візуальний, машино-візуальний, автоматизований, автоматичний (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Сутність візуального дешифрування полягає у визначенні об'єктів на космознімках, за їх особливостями без використання обладнання або програмного забезпечення, яке для цього призначене.

При машинно-візуальному способі дешифрування за допомогою комп'ютера або спеціалізованих приладів виконують попереднє оброблення первинної інформації з метою полегшення подальшого візуального дешифрування. Способами даного методу можуть бути: синтезування зображень, квантування рівнів відеосигналів, просторова фільтрація зображення тощо (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

При автоматизованому способі інтерпретаційне оброблення знімків (дешифрування об'єктів) виконується машиною в інтерактивному (діалоговому) режимі - оператор вибирає спосіб оброблення, в якому виконує "навчання" системи, контролює якість роботи класифікатора, вносить корективи в програми, змінюючи в процесі оброблення параметри програм залежно від проміжних результатів їхнього виконання та ін.

У даному методі можна виділити два найуживаніші способи — класифікації, в якому аналізовані елементи зображення відразу ж відносяться до певного еталонного класу об'єктів, і кластеризації, коли елементи зображення попередньо розбиваються на групи (кластери) за подібністю деяких ознак з наступною ідентифікацією цих груп (Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М. та інші, 2011).

Автоматичний спосіб дешифрування - це спосіб виконання запропонованих завдань інтерпретаційною системою без втручання оператора.

Людина лише визначає завдання та програму оброблення інформації. Автоматичне оброблення аерокосмічної інформації ґрунтується на досягненнях інформатики, комп'ютерної техніки і в першу чергу - спеціалізованого програмного забезпечення *(Куценко М.В., 2008)*.

Дешифрувальна схема, як правило починається з розпізнавання та зіставлення деякого набору даних дешифрувальних ознак, які вже є в пам'яті людини.

Візуальне дешифрування являє собою багатоетапний процес логічного аналізу зображень. Розпізнавання об'єктів і визначення їхніх характеристик часто зливаються в єдиний процес із багаторазовим чергуванням аналізу ситуацій у цілому, а також їхніх окремих елементів і фрагментів. Людина перевершує машину у розв'язанні логічних задач.

На основі обмеженої інформації, використовуючи логічний апарат вона може перетворювати дешифрувальні ознаки відповідно до конкретних часових і просторових умов, урахувати зміну ознак залежно від положення аналізованої ділянки в кадрі та зміни умов освітлення об'єктів дешифрування, урахувати існуючі природні та функціональні взаємозв'язки між елементами ландшафту, виключати деякі шуми (феномен сприйняття) та ін. Тому візуальне дешифрування у багатьох випадках перевершує машинне (автоматизоване) за відповідністю результатів *(Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В., 2008)*.

Результат дешифрування залежить не тільки від якості вихідних матеріалів, удосконалення засобів дешифрування, професійної підготовки виконавця, але й від особливостей зорового та психологічного сприйняття. Відомо, що на основі сприйняття інформації, отриманої зі знімків, і власних знань, досвідчені дешифрувальники формують у своїй свідомості образ досліджуваної місцевості, аналіз якої й приводить виконавця до кінцевого результату дешифрування *(Дешифрування фотознімків, н. д.)*.

Найбільш поширеним видом дешифрування є класифікація. Класифікація являє собою процес віднесення кожного пікселя знімка, відповідному до групи яка відповідає тому чи іншому класу.

Автоматична класифікація – це автоматичний процес поділу кожного пікселя у растровому зображенні до відповідного класу, з допомогою спеціального пристрою. В результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення.

На даний час існують два підходи у реалізації автоматичної класифікації: керована класифікація (класифікація з "навчанням") та некерована (класифікація "без навчання", кластеризація). На основі цих підходів створено багато методів, основні з яких показані на рис. 2.2.



**Рис. 2.2 – Основні методи автоматичної класифікації (джерело <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/429d8922-3311-450c-ac7c-f6ac83f0385f/content> )**

Некерована класифікація, як правило використовується за відсутності інформації про досліджуваний об'єкт зйомки (Стародуб Ю. П., 2013).

Вимоги, які висуваються до даних ДЗЗ :

1. Оперативність та масштабільність.

Територія Республіки Польщі становить 312 685 км<sup>2</sup>, більшу частину року вона вкрита хмарним покривом, що зменшує кількість днів для проведення космічної зйомки з використанням оптичних космічних апаратів (КА). Тому постає необхідність в оперативному плануванні (в безхмарний період) зйомки великих територій.

## 2. Доступність.

На розвиток сучасних технологій в Республіці Польщі виділяється достатньо коштів, тому знімки для організацій, компаній, та звичайних користувачів є доступними, чого не сказати про Україну, в якій виділяється дуже мало або взагалі не виділяються кошти, від того і ціна на космічні знімки повинна у нас бути більш доступнішою.

## 3. Інформативність та достовірність.

Космічні апарати повинні мати відповідні спектральні характеристики, які дозволяють вирішувати поставлені задачі.

Стан рослинного покриву, напряду залежить від від інтенсивності фотосинтезу та розмірів асиміляційної поверхні зелених насаджень, безпосередньо в період вегетації.

Від площа асиміляційної поверхні зелених насаджень (листового індексу), залежить ефективність використання фотосинтетичної активної радіації і, в висновку, інтенсивність сумарного фотосинтезу рослин, в залежності від якого буде залежати стан зелених насаджень.

У даній роботі замість розрахункового значення відносної площі листя посіву використовується виміряне значення вегетаційного індексу NDVI в зв'язку з тим, що:

1) листовий індекс, як і NDVI, є безрозмірною величиною і визначається як відношення сумарної площі листя рослин до площі ґрунту, на якому знаходяться зелені насадження;

2) значення вегетаційного індексу NDVI добре корелюють зі значеннями листового індексу (*NDVI. Теорія і практика, н. д.*).

Індекс NDVI на перший план завжди підкреслює контраст зеленої маси, на відміну від інших утворень. З допомогою цього індексу вегетації, можна виявити проблемні зони пригнобленої рослинності, даючи можливість приймати найбільш правильні в довгостроковій перспективі рішення, спрямовані на підвищення рівня продуктивності зелених насаджень.

В залежності від стану зелених насаджень, які були оцінені з допомогою нормалізованого вегетаційного індексу NDVI, істотно змінюється в процесі розвитку рослин. Наприклад від початку вегетації рослини накопичують фітомасу і, отже, величина індексу збільшується. На початку літа, в червні, величина фітомаси досягає максимуму, після якого в процесі збирання відзначається її зменшення і зниження значень NDVI.

До початку вегетаційного періоду значення індексу близькі до нуля, що пов'язано з активним поглинанням сонячної радіації, насиченим водою снігом і відкритими ділянками ґрунту. Початок вегетаційного періоду - кінець березня - початок травня характеризується різким збільшенням значень NDVI. Температура, ефективне випромінювання і яскравість поверхні ґрунту в ближньому інфрачервоному діапазоні зростають швидше, ніж частка відбитої радіації, в тому числі в червоному діапазоні спектра. У травні - початку червня зростання значень NDVI обумовлений іншим поєднанням чинників - збільшенням проектованого покриття і поглинанням хлорофілом значної частки сонячної радіації в червоній області спектра.

У липні значення NDVI досягають максимуму, його розподіл відображає відмінності біопродуктивності угідь. В кінці липня - початку вересня вегетація більшості видів сповільнюється - зменшується поглинання випромінювання в червоній області спектра і значення NDVI. У відносно посушливі роки на графіку динаміки індексу проявляється різкий мінімум з глибиною, яка залежить від дефіциту ґрунтової вологи.

Причини збільшення індексу у вересні - жовтні ймовірно аналогічні весняному поєднанню факторів спектральної яскравості, але з іншим «знаком» динаміки. Потік відбитого випромінювання, в тому числі в червоному діапазоні зменшується внаслідок осінніх дощів і скорочення проективного покриття швидше, ніж знижується температура ґрунту і ефективне випромінювання (*NDVI. Теорія і практика, н. д.*).

### 3. СТВОРЕННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОТРЕБ МОНІТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ (НА ПРИКЛАДІ М ДЗІВНУВ (DZIWNOW), РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА)

#### 3.1 Географічна характеристика об'єкту дослідження

Об'єкт дослідження розташовується в м. Дзівнув (Dziwnow), республіка Польща. Ділянка розміром приблизно, площею 1, 297 803 км<sup>2</sup>.

Місто Дзівнув славиться м'яким помірним, перехідним від морського до континентального, кліматом. Зима триває не більше 4-6 місяців, на рік випадає 700 - 1500 міліметрів опадів. Це невелике містечко з півдня обмежене Кам'янською затокою. Південна частина міста розташована на острові Волін.

Загальна площа міста становить 4,97 км<sup>2</sup>. Досліджувана ділянка становить 26,11% від загальної площі міста.

Рослинність на території республіки Польщі розвивалася з останнього льодовикового періоду і включає в себе 2250 видів насінневих рослин, 630 мохів, 200 печіночників, 1200 лишайників і 1500 грибів. Серед насінневих рослин переважають голарктичні елементи. Серед нечисленних ендеміків - модрина польська (*Larix polonica*) і береза Ойцовського (*Betula oucoviensis*). У торф'яних болотах і горах збереглися деякі види реліктової тундрової рослинності (*Ґрунти, рослинний та тваринний світ Польщі, 2013*).

Більше 25% території займають ліси, на півночі і сході збереглися великі лісові масиви: Біловезька, Серпнева та інші пущі. Переважаючі породи - сосна, ялина, в горах ялиця. У західній та південній частинах країни є змішані ліси (бук, дуб, береза і клен). У долинах річок - заплавні луки, з дерев переважають ясен, тополя і верба. На північному сході (східніше Поморського поозер'я) є низові болота. Зустрічаються верещатники. У гірських районах - рослинність приальпійських та альпійського поясів (*Ґрунти, рослинний та тваринний світ Польщі, 2013*).

На всій території чітко виділяються пори року. Кожна з них має свої особливості. Зима коротка і м'яка, з частими відлигами. Весна починається з березні, коли температура повітря стійко переходить вище 0°C. Так як це прибережна зона, в будь-яку пору року, тут можливі сильні вітри, з боку Балтійського моря. Літо дуже тепле. Температури повітря піднімаються вище 25°C. Осінь настає тоді, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря.

Близько 75% республіки Польща займають низовини (переважно на півночі і заході). На півночі країни розташована моренна Балтійська гряда (до 329 м). Як і для всієї південно-східної Прибалтики, для півночі міста Дзівнув, характерний рельєф, який сформувався в льодовиковий період. Широко представлені кінцеві морени, ози, друмлини. В улоговинах між пагорбами — численні озера (*Рельєф, тектоніка та геологічна будова Польщі, 2013*).

На території міста Дзівнув, характерні алювіальні, болотні, дерново-болотні, малородючі ґрунти, зустрічаються окремі плями чорноземів опідзолених.

### 3.2. Технічні характеристики засобів знімання

Роботи виконувалися з використанням сучасної авіаційної техніки та новітніх навігаційних засобів, зокрема літака Cessna 441 та безпілотних систем.

З допомогою літального апарату Cessna 441 (рис.3.1), більш відомого як Conquest II, було проведено аерофотознімання ділянки м Дзівнов. Літак розробили у 1974 році, і для свого часу для компанії Cessna, це був справжній прорив, для свого часу, адже це турбогвинтовий літак. Він був спеціально розроблений компанією Cessna, щоб подолати розрив між добре відомими літаками Cessna з поршневіми двигунами та їхніми все більш успішними реактивними літаками.

З технічної точки зору, літак мав такі особливості:

- Екіпаж: 1 або 2 пілоти
- Місткість: 8–10 пасажирів
- Довжина: 39 футів 0 дюймів (11,89 м)
- Розмах крил: 49 футів 4 дюйми (15,04 м)
- Зріст: 13 футів 2 дюйми (4,01 м)
- Площа крила: 253,6 кв. футів (23,56 м<sup>2</sup>)
- Співвідношення сторін: 9,6:1
- Вага порожнього: 5682 фунтів (2577 кг)
- Вага брутто: 9850 фунтів (4468 кг)
- Силова установка: 2 турбогвинтові двигуни Garrett TPE331-8-403S по 636 к.с. (474 кВт) кожен
- Пропелери: 4-лопатеві McCauley (Світличний О.О., Плотницький С.В., 2006 )



**Рис. 3.1 – Літальний апарат Cessna 441 (Conquest II)  
(<https://planebase.ru/planes/cessna-441-conquest-ii>)**

Було виконано сканування території з допомогою технології LiDAR. Сканувальною системою була система Leica ALS70-СМ.

Leica ALS70 – являє собою сімейство повітряних лазерних сканувальних систем, технічні характеристики яких дозволяють виконувати лазерне сканування місцевості, з частотою вимірювання до 500 000 імпульсів в секунду, на висоті до 1.6 кілометра.

Leica ALS70-CM використовується для таких завдань, як:

- створення топографічних планів масштабу 1:10000 - 1:500;
- створення цифрових моделей рельєфу та місцевості;
- створення великомасштабних ортофотопланів місцевості

(<http://ecoscan.spb.ru/equipment/als70cm/> )

Особливостями даної системи є:

- Необмежена кількість точок, що повертаються для кожного імпульсу, що значно підвищує деталізацію хмар точок на зеленій місцевості;
- Висока чутливість приймача дозволяє надійно виділяти точки землі низької рослинності;
- Підтримка трьох шаблонів сканування: синусоїдального, трикутного та растрового;
- Автоматичне підстроювання частоти сканування під час польоту;
- Можливість запису повної форми відбитого сигналу на частотах сканування до 120 000 вимірів на секунду.

Leica ALS70-CM, здатний виконувати 6 годинне безперервне сканування, в температурах від 0 до + 40 градусів Цельсія, всередині літального апарату, та забезпечує точність вимірів 7-10 см за висотою та 5-15 см у плані залежно від висоти сканування (рис. 3.2).



Рис. 3.2 - Сканувальна система Leica ALS70-CM

([https://www.geotech.sk/downloads/Fotogrametria/Lidar/Prospekt\\_Leica\\_ALS70\\_BRO\\_en.pdf](https://www.geotech.sk/downloads/Fotogrametria/Lidar/Prospekt_Leica_ALS70_BRO_en.pdf) )

Для вирішення завдань моніторингу було використано літак Cessna 441 обладнаний камерами DigiCam і DigiTherm німецької компанії IGI та інше сучасне аерофотообладнання (рис. 3.3) (IGI Systems, н. д.).



Рис. 3.3 - Камери DigiCam і DigiTherm німецької компанії IGI (Джерело <https://www.digikam.org/> )

DigiCam є повітряною цифровою знімальною системою середнього формату, що використовується у професійній фотограмметрії (IGI Systems, н. д.).

DigiTHERM являє собою професійну знімальну систему для цифрової термографії. Він працює з діапазоном температур від -40°C до 120°C і забезпечує роздільність аж до 1280x1024 пікселів, використовуючи теплову роздільність 0.025K (IGI Systems, н. д.).

Обладнання аерофотокомплексу DigiCam, та DigiTHERM, дозволяє виконувати роботи з високою роздільною здатністю на різних висотах, отримуючи високі кількісні та якісні показники, в той же час, система працює на умовно невисоких енергоресурсах, що в кінцевому варіанті впливає на вартість продукту.

Система може працювати до 28 годин, безперервної роботи, на автономному живленні, в діапазонах температур від -10 до + 50 градусів Цельсія (IGI Systems, н. д.).

Переваги авіації над іншими методами знімання:

- висока швидкість та ефективність роботи.
- літаки можуть законно проводити зйомку на висоті більш ніж 122 метри, що означає достатню ширину смуги огляду для перекриття знімків, достатню щільність лазерного сканування.
- менша залежність від погодних умов.
- вища продуктивність літаків та безпека польоті в порівнянні з безпілотними літаками.
- вищий час польоту в порівнянні з БЛА.

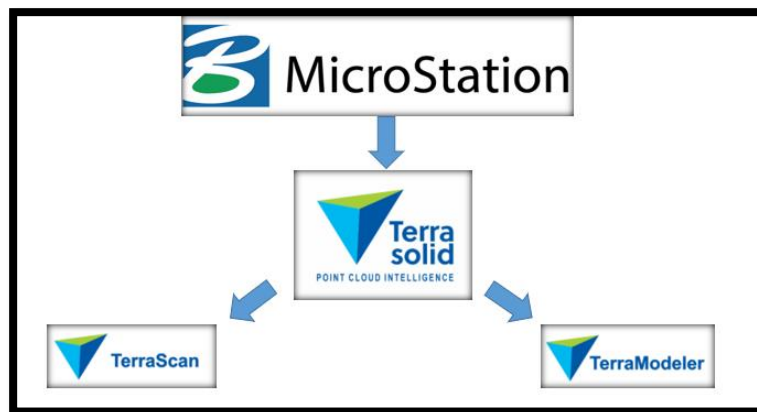
Недоліки авіації:

- висока вартість знімання.

У разі використання БЛА, є деякі перешкоди при їх застосуванні. Зокрема що наразі в республіці Польща діють ряд законів, які вимагають мати ліцензію, у разі комерційного виконання робіт, з приводу моніторингу зелених насаджень.

Для обробки даних лазерного сканування було використано пакет програм Terrasolid у поєднанні з Bentley MicroStation бази Microstation CONNECT Edition, надані компанією Tvis, в рамках проходження курсу «Tvis LiDAR Training».

Це дає можливість виконувати високоякісну класифікацію, візуалізацію, векторизацію, моделювання (рис 2.1).



**Рис 3.4 – Програмне забезпечення Tvis (розроблено автором на основі програмного забезпечення Terrasolid на базі бази Microstation CONNECT Edition)**

Terrasolid – це стандартне програмне забезпечення для обробки хмар точок та зображень, розроблене спеціально для суворих вимог спеціалістів у галузі геопросторових даних. Сімейство продуктів Terrasolid складається з шести основних продуктів – TerraScan, TerraModeler, TerraPhoto, TerraMatch, TerraStereo та TerraSlave.

Продукти TerraScan та TerraModeler, підходять для класифікації хмар точок.

TerraScan – це управління, обробка та візуалізація хмари точок. Програмне забезпечення пропонує автоматизовані інструменти, щоб створювати та редагувати векторні 3D-моделі на основі хмари точок, векторизувати лінії електро-передач, проводити аналіз коридору (смуги) сканування, що містить інформацію про небезпечні об'єкти, аналізувати стан дорожнього покриття, виявляти лінії розмітки та бордюри. Більшість процедур автоматичної класифікації можна об'єднати в макроси для пакетної обробки. У поєднанні з пакетною обробкою макроси можуть виконуватися за межами TerraScan і MicroStation, навіть на інших робочих станціях через локальну мережу.

TerraScan підтримує кілька форматів імпорту та експорту, включаючи формати LAS та LAZ, формати TerraScan Binary та TerraScan Fast Binary, а також формати ASCII, які можна визначити відповідно до потреб користувачів.

TerraModeler - це модуль, що дозволяє створювати, редагувати та використовувати моделі поверхонь. TerraModeler створює моделі поверхонь (TIN) з різних джерел, таких як точки LiDAR, що зберігаються у бінарних файлах або завантажуються у TerraScan, файли ascii XYZ та елементи графічного дизайну. Програмне забезпечення пропонує різноманітні можливості візуалізації, включаючи кольорові затінені поверхні, контурні лінії, сітки, кольорові сітки трикутників, підписи висот, напрями схилів та текстуровані поверхні (у поєднанні з TerraPhoto) (Tvis).

Програмне забезпечення Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition, дозволяє вирішувати завдання управління лазерним сканером, визначати сектори сканування шляхом візуального вибору об'єктів, режиму сканування, режиму роботи цифрової камери, здійснювати візуалізацію сканів у режимі реального часу, контролювати отримувані результати, виконувати налаштування і калібрування сканера, тестування сканера, виявлення можливих несправностей, облік помилок, об'єднання сканів, зовнішнє орієнтування сканів, експорт результатів сканування, обробку результатів, для подальших робіт.

Поєднання інструментів продуктів TerraScan та TerraModeler, дає можливість виконувати якісні роботи з класифікації, візуалізувати 3D, 2D моделі, виконувати їх інтерпретації, порівняння, інтерактивно вносити зміни (відповідно од-разу візуалізувати результати), створювати інтерактивні TIN моделі, цифрові моделі рельєфу, цифрові моделі місцевості.

Серед аналогів Terrasolid, на базі Microstation CONNECT Edition, можна виділити програмне забезпечення Cyclone – Leica.

Leica Cyclone - програмний комплекс для обробки лазерного сканування, який дозволяє, ефективну, швидку обробку хмар точок, отриманих в результаті лазерних зйомок з високою роздільною здатністю.

Leica Cyclone включає повний набір програмних модулів: для вибору необхідної конфігурації системи: Cyclone-SCAN – управління сканером, Cyclone-REGISTER – зрівнювання хмар точок, Cyclone-MODEL - вимірювання, моделювання, креслення, Cyclone-SERVER - організація роботи клієнт-сервер, для найбільш зручної обробки хмар точок, які дозволяють: візуалізації, вимірювання, побудови тривимірних моделей, аналізу даних (Leica). Відповідно до власного проведеного опитування, та аналізу, в більшості, область застосування Leica Cyclone - інженерна геодезія, будівництво, архітектура.

Оцінюючи програмне забезпечення для обробки даних лазерного сканування яке використовується компанією Tvis (Terrasolid, на базі Microstation CONNECT Edition), та Leica Cyclone, виявлено, що Terrasolid, є більш кращим для класифікації точок лазерного сканування, в силу більшої повноти своїх модулів (TerraScan, TerraModeler, TerraPhoto, TerraMatch, TerraStereo, TerraSlave), технічної підтримки, функціональності (управління лазерним сканером, визначення секторів сканування шляхом візуального вибору об'єктів, режиму сканування, режиму роботи цифрової камери), напрямкам застосування (архітектура, мар-кшейдерія, інженерна геодезія, будівництво, картографія, фотограмметрія), по-пулярності, підтримці більшої кількості форматів (LAS, LAZ, формати TerraScan Binary, TerraScan Fast Binary, ASCII). Єдиний аспект, в якому поступається Terrasolid, це недостатньо розвинена система технології «клієнт-сервер». Тех-нологія «клієнт-сервер» Leica Cyclone, дозволяє одночасно працювати до 10 фа-хівцям над одним проектом, що, на жаль, поки викликає труднощі в Terrasolid.

У разі порівняння БПЛА з авіацією, суттєвим є те, що для БЛА потрібні більш гарні погодні умови, які на дану прибережну ділянку припадає досить мало. Сильний поривистий вітер, хмарність, сильно впливають на точність, об'єм, час виконання робіт. При виконанні пробних практичних операцій з моніторингу зелених насаджень на підприємстві ТОВ «ТВІС ЮКРЕЙН» з допомогою БПЛА, було виявлено, що дані апарати мають неприємну властивість, час від часу

втрачати сигнал – це відноситься до ризиків, та збільшує вартість роботи, адже БПЛА, який впав з висоти пташиного польоту навряд чи буде підлягати відновленню.

Супутники відіграють також вагому роль для моніторингу.

Переваги супутникових методів:

- Періодичність (для прикладу американський супутник має періодичність збору даних для всієї планети 16-18 днів, що є дуже високим показником, та важливим фактором при виконанні моніторингу);
- Економічно ефективний (доступні безкоштовно, або за умовно низькою ціною);
- Проста у використанні технологія (не аби як важливо мати спеціалістів в області дослідження, проводити навчання та підвищення кваліфікації);
- безпечний та ефективним спосіб обстеження важкодоступних територій;
- дають можливість створювати та оновлювати карти великих розмірів.

Недоліки супутникових методів:

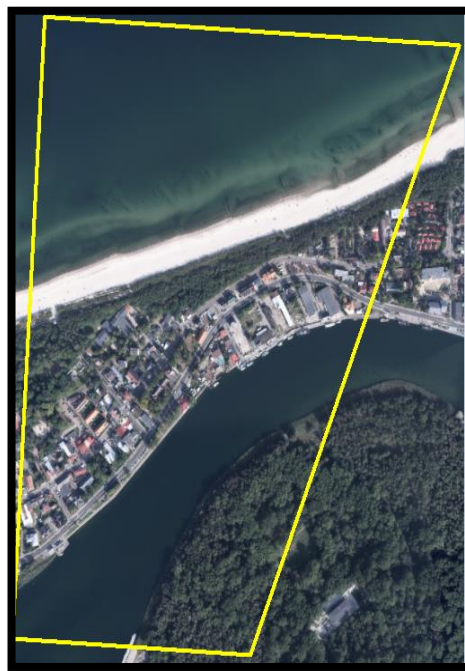
- Висока залежність від хмарності, яка може зберігатися декілька декад підряд, і припадати саме на момент сканування смуги супутником.
- Точність (для потреб моніторингу застосування супутникових методів є достатньо точними, але не такими точними, як для прикладу дані лазерного сканування з допомогою технології LiDAR).

Наразі в авіаційно-космічній промисловості відбувається інтенсивний розвиток, зокрема це стосується: якості, оперативності, вартості зображень. Для прикладу такі компанії як SpaceX, Blue Origin, за рахунок повторного використання космічних апаратів, знижують ціну виведення на орбіту супутників, що в свою чергу дає розуміти, що майбутнє має бути за космічно-авіаційними технологіями.

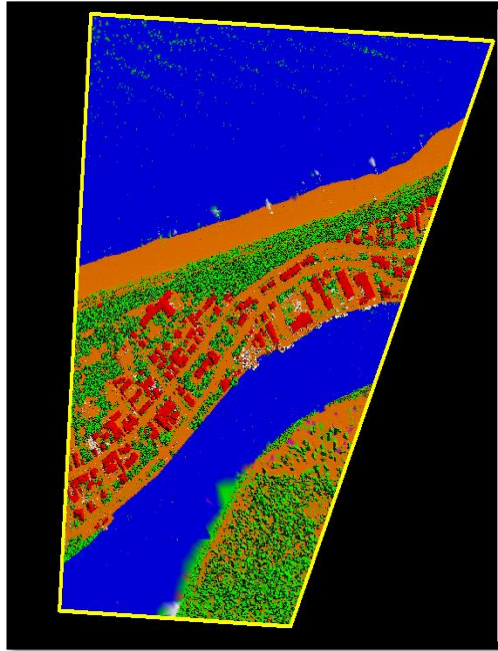
В загальному, для моніторингу зелених насаджень, найкращим є комплексне використання кожного методу отримання та обробки інформації, по мірі його економічності, точності, оперативності, безпечності, тобто використовувати системний підхід до проблеми.

3.3. Методика проведення моніторингу зелених насаджень з допомогою технологій LiDAR, аерофотознімання, косомзнімання, аналіз, порівняння результатів

Внаслідок проведення аерофотозйомки (рис. 3.5), авіаційного лазерного сканування (рис. 3.6), було отримано значний об'єм інформації. Наступним етапом була обробка цих результатів різними методами дешифрування.



**Рис 3.5 – Результат аерофотознімання м. Дзівнув (Dziwnów), Республіка Польща (розроблено автором на основі ортофотоплану м Дзівнув)**



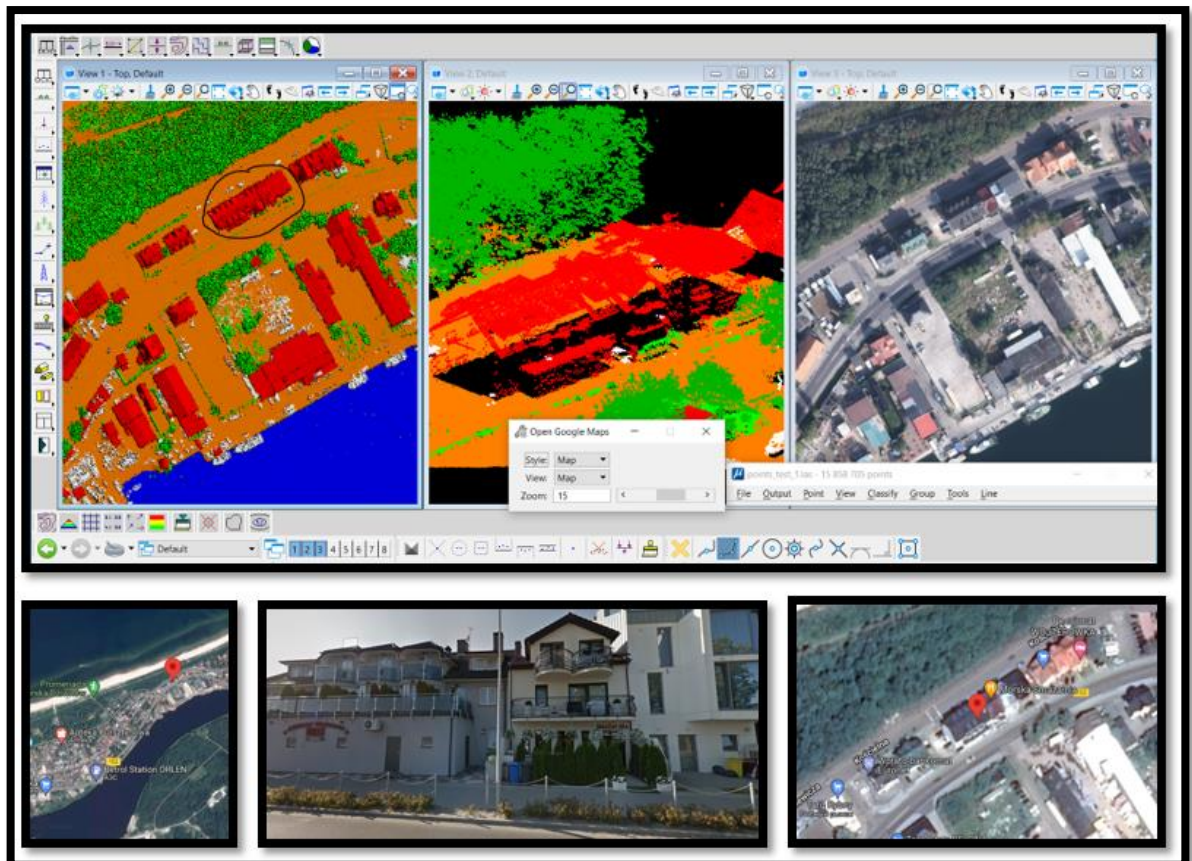
**Рис 3.6 – Результат авіаційного лазерного сканування м. Дзівнув (Dziwnow), Республіка Польща (розроблено автором на основі авіаційного лазерного сканування в програмному забезпеченні Terrasolid на базі бази Microstation CONNECT Edition)**

Дешифрування зелених насаджень здійснюється насамперед, з метою, обліку земельного фонду, раціонального управління земельними ресурсами, дослідження землеустрою. Практика систематичного спостереження за зеленими насадженнями в країнах ЄС показала, що найефективніше можна проводити їх за допомогою даних ДЗЗ та із залученням результатів вже проведених знімів, якщо такі є наявні (Зацерковний В. І., Ящук П. М., 2023 ).

Дешифрування отриманого об'єму інформації проводився двома методами: автоматизованим та візуальним. Під візуальним розуміється процес, що виконується людиною незалежно від того, в якому вигляді представлений знімок, наприклад звичайне фото, або ж картинка на моніторі комп'ютера, на відміну від автоматизованого, там де є запрограмований механізм який виконує дану роботу з допомогою ПЗ, або ж спеціально приладу (Zhlobak Н.М., 2010).

Першим етапом, після проведення аерофото, лідарного знімання, було проведено автоматизоване дешифрування ділянки м. Дзівнув, з допомогою програмного забезпечення Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition. Це дозволило віднести точки до своїх класів, але все ж, цього не достатньо для точної класифікації, тому був виконаний другий етап дешифрування – візуальне.

Під час виконання візуального дешифрування було виявлено, та виправлено велику кількість помилок, віднесення точок не в свій клас (рис.3.7).



**Рис. 3.7 – Результат візуального дешифрування даних лазерного сканування м. Дзівнув (Dziwnow), Республіка Польща в програмі Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition (розроблено автором на основі точок лазерного сканування в програмному забезпеченні Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition)**

Проведення автоматизованого та візуального дешифрування в програмі Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition, дають гарну базу для проведення класифікації ділянки, яка предствалена на рис. 3.8.

0	<b>Created, never classified</b>	Точки без класу (unclassified points) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Теплиці, кладовища;</li> <li>• Автомобілі (в дорозі, на паркувальних майданчиках або у дворах);</li> <li>• Стовпи та лінії електропередач, вежі;</li> <li>• Скупчення тимчасових об'єктів (піщані насипи, купи деревини, не покриті рослинністю, іншого роду насипи на будівництві тощо).</li> </ul>
2	<b>Ground</b>	Земля (points representing the ground) гірські породи слід класифікувати також як землю; будь-яка точка, яка була класифікована як земля, не може бути понад 0,30 м над/під реальним рівнем ґрунту !!!
3	<b>Low Vegetation (0m – 0,40m)</b>	Низька рослинність
4	<b>Medium Vegetation (0,40 – 2,00m)</b>	Середня рослинність
5	<b>High Vegetation (above 2,00m)</b>	Висока рослинність
6	<b>Building</b>	Будівлі (points representing buildings and engineering objects) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Будинки;</li> <li>• Сходи, тераси, які є невід'ємною частиною будівель та не є підйомом рівня землі навколо будівель;</li> <li>• Інженерні споруди, трубопроводи, наземні переходи, галереї;</li> <li>• входи в погребі (півнички);</li> <li>• Мости, віадуки, естакади.</li> </ul>
7	<b>Low Point (noise)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шуми, точки або групи точок значно вище/нижче рівня землі;</li> <li>• Точки, які не є результатом сканування;</li> <li>• Поодинокі точки під дахами споруд.</li> </ul>
9	<b>Water</b>	Водні об'єкти

**Рис. 3.8 – Класифікації об'єктів під час автоматизованого та візуального дешифрування в програмі Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition (розроблено автором за даними класифікації точок лазерного сканування)**

Для класифікації об'єктів під час виконання візуального дешифрування, потрібно робити декілька профілів, на кожній споруді, будівлі, рослині, виконати візуальне дешифрування об'єкта на ортофото, та з допомогою інструментарію TerraScan (classify using brush, classify fence, classify above line, classify below line, classify close to line) класифікувати в потрібний клас.

В даній роботі було заплановано виконання класифікації на 8 класів в програмному забезпеченні Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition: вода, низька, середня, висока рослинності, шуми, земля, решта.

Так як це перша робота класифікації точок лазерного сканування, до того ж трудомістка, то відповідно, замість запланованого часу на виконання даної роботи (спеціалісту Tvis відводиться 12 годин), завдання було виконано з використанням на порядок більше часу ніж відведено для спеціаліста.

Проведений власний аналіз опитування інших учасників курсу Tvis, показав, що це доволі часта ситуація, причому у всіх учасників, які раніше не мали досвіду виконання подібного роду завдань. Виконуючи дане завдання не вдалося досягти оптимізації часу на виконання, через різну складність місцевості, місцями невідповідність ортофото точкам класифікації.

Відповідно з 8 класів, маємо 3 класи рослинності (низька, середня, висока), які розраховуються автоматично, в програмному забезпеченні Terrasolid на базі Microstation CONNECT Edition, що є доволі зручно, адже значно скорочує час на виконання класифікації рослинності.

Класифікація на 8 класів, на базі Microstation CONNECT Edition, є одним із результатів використання даних лазерного сканування. Вона може бути застосована до таких завдань ГІС як: обробка матеріалів польових вимірювань та спостережень, оформлення їх у вигляді моделей, пошук даних за їх положенням, атрибутами, розташуванням відносно заданого об'єкту чи групи об'єктів, аналіз місцезнаходження об'єктів, щільності розподілу об'єктів, аналіз та відображення змін даних у часі, мережевий аналіз, вирішення транспортних задач, моделювання рельєфу, місцевості, вирішення задач проектування об'єктів та територій, виконання інвентаризації, обліку об'єктів, реконструкції.

Облік зелених насаджень даною технологією, не займає багато часу польових та камеральних робіт (що в свою чергу впливає на вартість результату), в порівнянні з іншими видами знімання такої ж місцевості, менш точно, але при існуючих допусках, це не є суттєво. Професіонали, в яких за плечима роки досвіду, в даній сфері, виконують завдання швидко та якісно, відповідно це дозволяє оперативно створювати, та оновлювати 3D моделі міст, цифрові моделі рельєфу та місцевості, виконувати моніторингу зелених насаджень в місті.

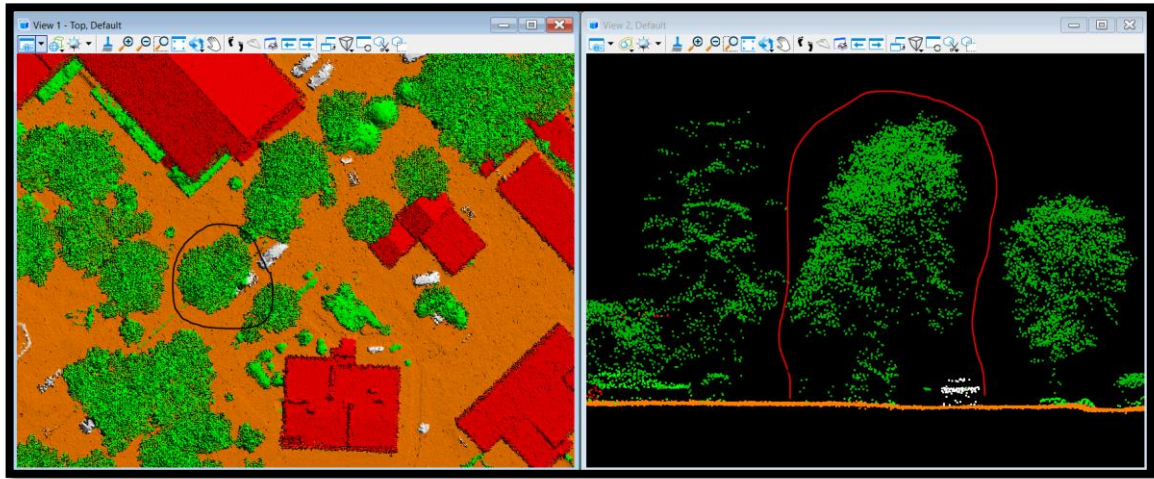
З використанням технологій LiDAR та аерофотознімання, можна визначити орієнтовну густину рослин на досліджуваних ділянках.

Це зручно при наявності знімків які мають високу розрізненість, адже можна виділити досліджувану ділянку, та порахувати вершки рослин, які чітко відображаються на знімку, рис. 3.9.



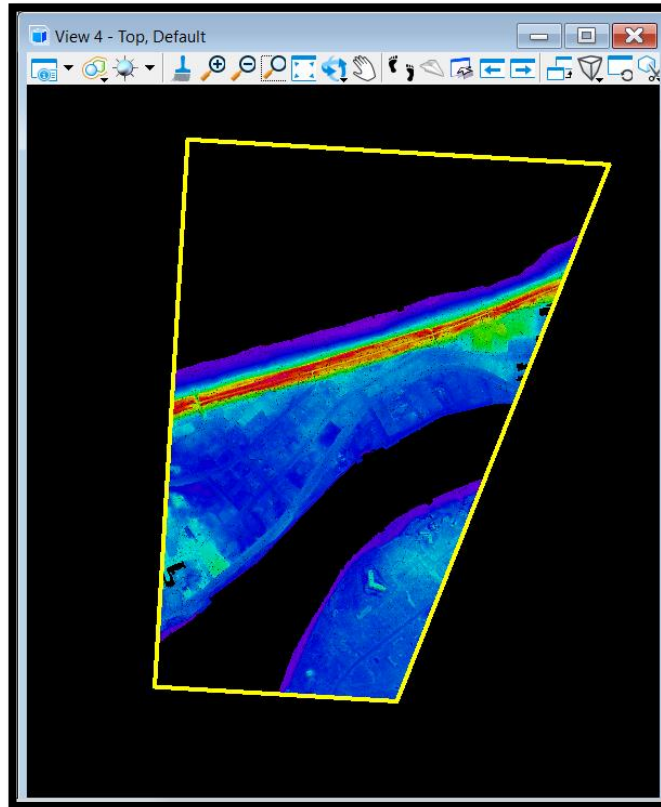
**Рис. 3.9 – Фрагмент аерофотознімання досліджуваної ділянки (створено автором за даними аерофотознімання)**

З додатковим використанням технології LiDAR, можна виконувати оперативну 3D візуалізацію, профіль зелених насаджень представлено на рис. 3.10.



**Рис. 3.10 – Профіль зелених насаджень досліджуваної ділянки (створено автором за даними лазерного сканування)**

З метою цифрового відображення структури досліджуваної поверхні, було створено нерегулярну триангуляційну мережу TIN, яка відображає поверхню ґрунту території. Відповідно неї за знімком, знаючи висоту поверхні, можна визначити перевищення, яке складають рослини з точністю до сантиметра. Це важлива характеристика, яка може допомогти оцінити зрілість рослин, їх стан, процес розвитку. Поверхня TIN дає можливість виявити неоднорідності у рельєфі ділянки, тим самим там може скупчуватися волога під час опадів, це може негативно впливати на міську інфраструктуру, на рівномірний розподіл сонячних променів на рослини (Зацерковний В. І., Ящук П. М., 2023) представлено на рис. 3.11.



**Рис. 3.11 - Поверхня TIN ділянки м. Дзівнув (створено автором за даними лазерного сканування)**

Для моніторингу зелених насаджень м Дзівнув були виконана комп'ютерна обробка супутникових знімків Landsat 8, з метою обрахунку вегетаційного індексу NDVI.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) – це простий показник біомаси рослин. Якщо говорити мовою неспеціаліста, використання NDVI дає можливість дізнатися, наскільки рослина здорова (*Зацерковний В. І., Ящук П. М., 2023*).

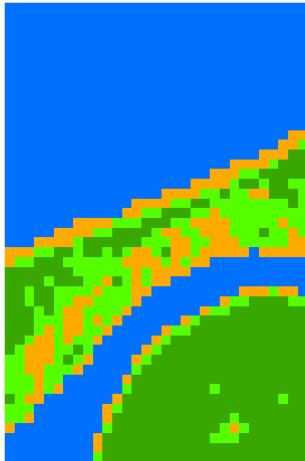
З допомогою NDVI, можна відокремити різні типи рослинності, поверхневі водні об'єкти, забудовані території, землі не вкриті рослинністю.

Визначити що рослини перебувають в пригніченому стані, ще до того, як це можна спостерігати наживо. При розрахунках та аналізі результатів слід уважно підходити до визначення правильного часу для обрахунку індексу для рослин.

Адже в різний момент вегетаційного періоду, зелені насадження будуть мати різні значення вегетаційного індексу, це слід враховувати при інтерпретації індексу. Для дослідження були обрані космічні знімки Landsat 8 за за період 2017-2022 рр. Результати застосування індексу NDVI за даними супутникових знімків

Результати застосування індексу NDVI :

2022.04.21



Умовні позначення:

- -0.070186071 - 0.022996803
- 0.022996803 - 0.087217433
- 0.087217433 - 0.150178835
- 0.150178835 - 0.250917077



2022.06.24



Умовні позначення:

- -0.106481761 - 0.054197474
- 0.054197474 - 0.187331698
- 0.187331698 - 0.336533845
- 0.336533845 - 0.478849739



2022.09.29

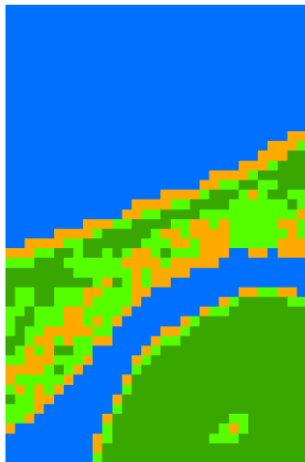


Умовні позначення:

- -0.104741305 - 0.055002925
- 0.055002925 - 0.18774813
- 0.18774813 - 0.315993498
- 0.315993498 - 0.468987971



2021.04.19



Умовні позначення:

- -0.068092875 - 0.015972147
- 0.015972147 - 0.082471343
- 0.082471343 - 0.145206434
- 0.145206434 - 0.251856089

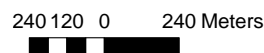


2021.06.13



Умовні позначення:

- -0.106186681 - 0.040866307
- 0.040866307 - 0.181026186
- 0.181026186 - 0.330376876
- 0.330376876 - 0.479727566



2021.09.10



Умовні позначення:

- -0.084977984 - 0.050290989
- 0.050290989 - 0.169163724
- 0.169163724 - 0.298284107
- 0.298284107 - 0.437652141



2020.04.07

2020.07.21

2020.09.29



**Умовні позначення:**

- -0.099199481 - 0.026080666
- 0.026080666 - 0.097262568
- 0.097262568 - 0.161326279
- 0.161326279 - 0.263828218



**2019.04.21**



**Умовні позначення:**

- -0.104134165 - 0.045553886
- 0.045553886 - 0.181424579
- 0.181424579 - 0.326506843
- 0.326506843 - 0.483103573



**2019.06.17**

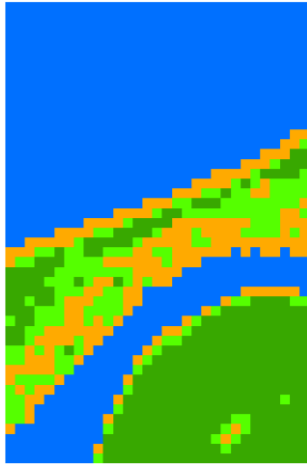


**Умовні позначення:**

- -0.096095003 - 0.052089669
- 0.052089669 - 0.151556093
- 0.151556093 - 0.273351714
- 0.273351714 - 0.421536386



**2019.10.14**



**Умовні позначення:**

- -0.118347339 - 0.020957343
- 0.020957343 - 0.100560019
- 0.100560019 - 0.178631874
- 0.178631874 - 0.272011936

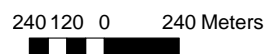


**2018.04.18**



**Умовні позначення:**

- -0.084215835 - 0.052068931
- 0.052068931 - 0.190516947
- 0.190516947 - 0.331128213
- 0.331128213 - 0.467412978



**2018.07.16**

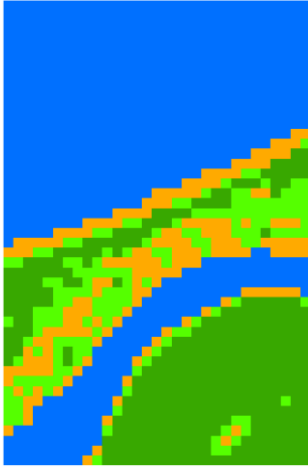


**Умовні позначення:**

- -0.079999998 - 0.046045644
- 0.046045644 - 0.156335581
- 0.156335581 - 0.268594981
- 0.268594981 - 0.422213107



**2018.10.11**

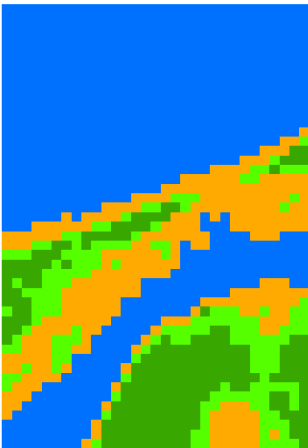


**Умовні позначення:**

- -0.097067192 - 0.019243758
- 0.019243758 - 0.084322505
- 0.084322505 - 0.146631942
- 0.146631942 - 0.256019622



**2017.05.01**



**Умовні позначення:**

- -0.092191227 - 0.017965407
- 0.017965407 - 0.116073658
- 0.116073658 - 0.215903107
- 0.215903107 - 0.346714109

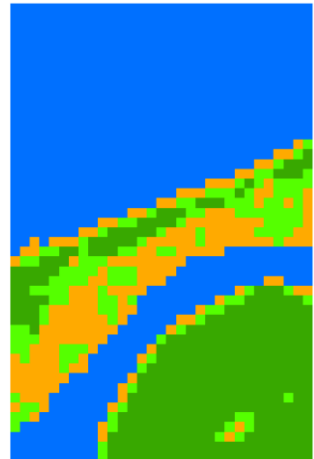


**Умовні позначення:**

- -0.082013912 - 0.048386038
- 0.048386038 - 0.185416495
- 0.185416495 - 0.333497795
- 0.333497795 - 0.481579095

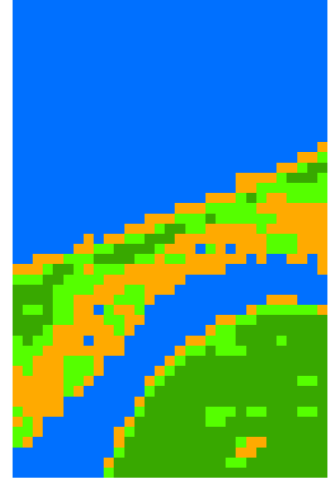


**2017.06.11**



**Умовні позначення:**

- -0.039951507 - 0.071360356
- 0.071360356 - 0.184659931
- 0.184659931 - 0.3138612
- 0.3138612 - 0.466915011

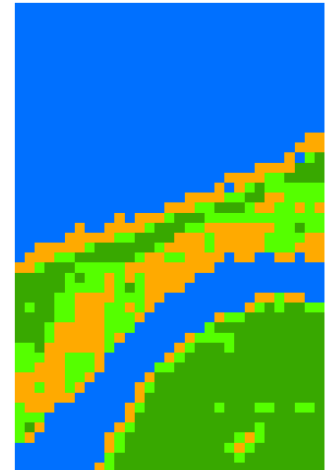


**Умовні позначення:**

- -0.089887641 - 0.044575793
- 0.044575793 - 0.155654283
- 0.155654283 - 0.268681518
- 0.268681518 - 0.407042444



**2017.10.01**



**Умовні позначення:**

- -0.104444705 - 0.041447919
- 0.041447919 - 0.152408506
- 0.152408506 - 0.267478745
- 0.267478745 - 0.419535846



**Рис. 3. 12 - Результати застосування індексу NDVI за період 2017-2022 рр.**

**за даними супутникових знімків Landsat 8 визначено в табл. 3.1.**

**Таблиця 3.1 – Результати застосування індексу NDVI за період 2017-2022 рр.**

<b>Дата</b>	<b>Площа поверхне вих водних об'єктів (га)</b>	<b>Площа забудованих територій, та землі яка не вкрита рослинністю (га)</b>	<b>Площа розрідженої рослинності (га)</b>	<b>Площа густої рослинності (га)</b>	<b>Загальна площа рослинності (га)</b>
<b>2017.05.01</b>	714.6	259.2	153.9	183.6	337.5
<b>2017.06.11</b>	711	172.8	126.9	298.8	425.7
<b>2017.10.01</b>	704.7	176.4	142.2	287.1	429.3
<b>2018.04.18</b>	686.7	155.7	146.7	321.3	468
<b>2018.07.16</b>	699.3	201.6	121.5	288.9	410.4
<b>2018.10.11</b>	736.2	189	137.7	247.5	385.2
<b>2019.04.21</b>	699.3	170.1	144.9	296.1	441
<b>2019.06.17</b>	704.7	189.9	124.2	290.7	414.9
<b>2019.10.14</b>	738	194.4	153.9	225	378.9
<b>2020.04.07</b>	694.8	172.8	137.7	305.1	442.8
<b>2020.07.21</b>	681.3	234	135	261	396
<b>2020.09.29</b>	622.8	260.1	151.2	275.4	426.6
<b>2021.04.19</b>	688.5	137.7	168.3	316.8	485.1
<b>2021.06.13</b>	706.5	187.2	130.5	287.1	417.6
<b>2021.09.10</b>	701.1	175.5	156.6	278.1	434.7
<b>2022.04.21</b>	689.4	136.8	169.2	315	484.2
<b>2022.06.24</b>	699.3	173.7	146.7	290.7	437.4
<b>2022.09.29</b>	735.3	190.8	136.8	248.4	385.2
<b>Максимум</b>	738.00	260.10	169.20	321.30	485.10
<b>Мінімум</b>	622.80	136.80	121.50	183.60	337.50
<b>Розмах варіації</b>	115.20	123.30	47.70	137.70	147.60

<i>Середнє лінійне відхилення</i>	16.15	24.20	11.05	25.77	28.03
<i>Дисперсія по генеральній сукупності</i>	620.65	1116.29	179.57	1148.04	1324.01
<i>Дисперсія за вибіркою</i>	657.16	1181.96	190.14	1215.57	1401.90
<i>Середньокв адратичне відхилення генеральне</i>	24.91	33.41	13.40	33.88	36.39
<i>Середньокв адратичне відхилення за вибіркою</i>	25.64	34.38	13.79	34.87	37.44
<i>Коефіцієнт варіації</i>	4%	18%	10%	13%	9%

На основі даних індексу NDVI за 2017-2022 рр. Враховано відсоткове співвідношення в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

<i>Дата</i>	<i>Загальна площа (га)</i>	<i>Відсоткове співвідношення до площі для поверхневих водних об'єктів</i>	<i>Відсоткове співвідношення забудованих територій, та землі яка не вкрита рослинністю</i>	<i>Відсоткове співвідношення для розрідженої рослинності</i>	<i>Відсоткове співвідношення для густої рослинності</i>
<b>2017.05.01</b>	1311.3	54%	20%	12%	14%
<b>2017.06.11</b>	1309.5	54%	13%	10%	23%
<b>2017.10.01</b>	1310.4	54%	13%	11%	22%
<b>2018.04.18</b>	1310.4	52%	12%	11%	25%
<b>2018.07.16</b>	1311.3	53%	15%	9%	22%
<b>2018.10.11</b>	1310.4	56%	14%	11%	19%
<b>2019.04.21</b>	1310.4	53%	13%	11%	23%
<b>2019.06.17</b>	1309.5	54%	15%	9%	22%
<b>2019.10.14</b>	1311.3	56%	15%	12%	17%

<b>2020.04.07</b>	1310.4	53%	13%	11%	23%
<b>2020.07.21</b>	1311.3	52%	18%	10%	20%
<b>2020.09.29</b>	1309.5	48%	20%	12%	21%
<b>2021.04.19</b>	1311.3	53%	11%	13%	24%
<b>2021.06.13</b>	1311.3	54%	14%	10%	22%
<b>2021.09.10</b>	1311.3	53%	13%	12%	21%
<b>2022.04.21</b>	1310.4	53%	10%	13%	24%
<b>2022.06.24</b>	1310.4	53%	13%	11%	22%
<b>2022.09.29</b>	1311.3	56%	15%	10%	19%

Проаналізувавши отримані дані було встановлено, що за період 2017-2022 рр. значення індексу NDVI для зелених насаджень міста Дзівнув, вказує, що розріджена рослинність стала меншою, в свою чергу збільшився показник густої рослинності.

Незмінно високі значеннями NDVI протягом усього аналізованого періоду характеризується південно-східній частині досліджуваної ділянки, де росте багато деревної багаторічної рослинності. На західній частині присутня в більшості розріджена рослинність, в більшості ці території забудовані малоповерховою забудовою.

Відповідно до аналізу результату можна стверджувати, що за допомогою космічних знімків Landsat 8, отримано актуальну інформацію про стан, щільність рослинного покриву, що є важливим при плануванні рекреаційних територій в місті. Зазначимо, що якщо індекс вегетації становить більше 0,5, то можна впевнено встановити, що це, здорова рослинність, а якщо показник в межах 0,2 - 0,3 розріджена рослинність. Відповідно, можна виконувати оцінку стану зелених насаджень, визначати їх якісні характеристики.

З приводу оцінки точності, можна сказати, що найбільш точним при дослідженні моніторингу зелених насаджень є лідарне знімання,.

З допомогою моніторингу зелених насаджень, в подальшому, можна проводити інвентаризацію та облік зелених насаджень.

Інвентаризація об'єктів зелених насаджень здійснюється з метою:

- отримання достовірних даних щодо кількісних та якісних характеристик об'єктів зеленого господарства на території населеного пункту;
- підсилення відповідальності за стан та кількість зелених насаджень, в межах окремих ділянок, на яких вони знаходяться.
- сприяння формуванню екологічно ефективних та стійких до умов навколишнього середовища насаджень;
- використання даних інвентаризації для розроблення у програм розвитку;
- збалансованого використання озелених територій, та їх встановлення відповідним нормам;
- визначення площі, що зайнята зеленими насадженнями;
- ведення обліку кількості, якості зелених насаджень.

За результатами моніторингу зелених насаджень м Дзівнув, можна зробити висновок про зменшення кількості розрідженої рослинності на 2%, якщо врахувати аналіз за період 2017-2022 рр., натомість на 5% збільшилась площа густої рослинності.

Повна площа зелених насаджень в 2017 році становила 26% від загальної площі, в 2022 цей показник становив уже 29%, що вказує на збільшення площі зелених насаджень.

Порівняння кількості рослинності протягом декількох років та визначення динаміки її змін із застосуванням дистанційних даних та сучасних геоінформаційних технологій є дуже корисним та ефективним для планування робіт з озеленення та догляду за рослинністю у місті.

На початку вегетаційного періоду нормативні площі зелених зон набагато більше реальної кількості рослинності. В дослідженні було взято знімки з початку, середини та кінця вегетаційного періоду, який підходить для даної кліматичної зони.

Використання показника NDVI дозволяє більш точно визначити межі рослинності і площу проективного покриття.

Виявлено довготривалі зміни кількості рослинності київської міської агломерації з середньою прогнозованою швидкістю  $-0,3\%$  на рік. Від'ємний щорічний приріст кількості рослинності пов'язаний не тільки зі зменшенням її загальної площі, зумовленого забудовою території, але й з недостатньо екологічно обґрунтованими підходами до ведення лісового та міського господарства.

Такий показник дозволить адекватно описати інтегральний стан рослинності урбанізованих територій.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було досліджено особливості використання технологій дистанційного зондування для потреб моніторингу зелених насаджень. Для цього було отримано та опрацьовано матеріали лідарного, аерофото космо знімання м. Дзівнув, Республіка Польща, з яких створено зразки наочних картографічних матеріалів.

Виконано аналіз досвіду використання матеріалів ДЗЗ для моніторингу зелених насаджень, який показує перспективу використання технологій LiDAR.

В ході спектрометричної оцінки, виявлено, що пектральний склад відбитого сонячного випромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,4-2,5 мкм, який залежить від інтенсивності поглинання радіації хлорофілом у видимій області та водою в середній ІЧ-зоні спектра.

Здійснено виконання візуального дешифрування для класифікації об'єктів на ортофото, та з допомогою інструментарію TerraScan (classyfy using brush, classyfy fence, classyfy above line, classyfy below line, classyfy close to line) , а саме: споруди, будівлі, рослини.

З використанням технологій LiDAR та аерофотознімання було визначено орієнтовну густину рослин на досліджуваних ділянках.

Проаналізувавши близько 150 варіантів вегетаційних індексів, було обрано індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який використовується для виявлення різних типів рослинності, їх стану та густоти, виявлення різних шкідливих впливів тощо.

Проведено порівняльний аналіз значення індексу NDVI для зелених насаджень м. Дзівнув за період 2017-2022 рр., отримані результати зміни площі поверхневих водних об'єктів, забудованих територій, та землі яка не вкрита рослинністю , розрідженої та густої рослинності.

За результатами моніторингу зелених насаджень м. Дзівнув було встановлено, що за період 2017-2022 рр. відбулось зменшення кількості

розрідженої рослинності на 2%, , натомість на 5% збільшилась площа густої рослинності.

З допомогою моніторингу зелених насаджень, в подальшому, можна проводити інвентаризацію та облік зелених насаджень. Крім того, з допомогою технологій ДЗЗ можна здійснити дешифрування зелених насаджень, визначити їх стан.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Білоус В. В., Боднар С. П., Курач Т. М., Молочко А. М., Патиченко Г. О., Підлісецька І. О. (2011). Дистанційне зондування з основами фотограмметрії: навчальний посібник / Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. — 367 с.

Використання ГІС та ДЗЗ у землекористуванні. (2012). Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 14-16 листопада 2012 р. — Миколаїв: КП «Миколаївська обласна друкарня», 2012. — 96 с.

Вступ до курсу “Спектроскопічні методи аналізу”. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/L-1-Spectroskopy.pdf>

Дешифрування фотознімків. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/>.

Ґрунти, рослинний та тваринний світ Польщі. (2013). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/poland/690-poland-flora-fauna>.

Зацерковний В. І. (2011). Використання ГІС та ДЗЗ для моніторингу сільськогосподарських земель / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, В. В. Сергієнко // Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа. — 2011. — №2(2). — С. 40-48.).

Зацерковний В.І. (2018). ДЗЗ. Фізичні основи: навч. посіб. Ніжин: НДУ ім.М.Гоголя, 380 с.

Зацерковний В. І., Ящук П. М. (2023). Моніторинг зелених насаджень за допомогою технологій ДЗЗ. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.inter-nauka.com/issues/2023/9/8893>.

Інститут агроекології і природокористування НААНУ. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://agroeco.at.ua/>.

Історія розвитку та застосування аерокосмічних методів у лісовому господарстві. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ecology.udau.edu.ua/assets/files/024.pdf>

Куценко М.В. Вступ до географічних інформаційних систем та моделювання стану довкілля: Навчюпос.- Харків: Екограф, 2008.- 204 с.

Національний науковий центру «Інститут ґрунтознавства й агрохімії ім. А. Н. Соколовського» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.issar.com.ua/>.

Організація по продовольству й сільському господарству (ФАО — FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.fao.org/giews>.

Основи дешифрування супутникових знімків. (2021). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://eprints.library.odeku.edu.ua>.

Рельєф, тектоніка та геологічна будова Польщі. (2013). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/poland/686-poland-relief-geology>

Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В. Геодезія. Навчальний посібник. Умань, 2008.- 294 с. іл..

Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики. Навчальний посібник.- Суми:Університетська книга, 2006.- 295 с.

Стародуб Ю. П. (2013). Інформаційні технології в комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів. [Текст] / Ю. П. Стародуб, П. П. Урсуляк. Львів, ЛДУ БЖД, 2013р., 160с. с. 44-45.

NDVI. Теорія і практика. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>.

Agam N. (2007). A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery / N. Agam, W. P. Kustas, M. C. Anderson[et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2007. — Vol. 107, No. 4. — p. 545–558.

IGI Systems. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.igi-systems.com/home.html>.

Jiang Z. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction / Z. Jiang, A. R. Huete, J. Chen[et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2006. — Vol. 101, No. 3. — p. 366–378.

Monitoring Agricultural Resources. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>.

Zhlobak H.M. (2010). Using methods of remote sensing of the Earth to monitor agricultural resources of Ukraine // Space science and technology. 2010. Vol. 16. No. 6. p. 16–23