

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)
(тип кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему «Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів»

ХАІ.407.465м.22О103.9794009 ПЗ

Виконав: студент(ка) 6 курсу групи № 465м

Спеціальність 103 Науки про Землю
(код та найменування)

Освітня програма Космічний моніторинг Землі
(найменування)

Раджабова Ю. С.
(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: Горелик С. І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Іващук Б. М.
(прізвище та ініціали)

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. М.Є.
ЖУКОВСЬКОГО
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки
Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки 103 Науки про Землю
(назва і шифр)
Освітня програма Космічний моніторинг Землі
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова
циклової комісії

к.т.н. Горелик С.І.

“ ” 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ**

Раджабової Юлії Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної роботи: Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів

керівник випускної роботи: Горелик Станіслав Ігорович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом Університету №1546-уч від « 03» листопада 2022 року

2. Строк подання студентом випускної роботи 15.12.2022

3. Вихідні дані до випускної роботи Дані про стрімке підвищення знищення лісових ресурсів Землі, космічні знімки з супутника Sentinel 2, аналітичні дані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз існуючих методів моніторингу лісових ресурсів, Методика дослідження лісових масивів за даними ДЗЗ; Практичні реалізації на впровадження оптичних супутникових даних для оптимізації моніторингу лісових порушень на прикладі лісу Міомбо в Мозамбик на тропічного лісу в Республіці Конго. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Рисунки для визначення роботи вегетаційного індексу NDVI, зображення з причинами втрати лісів, карта AGB, лістинги кодів, лісова маска.

6. Консультанти розділів випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Горелик С. І.	31.10.2022	15.12.2022
	<i>доцент</i>		

Нормоконтроль Красовська І.Г. « 15 » грудня 2022 р.

7. Дата видачі завдання 31.10.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
	Аналіз причин глобальної втрати лісів	01.11.2022 – 06.11.2022	
	Аналіз існуючих методів моніторингу лісових ресурсів	07.11.2022 – 12.11.2022	
	Створення методики для виконання практичних реалізацій	13.11.2022 – 03.12.2022	
	Пошук інформації для виконання практичних реалізацій №1 і №2	04.12.2022 – 07.12.2022	
	Написання пояснювальної записки	08.12.2022 – 14.12.2022	

Студент _____ Раджабова Ю. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Горелик С. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 75 сторінок, 32 рисунка, 1 таблиця, 2 схеми, 25 посилань на використані джерела.

Об'єкт дослідження: процеси, що призводять до зменшення лісових ресурсів.

Предмет дослідження: методика моніторингу лісових ресурсів з використанням даних ДЗЗ.

Метою дослідження є підвищення точності визначення змін лісових ресурсів за даними ДЗЗ.

Методи дослідження: збирання, передавання, збереження та аналіз інформації про стан лісів, прогнозування їх змін методом дистанційне зондування Землі.

Отримані результати: впровадження оптичних супутникових даних для оптимізації моніторингу лісових порушень на прикладі лісу Міомбо в Мозамбік на тропічного лісу в Республіці Конго.

Перелік ключових слів: ЛІС, МОНІТОРИНГ, ДЗЗ, SENTINEL 2, ЗНЕЛІСЕННЯ, NDVI, КОСМІЧНИЙ ЗНІМОК.

REVIEW

Calculation and explanatory note for the degree work: 75 pages, 32 figures, 1 table, 2 diagrams, 25 references to the used literature.

Object of research: processes that lead to a decrease in forest resources.

Subject of research: Methods of forest resources monitoring using Remote sensing.

The aim of the study is to increase the accuracy of determining changes in forest resources according to Remote sensing.

Research methods: collecting, transmitting, preserving and analyzing information about the state of forests, forecasting their changes by remote sensing of the Earth.

The results obtained: introduction of optical satellite data to optimize forest violations on the example of a Myombo forest in the Mozambick on a tropical forest in the Republic of Congo.

List of keywords: FOREST, MONITORING, REMOTE SENSING, SENTINEL-2, DEALING, NDVI, SPACE PHOTO.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ.....	8
1.1. Контактні методи моніторингу лісових ресурсів.....	10
1.2. Моніторинг лісових ресурсів дистанційними методами.....	12
1.3. Використання вегетаційного індексу NDVI для визначення типу та ступеня порушеності рослинного покриву.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРИЧИНИ ГЛОБАЛЬНОЇ ВТРАТИ ЛІСІВ.....	23
2.1. Знелісення у світі.....	24
2.2. Знелісення в Україні.....	25
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ №1.....	34
3.1 Біомаса.....	34
3.2. Покращення моніторингу біомаси за допомогою LiDAR.....	38
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ №1.....	44
РОЗДІЛ 5 МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ №2.....	53
5.1 Підходи на основі річних часових рядів.....	53
5.2 Основні визначення зміни лісу.....	54
РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ №2.....	57
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	63
ДОДАТОК А Плакат на тему «Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів».....	66
ДОДАТОК Б Презентація на тему «Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів».....	67

ВСТУП

Актуальність теми:

Ліси відповідають за підтримку основних життєвих процесів, від очищення повітря, яким ми дихаємо, до підтримки здорових ґрунтів і чистих джерел води. У всьому світі громади покладаються на екосистемні послуги, які надають ліси, щоб підтримувати свої засоби до існування. Проте вирубка та деградація лісів загрожують лісовим екосистемам у всьому світі, таким чином порушуючи пом'якшення кліматичних змін, яке забезпечують ліси і яке нам вкрай необхідно.

Використовуючи супутники та методики дистанційного зондування, ми можемо картографувати та контролювати ліси. Це дає нам змогу спостерігати за змінами лісового покриву, сповіщати органи влади про випадки вирубки лісів і контролювати зв'язок між лісами та парниковими газами (ПГ).

Мета: підвищення точності визначення змін лісових ресурсів за даними ДЗЗ.

Завдання:

1. Проаналізувати існуючі методики моніторингу лісових ресурсів;
2. Визначити фактори і процеси, що призводять до зміни лісових ресурсів;
3. Розробка методик моніторингу лісових ресурсів за даними ДЗЗ;
4. Практична реалізація на прикладі лісу Міомбо в Мозамбік та тропічного лісу в Республіці Конго

Предмет: методика моніторингу лісових ресурсів з використанням даних ДЗЗ.

Об'єкт: процеси, що призводять до зменшення лісових ресурсів.

Методи дослідження: збирання, передавання, збереження та аналіз інформації про стан лісів, прогнозування їх змін методом дистанційне зондування Землі.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ

Згідно з Лісовим кодексом України, моніторинг лісів – система регулярного спостереження, оцінки і прогнозу динаміки кількісного і якісного стану лісів.

Основними завданнями лісового господарства є охорона, захист і відтворення лісів, виходячи з принципу сталого управління ними, нарощування екологічного і ресурсного потенціалу, захисту земель від ерозії та підвищення родючості сільськогосподарських угідь [1].

Функціонування моніторингу має забезпечити:

–підвищення оперативності отримання і якості первинних даних про екологічний стан лісів;

–зростання рівня адекватності між реальним екологічним станом лісів та його інформаційною моделлю;

–підвищення рівня обґрунтування прийняття рішень з управління лісами;

–покращення якості інформаційного забезпечення споживачів лісоекологічної інформації шляхом застосування сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій [2].

Моніторинг лісів проводиться шляхом збирання, передавання, збереження та аналізу інформації про стан лісів, прогнозування змін у лісах і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для інформаційно-аналітичного забезпечення управління лісами, прийняття рішень щодо запобігання негативним змінам стану лісів, дотримання вимог екологічної безпеки та принципів ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку.

Моніторинг лісів є складовою частиною державної системи моніторингу навколишнього природного середовища [1].

Лісові масиви є складними динамічними природними системами, межі яких постійно змінюються. Зважаючи на високу трудомісткість отримання інформації про склад лісів та їх екологічний стан наземними методами, особливо на великих

площах, важлива роль в оцінюванні стану лісів, їх картографуванні та проведенні екологічного моніторингу належить дистанційним методам досліджень.

Зміни у навколишньому середовищі відбуваються під впливом природних і антропогенних чинників. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу.

Моніторинг – це багаторазове вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра в певному інтервалі часу; система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану й зміни об'єктів. Крім спостережень та отримання інформації, моніторинг передбачає й елементи активних дій, таких, як оцінювання, прогнозування, розроблення природоохоронних рекомендацій.

Моніторинг довкілля виник у другій половині ХХ ст. як науково-практичний напрям системної екології, завданням якої є встановлення критеріїв і виявлення меж стійкості екологічних систем.

На початку 70-х років ХХ ст. було обґрунтовано альтернативні концепції моніторингу довкілля як сфери наукового знання і практичної діяльності.

Найбільш точну і актуальну інформацію про стан, розвиток і забруднення різних природних комплексів можна отримати лише за допомогою даних ДЗЗ.

Україна з самого початку створення незалежної держави почала приділяти значну увагу створенню системи моніторингу на основі технологій ДЗЗ для вирішення актуальних загальнодержавних завдань та інтеграції в міжнародні системи спостережень. Система моніторингу заснована на використанні наявних організаційних структур суб'єктів моніторингу і передбачає функціонування на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи

1.1. Контактні методи дослідження лісових ресурсів

Лісовпорядкування включає комплекс заходів, спрямованих на забезпечення ефективної організації та науково обґрунтованого ведення лісового господарства, охорони, захисту, раціонального використання, підвищення екологічного та ресурсного потенціалу лісів, культури ведення лісового господарства, отримання достовірної і всебічної інформації про лісовий фонд України [2,3].

За статтею 46, Лісового кодексу України, лісовпорядкування передбачає:

- 1) відновлення у встановленому порядку меж території лісового фонду України і визначення внутрігосподарської організації;
- 2) виконання відповідних топографо-геодезичних робіт і спеціального картографування лісів, виготовлення планово-картографічних матеріалів;
- 3) визначення породного та вікового складу деревостанів, їх стану, якісних і кількісних характеристик лісових ресурсів;
- 4) виявлення деревостанів, що потребують рубок, з метою поліпшення якісного складу лісів;
- 5) обґрунтування поділу лісів на категорії залежно від основних виконуваних ними функцій;
- 6) обчислення розрахункової лісосіки, обсягів використання інших видів лісових ресурсів;
- 7) визначення обсягів робіт щодо відновлення лісів і лісорозведення, охорони лісів від пожеж, інших лісогосподарських заходів, а також порядку і способів їх проведення;
- 8) ландшафтні, ґрунтові, лісотипологічні, лісобіологічні та інші обстеження і дослідження лісових природних комплексів;
- 9) виявлення пралісів, квазіпралісів, природних лісів, типових та унікальних природних комплексів, місць зростання та оселення рідкісних та таких, що перебувають під загрозою зникнення видів тваринного і рослинного світу і підлягають заповіданню, включенню до екологічної мережі;
- 10) упорядкування мисливських угідь;
- 11) забезпечення первинного обліку лісів і державного лісового кадастру;

12) проведення науково-дослідних робіт з метою забезпечення науково обґрунтованого використання лісових ресурсів, охорони, захисту та відтворення лісів;

13) складання проектів організації і розвитку лісового господарства та здійснення авторського нагляду за їх виконанням;

14) участь у розробленні програм охорони, захисту, використання та відтворення лісів [2].

Під охороною лісника знаходиться все наявне в обході державне майно відповідно до паспорта обходу — споруди, землі, насадження та інші об'єкти та майно.

Лісник виконує заходи щодо попередження, виявлення та гасіння лісових пожеж, повідомляє у лісництві про виявлення на ділянці шкідників та хвороб дерев.

Лісник зобов'язаний перевіряти документи на право полювання та господарську діяльність у лісі (рубка, сінокосіння, випас худоби), складати акти про лісопорушення, порушення правил полювання, пожежної безпеки.

Також лісник здійснює керівництво лісопосадковими роботами, рубками догляду та іншими роботами з догляду лісових культур, збору плодів, грибів; бере участь у відводі територій під лісосіки та для здійснення різної господарської діяльності [3,4].

За ст.14 Лісового кодексу України, необхідно:

1) вести лісове господарство на основі матеріалів лісовпорядкування відповідно до лісового Кодексу;

2) забезпечувати охорону, захист, відтворення і підвищення продуктивності лісових насаджень, посилення їх корисних властивостей та покращання родючості ґрунтів, виконувати інші заходи відповідно до вимог лісового законодавства;

3) дотримуватися правил і норм використання лісових ресурсів;

4) вести лісове господарство та використовувати лісові ресурси способами, які не завдають шкоди навколишньому природному середовищу, забезпечують

збереження корисних властивостей лісів і створюють сприятливі умови для їх охорони, захисту та відтворення;

5) вести первинний облік лісів, надавати в установленому законодавством порядку статистичну звітність та інформацію про стан лісів і використання лісових ресурсів;

6) забезпечувати охорону типових та унікальних природних комплексів і об'єктів, рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів тваринного і рослинного світу, рослинних угруповань, сприяти формуванню екологічної мережі відповідно до природоохоронного законодавства.

1.2. Моніторинг лісових ресурсів дистанційними методами

Дистанційне зондування землі – це спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури. Супутники або літаки фіксують випромінювання, що відбивається від поверхні землі, а згодом аналізують його. Завдяки цьому ми можемо отримати вельми багато корисної інформації [5].

Один із найрозвиненіших напрямків застосування дистанційного зондування у сфері екології – це оцінка стану рослинного покриву, і, зокрема, лісового покриву. Спектр розроблених методик та їх можливого застосування – дуже широкий і наведений нижче перелік практичних напрямів використання та можливих до виявлення характеристик лісового покриву – далеко не повний.

Характеристики лісового покриву, які можна виявити за допомогою технологій дистанційного зондування:

–Ступінь порушеності лісової екосистеми (оцінка "здоров'я" або ступеня наближеності лісової екосистеми до ідеального непорушного стану);

–Повнота деревостою (щільність насаджень, ступінь зімкнутості деревостою);

–Переважаючий вік деревостою;

–Переважний породний склад деревостою;

- Висота окремих дерев, висота деревних ярусів;
- Діаметр крони окремих дерев;
- Кордон лісу;
- Вогнища лісових пожеж у режимі майже реального часу;
- Території з лісами, що вигоріли, за рік спостережень;
- Вирубубання різного віку.

Проведення багаторічного моніторингу (з 1972 по теперішній час) лісових екосистем з відстеженням параметрів, важливих для сталого використання, збереження та відновлення лісу з метою вироблення найбільш ефективних методик реалізації цих цілей.

Завдання лісового комплексу, які можна вирішити на базі технологій дистанційного зондування:

1. Для завдань лісопатології: оцінка ефективності методик усунення пошкоджень лісу та їх запобігання з метою розробки та вибору найкращих методик для даного типу клімату та ландшафту.

2. Для завдань створення екологічних систем (еконетів): вибір пріоритетних територій для включення їх у екологічні мережі, що розробляються, вибір серед цих територій пріоритетних для проведення лісовідновлювальних робіт.

3. Для завдань боротьби з лісовими пожежами: виявлення лісових пожеж та оперативна розробка заходів щодо їх ліквідації, моніторинг лісів у пожежонебезпечний період.

4. Для завдань боротьби з нелегальними вирубками

5. Для завдань лісопатології: виявлення пошкоджених лісових ділянок та діагностування типів ушкоджень.

6. Завдання виявлення та картування різних характеристик лісового покриву

7. Визначення висоти дерев та діаметр крони за супутниковими знімками високої роздільної здатності [5-7].

В залежності від масштабів об'єкта спостереження розрізняють три рівні екологічного моніторингу навколишнього середовища:

- глобальний (територія земної кулі);

– регіональний (в межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях окремих економічних і природних регіонів);

– локальний (коли об'єктами спостереження є окремі точки і зони, розміри яких не перевищує десятків квадратних кілометрів). Проводиться на території окремих об'єктів (підприємств), міст, на визначених ділянках ландшафтів).

Сьогодні на навколосемних орбітах знаходяться понад 100 космічних апаратів ДЗЗ. Космічна інформація використовується для моніторингу потенційно небезпечних об'єктів і мінімізації ризиків, виявлення і визначення масштабів надзвичайних ситуацій, планування заходів і ресурсів для запобігання та ліквідації, оцінки наслідків техногенних аварій і природних стихійних лих. Важливим чинником є те, що чим оперативніше буде визначено осередок пожежі, тим швидше її буде усунено або локалізовано.

Ефективним є метод моніторингу заснований на порівнянні космічних знімків досліджуваної території у звичайному кольоровому діапазоні (RGB) та у інфрачервоному діапазонах. За картами створеними за знімками оптичному діапазоні можна визначати задимленість території та напрям вітру. В інфрачервоному діапазоні гарно виділяються ділянки з температурою, вищою за оточуючу. На основі поєднання результатів аналізу за знімками в обох діапазонах можна скласти комплексну картину того, якого розміру та якої сили є пожежа, визначити її напрямок просування і потенційно небезпечні для займання території. Для співставлення знімків можна використати різні програмні засоби та ГІС.

Для досягнення високого результату у роботах з відновлення природного рослинного покриву (зокрема – лісового покриву) ключове значення має вибір методик проведення таких робіт. Розроблених та застосовуваних методик вже досить багато, вони мають різний характер у різному типі клімату та ландшафту, але, що їх поєднує, – це неможливість швидко оцінити ефективність їх застосування. Так, щоб виростити новий ліс, чекати не один десяток років. З цієї причини величезну важливість становлять можливості проведення оцінки процесу відновлення рослинного покриву за минулий багаторічний період. Таку

можливість надають нам технології дистанційного зондування Землі, завдяки яким можна підняти та проаналізувати дані, починаючи з 1972 року (рік запуску першого супутника з відкритими даними – Landsat 1).

Особливу важливість ці можливості мають для оцінки методик відновлення вологих тропічних лісів – і через високу біологічну значущість тропічних біомів, і через їх високу вразливість і складність отримання відновленого лісу високої якості [6].

Для прикладу можливого підходу до оцінки ефективності методики лісовідновлення наведено елемент аналізу процесу лісовідновлення території заповідника Alto-Montana (Бразилія), що знаходиться в зоні вологих тропічних лісів, на якому з 1950-х років (близько 60 років) проходить природне відновлення лісового покриву стадії пасовищ та сильно розрідженої рослинності, що поєднуються з фрагментами непорушеного лісу. У прикладі показаний аналіз стану рослинного покриву і в момент дати зйомки (1984 та 2003) та оцінка характеру динаміки процесу відновлення рослинного покриву. Виявлення позитивної динаміки відновлення, а також висока якість сучасного лісу (визначена при польових роботах) – говорить про те, що застосована методика та супутні умови були вдалі.

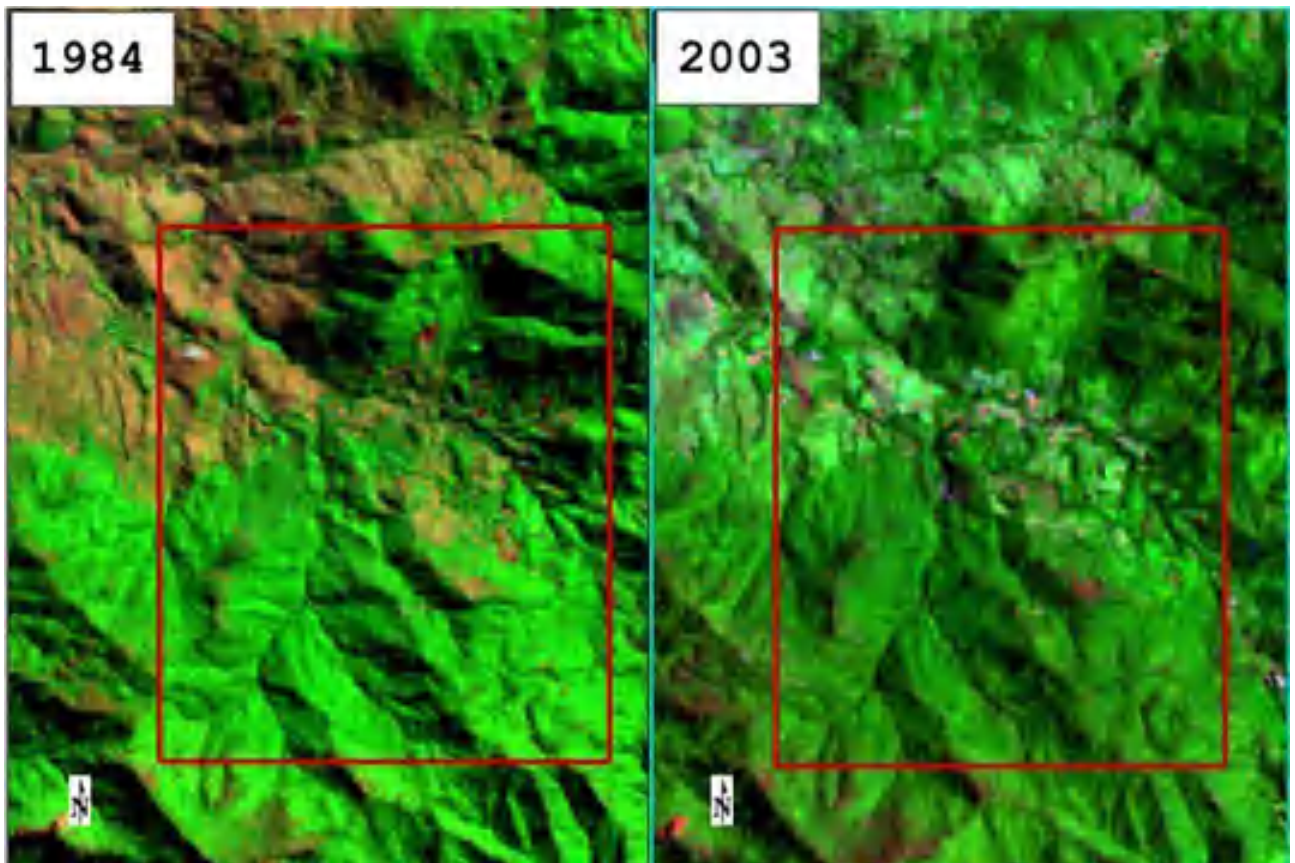


Рисунок 1.1 – Кольоровий композит у системі RGB з каналів 7,4,2 для знімків Landsat 5 (1984.08.09) та Landsat 7 (2003.02.27) для території заповідника Alto-Montana, Бразилія

1.3. Використання вегетаційного індексу NDVI для визначення типу та ступеня порушеності рослинного покриву

Веgetаційні індекси широко використовуються як виявлення екологічних характеристик земної поверхні, так дешифрування великих об'єктів земної поверхні. Серед інших вегетаційних індексів використання індексу NDVI – має найбільш широкий характер.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний індекс рослинності – простий кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси (зазвичай званий вегетаційним індексом). Один із найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що використовують кількісні оцінки рослинного покриву.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}, \quad (1.1)$$

де NIR – відсоток відбитої радіації (показ каналу знімка) у ближньому інфрачервоному діапазоні (Near Infra-Red): 0,7-1,0 мкм.

RED – відсоток відбитої радіації (показ каналу знімка) у червоному діапазоні (Red): 0,6-0,7 мкм.

Розрахувати NDVI можна за будь-яким знімком, що має канали в червоному та ближньому інфрачервоному діапазоні.

Згідно з формулою 1.1, щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла у видимому і інфрачервоному діапазоні, діленою на суму їх інтенсивностей. Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відображення судинних рослин. У видимій області спектру (0,4-0,7 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 листа. Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відображення у видимій області спектру і більшому в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відділяти і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів. Використання ж не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відображень збільшує точність вимірювання, дозволяє зменшити вплив таких явищ як відмінності в освітленості знімка, хмарності, серпанку, поглинання радіації атмосферою і ін.

Існує безліч вегетаційних індексів, вони значною мірою схожі між собою. Але NDVI - це найпопулярніший і поширеніший, до того ж і у нього є одна важлива перевага: висока роздільна здатність знімків, якщо використовувати дані супутника Sentinel - 2. У такому випадку для розрахунку індексу NDVI

використовуються канали з роздільною здатністю 10 метрів - тобто 1 піксель це 10 на 10 метрів. Індокси, які використовують додаткові світлові канали (в основному крайні червоні), мають роздільну здатність 20 метрів — тобто 1 піксель це 20 на 20 метрів. Ми використовуємо лише космічні знімки супутника Sentinel-2.

З недоліків NDVI - при досягненні певного порогу розвитку рослин індекс втрачає чутливість. Іншими словами, якщо рослина розвивається дуже активно, то по NDVI не можна відрізнити аномально зелену рослину від «звичайного» зеленого. Ну і як з усіма іншими індексами, їхня точність залежить від погоди: якщо над якимось полем довгий час висять хмари, супутниковий знімок буде неточним.

Використання індексу NDVI засноване на властивості спектральної кривої судинних рослин: у червоній області спектру (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин (мінімум відбитої радіації на спектральній кривій), а в ближній інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листа (максимум відбитої радіації на спектральній кривій). Інакше кажучи, висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відображення у червоній області спектру та більшого в інфрачервоній (рис.1.2) [8].

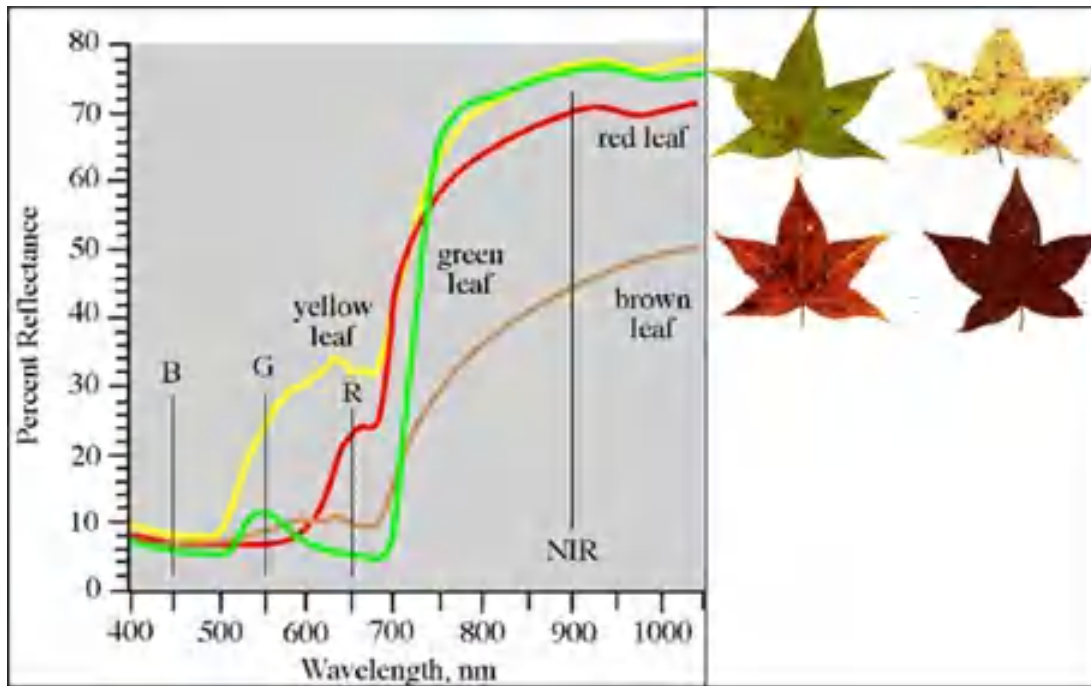


Рисунок 1.2 – Спектральні криві за індексом NDVI

За рисунком 1.2 видно, що спектральна крива зеленого листа (green leaf) -з найвищою фотосинтетичною активністю, червоного та жовтого листа (red leaf, yellow leaf) – зі зниженою фотосинтетичною активністю і коричневого листа, що всихає (brown leaf). Видно, що чим нижче фотосинтетична активність, тим менша різниця між відсотком відбитої радіації в NIR та Red діапазоні, тобто – тим вище значення індексу NDVI.

Ставлення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати та аналізувати рослинні від інших природних об'єктів. Використання не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбитків збільшує точність вимірювання, дозволяє зменшити вплив таких явищ як відмінності у освітленості знімку, хмарності, поглинання радіації атмосферою тощо[9].

Чим сильніший процес фотосинтезу, що пов'язано з підвищенням здоров'я та щільності рослинного покриву (тобто наближення його стану до стану в непорушеній екосистемі), тим більший відсоток відбитої радіації він має в інфрачервоній області, тобто – тим більше значення має й індекс NDVI (рис.1.2).

Це дає можливість визначати якість та тип рослинного покриву за аналізом індексу NDVI.

Побудова індексу NDVI по супутниковому знімку території, що вивчається, дозволяє оцінити тип і стан (ступінь порушеності) рослинного покриву, у тому числі – лісового покриву за дату проведення зйомки. Зіставлення карт індексу NDVI за різні роки – дозволяє оцінити динаміку процесу зміни стану рослинного покриву в аналізований період на краще чи гірше.

На рис.1.1 наведено простий приклад такого аналізу. Показано карти індексу NDVI, зроблені для однієї території (заповідник Alto-Montana, Бразилія), на якій вже близько 60 років проходить процес природного відновлення тропічного лісу) за двома знімками: Landsat5 1984 (1984.08.09) і Landsat7 2003 (2003.02.27).

Цілями побудови цих карт було:

- оцінити ступінь порушеності рослинного покриву;
- оцінити динаміку зміни рослинного покриву, що відбувся за 19 років (між 1984 і 2003 роками) [9].

Тепер можна провести аналіз стану рослинного покриву за два зазначені роки та візуально оцінити процес зміни цього стану за 19 років.

Так, якщо на карті 1984 лише невеликі ділянки мали значення NDVI 0,67-0,73 (зелений колір), то на карті 2003 площа таких ділянок значно збільшилася. Північно-західна ділянка території у 1984 р. мала значення індексу 0,2-0,4 (помаранчевий колір), а в 2003 р. від 0.5 до 0.73, що говорить про підвищену швидкість відновлення саме на цій ділянці [10].

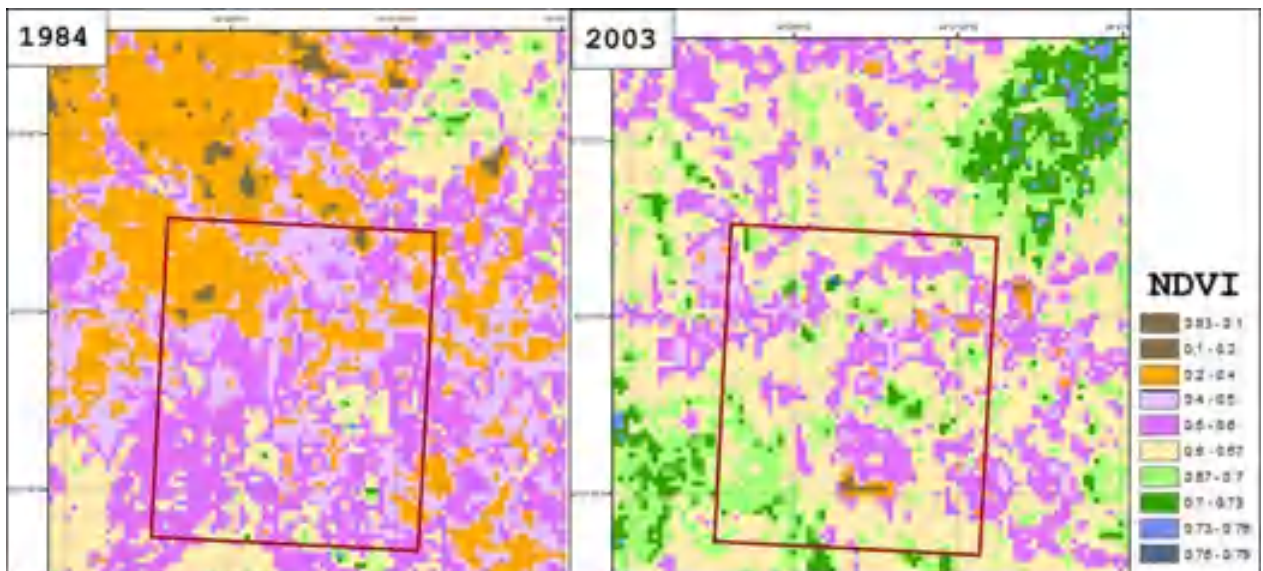


Рисунок 1.3 – Індекс NDVI 1984 та 2003 року

На рис.1.3 представлено різницю індексу NDVI 2003 року та індексу NDVI 1984 року, що дозволяє перевести оцінку зміни стану рослинного покриву за 19 років у числовий формат: чим більше значення параметра на цій карті, тим, відповідно, на краще змінилося стан рослинного покриву. Базуючись на цій карті – ми можемо повторити та уточнити зроблені нами висновки.

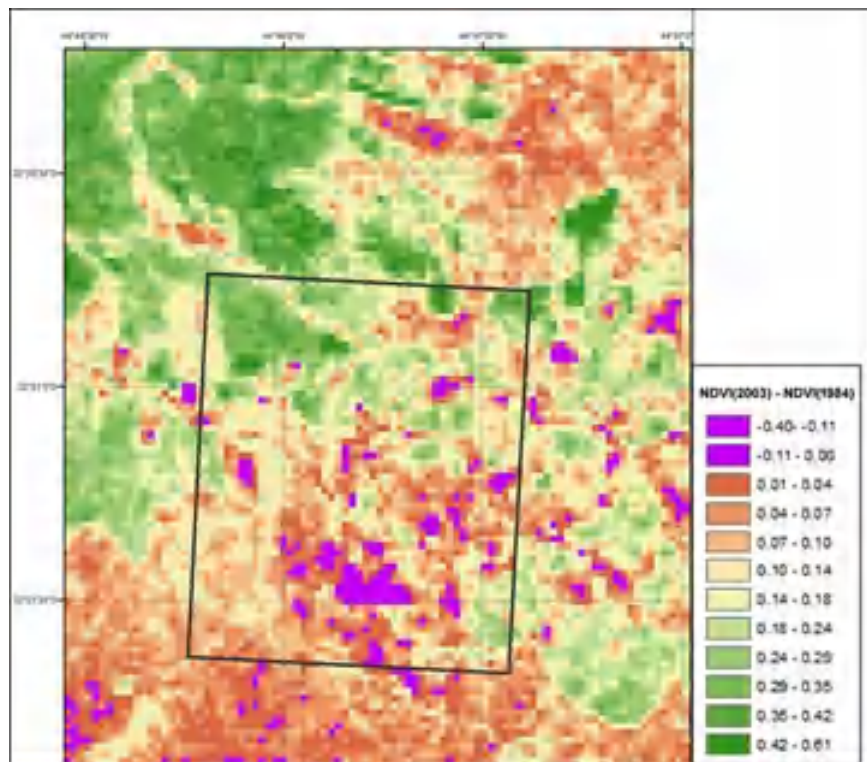


Рисунок 1.4 – Використання кольорових композитів

Метод кольорових композитів дозволяє виявляти різні характеристики наземного покриття, за рахунок того, що різні комбінації каналів забарвлюють об'єкти різного типу в різні кольори.

Для оцінки типу та стану порушеності рослинного покриття метод кольорових композитів може працювати у поєднанні з методом індексу NDVI з метою ширшого аналізу території, а також для порівняння результатів, отриманих різними способами. У прикладі на рис. 1.1. для тих же знімків Landsat 5 (1984) і Landsat 7 (2003) території заповідника Alto-Montana були побудовані кольорові композити в системі RGB 7,4,2 (що означає, що Red=7 канал, Green = 4 канал, Blue = 2 канал). З опису кольорового композиту цієї комбінації каналів випливає, що на отриманих знімках: “здорова рослинність виглядає яскраво зеленою, трав'янисті співтовариства – світло-зеленими та зеленими, яскраво рожеві ділянки детектують відкритий ґрунт, коричневі та оранжеві тони характерні для розрідженої рослинності [8].

На знімку 1984 р. північно-західна та центральна ділянка території забарвлена в коричневі тони, що детектується в даному композиті, як розріджена рослинність. На знімку 2003 р коричневі кольори практично зникають, їхнє місце займають світло-зелені та насичені зелені кольори. Світло-зелені кольори займають переважно території, які на знімку 1984 р. забарвлені в коричневий, що явно говорить про те, що в цьому місці спостерігається позитивна динаміка відновлення рослинного покриття.

В цілому ж для цілей виявлення типу рослинності та його стану цей метод не піддається такій точній інтерпретації, як метод розрахунку індексу NDVI, проте він може виявляти суттєву додаткову інформацію про територію, що робить його використання корисним [4].

РОЗДІЛ 2 ПРИЧИНИ ГЛОБАЛЬНОЇ ВТРАТИ ЛІСІВ

Ліс будь-якого виду (змішаний, сосновий, тропічний) являє собою особливу екологічну систему. Екологія лісу вивчає лісові зони у вигляді біологічних спільнот та процесів взаємодії живих організмів між собою і з навколишнім середовищем, що в них відбуваються. Природоохоронна наука досліджує спільну діяльність деяких елементів рослинного світу.

Знеліснення — процес перетворення порослих лісом земель на угіддя без дерев, такі як пасовища, пустирі, сільськогосподарські угіддя, міста тощо [5].

Причини знеліснення:

- вирубка лісів без достатньої висадки нових дерев;
- пожежі;
- урагани;
- повені;
- кислотні дощі;
- зміна гідрологічного режиму;
- зниження стійкості до фітозахворювань;
- радіоактивне ураження («Рудий ліс»);
- інше.

Наслідки знеліснення:

- зменшення біорізноманіття;
- посилення парникового ефекту;
- зменшення запасів деревини;
- зсуви ґрунтів.

2.1. Знеліснення у світі

Раніше площа лісопокриття у світі становила 80 млн км², нині вона скоротилася до 30 млн км², тобто знищено вже дві третини. За останні 200 років площа лісів зменшилася щонайменше удвічі. Лише за 15 років (1990—2005 рр.) планета втратила понад 125 млн га лісу, тобто близько 8 млн га втрачалось щорічно. На сьогодні на Землі знищується 14 млн га. лісу щороку. З них 130000 км² (0,8 - 2 %) тропічних лісів, які є «легенями» планети. Світова заготівля деревини сягає 5 млрд м³.

Щорічний обсяг заготівель деревини у світі перевищує річний приріст на 20-24 %. З 80 % площі рубання лісу отримують низькоякісну деревину і тільки з 20 % площі — ділову деревину високої якості [11].

Найбільша площа лісів збереглася в Євразії. Це близько 40 % усіх світових лісів і майже 42 % загального запасу деревини, у тому числі 2/3 обсягу деревини найкоштовніших порід. Найменше покриття лісами має Австралія.

До значного збезлісіння територій призвели «Зелена революція», використання стародавньої системи підсічного землеробства населенням Африки, Індонезії та Латинської Америки. Сьогодні генофонд лісів значно підірваний, збезлісіння викликає значну ерозію ландшафтів.

У більшості країн що розвиваються, вирубка проводиться через використання деревини як палива, також ліси знищуються для одержання орних земель. Скорочуються і деградують від забруднення атмосфери і ґрунтів ліси у високорозвинених країнах. Відбувається масове всихання верхівок дерев, унаслідок пошкодження кислотними дощами [11,12].

Вченими встановлено, що після вирубування лісу інфільтраційні властивості ґрунту знижуються в 3,5 рази, а стрімкість водної ерозії збільшується в 15 разів. Таке становище не могло залишитися непоміченим. Найбільш розвинуті й водночас малозабезпечені лісом країни, вже провадять у життя програми зі збереження і розширення лісових угідь. Так, у Японії й Австралії, а також у деяких західноєвропейських країнах, площі під лісами залишаються стабільними [7].

2.2. Знеліснення в Україні

Активне збезлісіння в Україні розпочалось у 30-х роках XVIII століття, в зв'язку з потребами у ресурсах військової сфери, будівництва та виробництві. На Заході України вирубували ліс Волинської та Ізяславської губерній. Деревину сплавливали Бугом, а матеріал йшов на залізничні потреби. Протягом XIX та початку XX століть площа лісів України зменшилась на 30,5 %. Особливо надмірно відбувалася експлуатація лісових екосистем Карпат у повоєнні роки. Так, унаслідок численних суцільних рубань було знищено три чверті цінних лісових насаджень на гірських схилах Карпат. За проміжок 1946-1970 років в Українських Карпатах вирубано понад 120 млн м³ високоякісної ділової деревини, а рубання головного користування перевищували розрахункові лісосіки у 2,5-4,0 рази. Починаючи з 1960 р., площа лісів в Україні поступово збільшується за рахунок створення лісових насаджень в малолісистих областях півдня країни.

Зникнення лісів в Україні має свої особливості. Половина території України розташована у переважно безлісній степовій зоні. Наразі ліси займають близько 16% території країни, передусім на Поліссі та в Карпатах [13], — решта колись вкритих лісами земель в межах лісової зони заміщені здебільшого сільськогосподарськими угіддями. Проте Україна досі відрізняється багатством типів лісу: від хвойних лісів у високогір'ях Карпат та на Поліссі, через різноманіття мішаних та листяних лісів аж до чагарникових лісів середземноморського типу, що зростають на Південному березі Криму. Основна загроза для українських лісів всіх типів — вирубка для задоволення потреб у деревині.

Проте варто зазначити, що в Україні вирубка, в тому числі суцільна, призводить саме до деградації лісів, а не до буквального знеліснення територій [14]. Річ у тому, що після заготівлі деревини у нас відбувається лісовідновлення — відновлення лісу або штучним шляхом (посадка лісових культур), або природним шляхом (коли на ділянці відростає ліс без втручання людини), тобто

забезпечується незмінність лісопокритої площі. Винятки становлять окремі точкові випадки, що призводять до безповоротної втрати лісу: вирубка лісу під нові дороги, ЛЕП, забудову — тобто коли йде мова не про заготівлю лісу для задоволення потреб у деревині, а про звільнення території під інфраструктурні об'єкти.

Якщо ж повернутися до заготівлі лісу під деревину, то безумовно негативними факторами, що викликають занепокоєння в Україні, є суцільна вирубка старих лісів природного походження, зокрема пралісів та квазіпралісів. Попри те, що на даних ділянках потім триває відновлення лісу, молоді насадження (особливо, якщо мова йде про лісові культури) можуть бути не здатними компенсувати втрати від вирубки старолісся, особливо такі, як втрата оселищ грибів, тварин і рослин, що потребують старих лісових ділянок. Окремо стоїть питання якості лісовідновлення, на що впливають і масштаби суцільних рубок, і наявність ресурсів (в тому числі фінансових) на якісне його забезпечення.

Лісове господарство: частина матеріального виробництва, яке проводить облік, розведення, відновлення, охорону і захист лісів, а також регулює їх використання з метою задоволення потреб господарства у лісових ресурсах.

На територіях, де раніше був ліс, або для поліпшення видового складу вже існуючих лісів проводять лісовідновлення.

Лісовідновлення – вирощування лісів на територіях, що зазнали їх зведення внаслідок вирубок, пожеж і т. д.

Існує два способи лісовідновлювальних робіт: штучний (посадка або посів лісу) та сприяння природному поновленню (створення умов для швидкого заселення цінними деревними породами).

Залежно від особливостей рельєфу, клімату, ґрунтів застосовують різні види посадки дерев: рядовий чи розсипний. При цьому використовують або вирощені у розсадниках з насіння саджанці, або розмножують дерева вегетативно: живцями або відводками.

До земель лісогосподарського призначення належать не лише ті, що безпосередньо зайняті лісом. Також це й нелісові землі під сільськогосподарськими угіддями, болотами, водоймами, спорудами, комунікаціями, малопродуктивними землями, які використовуються для потреб лісового господарства.



Рисунок 2. 1. – Лісове господарство

Лісова пожежа: випалювання рослинності без видимих перетворень або сільськогосподарської діяльності після цього. Деякі з цих пожеж виникають природним шляхом, але інші підпалюються людьми. У вологих тропічних лісах пожежі не є природними для екосистеми й майже завжди розпалюються людьми, як правило, щоб розчистити землю для сільського господарства.

Лісові пожежі – це неконтрольоване горіння рослинності, що стихійно поширюється на території лісу. Масові пожежі можуть виникати в спеку та при посухах від ударів блискавки, необережного поводження з вогнем, очищення поверхні землі випалюванням сухої трави та з інших причин. Вони можуть викликати ураження людей та тварин, спалах будівель в населених пунктах,

дерев'яних мостів, дерев'яних стовпів ліній електромереж та зв'язку, складів нафтопродуктів та інших матеріалів, що горять.



Рисунок 2.2. – Лісова пожежа

Урбанізація: постійне перетворення лісів на людські поселення.

Урбанізація – зростання значення міст у розвитку суспільства, яке супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення, поширенням міського способу життя в певному регіоні, країні, світі.

Великі міста є двигуном світової економіки, культурними, історичними, духовними, політичними та інноваційними центрами, де ставляться та вирішуються часто у режимі експерименту найгостріші глобальні проблеми сьогодення. Разом з тим великі міста відчувають значний тиск таких факторів, як міграція, соціальна нерівність, забруднення навколишнього середовища та зміна клімату.

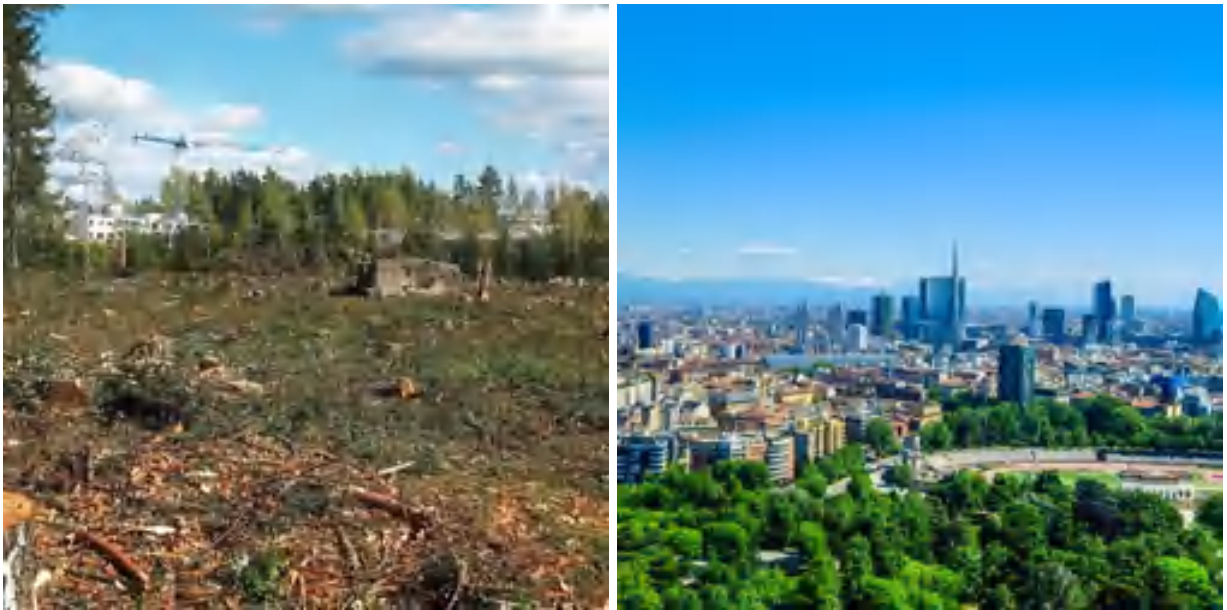


Рисунок 2.3. – Урбанізація

Перехідне сільське господарство: сільськогосподарська практика, при якій ліси вирубуються, використовуються для сільськогосподарського виробництва протягом кількох років, а потім тимчасово залишаються, щоб дозволити деревам відрости. Перехідне сільське господарство передбачає багато різних типів дрібних фермерських практик.



Рисунок 2.4. – Перехідне сільське господарство

Знищення лісів, викликане виробництвом товарів: постійне перетворення лісів на товарне виробництво, включаючи сільське господарство, видобуток корисних копалин або видобуток нафти та газу.

Різні чинники знищення лісів часто призводять до моделей змін, які відрізняються розміром (наприклад, дрібномасштабна вирубка проти великомасштабного сільського господарства), формою (наприклад, лісозаготівельна дорога проти сільськогосподарської ділянки) та характеристиками залишкової поверхні (наприклад, залишки підліску для лісозаготівлі проти видалений верхній шар ґрунту для розробки відкритих розробок) [14]. Візуальний аналіз нанесених на карту моделей вирубки лісів часто дає змогу визначити певні чинники вирубки лісів.

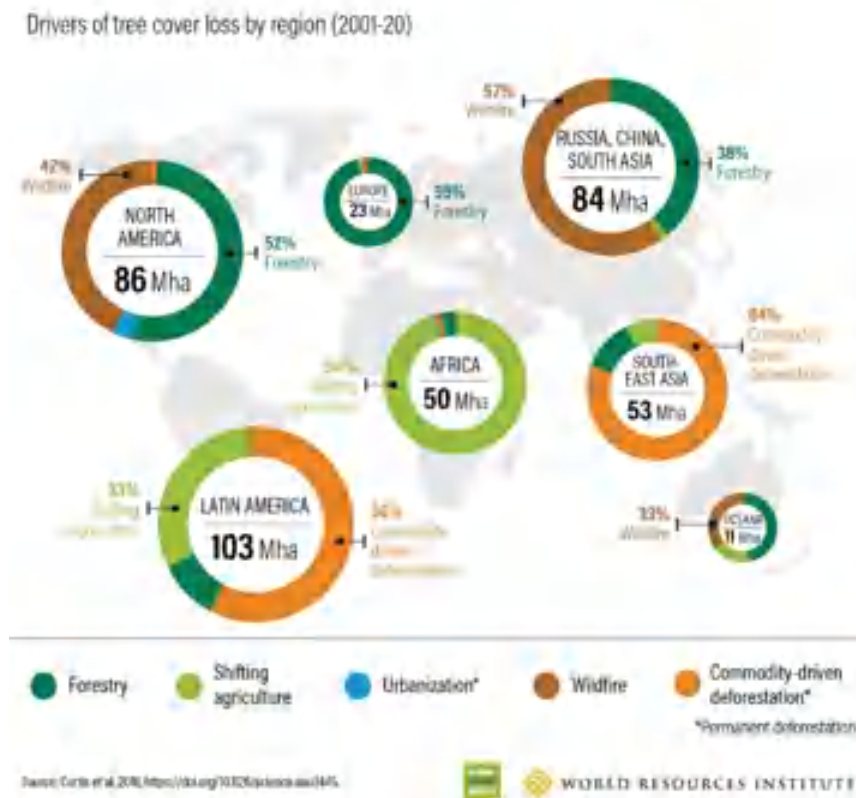


Рисунок 2.5. – Втрати лісового покриву за регіонами

На рисунку 2.5 видно втрати лісового покриву за регіонами. Так, в Латинській Америці найбільше значення втрат.

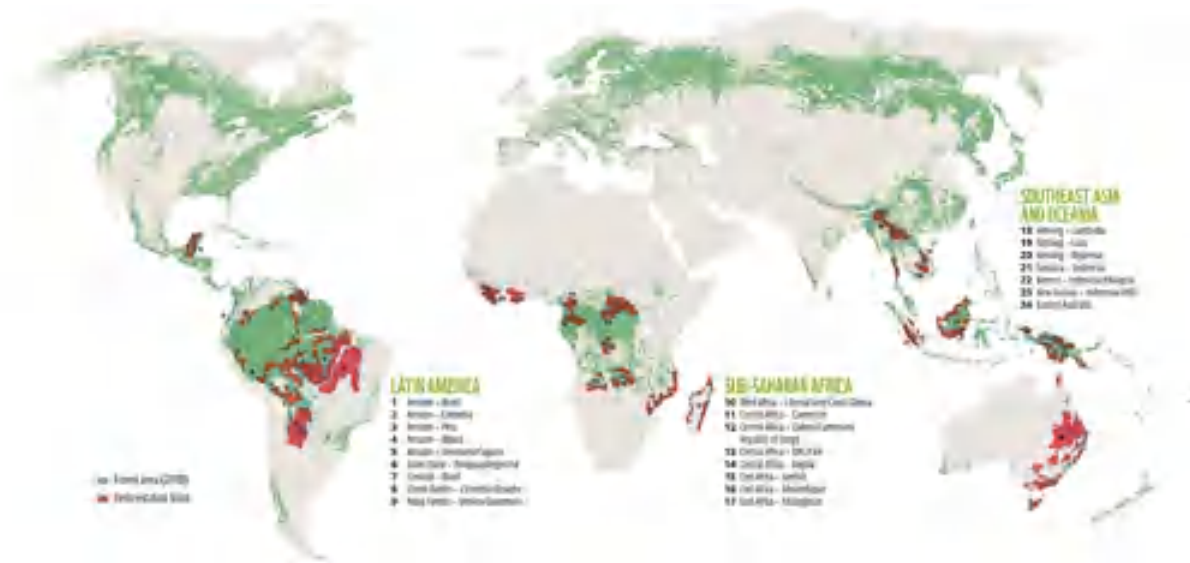


Рисунок 2.6. – Гарячі точки знеліснення та деградації лісів

Способами боротьби зі збезлісненням територій є заборона вирубок лісу, лісовідтворення, допомога бідним країнам у родючості їх земель, розвитку власної тукової промисловості, продовольча допомога.

Обсяг незаконних рубок в Україні різко (приблизно в 6 разів порівняно з попередніми роками) збільшився 2019 року, і досяг 118 тис. кубічних метрів.

Вирубання лісів та недосконале управління лісгосподарською діяльністю призводять до катастрофічного зменшення площі лісів. Ще на початку ХХ сторіччя карпатські ліси займали до 95 % поверхні гір, зараз цифра значно менша. Після суцільних або непродуманих рубок схили втрачають здатність затримувати вологу та створюють небезпеку сходження снігових лавин або селів. Оподи безперешкодно стікають до річок, викликаючи їхнє переповнення і розливання [14].

Вирубка дерев значно підвищує ризики повеней та паводків, відповідно, погіршується якість ґрунту та родючість. Крім цього, вирубування карпатських лісів зумовлює зменшення біорізноманіття, знищення ареалів рідкісних видів флори і фауни, загибель цінних природних екосистем та негативний вплив на клімат усієї України.

Наразі триває реалізація кампанії “Збереження та охорона лісів України”, в ході якої планується здійснити надання охоронного статусу цінним природоохоронним лісам площею не менше 500 га.

Основними завданнями держави вважаються оптимізація і регулювання лісових вирубок. Державній лісовій охороні всіляко допомагає Грінпіс України, який контролює будь-які лісові порушення.

Щоб контролювати обсяги вирубок, ліси були розділені на три частини:

- Захисні – мають велике значення для створення екологічної рівноваги. Такі зони, зазвичай, входять в заповідники, національні парки та заказники.
- Обмеженого використання – лісові смуги призначені для часткової вирубки. Саме на цих ділянках відбуваються масові порушення.
- Експлуатаційні – призначені для повної вирубки з подальшою висадкою нових саджанців.

Щоб зменшити збиток від вирубки, необхідно:

- збільшити площу ділянок для посадки нових дерев,
- створювати і розширювати нові охоронювані лісові зони,
- оберігати ліс від пожеж і браконьєрів,
- застосовувати сучасні та ефективні методи вирубки.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ №1

Доступ до інформації про запаси вуглецю з біомаси є цінним інструментом для урядів, дослідників, менеджерів лісів і громадян, оскільки він дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо лісової політики. Хоча існує більше видів біомаси, дистанційно можна виміряти лише надземну біомасу (AGB).

3.1. Біомаса

Біомаса — живий та неживий наземний і підземний органічний матеріал, наприклад, дерева, чагарники, трави, лісова підстилка, коріння, тощо. Біомаса зосереджена як над землею, так і під землею [15].

Біологічне різноманіття є однією з основних характеристик, що визначають стан надорганізмових біосистем та обумовлюють функціонування екосистем і біосфери в цілому. Загроза суттєвого скорочення біорізноманіття в результаті деяких видів людської діяльності змусила визнати його не лише як загальне поняття, але і як глобальний об'єкт охорони. Це призвело до формування нового підходу у природоохоронній діяльності, який вимагає, в свою чергу, розробки планів і стратегій щодо збереження біологічного різноманіття. В зв'язку з цим методи вивчення біорізноманіття, зокрема його кількісного оцінювання, набули особливого значення.

Традиційно дослідження біологічного різноманіття територій проводилось методом *in-situ*, але в останні роки перспективи дослідження біорізноманіття пов'язують з використанням аерокосмічної інформації. Методи дистанційного зондування для оцінювання біорізноманіття визнають кращими у випадках, коли необхідно дослідити великі за площею або важкодоступні території, забезпечити оперативність і постійне оновлення інформації, впорядковувати й обробити величезні масиви накопиченої інформації.

Хоча різні визначення біомаси використовуються для різних цілей, зазвичай це стосується щільності живої або мертвої рослинної біомаси на одиницю площі, і це включає надземну та підземну біомасу (AGB та BGB). Біомаса традиційно вимірюється в одиницях сухої ваги або вуглецю. З точки зору космічних вимірювань біомаси зазвичай вимірюється лише AGB. Рівняння можна використовувати для оцінки BGB з AGB, якщо потрібно. Інші басейни біомаси, такі як сміття, зазвичай вимірюються за допомогою польових даних.

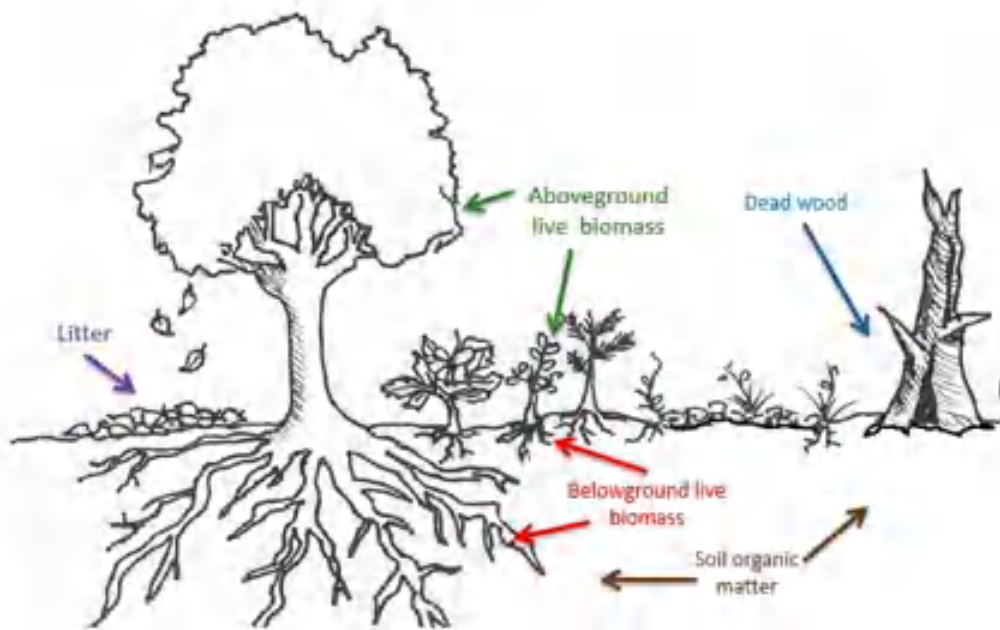


Рисунок 3.1. – Види біомаси

Надземна біомаса (ABG) включає все, що знаходиться над земною поверхнею, включаючи запаси вуглецю в лісах, сільськогосподарських полях, іншу деревну речовину та рослинну підстилку. Вимірюється ABG за допомогою методів дистанційного зондування [15].

Підземна біомаса (BGB) — це біомаса, що зберігається у всіх живих коренях. На відміну від біомаси ABG, її неможливо виміряти дистанційно, однак існують рівняння для перетворення ABG для оцінки BGB.

Біомаса та її динаміка є ключовими компонентами глобального кругообігу вуглецю. Таким чином, ця інформація важлива для розуміння прогресу в

досягненні міжнародних цілей і національних зобов'язань, пов'язаних із збереженням лісів і зміною клімату. Інформація про біомасу також актуальна для інших ініціатив, таких як Цілі сталого розвитку, Форум ООН з питань лісів, Конвенція ООН про біологічне різноманіття та Конвенція ООН про боротьбу з опустелюванням [16]. Інформація про просторову та часову динаміку змін біомаси має важливе значення для планування втручання із пом'якшення та адаптації, а також для звітності до цих політик. Типовими користувачами в цьому контексті є національні уряди, відповідальні за звітність, політики та виконавці зусиль із захисту лісів. Інформація про біомасу також актуальна для дослідників, які намагаються охарактеризувати кліматичну систему Землі. У цьому контексті біомаса вважається важливою кліматичною змінною.

Ці потоки даних призвели до створення ряду продуктів, що охоплюють різні визначення біомаси, географічних територій і часових охоплень [17]. Зараз CCI Biomass Project створює глобальні карти біомаси, які доступні в різних точках часу з роздільною здатністю 100 м.

Інструмент Plot to map (p2m) представлено як метод обліку невизначеностей. Зокрема, p2m можна використовувати для попередньої обробки та вибору даних графіка, оцінки невизначеності на рівні графіка та гармонізації графіків, щоб усунути просторові та часові невідповідності між ділянками та картами.

Із збільшенням доступності карт біомаси важливо враховувати джерела їхніх помилок і як найкраще їх мінімізувати. Визначено чотири джерела помилок, які призводять до неточностей в оцінці AGB:

1) Помилка через вимірювання дерева – це відноситься до вимірювання діаметра дерева на висоті крони, а також співвідношення до висоти (якщо висоту неможливо виміряти) і питомої ваги деревини породи дерева. Потім ці змінні використовуються для ідентифікації AGB дерева.

2) Помилка через вибір алометричної моделі, що пов'язує AGB з іншими розмірами дерева – кожна порода дерева повинна мати окрему алометричну модель, яка пов'язує діаметр дерева та інші розміри дерева, а також породу

дерева з AGB. Джерела помилок походять від алометричних моделей, які створюються з обмежених зразків, застосовуються до дерев за межами діапазону, для якого було розроблено рівняння, і не використовують всю доступну інформацію.

3) Невизначеність вибірки, пов'язана з розміром досліджуваної ділянки – Помилки, що надходять від досліджуваних ділянок, пов'язані з розміром досліджуваної ділянки та з тим, чи враховують вони мінливість видів та їхніх розмірів, які зустрічаються в лісовому ландшафті. На особливо невеликих ділянках можуть бути пропущені великі дерева, тому слід звернути особливу увагу на те, як проводився перепис.

4) Репрезентативність мережі невеликих ділянок у величезному лісовому ландшафті – помилки, які виникають у цьому джерелі, пов'язані з репрезентативністю вибраних ділянок. Ділянки не можуть вибиратися випадковим чином або може існувати тенденція вибору, тоді як ділянки слід вибирати випадково [18].

Виявлено, що вибір алометричної моделі є найбільшим джерелом помилок. Відтоді було створено інструмент перевірки Plot-to-map для роботи з такими джерелами помилок.

Інструмент plot-to-map буде частиною багатомісійної платформи алгоритмів і аналізу (MAAP), створеної для вирішення проблем, пов'язаних із постійно зростаючим обсягом даних. Платформа має на меті підвищити взаємодію між організаціями та зробити дані про біомасу більш доступними для виявлення та використання.

3.2. Покращення моніторингу біомаси за допомогою LiDAR

Надземну біомасу (AGB) дерев зазвичай оцінюють за допомогою алометричних моделей, які базуються на емпіричних даних (польові вимірювання). Ці алометричні моделі сильно залежать від вхідних даних, що

може призвести до систематичних завищених або занижених оцінок реального AGB дерева, якщо модель застосовано до інших географічних регіонів, видів або розмірів дерев, де мало або взагалі не використовувалося даних, розвивати його.[19] Ці систематичні завищення або заниження мають велике значення для місії дистанційного зондування, які покладаються на алометричні моделі для оцінки AGB у великому масштабі.

Більшість використовуваних алометричних моделей AGB базуються на простих для вимірювання атрибутах дерев, таких як діаметр, і з існуючих баз даних, таких як щільність деревини. Новіші моделі мали інші атрибути дерева, такі як висота, діаметр крони; і навіть геофізичні властивості, такі як мінливість клімату. Незважаючи на це, через складність точного вимірювання висоти дерева та діаметра крони найбільш широко використовуються моделі, засновані лише на діаметрі дерева та породі.

LiDAR (Light Detection And Ranging) — це метод дистанційного зондування, при якому лазерні імпульси випромінюються з приладів LiDAR і створюють цифровий 3D-сценарій навколишнього середовища. Під час сканування в лісах він забезпечує найвищий рівень 3D-деталізації лісу та структури дерев. Кілька досліджень виділили атрибути дерева; і в поєднанні зі спеціалізованими алгоритмами ми можемо зробити висновок про AGB з високою точністю [20,21]. Зараз робляться кроки до напівавтоматизованого моделювання дерев, що дозволяє нам оцінювати AGB у великому масштабі ділянки. Це потенційно актуально для місії дистанційного зондування, у яких ці великі ділянки, отримані від LiDAR, можна використовувати як сайти для калібрування.

Visual Studio Code – це редактор вихідного коду. Він має багатомовний інтерфейс користувача і підтримує ряд мов програмування, підсвічування синтаксису, IntelliSense, рефакторинг, налагодження, навігацію за кодом, підтримку Git та інші можливості. Багато можливостей Visual Studio Code доступні через графічний інтерфейс.

VS Code також дозволяє замінювати кодову сторінку під час збереження документа, символи перекладу рядка та мову програмування поточного документа [19].

Для того, щоб побудувати карту біомаси було використано вільне середовище розробки програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом для мови програмування R, який призначений для статистичної обробки даних та роботи з графікою – RStudio.

```
## ----- set global variables -----

# Packages
if (!require("pacman")) install.packages("pacman")
pacman::load(raster, rgdal, sf, rgeos, plyr, dplyr, doParallel, foreach, purrr, data.table, plotrix, stringr, ranger, BIOMASS, knitr, bootstrap, hydroGOF)
options(warn=1)

# Directories - change accordingly
mainDir <- "C:/Data/PAU/PlotToMap"
scriptsDir <- "C:/Data/PAU/PlotToMap/scripts"
outDir <- "C:/Data/PAU/PlotToMap/results"
dataDir <- "C:/Data/PAU/PlotToMap/data"

# Other variables needed
SRS <- CRS("+init=epsg:4326")
forestFile <- 10 # 100 onwards tree cover are measured forests
mapYear <- 10 # if the map is 2018
mapScl <- 100 #vertical scale of map
plots <- "NA"

knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE)
```

Рисунок 3.2. – Лістинг коду

В кодї завантажено дані, за допомогою кнопки «Data Download». Також вказано місце розташування цих даних і встановлено зміни які необхідні в подальшій роботі.

Далі необхідно перейти до налаштування фону. Карти надземної біомаси (AGB) надають дані та інформацію про вуглець, накопичений наземною рослинністю. Карти AGB створюються за допомогою дистанційного зондування, оскільки супутникові зображення та їхні сигнали лісів та іншої деревної рослинності можуть бути перетворені на біомасу. AGB також вважається основною кліматичною змінною (ECV) через її значення для моделювання клімату та вуглецю. Додавши частину коду (рис.3.3), то ми отримаємо глобальну карту AGB.

```
agb_glob <- raster(paste0(dataDir, "/GlobBiomass_25km.tif"))
plot(agb_glob, main="GlobBiomass 2010 (Pg/ha)")
```

Рисунок 3.3. – Лістинг коду

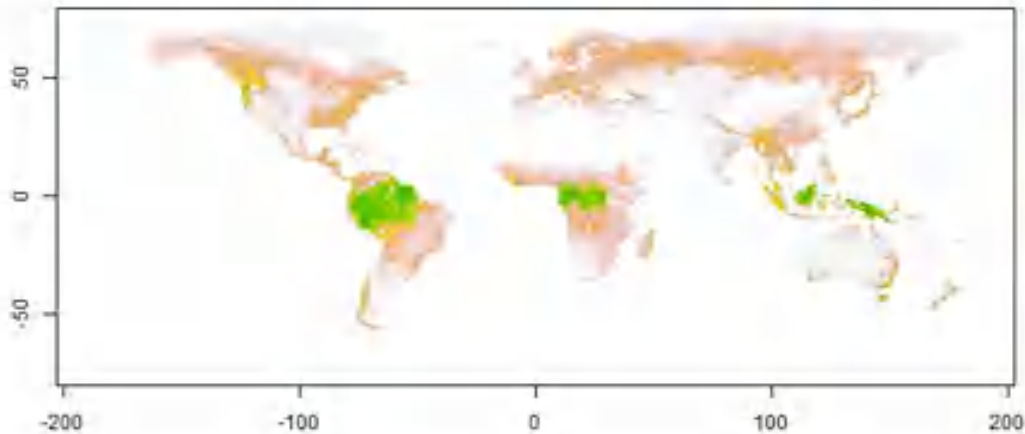


Рисунок 3.4. – Карта AGB

Отже, отримано нову глобальну карту AGB, що була створена за допомогою радара із синтетичною апертурою (SAR) у просторовому масштабі 100 м (тут ми маємо більш грубу карту із зміненою вибіркою для перегляду):

Ці чіткі просторові карти були створені протягом останнього десятиліття здебільшого з метою кількісного визначення кількості вуглецю в наземній рослинності в усьому світі. На даний момент існує принаймні 15 глобальних карт, і їх буде більше через нещодавні інвестиції в супутникові місії, призначені для вимірювання структури лісів і AGB, такі як GEDI, NISAR, BIOMASS.

Але ці карти можуть бути недосконалими, оскільки існує кілька обмежень при використанні космічних зображень для створення карт AGB, тобто насиченість сигналу, що призводить до потенційної зсуву на картах.

Зазвичай необхідна «незалежна» перевірка з використанням даних на місці/на землі, тобто даних площі біомаси. Але, як і карти, дані ділянки не безпомилкові.

Додавши код рис. 3.5, було отримано графік (рис. 3.6).

```
sd_samp <- read.csv(paste0(dataDir, '/sd_plt.csv'))
boxplot(sd_samp$sd, main='Uncertainty (Mg/ha) of small plots when compared with AGB map (1 km)')
```

Рисунок 3.5. – Лістинг коду

На рисунку 3.6 зображено невизначеності ділянки при використанні невеликих ділянок розміром $< 0,3$ га для перевірки глобальної карти розміром пікселя 1 км.

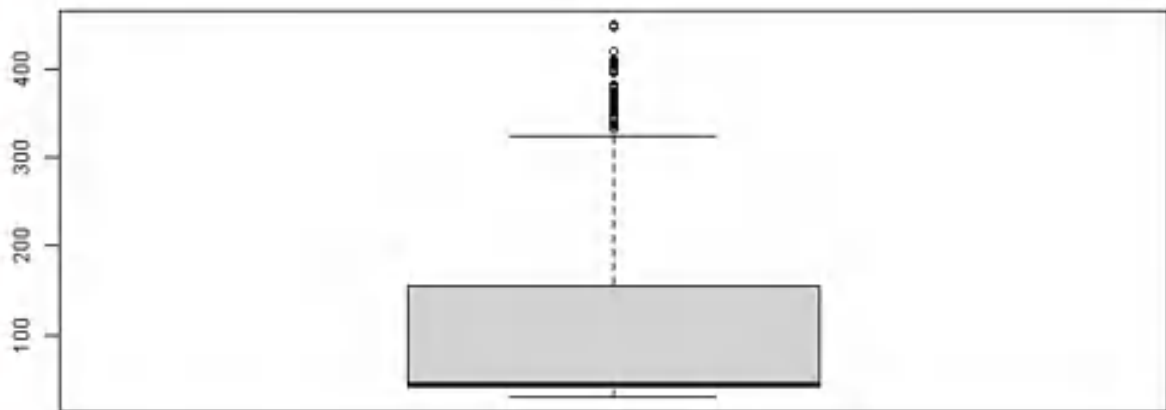


Рисунок 3.6. – Графік невизначеності ділянки

Наступним етапом попередньої обробки є масштабування біомаси ділянки на основі варіації «лісу» між пікселем карти AGB і ділянкою. Для цього використовувався набір даних глобальної зміни лісу (Hansel), щоб ідентифікувати частку лісу в пікселі карти та помножити її на біомасу ділянки (функція «InvDasymetry»). Набір даних GFC також використовується для видалення вже знелісених ділянок відносно епохи карти AGB (функція «Знелісне»).

Потім невизначеність через просторову невідповідність між пікселем і графіками (помилка вибірки) оцінюється за допомогою геостатистичного підходу.

```
source(paste0(scriptsDir, '/Binned.R'))
plots@1 <- get(load(paste0(dataDir, '/GlobBiomass.Rdata')))
```

Рисунок 3.7. – Лістинг коду

Нарешті, зважене порівняння даних ділянки з картою AGB необхідне для врахування невизначеності ділянки. Для оцінки зваженого середнього використовується обернена дисперсія графіка. Це застосовно для перевірки глобальних карт, де порівняння агрегується в більш грубих масштабах, тобто просторовому масштабі 0,1 градуса. Результати порівняння можна візуалізувати за допомогою групових графіків і зведеної в таблицю підсумкової статистики:

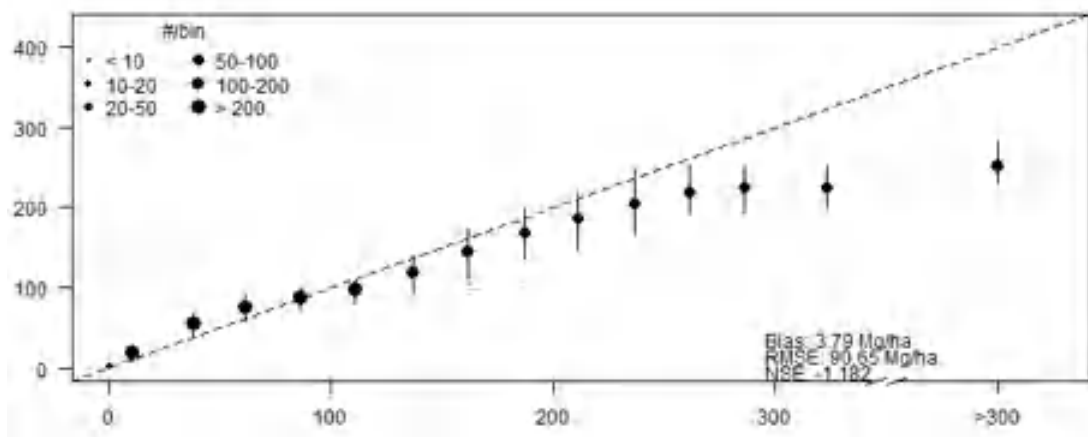


Рисунок 3.8. – Результат

За допомогою такого порівняння на 0,1 градуса помилки розкиду/випадкові помилки можна частково видалити, залишивши зміщення карти домінуючою помилкою. Таке зміщення можна передбачити за допомогою модельного підходу. Після просторового прогнозування через екологічні коваріати зміщення можна відняти до карти AGB і частково видалити. Дивіться документ нижче, який зараз розглядається.

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ №1

Між 2015 і 2020 роками швидкість вирубки лісів оцінювалася в 10 мільйонів гектарів на рік (приблизно розмір Бельгії).

У світі залишилося близько 4 мільярдів гектарів лісового покриву. Збільшення глобального попиту на природні ресурси та частіші екстремальні кліматичні явища призводять до глобальної втрати лісів. Збереження лісового покриву має життєво важливе значення не лише для глобального клімату, але й для екосистемних послуг, які надають ці ліси, від забезпечення до підтримки та регулювання. Послуги забезпечення включають матеріали, від їжі та води до лікарських ресурсів і деревини. Допоміжні послуги – це те, що дозволяє лісам надавати послуги забезпечення, до них входять переробка, первинне виробництво та формування ґрунту, опосередковане забезпечення продовольством, регулювання повеней та очищення води. Нарешті, послуги регулювання це ті, які регулюють клімат шляхом поглинання вуглецю, очищення води та повітря, а також боротьби зі шкідниками та хворобами [22,23].

Для виконання роботи було взято знімки супутника Sentinel-2 (L2A з поправкою на атмосферу).

Дані рівня 2A – це дані високої якості, у яких виключено вплив атмосфери на світло, яке відбивається від поверхні Землі та досягає датчика.

Sentinel-2A, – Проект Європейського космічного агентства Sentinel, оснащений оптико-електронним мультиспектральним сенсором для зйомок з роздільною здатністю від 10 до 60 м у видимій, ближній інфрачервоній (VNIR) і короткохвильовій інфрачервоній (SWIR) зонах спектру 13 спектральних каналів, що гарантує відображення відмінностей у стані рослинності, у тому числі й тимчасові зміни, а також зводить до мінімуму вплив на якість зйомки атмосфери. Орбіта висотою в середньому 785 км, також проведення повторної зйомки кожні 5 днів на екваторі та кожні 2–3 дні середніх широт.

Збільшення ширини смуги огляду поряд з високою повторюваністю зйомок дозволяє відстежувати процеси, що швидко змінюються, такі як зміна характеру

рослинності протягом вегетаційного періоду. Дані Sentinel-2 забезпечують сервіси GMES [24], пов'язані з управлінням земельними ресурсами, сільськогосподарським виробництвом та лісовим господарством, а також моніторингом стихійних лих та гуманітарних операцій. Унікальність місії Sentinel-2 пов'язана з поєднанням великого територіального охоплення, частих повторних зйомок та систематичним отриманням повного покриття всієї Землі зйомкою високої роздільної здатності [25].

Таблиця 4.1. Технічні характеристики знімальної апаратури Sentinel-2A [25]

Режим зйомки	Гіперспектральний
Спектральні діапазони, нм	443—2190
Просторовий дозвіл (у надирі), м	10; 20; 60
Радіометрична роздільна здатність, біт на піксель	12
Ширина смуги зйомки, км	290
Періодичність зйомки, доба	10
Швидкість передачі, Гбіт/с	2
Висота орбіти, км	786

Практична реалізація спрямована на впровадження оптичних супутникових даних (а саме часових рядів Sentinel-2) для моніторингу порушень лісів. Для початку визначимо етапи практичної реалізації №1 (схема 4.1)

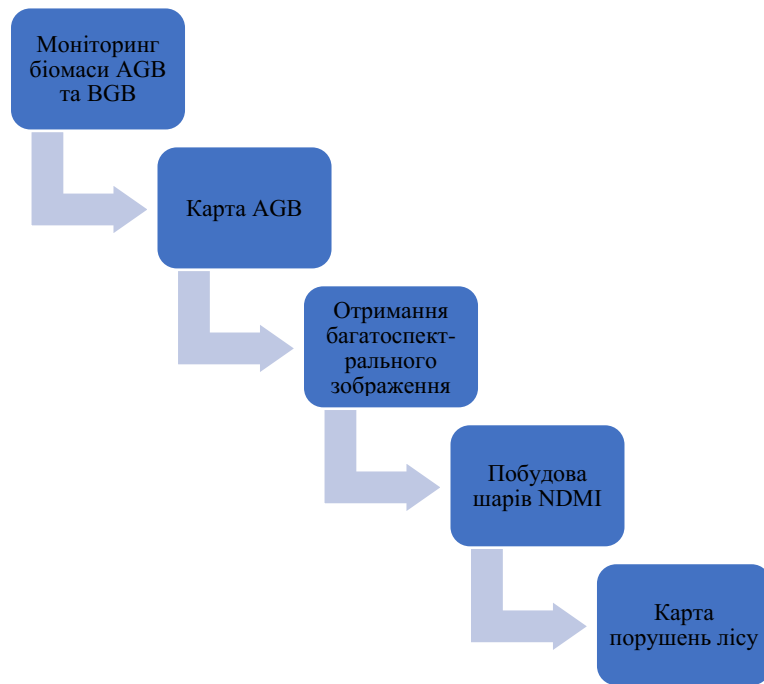


Схема 4.1 – Етапи практичної реалізації №1

Для роботи обрано місцевість у лісі Міомбо в Мозамбіку.

Площа території близько 590 га.

Часовий ряд нормалізованої різниці індексу вологості Sentinel-2 (2016–2020).



Рисунок 4.1. – Територія дослідження

Еталон лісової маски (2018). Створено Намунуєла за допомогою зображень Sentinel 2 і алгоритму випадкового лісу.

Знімки було завантажено через портал EO Browser, що дає змогу переглядати та порівнювати зображення повної роздільної здатності з усіх наданих нами колекцій даних. Для цього необхідно перейти до території, що цікавить, обрати потрібний часовий діапазон і хмарне покриття та переглядати отримані дані в браузері. Можна використовувати різні візуалізації або створити власну.

Особливості:

- Інтерактивний перегляд і візуалізація глобальних архівів різних супутникових місій;
- Аналіз даних дистанційним зондуванням;
- Проміжки часу;
- Експорт растрових даних;
- Статистичний аналіз.

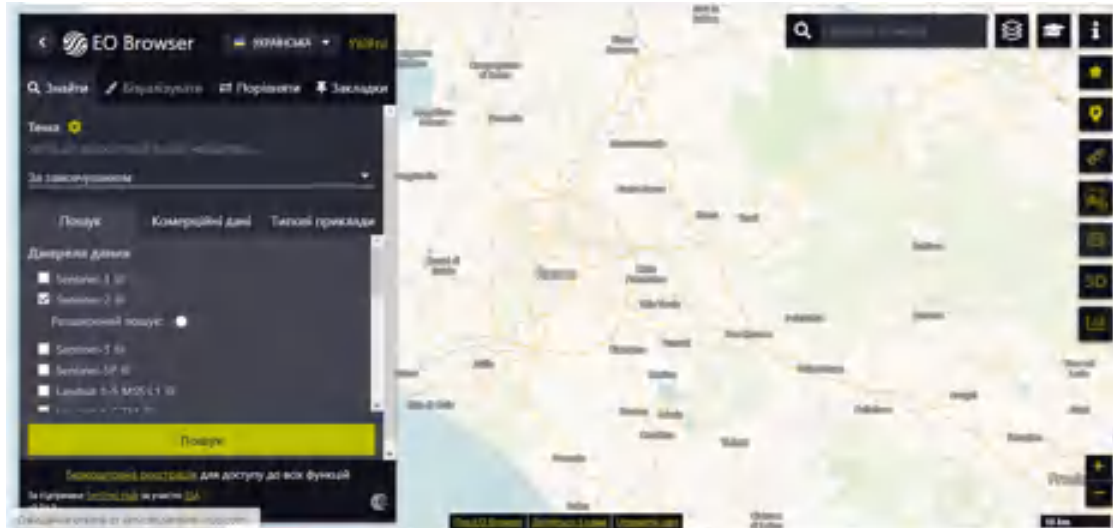


Рисунок 4.2. – EO Browser

Сервіси Sentinel Hub забезпечують ефективний довгостроковий аналіз. EO Browser надає безкоштовне використання, щоб зробити ці функції доступними практично кожному.

Ліси Міомбо простягаються вздовж південно-центрально-африканського плато, а Мозамбік містить два з чотирьох екорегіонів Міомбо, східні ліси Міомбо та південні ліси Міомбо, регіон відносно плоский, але характеризується горами, що піднімаються з рівнин.

Першим етапом є побудова багатоспектрального зображення. Наш фрагмент даних Sentinel-2 охоплює 590 га та розташований у східних лісах Міомбо в Мозамбіку.

```
plotRGB(median_base_image, 3, 2, 1, stretch='lin')
```

Рисунок 4.3. – Лістинг коду

Прописавши код (рис. 4.3) було отримано зображення (рис. 4.4)

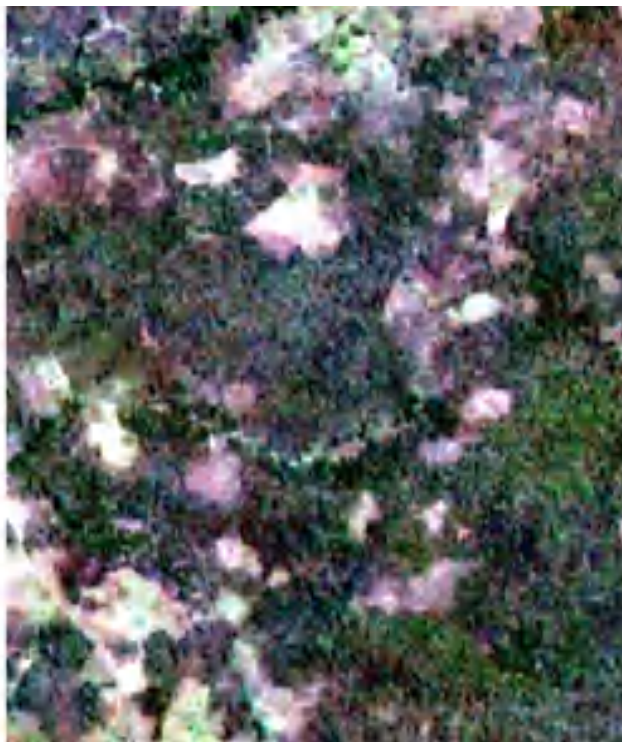


Рисунок 4.4. – Багатоспектральне зображення

Також необхідно побудувати шари NDMI. Попереднє зображення дало єдиний часовий знімок території, однак цікаво побачити динаміку земного покриття протягом усього часу. Для цього побудовано графік NDMI перших 16 дат `ndmi_rasterStack`. Це показує область з 2016.01.02 до 2016.07.10.

Замість того, щоб працювати з односмуговою інформацією, було використано нормалізований різницевий індекс вологості (NDMI). NDMI допомагає визначити, чи зазнає рослинність проблеми з нестачею води. Він розраховується як $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. NIR чутливий до структури рослин, тоді як SWIR чутливий до вмісту води в рослинах. Значення коливаються від -1 до 1 і відповідають голому ґрунту (від -1 до -0,8), до повного покриття пологом без водного стресу (0,8 до 1,0).

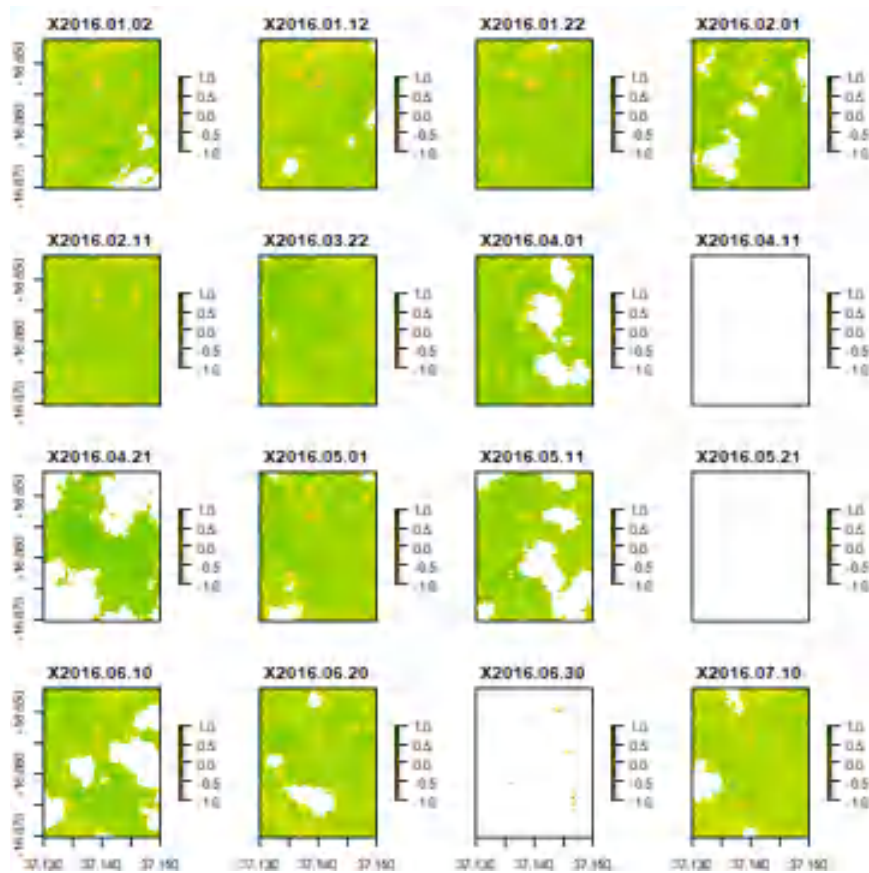


Рисунок 4.5. – Побудова шарів NDMI

Наступним етапом є побудова лісової маски (значення 1 – ліси).

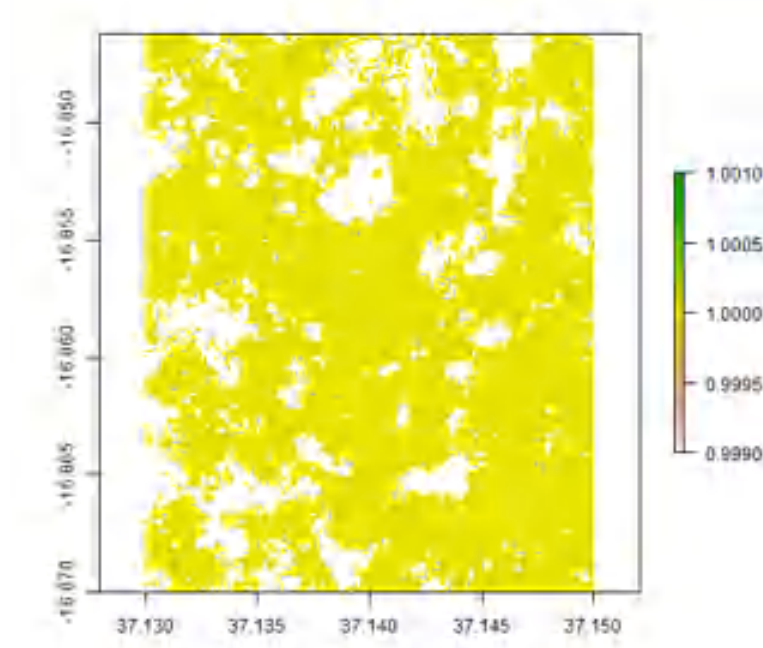


Рисунок 4.6. – Лісова маска

BFAST (Breaks For Additive Season and Trend) — один із численних алгоритмів, які використовуються для картографування лісових порушень. Алгоритм розбиває часовий ряд на сезон, тенденцію та залишковий компонент, які потім використовуються для виявлення та характеристики змін.

BFAST ітеративно оцінює час і кількість різких змін у часовому ряді та характеризує зміну за величиною та напрямком. BFAST може використовуватися для аналізу різних типів часових рядів (наприклад, Landsat, MODIS, Sentinel-2) і може бути застосований до інших дисциплін, що мають справу з сезонними або несезонними часовими рядами, такими як гідрологія, кліматологія та економетрика.

Функцію BFASTmonitor було використано, оскільки це один із найсучасніших алгоритмів для виявлення порушень у лісі. Він здатний враховувати природні сезонні коливання часових рядів. В цій досліджуваній області ліс має сильні природні сезонні коливання.

Спочатку застосовано алгоритм на піксельному рівні, потім для всієї досліджуваної області. Нижче ви можете побачити пікселі, які були вибрані.



Рисунок 4.7. – Розташування нестабільних (ззеліснених) і стабільних пікселів у досліджуваній зоні

Застосовано функцію BFASTmonitor до всього зображення за допомогою функції обгортки. На виході отримано два зображення: одне з датами виявлення лісових порушень, а інше — величиною лісових порушень. Величина лісових порушень, у цьому випадку, відноситься до різниці між значенням NDMI, передбаченим моделлю BFAST, і фактичним значенням. Від'ємна величина вказує на порушення лісу. Більші величини, швидше за все, означають вирубку лісів, а менші – деградацію лісів.

Деградація лісу – це процес, у якому біологічне багатство лісової території постійно зменшується за рахунок якихось чинників або їх поєднання. Це не передбачає скорочення площі лісу, а, навпаки, якісне зниження його стану. Ліс все ще існує, але з меншою кількістю дерев, або меншою кількістю порід дерев, рослин чи тварин. Ця деградація робить ліс менш цінним і може призвести до вирубки лісів. Деградація лісів - це тип більш загального питання деградації земель. Вирубка лісів та деградація лісів продовжують відбуватися із загрозливими темпами, що значно сприяє постійній втраті біорізноманіття.

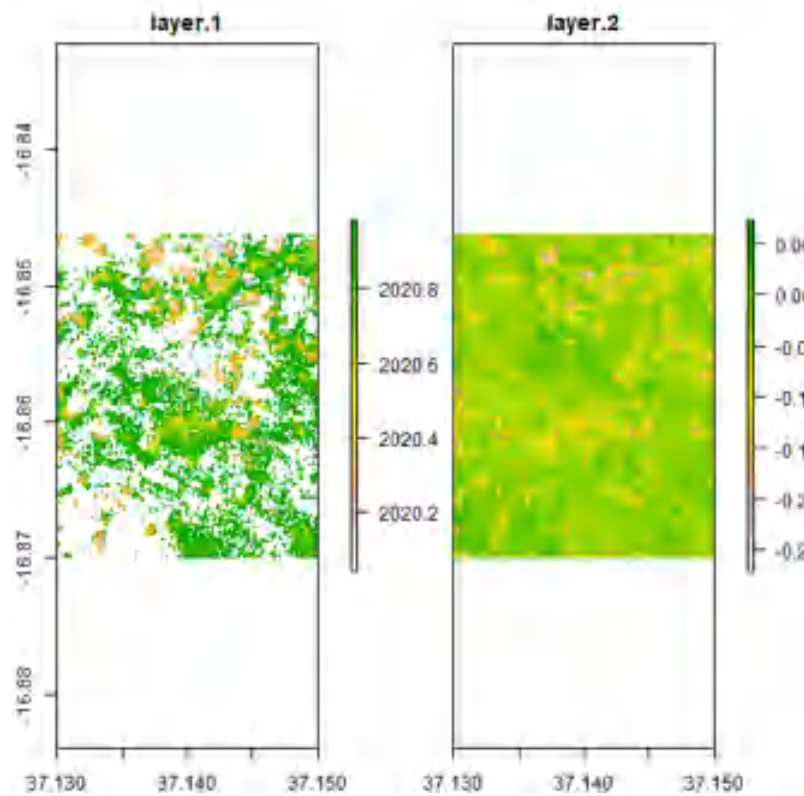


Рисунок 4.8. – Карта порушень лісу.

З наведеної вище карти шар 1 представляє час порушення лісу, а шар 2 – величину порушення лісу. Як зазначено в документації для BFASTMonitor, величина є медіаною різниці між даними та прогнозом моделі за період моніторингу. Це означає, що позитивні значення представляють території, де NDMI були вищими, ніж передбачено моделлю, можливо, лісовідновлення або повторне озеленення, тоді як негативні значення показують вирубку лісів (прогнози моделі були нижчими, ніж реальність). Алгоритм BFAST зіткнувся з деякими труднощами в цьому напівпосушливому досліджуваному регіоні.

РОЗДІЛ 5 МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ №2

5.1. Підходи на основі річних часових рядів

Річні часові ряди створюються за допомогою, наприклад, середніх значень за певний сезон або найкращих доступних піксельних підходів до виявлення змін. Перевагою є те, що річні часові ряди менш шумні порівняно з оцінкою всіх доступних спостережень. Сегментація є поширеним методом виявлення моделей змін у часових рядах [26].

Сегментація

Річний часовий ряд розділений на серію прямолінійних сегментів для визначення точок розриву, що відокремлює періоди тривалих змін або стабільності, і фіксує рік, коли відбулися зміни.

Підходи на основі повних рядів

Підходи до повних часових рядів використовують усі доступні спостереження часових рядів і завдяки цьому дозволяють точніше виявляти дату змін і тонкі тенденції. Використання всіх нещодавно доступних спостережень також є ключовим для виявлення нових змін майже в реальному часі. Для повного аналізу часових рядів зазвичай використовуються підходи виявлення розриву та ймовірнісні підходи .

Виявлення зламу

Методи виявлення розриву спочатку розкладають часовий ряд на компоненти тенденції, сезону та залишку. На основі моделі стабільної історичної поведінки можна виявити аномальні зміни в нещодавно отриманих даних. У підходах до виявлення розриву часто використовується модель тренду сезону

(наприклад, гармонійна сезонна модель), щоб видалити сезонність лісу з часового ряду.

Імовірнісні підходи

Імовірнісні підходи спочатку перетворюють супутникові зображення в лісові та нелісові ймовірності. Потім зміна виявляється, як тільки нове спостереження відхиляється від очікуваного розподілу лісу протягом стабільного періоду історії. Імовірнісні підходи також можна використовувати для поєднання часових рядів від різних датчиків (наприклад, оптичних і радіолокаційних).

Наочні приклади динаміки зміни лісу

Довгостроковий аналіз супутникових зображень може допомогти нам краще відстежувати та розуміти процеси зміни лісу з часом. У наведеному нижче відео представлено наочні приклади того, як зміни лісу можна відстежувати в часі за допомогою довгих супутникових часових рядів [26].

5.2. Основні визначення зміни лісу

Часто виникає плутанина щодо того, що означає вирубка лісів, деградація лісів і порушення лісів. Хоча існує кілька визначень у оперативних програмах дистанційного зондування часто використовуються функціональні визначення. Вирубка лісів зазвичай визначається як постійне перетворення вкритих лісом земель у нелісові. Деградація лісів зазвичай пов'язана з втратою лісового покриву та/або структурним пошкодженням без постійного перетворення вкритих лісом земель у нелісові. Порушення лісу часто використовується для певної міри парасолькового збезлісення та деградації лісів і з точки зору дистанційного зондування може бути визначено як повне або часткове видалення деревного покриву в межах одного пікселя (наприклад, 10-метровий піксель Sentinel-1). Повне видалення деревного покриву пов'язане з порушенням

заміни деревостану в масштабі одного пікселя, тоді як часткове видалення в основному представляє порушення, пов'язані з граничними пікселями та вибіркоvim журналюванням.

Що стосується моніторингу відростання лісу після порушення за допомогою супутникових зображень, важливо розуміти, що ми «вимірюємо» відновлення сигналу дистанційного зондування до рівня непорушеного лісу. Хоча відновлення сигналу дистанційного зондування пов'язане з процесами відновлення лісу, відновлення сигналу дистанційного зондування зазвичай відбувається набагато швидше (протягом кількох років), ніж фактичне відновлення/відростання лісу до повністю вирощеного вихідного стану (наприклад, кілька десятиліть для старого лісу) [25,27]. Наприклад, змикання крони внаслідок відростання піонерних видів або швидкозростаючих плантаційних лісів може призвести до сигналу дистанційного зондування, подібного до сигналу старого та/або непорушеного лісу.

Ознайомлення з продуктами зміни лісу

Продукти зміни лісу, отримані за допомогою методів, описаних у попередньому розділі, дозволяють урядам і неурядовим організаціям контролювати свої ліси та виявляти дії, пов'язані з втратою лісів. Існують різноманітні продукти зміни лісу з відкритим вихідним кодом регіонального та глобального масштабу.

Продукти щорічної зміни лісу зазвичай використовуються для точного щорічного звітування (часто в поєднанні з підходом на основі вибірки) про зміни площі лісів і часто надають інформацію як про втрату лісу, так і про відростання лісу [27].

На відміну від лісу, сповіщення про порушення в режимі реального часу спрямовані на надання своєчасної інформації про нові події порушення лісу для підтримки своєчасних заходів правоохоронних органів проти незаконної та нестійкої діяльності в лісі. Сповіщення про порушення лісу в реальному часі часто є консервативними, зазвичай не повідомляють про відростання лісу та є менш точними для оцінки змін площі.

РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ №2

Радарні дані базуються на часових рядах зворотного розсіювання в діапазоні С, отриманих супутниками Sentinel-1 a/b, і складаються з VV- та VH-поляризації. Доступ до даних Sentinel-1 за 2019 та 2020 роки було отримано через Google Earth Engine (GEE). Перед завантаженням в архів GEE було застосовано кілька етапів попередньої обробки.

Попередню обробку було завершено корекцією радіометричного нахилу на основі кута, адаптивною багаточасовою спекл-фільтрацією та перетворенням лінійної шкали в дБ. Дані радара використовуються для виявлення та картографування лісових порушень. Базова карта лісу базується на первинній масці вологого тропічного лісу з 2001-2018 роками втрати лісу. Базова карта лісу використовується лише для визначення місцезнаходження пікселів лісу, на яких виконується алгоритм порушення лісу.

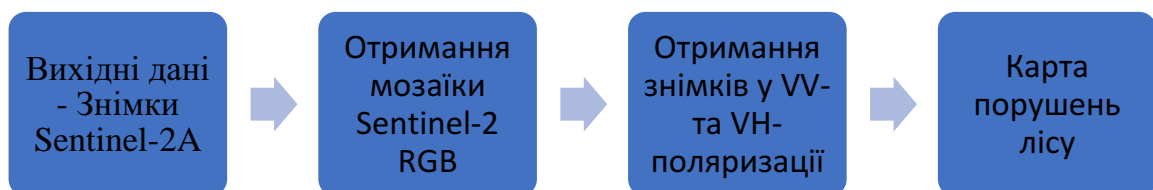


Схема 6.1. Етапи практичної реалізації №2

Досліджуваний регіон займає площу близько 500 000 м² і знаходиться в Республіці Конго в межах басейну Конго. Тропічні ліси басейну Конго охоплюють майже 200 мільйонів га вологих тропічних лісів і зазнають порушень лісів (наприклад, втрата лісів), головним чином через дрібне сільське господарство, яке забезпечує місцеві засоби до існування та ресурси для понад 100 мільйонів людей. Очікується, що протягом наступних десятиліть порушення лісів збільшиться через прогнозоване п'ятикратне зростання населення до 2100 року та розширення комерційних рубок. Багато комерційних лісозаготівельних робіт мають на меті отримати доступ до цінних природних ресурсів (наприклад, кобальту, міді тощо). Моніторинг лісових порушень у великих масштабах має

вирішальне значення для підтримки сталого управління лісовими ресурсами. На рис. 6.1 дві мозаїки Sentinel-2 RGB нашого досліджуваного регіону за 2018 та кінець 2020 років.



Рисунок 6.1. – Мозаїки Sentinel-2 RGB

Розглянувши два зображення зворотного розсіювання Sentinel-1 VV, одне на початку 2019 року, а інше в середині 2020 року, можна побачити, як зміни земного покриття видно на радіолокаційних даних.

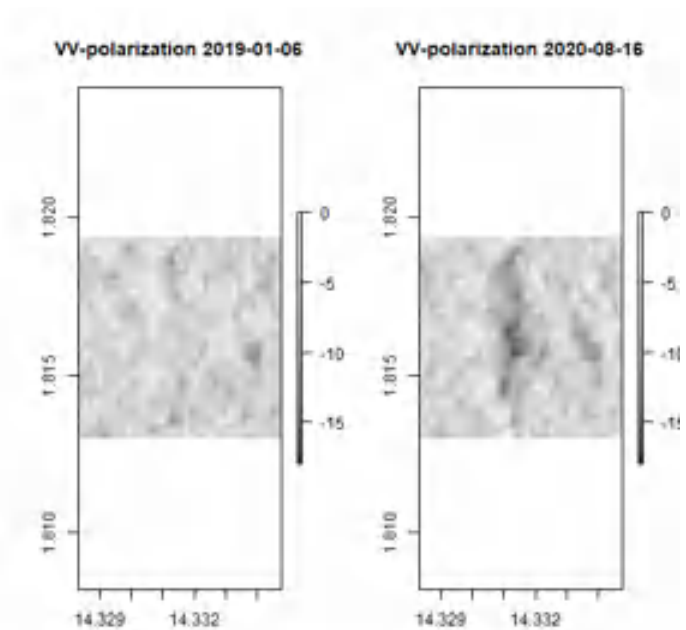


Рисунок 6.2. – Зображення у VV-поляризації.

На знімках чітко видно різницю до та після зрублення лісу, щоб відчувати, як радіолокаційні супутникові дані реагують на зміни крони дерев у VV-поляризації.

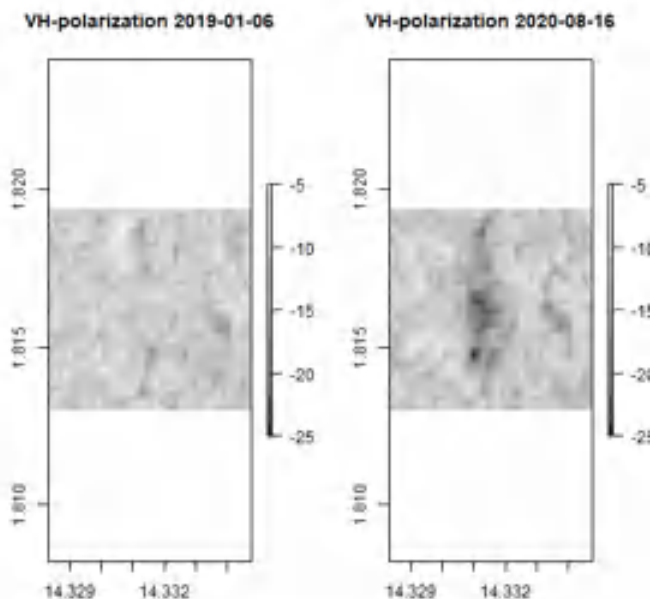


Рисунок 6.3. – Зображення у VH-поляризації

Після накладання знімків видно зміни у лісі. Зеленим виділено стабільний ліс, а червоним порушений.

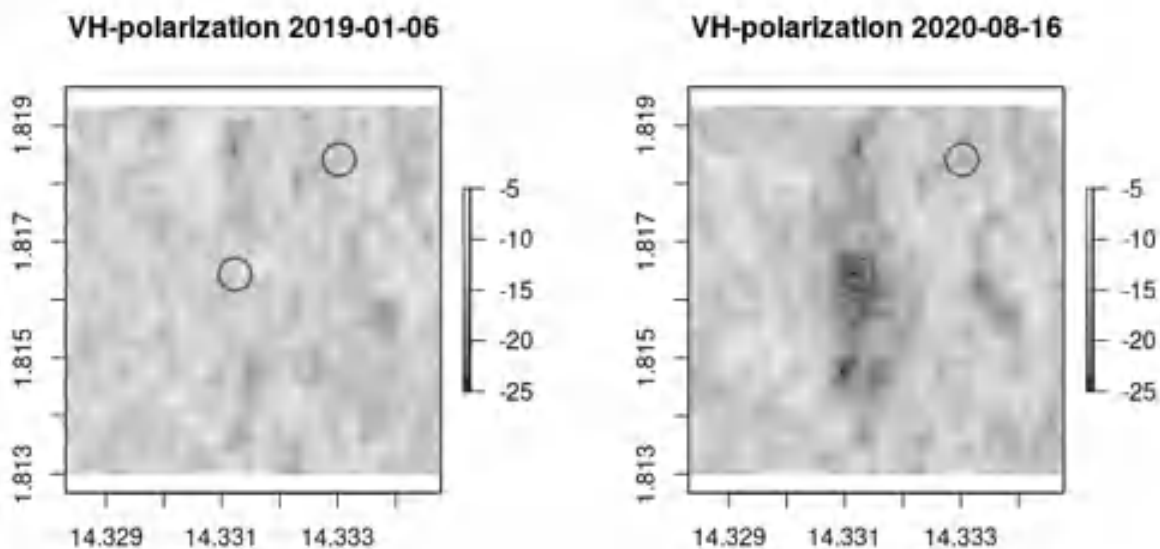


Рисунок 6.4. – Порівняння у VH-поляризації

Отже, помітна різниця зменшених значень зворотного розсіювання для стабільного та порушеного лісу. Зменшення зворотного розсіювання/енергії, що досягає супутникового датчика, є результатом меншої структури рослинності на землі після проведення лісозаготівельних робіт.

Для того, щоб виявити поодинокі піксельні порушення лісу було використано функцію `bauts`.

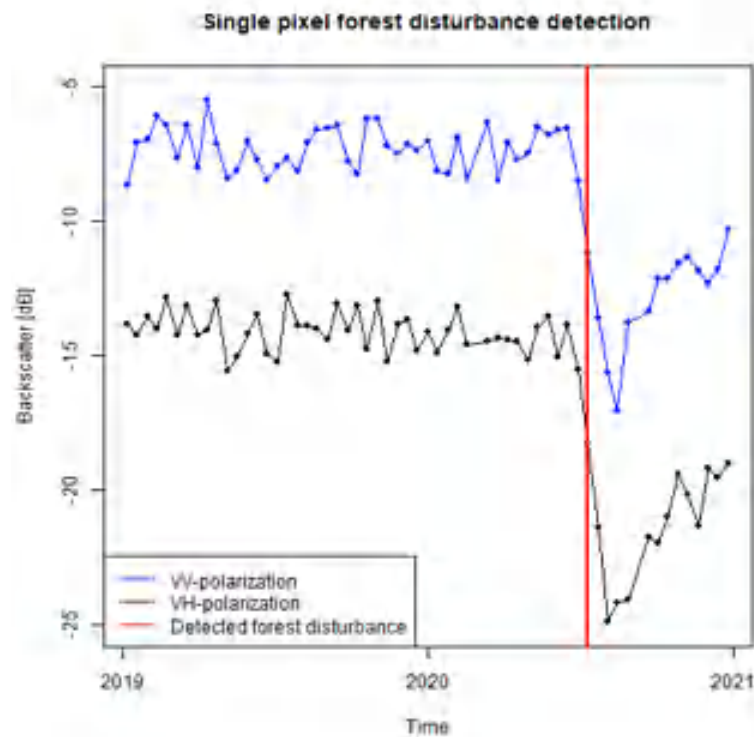


Рисунок 6.5. – Графік порівняння VV- та VH-поляризації

На основі часового ряду зворотного розсіювання для одного пікселя було виявлено дату порушення лісу. Такий же самий метод було використано для всієї досліджуваної області за допомогою `bautsDDSpatial` функції.

Алгоритм виявлення порушення лісу виконується лише для пікселів, які класифікуються як ліс на базовій карті лісу.

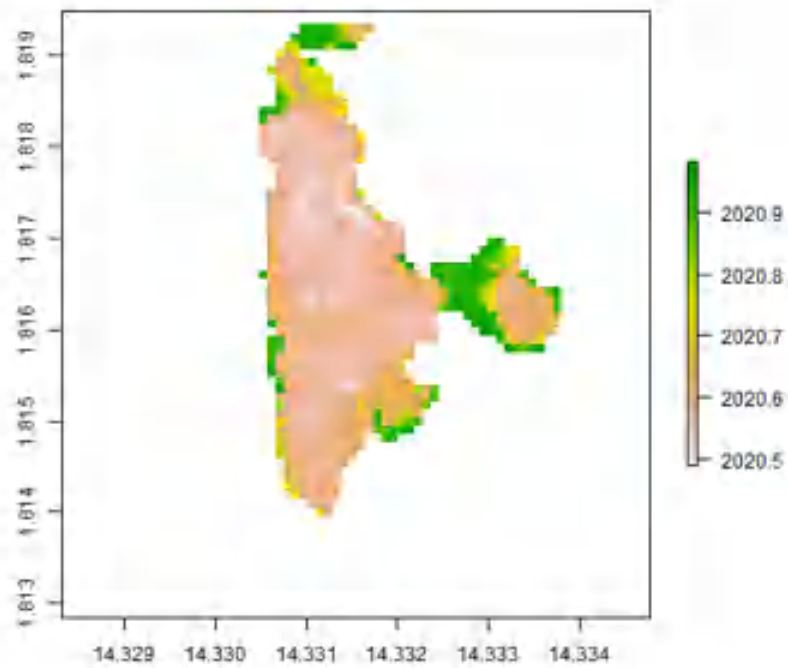


Рисунок 6.6. – Порушення лісу досліджуваної території

Як результат, виявлено порушення лісу досліджуваної території.

Використовуючи супутники та методики дистанційного зондування, було проведено картографування та контроль частини лісу.

ВИСНОВКИ

Ліси відповідають за підтримку основних життєвих процесів, від очищення повітря, яким ми дихаємо, до підтримки здорових ґрунтів і чистих джерел води. У всьому світі громади покладаються на екосистемні послуги, які надають ліси, щоб підтримувати свої засоби до існування. Проте вирубка та деградація лісів загрожують лісовим екосистемам у всьому світі, таким чином порушуючи пом'якшення кліматичних змін, яке забезпечують ліси і яке нам вкрай необхідно.

Використовуючи супутники та методики дистанційного зондування, було проведено картографування та контроль частини лісу. За методикою описаною в роботі, можна спостерігати за змінами лісового покриву, сповіщати органи влади про випадки вирубки лісів і контролювати зв'язок між лісами та парниковими газами (ПГ).

Застосувавши функцію BFASTmonitor до окремих стабільних і знеліснених пікселів, а також до всієї досліджуваної області було отримано алгоритм для виконання аналізу часових рядів у напівпосушливих і хмарних регіонах.

Також отримано знання про чинники вирубки лісів, а також про те, як супутники та методи виявлення збурень за часовими рядами можуть ідентифікувати події вирубки лісів навіть у районах, замаскованих хмарами.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Життя лісу – Відкритий ліс. [Електронний ресурс]: <https://www.openforest.org.ua/112160/> - 06.10.2022
2. Професія лісника – Львівський обласний центр. [Електронний ресурс]: <https://lviv.dcz.gov.ua/publikaciya/profesiya-lisnyka/> - 06.10.2022
3. Лісничий – Міжрегіональний фестиваль. [Електронний ресурс]: <http://www.fio.vrn.ru/2007/3/4.html> - 06.10.2022
4. Ліс – Ековики. [Електронний ресурс]: <https://ecowiki.ru/articles/zachem-nuzhny-lesniki/> - 06.10.2022
5. ДЗЗ для екологічних задач Частина 2: Ліс – GIS-Lab. [Електронний ресурс]: <https://wiki.gislab.info/w/ДЗЗ> - 06.10.2022
6. Дистанційне зондування Землі – Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1998, 744 с. — ISBN 966-7492-00-8.
7. GIS-Lab – каталог авторських матеріалів загальноінформаційного та методичного спрямування від неформальної спільноти фахівців в галузі ГІС та ДЗЗ. (дата звернення: 06.10.2022).
8. Види індексів та їх використання. «Іннотер». [Електронний ресурс]: <https://innoter.com/articles/vidy-vodnykh-indeksov-i-ikh-primenenie/> - 08.10.2022
9. Робота із супутниковими знімками. Redirect to: /en/. [Електронний ресурс]: <https://learn.com/projects/get-started-with-imagery/> - 17.11.2022
10. NDVI – теорія та практика. [Електронний ресурс]: <https://gislab.info/qa/ndvi.html> - 06.10.2022
11. Фонд природи – WWF. [Електронний ресурс]: <https://wwf.ua/?1967441/deforestation-fronts-report> - 06.10.2022
12. Визначення самозаліснених ділянок засобами ДЗЗ та ГІС. [Електронний ресурс]: <https://uriffm.org.ua/uk/news/221> - 06.10.2022
13. Лісове господарство України. К.: Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2010. - 64 с.

14. Генсірук С. А. Ліси України / С. А. Генсірук. — К. : Видавництво «Наукова думка», 1992. — 408 с.
15. Оцінка надземної біомаси великих тропічних дерев за допомогою наземного LiDAR. Методи Ecol Evol. 2018 рік; 9: 223–234. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12904> - 06.10.2022
16. RC Tree Biomass Equations from Terrestrial LiDAR: A Case Study in Guyana. Ліси 2019, 10, 527. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.3390/f10060527> - 06.10.2022
17. Ініціатива ЄКА зі зміни клімату . (2021). Кліматичний офіс ЄКА. [Електронний ресурс]: <http://cci.esa.int/en/> - 06.10.2022
18. Роль і потреба в космічних вимірюваннях лісової біомаси в екологічному менеджменті та політиці. Огляди в геофізиці. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09510-6> - 06.10.2022
19. Платформа багатофункціонального алгоритму та аналізу (МААР) | Земні дані . (2021, 21 квітня). ДАНІ ЗЕМЛІ Відкритий доступ для відкритої науки. [Електронний ресурс]: <https://earthdata.nasa.gov/esds/maap> - 06.10.2022
20. Tree Biomass Equations from Terrestrial LiDAR: A Case Study in Guyana. Ліси 2019, 10, 527. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.3390/f10060527> - 08.10.2022
21. Чаве Дж., Кондіт Р., Агілар С., Ернандес А., Лао С. та Перес Р. (2004). Розповсюдження помилок і масштабування для оцінок біомаси тропічних лісів. Філософські праці Лондонського королівського товариства. Серія В: Біологічні науки, 359
22. Sentinel-2 – Вікіпедія. [Електронний ресурс]: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2> - 10.11.2022)
23. Sentinel-hub EO-Browser3. Dashboard. [Електронний ресурс]: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser20T23:59:59.999Z&layerId=8_BARREN-SOIL - 14.09.2022
24. Sentinel-2A, 2B. [Електронний ресурс]: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b/> - 19.10.2022

25. Sentinel-Hub by Sinergise. Normalized difference vegetation index. Sentinel-Hub custom scripts. [Электронный ресурс]: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndvi/> - 14.09.2022

ДОДАТОК А

Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів

Виконавець *Раджабова Ю. С.*Керівник к.т.н., доцент *Горелок С. І.*

Актуальність роботи:

Ліси відповідають за підтримку основних життєвих процесів, від очищення повітря, яким ми дихаємо, до підтримки здорових ґрунтів і чистих джерел води. У всьому світі громади покладаються на екосистемні послуги, які надають ліси, щоб підтримувати свої засоби до існування. Проте вирубка та деградація лісів загрожують лісовим екосистемам у всьому світі, таким чином порушуючи пом'якшення кліматичних змін, яке забезпечують ліси і яке нам вкрай необхідно.

Використовуючи супутники та методика дистанційного зондування, ми можемо картографувати та контролювати ліси. Це дає нам змогу спостерігати за змінами лісового покриття, сповіщати органи влади про випадки вирубки лісів і контролювати зв'язок між лісами та парниковими газами (ПГ).

Мета роботи:

Підвищення точності визначення змін лісових ресурсів за даними ДЗЗ.

Завдання:

1. Проаналізувати існуючі методики моніторингу лісових ресурсів;
2. Визначити фактори і процеси, що призводять до зміни лісових ресурсів;
3. Розробка методик моніторингу лісових ресурсів за даними ДЗЗ;
4. Практична реалізація на прикладі лісу Міомбо в Мозамбік та тропічного лісу в Республіці Конго.

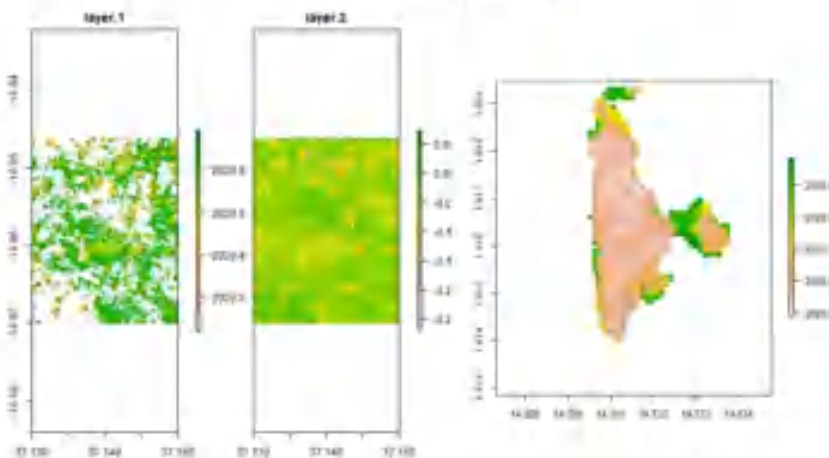


Лісові ресурси світу




Лісові ресурси України

Отримані результати:



Створено карти порушень лісу Міомбо в Мозамбіку та тропічного лісу в Республіці Конго

ДОДАТОК Б



Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського
«Харківський Авіаційний Інститут»
факультет ракетно-космічної техніки
кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

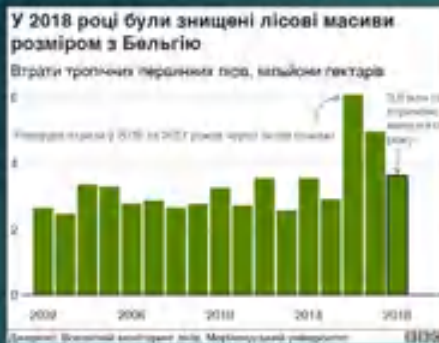
кваліфікаційна робота магістра
за спеціальністю 103 «Науки про Землю»
Освітня програма «Космічний моніторинг Землі»

Використання даних ДЗЗ для моніторингу лісових ресурсів

Виконала: студентка групи
465м
Раджабова Ю. С.
Керівник: к.т.н., доцент
Горелтик С. І.

Харків 2022

Актуальність теми



Графік втрати лісів за роками



Гарячі точки зникнення та деградації лісів

- Стрімка вирубка та деградація лісів загрожує багатьом екосистемам. Важливо використовувати ДЗЗ для моніторингу, щоб попереджувати втрати лісових ресурсів



Лісові ресурси України та світу



Лісові ресурси світу



Лісові ресурси України

Причини глобальної втрати лісів

- вирубка лісів без достатньої висадки нових дерев;
- пожежі;
- урагани;
- повінь;
- кислотні дощі;
- зміна гідрологічного режиму;
- зниження стійкості до фитошкваровань;
- радіоактивне ураження (іФуцій лісів);
- інше.



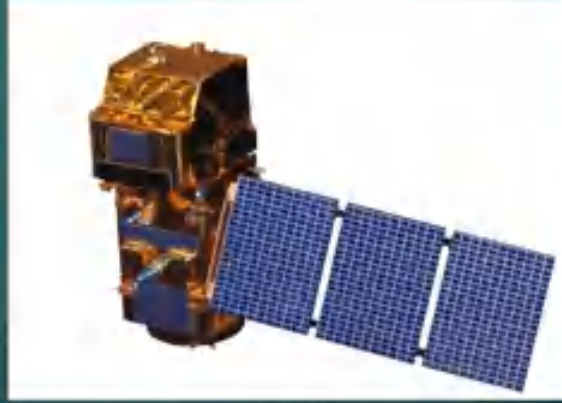
Характеристики лісового покриву, які можна виявити за допомогою технологій дистанційного зондування



Характеристика супутників Sentinel-1 та Sentinel-2



Sentinel-1



Sentinel-2

Приклад SENTINEL-1 SAR і короткий час повторного перегляду значно розширяє можливості користування і регулярно й систематично надаватимуть дані для морського та наземного моніторингу, реагування на надзвичайні ситуації, зміни клімату та безпеки.

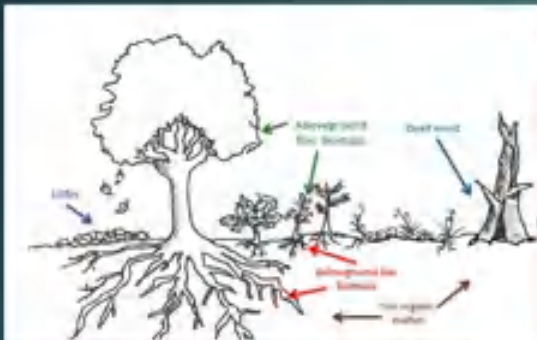
Метою Sentinel-2 є моніторинг суші. Її місія складатиметься з двох супутників на полярних орбітах, які забезпечуватимуть оптичні зображення високої роздільної здатності. Серед шлей моніторингу є рослинність, ґрунт і прибережні території.

Практична реалізація №1

- ▶ Обрана територія для дослідження – ліс Міомбо в Мозамбіку
- ▶ Площа території 590 га



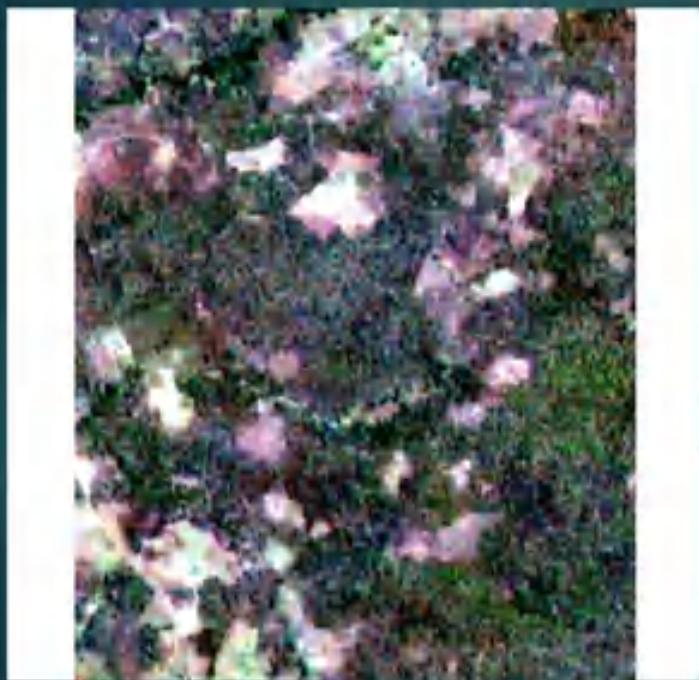
Перші етапи практичної реалізації



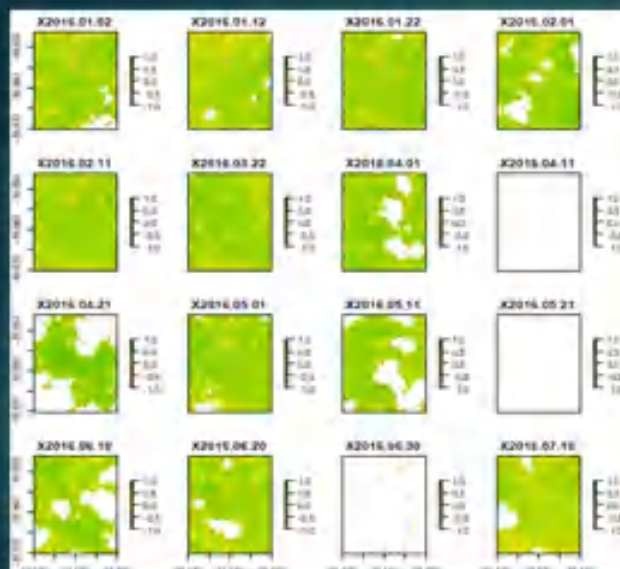
1. Моніторинг біомаси



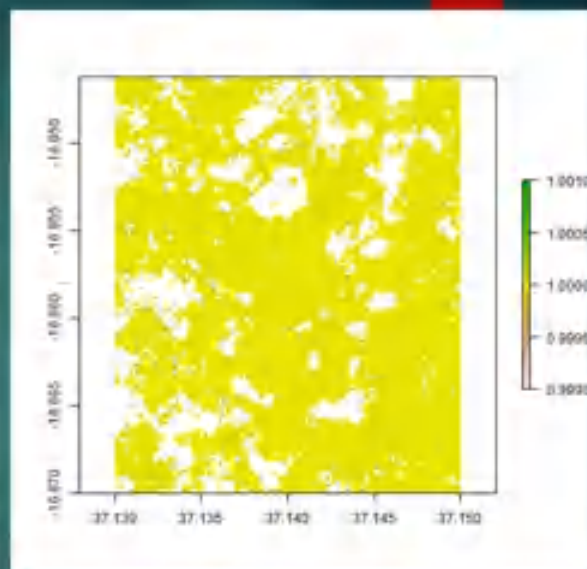
2. Побудова карти AGB



3. Отримання багатоспектрального зображення



4. Побудова парів NDMI

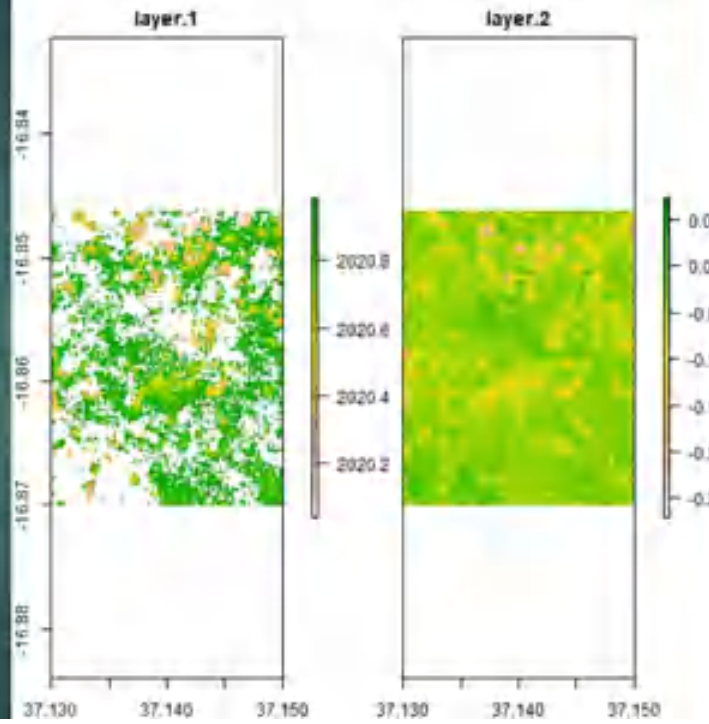


5. Побудова лісової маски

- ▶ Функцію BFASTmonitor було використано, оскільки це один із найсучасніших алгоритмів для виявлення порушень у лісі. Він здатний враховувати природні сезонні коливання часових рядів. В цій досліджуваній області ліс має сильні природні сезонні коливання.
- ▶ Спочатку застосовано алгоритм на піксельному рівні, потім для всієї досліджуваної області. Нижче ви можете побачити пікселі, які були вибрані.



Створено карту порушень лісу



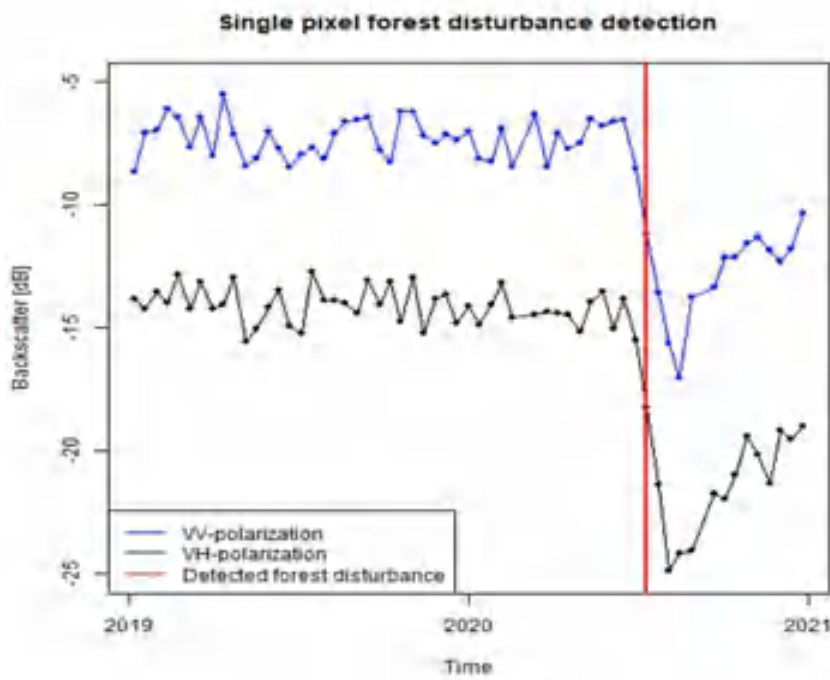
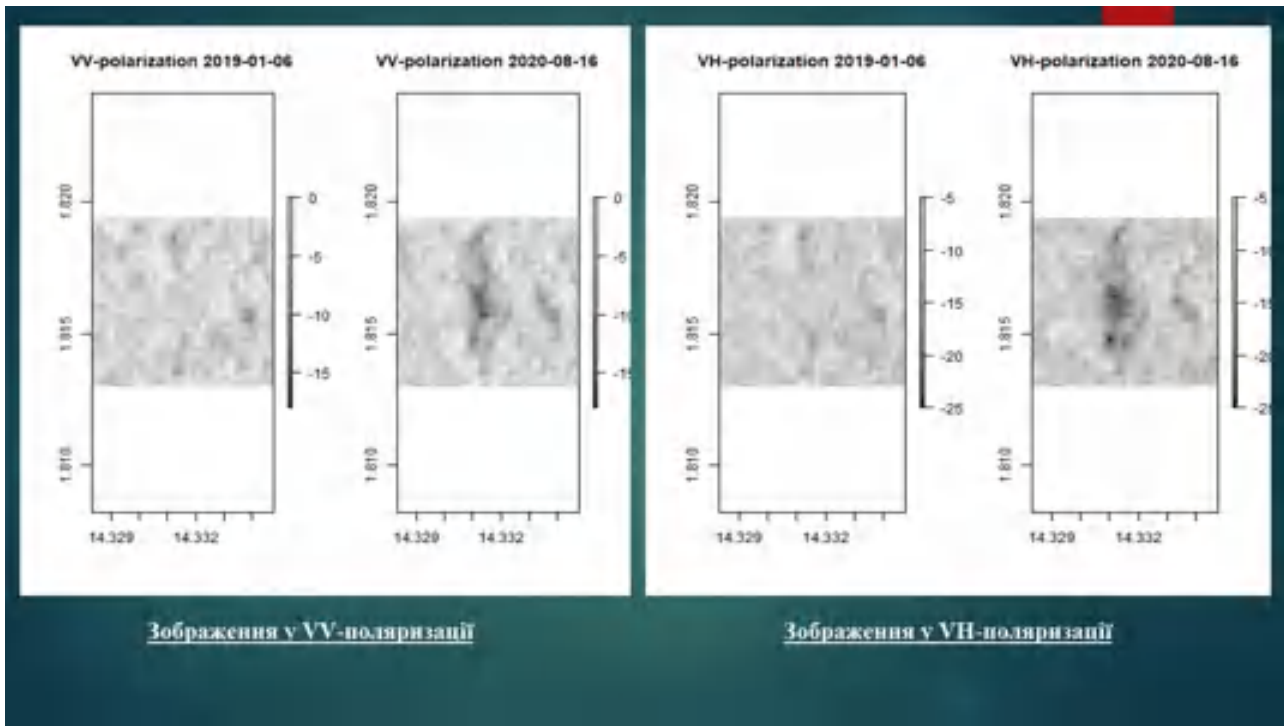
Практична реалізація №2.

Мозаїки Sentinel-2 RGB досліджуваного регіону в Республіці Конго

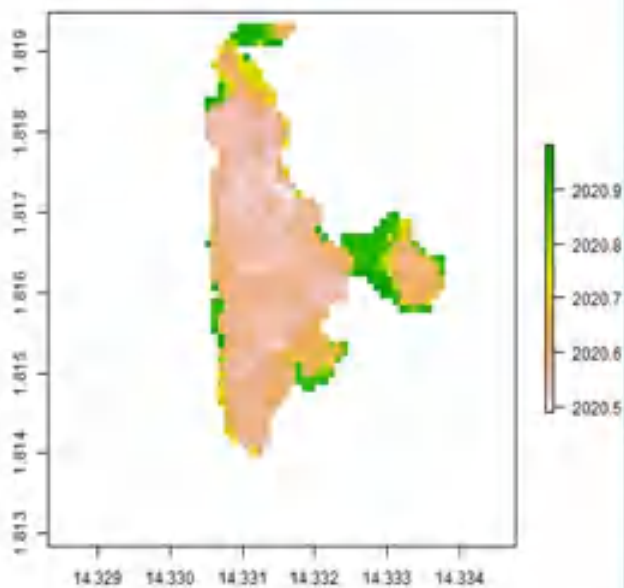
Sentinel-2 RGB Mosaic 2018

Sentinel-2 RGB Mosaic 2020





Графік порівняння VV- та VH-поляризації



Ділянки порушень лісу на досліджуваній території

Висновки

- ▶ Ліси відповідають за підтримку основних життєвих процесів, від очищення повітря, яким ми дихаємо, до підтримки здорових ґрунтів і чистих джерел води. У всьому світі громади покладаються на екосистемні послуги, які надають ліси, щоб підтримувати свої засоби до існування. Проте вирубка та деградація лісів загрожують лісовим екосистемам у всьому світі, таким чином порушуючи пом'якшення кліматичних змін, яке забезпечують ліси і яке нам вкрай необхідно.
- ▶ Використовуючи супутники та методики дистанційного зондування, було проведено картографування та контроль частини лісу. За методикою, описаною в роботі, можна спостерігати за змінами лісового покриву, сповіщати органи влади про випадки вирубки лісів і контролювати зв'язок між лісами та парниковими газами (ПГ).
- ▶ Застосувавши функцію BFASTmonitor до окремих стабільних і знеліснених пікселів, а також до всієї досліджуваної області було отримано алгоритм для виконання аналізу часових рядів у напівпосушливих і хмарних регіонах.
- ▶ Розроблені методики дозволяють ефективно визначити зони вирубаного лісу за різночасовими даними даними дистанційного зондування та в умовах постійної хмарності.
- ▶ Також отримано знання про чинники вирубки лісів, а також про те, як супутники та методи виявлення збурень за часовими рядами можуть ідентифікувати події вирубки лісів навіть у районах, замаскованих хмарами.