

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Навчально-науковий інститут загальноуніверситетської підготовки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. каф. геоекології і землеустрою

доцент _____ Максим ГАНЧУК

“_19_” січня 2026 р.

Пояснювальна записка
до дипломної роботи здобувача СВО Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: **«Супутниковий моніторинг земель лісгосподарського призначення»**

26 ГЗ Д 004 000000 ПЗ

Виконав: здобувачка ВО 2 курсу, групи 21 МБГЗ 3
спеціальності 193 Геодезія та землеустрій
за ОПП Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності та ОПП)

Здобувач вищої освіти _____ Вікторія МАЛЬЦЕВА
(підпис) (П.І.П)

Керівник, доцент _____ Віра САЙ
(підпис) (П.І.П)

Консультант, доцент _____ Михайло ЗОРЯ
(підпис) (П.І.П.)

Нормоконтроль, доцент _____ Вікторія СКИБА
(підпис) (П.І.П)

Запоріжжя - 2026 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет ННІЗУП
Кафедра геоекології і землеустрою

Ступінь вищої освіти Магістр
Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ГЕЗ

к.с.-г.н., доцент Максим ГАНЧУК

« 10 » січня 2026 р

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

студенту Мальцева Вікторія Володимирівна

1. Тема роботи **Супутниковий моніторинг земель лісогосподарського призначення**

керівник роботи к.т.н., доцент Сай Віра Михайлівна

затверджені наказом Ректора університету від «31» жовтня 2025 р. № 585/1-С

Строк подання студентом роботи «30» січня 2026 р.

Вихідні дані до роботи дані відділу статистики, держгеокадастру, ГІС, ДЗЗ.

Перелік питань, які потрібно розробити: теоретичні положення моніторингу лісів за даними; принципи дослідження рослинності за космічними знімками; моніторинг стану лісової рослинності в карпатському регіоні.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв
Розділ 4 Охорона праці в галузі	Михайло ЗОРЯ, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	15.10.2025	15.10.2025

Дата видачі завдання

15.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Розділ 1. Теоретичні положення моніторингу лісів за даними	вересень	Виконано
Розділ 2. Принципи дослідження рослинності за космічними знімками	жовтень	Виконано
Розділ 3. Моніторинг стану лісової рослинності в карпатському регіоні	листопад	Виконано
Розділ 4. Охорона праці і галузі	грудень	Виконано
Висновки	січень	Виконано

Студентка _____ . В.В. Мальцева

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

В.М. Сай

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Мальцева В.В. Супутниковий моніторинг земель лісогосподарського призначення. Магістерська робота. Кафедра геоєкології і землеустрою. Запоріжжя, ТДАТУ ім. Д. Моторного, 2026. С.76

Текст викладений на 74 с. текст. част., 5 табл., 52 рис., 27 літературних джерела.

Актуальність теми дослідження

Сучасні технології у сфері геодезії і геоінформатики дають змогу здійснювати оцінку використання земельних угідь методами дистанційного зондування незалежно від місця їх розташування чи фізичної доступності. Особливо актуальними ці методи мають у сфері лісокористування з метою контролю за вирубками, деградацією та хворобами лісів.

Метою роботи є моніторинг земель лісогосподарського призначення за даними аерокосмічних знімів. Основним завданням є визначення змін площ лісових масивів у гірській частині Львівської області.

Ключові слова: моніторинг, лісові масиви, раціональне використання земель, ГІС, ДЗЗ.

ЗМІСТ

Вступ		6
1. Теоретичні положення моніторингу лісів за даними дистанційного зондування Землі		7
1.1. Системи моніторингу, їхні види та класифікація		7
1.2. Принципи здійснення дистанційного зондування Землі		12
1.3. Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження		17
2. Принципи дослідження рослинності за космічними знімками		23
2.1. Спектральні особливості сонячного випромінювання		23
2.2. Взаємодія атмосфери та земної поверхні з випромінюваною сонячною енергією		27
2.2.1. Спектральні характеристики та спектральна здатність об'єктів		29
2.2.1. Спектральні характеристики та спектральна здатність об'єктів.		30
2.3. Класифікація як метод обробки багатоспектральних спутникових зображень		37
3. Моніторинг стану лісової рослинності в карпатському регіоні		45
3.1. Аналіз вхідних даних для дослідження		45
3.2. Виконання моніторингового дослідження лісів в програмному середовищі Erdas Imagine		48
4. Охорона праці в галузі		64
4.1 Основи охорони праці		64
4.2 Захист населення у надзвичайних ситуаціях		68
5. Охорона природи та навколишнього середовища		70
Висновки		75
Список використаної літератури		76

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технології у сфері геодезії і геоінформатики дають змогу здійснювати оцінку використання земельних угідь методами дистанційного зондування незалежно від місця їх розташування чи фізичної доступності. Особливо актуальними ці методи мають у сфері лісокористування з метою контролю за вирубками, деградацією та хворобами лісів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є моніторинг земель лісогосподарського призначення за даними аерокосмічних знімків. Основним завданням є визначення змін площ лісових масивів у гірській частині Львівської області.

Предмет дослідження. Визначення змін площ лісів в гірській частині Львівської області з використанням методу неконтрольованої класифікації супутникових зображень.

Об'єкт дослідження. Територія лісових масивів у гірській частині Львівської області.

Методологія і методика дослідження. Методологічною основою роботи є методи вимірювання та спостереження, просторово-часовий аналіз, а також аналіз наукових праць вітчизняних і зарубіжних дослідників з проблематики дистанційного зондування та моніторингу земель.

Інформаційна база. Інформаційну основу дослідження становлять космічні знімки супутника Landsat 8, отримані з геосервісу геологічної служби США (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>, а також інструментальні засоби програмного комплексу ArcGIS 10.8.

Особистий внесок дипломника. Кваліфікаційна робота є самостійно виконаною науковою працею, у якій розроблено методику дослідження використання лісових ресурсів методами дистанційного зондування із застосуванням сучасних методів геоінформаційного аналізу для гірських районів Львівської області. Висновки, винесені на захист, сформовані автором самостійно.

Структура і обсяг кваліфікаційної роботи. Складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи становить 77 сторінок, презентаційні матеріали підготовлені у програмі

1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

1.1. Системи моніторингу, їхні види та класифікація

Системи моніторингу земної поверхні призначені для спостереження, оцінювання та прогнозування стану об'єктів місцевості, а також для аналітичного опрацювання отриманих даних.

Основним завданням моніторингу є організація збору інформації, її систематизація, накопичення у визначених структурах і форматах, передача та подальша обробка. Моніторинг як система заходів має забезпечувати виконання цих завдань відповідно до критеріїв інформативності, точності, достовірності, оперативності та повноти отримання первинних даних.

Моніторинг, що здійснюється методами дистанційного зондування Землі, характеризується як динамічний, оскільки передбачає регулярне й безперервне отримання даних знімання. До основних вимог, що висуваються до систем моніторингу, належать:

- забезпечення повного охоплення досліджуваних територій;
- отримання тематичної інформації та виявлення просторово-часових змін;
- забезпечення необхідної точності вимірювання тематичних параметрів досліджуваних явищ;
- масштабованість системи моніторингу, тобто можливість доступу до баз даних без зміни мережевої інфраструктури;
- забезпечення достатньої щільності вимірювальних станцій або сенсорів;
- доступність та відкритість даних.

Об'єктами ландшафтно-екологічного моніторингу є атмосферне повітря, водні ресурси, біологічне різноманіття, природні ресурси, земельні угіддя та геологічне середовище. За кожним об'єктом здійснюється цілеспрямоване

спостереження, аналіз і оцінювання у часовій динаміці. Оцінювання точності отриманих даних базується на порівнянні вимірних значень контрольованих параметрів із побудованими еталонними або верифікаційними моделями [8].

Моніторинг реалізується на різних територіальних рівнях: міжнародному, загальнодержавному, регіональному та локальному. Відповідно інформаційне забезпечення зазвичай будується за ієрархічним принципом із різним ступенем деталізації та узагальнення даних щодо кожного об'єкта спостереження.

Геоінформаційні системи є потужними масштабованими інструментами, що забезпечують оперативне й достовірне опрацювання інформації, просторовий аналіз та прогнозування на будь-якому рівні територіального охоплення.

Згідно із сучасною концепцією моніторингу розрізняють різні рівні спостережень, які відрізняються за територіальним охопленням, методами та видами спостережень, призначенням, періодичністю проведення та вимогами до точності одержуваної інформації.

(рис.1).

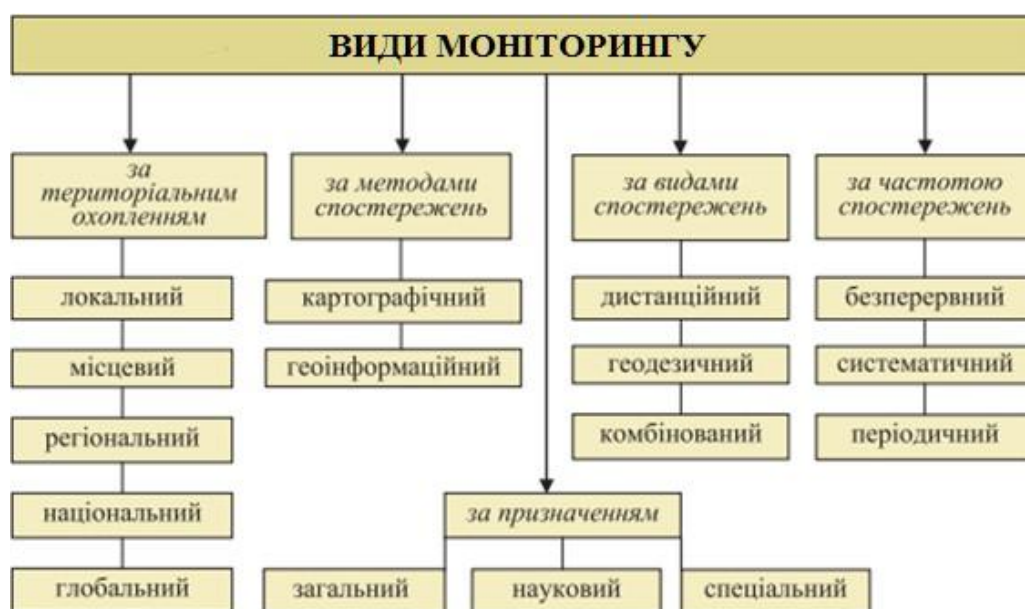


Рисунок 1 - Види моніторингу

Класифікація моніторингу за основними ознаками

За територіальним охопленням моніторинг поділяють на:

- глобальний – охоплює континент або значну частину світу;
- національний – здійснюється в межах однієї держави;
- регіональний – охоплює окрему адміністративну область;
- місцевий – здійснюється в межах окремої ландшафтної фації;
- локальний – проводиться на відносно невеликих територіях, виділених за природоохоронними, ландшафтними або іншими критеріями (парк, урочище, лісовий масив тощо).

За методами спостереження та організації даних моніторинг поділяється на:

- геоінформаційний – із використанням електронних карт і геоінформаційних систем;
- картографічний – створення традиційних карт, планів, схем і абрисів.

За призначенням виділяють:

- загальний (стандартний) – здійснюється за основним набором показників для всієї території;
- науковий (фоновий) – проводиться за розширеним набором показників з дослідницькою метою;
- спеціальний (оперативно-кризовий) – виконується за визначеним набором показників на окремій або всій території.

За видами спостережень розрізняють:

- дистанційний;
- геодезичний;
- комбінований.

За частотою спостережень моніторинг буває:

- безперервний – наприклад, у пожежонебезпечний період або на потенційно небезпечних ділянках;
- систематичний;

- періодичний – зокрема для визначення меж снігового покриву або фенологічного стану лісів.

Дистанційний моніторинг лісів

Починаючи з 1990-х років, методи дистанційного моніторингу активно застосовуються для спостереження за лісовою рослинністю незалежно від її породного складу та географічного розташування. Основним напрямом таких досліджень є отримання різноманітних характеристик лісів (типи порід, вік насаджень, стан здоров'я, рівень деградації тощо) на основі даних дистанційного зондування Землі.

Сутність моніторингу лісів, його мета, складові, а також методи підвищення оперативності й якості первинних даних щодо екологічного стану лісів та відповідності інформаційних моделей реальному стану подано у нормативних документах і на офіційному сайті Державного агентства лісових ресурсів України [18].

Основними завданнями моніторингу лісів є [3]:

- довгострокові систематичні спостереження за станом лісових екосистем для отримання об'єктивної та своєчасної інформації про їх зміни;
- виявлення й оцінювання природних і антропогенних чинників впливу на стан лісів;
- оцінювання масштабів погіршення стану лісових насаджень;
- з'ясування причин і механізмів змін їхнього стану;
- визначення закономірностей сталого функціонування та прогнозування динаміки;
- інформаційно-аналітична підтримка управлінських рішень у сфері лісового господарства.

Інтегровальним програмним середовищем, у якому здійснюється накопичення різних видів даних та реалізація алгоритмів їх обробки, є геоінформаційні системи.

Етапи моніторингу із використанням ДЗЗ

Основні етапи програми моніторингу із використанням даних дистанційного зондування Землі включають:

- отримання та попередню обробку космічних знімків;
- збір і накопичення наземної верифікаційної та контрольної інформації (підсупутникові вимірювання і спостереження);
- інтегровану обробку космічних знімків і наземних даних;
- аналіз результатів та прогнозування розвитку досліджуваних процесів і явищ.

Дистанційні спостереження здійснюються із штучних супутників Землі, пілотованих та безпілотних літальних апаратів у оптичному й радіодіапазонах, а також шляхом інструментально-візуальних спостережень.

За просторовим розрізненням інформацію дистанційного зондування, що використовується в моніторингових системах, умовно поділяють на такі групи:

- дуже низьке розрізнення (≈ 1000 м) – дані супутників NOAA (AVHRR), «Метеор-3М», «Океан»;
- низьке розрізнення (100–200 м) – MODIS, «Ресурс», «Океан»;
- середнє розрізнення (10–30 м) – SPOT, Landsat-8, Sentinel-1, Sentinel-2;
- високе (1–10 м) та надвисоке (< 1 м) – Ikonos, QuickBird, WorldView, GeoEye.

Вимоги до ГІС у системах моніторингу

Геоінформаційна система, призначена для моніторингу, повинна відповідати таким вимогам:

1. розподілена серверна архітектура;
2. використання геобаз даних із поєднанням атрибутивної та просторової інформації;
3. підтримка реплікації баз даних;
4. зручний і зрозумілий інтерфейс користувача;
5. можливість відбору та візуалізації картографічної й атрибутивної інформації за заданими критеріями;

6. формування електронних форм лісового реєстру відповідно до чинних нормативів;

7. створення електронної звітності.

Проблеми впровадження моніторингових ГІС

Досвід використання моніторингових інформаційних систем на базі розподілених ГІС свідчить, що інтеграція геоінформаційних технологій у нові предметні сфери часто завершується створенням пілотних проєктів, які мають переважно презентаційний характер і не переходять у стадію промислового впровадження.

Основними причинами низької ефективності таких проєктів є:

- недостатня інтеграція засобів ГІС і ДЗЗ у поточні управлінські процеси;
- відсутність законодавчої та нормативної бази щодо використання космічних знімків у конкретних галузях.

1.2. Принципи здійснення дистанційного зондування Землі

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) широко описане в науковій літературі та загалом розглядається як комплекс заходів, що включає спостереження й вимірювання елементів земної поверхні та атмосфери із застосуванням електромагнітного випромінювання в різних спектральних діапазонах. Це дає можливість визначати просторове розташування об'єктів, описувати їхні властивості та характер змін у часі як природних, так і антропогенних процесів.

Серед основних ознак, що роблять ДЗЗ одним із найважливіших джерел даних для екологічних і ландшафтних досліджень, виділяють такі [19]:

Інформативність – інтегральна властивість даних ДЗЗ, яка полягає у можливості отримання значних обсягів інформації про земну поверхню в різних вимірах:

- просторовому (дослідження з різним рівнем детальності);

- часовому (періодичність повторного знімання);
- тематичному (реєстрація у різних спектральних діапазонах для визначення характеристик об'єктів).

Просторова оглядовість – забезпечується значним територіальним охопленням супутникових знімачь. Космічні системи дають змогу отримувати зображення великих територій (десятки й сотні квадратних кілометрів) практично одночасно та за однакових умов знімання. Це створює можливість дослідження процесів у регіональному й глобальному масштабах. Оглядовість дозволяє виявляти структурні особливості ландшафтів, які неможливо розпізнати під час локальних спостережень.

Повторюваність і динамічність – ДЗЗ забезпечує регулярне отримання даних про одну й ту саму територію, що дає змогу відстежувати добову, сезонну, річну та багаторічну динаміку природних процесів. Архіви аерофотознімків (із 1940-х років) і супутникових знімачь (із 1970-х років) дозволяють аналізувати зміни ландшафтів у ретроспективі. Більшість сучасних супутникових систем має період повторення знімання від кількох годин до декількох тижнів.

Об'єктивність – на відміну від польових досліджень і традиційних картографічних матеріалів, дані ДЗЗ мінімізують суб'єктивний вплив людини під час отримання інформації. Супутникові та аерофотознімки відображають реальний стан території з високим рівнем деталізації, що підвищує достовірність аналізу та полегшує планування польових робіт.

Стандартизованість – дані ДЗЗ формуються на основі єдиних фізичних принципів реєстрації електромагнітного випромінювання, що забезпечує можливість порівняння результатів, розрахунку фізичних параметрів (вологість, біомаса, температура поверхні тощо) та використання у різних інформаційних системах. Стандартизованість також проявляється у використанні загальноприйнятих форматів растрових даних і супровідних метаданих.

Застосування даних ДЗЗ

Дані, отримані шляхом дистанційних спостережень земної поверхні,

мають широке застосування в народногосподарському комплексі — від створення й оновлення карт до управління земельними ресурсами, обліку та контролю змін у довкіллі.

ДЗЗ є важливим джерелом тематичної інформації щодо типів землекористування і наземного покриття на різних масштабних рівнях. Отримання такої інформації із застосуванням автоматизованих методів обробки називається автоматичною тематичною класифікацією.

Класифікаційні алгоритми ґрунтуються на тому, що кожному типу земної поверхні притаманні власні спектральні характеристики відбиття в різних ділянках електромагнітного спектра. Багатозональні супутникові знімки фіксують ці особливості, що дає змогу розпізнавати та ідентифікувати об'єкти на зображеннях.

(рис.2).

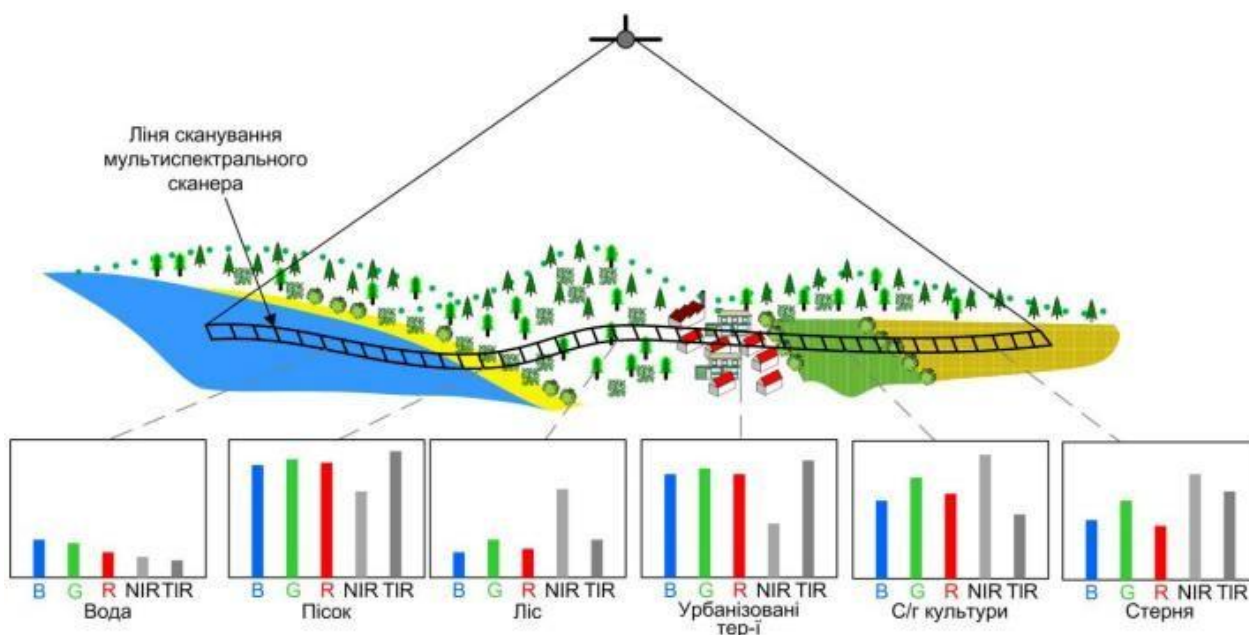


Рисунок 2 – Розподіл різних типів земної поверхні та їх характеристики методом сканування з комбінацією різних спектральних каналів.

Спектральні канали: B – синій, G – зелений, NIR – ближній інфрачервоний R – червоний, TIR – термальний інфрачервоний

Класифікація як процедура полягає у визначенні належності пікселя до певного класу земних об'єктів шляхом аналізу його положення у просторі

спектральних ознак. Тому цей процес часто називають розпізнаванням спектральних образів. З цієї точки зору важливо розрізняти спектральні та тематичні класи [32].

Спектральні класи відображають характеристики відбивної здатності об'єктів у різних ділянках електромагнітного спектра. Тематичні класи, у свою чергу, відповідають реальним об'єктам або типам земного покриву, що є предметом дослідження.

Таким чином, класифікація спрямована на встановлення відповідності між спектральними та тематичними класами. Окремі спектральні образи можуть бути компактними й чітко відокремленими, що полегшує їх співставлення з певними тематичними класами. Проте через природну неоднорідність територій один тематичний клас може відповідати кільком спектральним образам або мати перекриття у просторі спектральних ознак з іншими класами.

У таких випадках віднесення пікселя до певного тематичного класу безпосередньо залежить від обраного підходу до класифікації та алгоритму його реалізації.

Нижче наведена схема основних етапів класифікації даних дистанційного зондування (рис.3).



Рисунок 3 – Основні етапи класифікації даних дистанційного зондування

1.3. Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження

Однією з перших робіт, у яких викладено принципи оброблення багатоспектральних космічних знімків високого просторового розрізнення для дослідження рослинності, є праця [36]. У ній наведено типові спектральні сигнатури рослинності та графіки зміни відбивної здатності у різних спектральних діапазонах. У сучасних умовах ці підходи зазнали певних удосконалень, що пов'язано насамперед із розвитком знімальної апаратури та сенсорних систем.

У роботі [31] послідовно подано етапи автоматизованої тематичної обробки зображень та основні алгоритми, що застосовуються на кожному етапі. Значну увагу приділено методам автоматичного опрацювання мультиспектральних знімків як найбільш поширеного типу дистанційних даних. Водночас у роботі не розглядаються спеціалізовані методи обробки космічних знімків для вирішення завдань лісового моніторингу.

Книга [29] містить класичні підходи до оброблення космічних знімків при дослідженні рослинності. Подано рекомендації щодо вибору сезону знімання, комбінування спектральних каналів та нешифрувальні ознаки різних типів лісових масивів. Автори наводять ознаки суцільних, вибіркових і прохідних рубок. Зокрема, суцільні рубки рекомендується ідентифікувати в синтезі каналів NIR–RED–GREEN, де вони мають голубувато-зелений відтінок, або в синтезі SWIR–NIR–RED, у якому вирубки відображаються яскраво-рожевим кольором. Це дозволяє відокремлювати суцільні рубки від заростаючих вирубок, які у синтезі SWIR–NIR–RED мають яскраво-зелений колір.

Дослідження, наведені у збірнику [23, с. 5–7], свідчать, що для детального вивчення локальних ділянок лісів доцільним є поєднання матеріалів космічних знімань із даними авіаційного та лімарного знімання з просторовим розрізненням до 5 см. Проте автори не конкретизують умови застосування таких

підходів. Очевидно, що вони є доцільними переважно для невеликих ділянок, тоді як для великих лісових масивів ефективним є використання космічних знімків із розрізненням до 10 м, що підтверджується у роботі [28].

Як зазначено в [35], дистанційне зондування є ефективним засобом обліку природних ресурсів і виявлення порушень цілісності лісових масивів. В Австралії було реалізовано методику картографування порушень і оцінювання відновлення лісів на великих територіях за 30-річний період (1988–2016 рр.) на основі часових серій знімків Landsat. Класифікацію здійснювали за двома класами: «ліс» і «не ліс».

Фінський досвід класифікації лісів на національному рівні представлено в роботі [36]. У Фінляндії неконтрольована класифікація супутникових знімків методом найближчого сусіда для розмежування лісових і нелісових земель стала складовою загальнодержавної інвентаризації лісів, особливо ефективною у північних районах країни.

У статті [6] для ідентифікації лісів досліджено методи контрольованої класифікації: мінімальної відстані, відстані Махаланобіса та максимальної правдоподібності. Використано космічні знімки супутників Ikonos і QuickBird, а також наземні верифікаційні дані. Встановлено, що найбільш ефективним для класифікації лісів є метод максимальної правдоподібності.

У монографії [7] розглянуто модель гібридної класифікації лісів, що поєднує методи неконтрольованої та контрольованої класифікації, що дозволяє підвищити точність результатів.

Монографія [7] серед інших методів розглядає модель гібридної класифікації лісів, яка поєднує методи неконтрольованої і контрольованої класифікацій. Структурна схема цієї методики показана на рисунку 4.

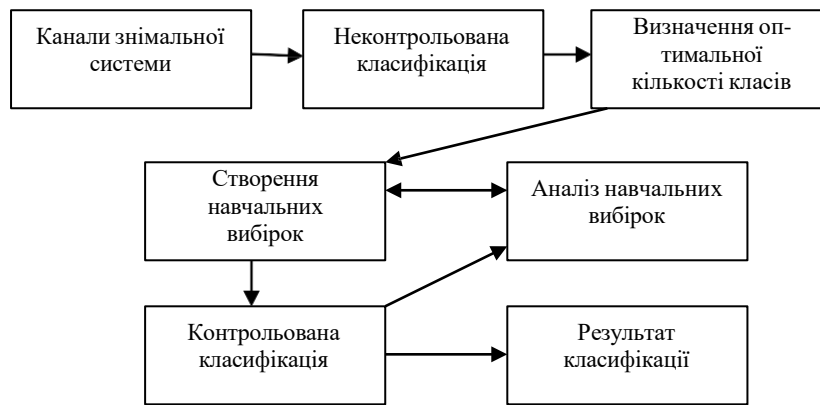


Рисунок 4 – Структурна схема гібридної класифікації

Автори зазначають багатоетапність виконання досліджень і важливість ретельного дотримання кожного з послідовних процесів.

Для вибору кількості класів можна скористатися виразом, отриманим на підставі середніх значень спектральних яскравостей пікселів [33]:

Вибір значення критерію ε залежить від завдання класифікації та типу місцевості: інтегровані за породним складом масиви (хвойні, листяні, мішані) або детальніше структуровані (береза, дуб тощо).

У роботі [5] наведено результати вивчення лісів Прикарпаття методом візуального аналізу та неконтрольованої класифікації. Особливістю дослідження є використання фрагментованих космічних знімків, отриманих у різні часові періоди.

Метою роботи [4] є оцінка стану хвойних лісів Прикарпатського регіону за космічними зображеннями середнього та високого просторового розрізнення із застосуванням даних безпілотних літальних апаратів і спектрофотометричних вимірювань. Аналіз спектральних кривих дозволяє визначити оптимальні діапазони електромагнітного спектра для ідентифікації пошкодженої та сухої рослинності. Дослідження базується на використанні знімків GeoEye-1 та Sentinel-2. Для визначення площ пошкоджених ділянок виконано контрольовану класифікацію методом максимальної вірогідності.

У роботі [38] запропоновано підхід до визначення стану деревостану та його таксаційних параметрів за космічними знімками надвисокого розрізнення

WorldView-2. Метод передбачає використання даних про рельєф і умови освітлення для врахування тіней при різній зімкнутості пологів лісу. Достовірність виявлення окремих крон у рідколіссі досягає 85%, проте технологія є ресурсомісткою.

Автори [25] зазначають, що геоінформаційні технології нині є перспективним засобом систематизації й аналізу просторової інформації про динаміку лісового покриву. Водночас інтеграція безпосередньої обробки даних ДЗЗ у середовище ГІС розглядається в [27], де рекомендовано застосування спеціалізованих програмних комплексів ENVI та ERDAS Imagine.

Одним із перших прикладів глобального веб-сервісу моніторингу лісового покриву є робота [34], у якій представлено карту змін лісів світу з 2000 року (High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change), створену на основі даних Landsat. Ресурс став важливим джерелом для подальших досліджень, однак має обмеження, пов'язані з періодичністю оновлення та генералізацією інформації.

За даними [24], зазначений ресурс дещо спотворює оцінки відновлення лісів на вирубках і заростання покинутих сільськогосподарських угідь. Дані Landsat також використовуються для формування глобальних і регіональних картографічних продуктів [16].

Веб-ГІС технології реалізовано в інтернет-карті лісорубних виділів [9], створеній Державним агентством лісових ресурсів України. Реєстр містить дані про всі лісорубні квитки на території України та забезпечує відкритий доступ громадськості до інформації про заготівлю деревини.

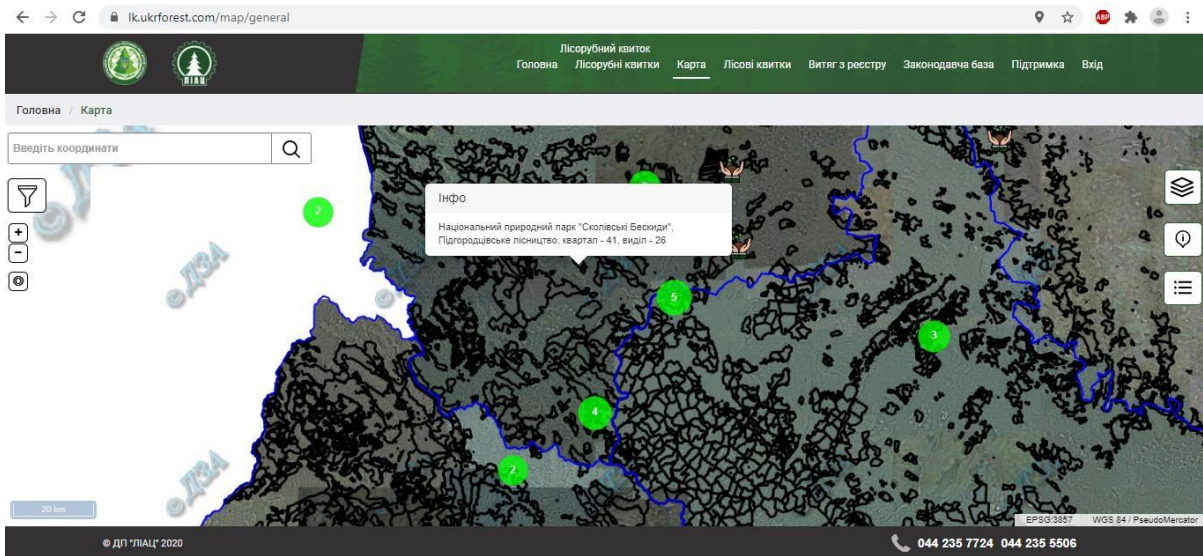


Рисунок 5 – Інтернет-карта лісорубних виділів

Область	Постійний лісокористувач	Номер лісорубного квитка	Початок дії лісорубного квитка	Строк закінчення заготівлі	Локація	Вид, спосіб рубки	Квартал, виділ, ділянка	Площа, га	Господарство	Запас деревини, дозволений до заготівлі, куб.м.	
										всього	в т. ч. ліквідної
Львівська	Радохівське ЛМГ	017227	13.07.2020	31.12.2020	Лопатин	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	57 кв (8 вид) 3 діл.	1	хв	159	142
Львівська	Радохівське ЛМГ	017227	13.07.2020	31.12.2020	Лопатин	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	57 кв (9 вид) 1 діл.	0,9	хв	146	129
Львівська	Радохівське ЛМГ	017229	13.07.2020	31.12.2020	Бабичівське	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	8 кв (19 вид) 5 діл.	0,6	хв	126	111
Львівська	Радохівське ЛМГ	017229	13.07.2020	31.12.2020	Бабичівське	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	64 кв (10 вид) 5 діл.	0,8	хв	214	194
Львівська	Самбірське ЛГ	015562	10.07.2020	10.10.2020	Опацке	Вибіркова санітарна рубка	79 кв (4 вид) діл.	7,3	хв	251	251
Львівська	Самбірське ЛГ	015564	14.07.2020	14.10.2020	Черкавське	Вибіркова санітарна рубка	7 кв (36 вид) 3 діл.	1	хв	59	59
Львівська	Самбірське ЛГ	015567	20.07.2020	20.10.2020	Черкавське	Вибіркова санітарна рубка	47 кв (8 вид) діл.	1,3	хв	19	19
Львівська	Самбірське ЛГ	015573	03.08.2020	03.11.2020	Черкавське	Вибіркова санітарна рубка	10 кв (64 вид) 1 діл.	5	тп	132	132
Львівська	Самбірське ЛГ	015577	07.08.2020	07.11.2020	Опацке	Вибіркова санітарна рубка	59 кв (13 вид) діл.	4,5	хв	352	352
Львівська	Самбірське ЛГ	015576	07.08.2020	07.11.2020	Рудівське	Вибіркова санітарна рубка	19 кв (20 вид) діл.	8	тп	97	97
Львівська	Самбірське ЛГ	015571	27.07.2020	31.12.2020	Мостиське	Прорідкування	2 кв (35 вид) діл.	2,3	хв	40	40
Львівська	Самбірське ЛГ	015572	29.07.2020	31.12.2020	Підбузьке	Прорідкування	12 кв (8 вид) діл.	2,6	хв	18	18
Львівська	Самбірське ЛГ	015572	29.07.2020	31.12.2020	Підбузьке	Прорідкування	27 кв (5 вид) діл.	2,4	хв	19	19
Львівська	Самбірське ЛГ	015563	14.07.2020	31.12.2020	Опацке	Прохідна рубка	68 кв (3 вид) діл.	2,8	хв	78	78
Львівська	Самбірське ЛГ	015568	20.07.2020	31.12.2020	Комарнівське	Прохідна рубка	43 кв (7 вид) діл.	4,2	хв	62	62
Львівська	Самбірське ЛГ	015570	27.07.2020	31.12.2020	Судовишнянське	Прохідна рубка	30 кв (32 вид) 1 діл.	6	хв	145	145
Львівська	Самбірське ЛГ	015575	03.08.2020	31.12.2020	Судовишнянське	Розчищення ЛЕП - Вибіркове	11 кв (24 вид) 3 діл.	0,1	хв	18	18
Львівська	Самбірське ЛГ	015574	03.08.2020	31.12.2020	Судовишнянське	Рубка переформування, вибіркової	28 кв (7 вид) 2 діл.	9,8	тп	286	286
Львівська	Сколівське ЛГ	011122	14.07.2020	31.12.2020	Гребенівське	Вибіркова санітарна рубка	3 кв (50 вид) 5 діл.	1,6	хв	240	240
Львівська	Сколівське ЛГ	011120	14.07.2020	31.12.2020	Довжківське	Вибіркова санітарна рубка	14 кв (7 вид) 3 2020 діл.	2	хв	22	22
Львівська	Сколівське ЛГ	011130	24.07.2020	31.12.2020	Козівське	Вибіркова санітарна рубка	22 кв (13, 6 вид) діл.	3,6	хв	264	264
Львівська	Сколівське ЛГ	011128	21.07.2020	31.12.2020	Орієвське	Рівномірно-поступова рубка, двопримінальний прийом	9 кв (1 вид) 4 діл.	0,7	тп	201	201

Рисунок 6. – Фрагмент «Перелік спеціальних дозволів (лісорубних квитків) на заготівлю деревини за 2020 рік (звітний період з 10.07.2020 по 10.08.2020)»

2. ПРИНЦИПИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОСЛИННОСТІ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ

2.1. Спектральні особливості сонячного випромінювання

Датчики, встановлені на штучних супутниках Землі, реєструють сонячне випромінювання, відбите від земної поверхні, або випромінювання, відбите від поверхні, що освітлюється штучно згенерованим джерелом. Розглянемо основні фізичні принципи поширення променистої енергії в атмосфері Землі та умови відбиття цієї енергії від рослинного покриву.

Сонце є головним джерелом тепла і світла, яке надходить в атмосферу та на поверхню Землі. Частина сонячного випромінювання перетворюється на тепло в атмосфері та на поверхні земних об'єктів. Інша частина променистої енергії Сонця сприймається як видиме світло.

При падінні потоку випромінювання $Q_{\text{вп}}$ на поверхню певного тіла в загальному випадку частина потоку $Q_{\text{вд}}$ відбивається від тіла, значна частина $Q_{\text{вп}}$ поглинається ним, а деяка частина $Q_{\text{вд}}$ може проходити крізь тіло (рис. 7). Таким чином, закон збереження енергії описується рівнянням:

$$Q_{\text{вп}} = Q_{\text{вд}} + Q_{\text{вп}} + Q_{\text{вд}} \quad Q_{\text{вп}} = Q_{\text{вд}} + Q_{\text{вп}} + Q_{\text{вд}}$$

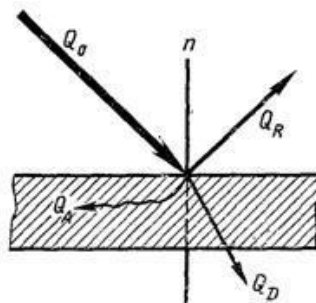


Рисунок 7 – Розподіл променистої енергії, яка потрапляє із зовнішнього простору на довільне тіло

Важливою характеристикою для реалізації ідеї дистанційного зондування Землі є відбивна здатність об'єкта, яка визначається як відношення потоку енергії, відбитої поверхнею тіла, до потоку енергії, що надходить на цю

поверхню із зовнішнього середовища.

Іншими важливими характеристиками є параметри, що описують процеси поглинання та пропускання енергії тілом. Вони залежать від геометричної форми об'єкта, його фізичних властивостей, кута опромінення та довжини хвилі падаючого випромінювання.



Рисунок 8 – Спектр сонячного випромінювання

Спектр сонячного випромінювання наведено на рис. 8. На ньому виділено діапазони, що є найбільш важливими для здійснення дистанційного зондування Землі. Передусім це видимий діапазон спектра, а також інфрачервоний, мікрохвильовий і радіохвильовий діапазони невидимої частини спектра.

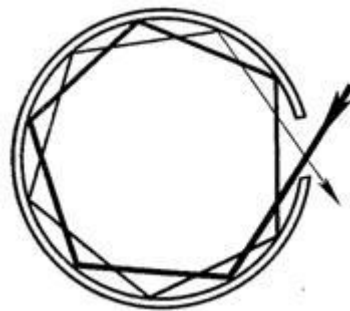


Рисунок 9 – Модель абсолютно чорного тіла

Кількість і спектр випромінюваної енергії такого абсолютно чорного тіла визначається тільки його температурою. За температури T абсолютно чорне тіло випромінює енергію за законом 4.

Спектр сонячної радіації близький до спектру випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою 5800°K . При такій температурі показовим є графік сонячного випромінюваного блиску в залежності від довжини хвилі (рис. 10).

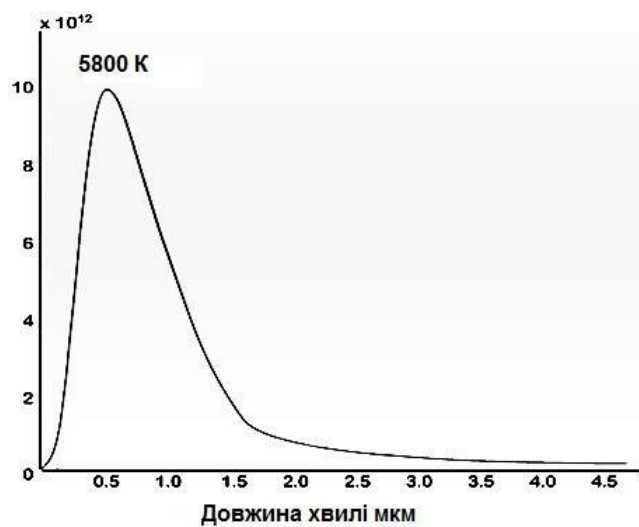


Рисунок 10 – Розподіл довжин хвиль сонячного випромінювання

Частина енергії, що випромінюється фотосферою Сонця, поглинається в його хромосфері, внаслідок чого в спектрі з'являються лінії поглинання, так звані фраунгоферові лінії.

Видима ділянка електромагнітного випромінювання, або, як іще називають, видимий спектр, - та частина випромінювання, яку здатне вловлювати людське око. Промениста енергія, яку випромінює Земля, відповідно до своєї температури, має більш значну довжину хвиль. Близько 99 % енергії випромінювання Землі та атмосфери припадає на інтервал довжини хвиль від 3 до 80 мкм. Максимальне випромінювання припадає на довжину хвиль 10-15 мкм. У зв'язку з цим випромінювання Землі та атмосфери називається довгохвильовим.

Таблиця 1. – Довжини хвиль, що відповідають різним кольорам.

Колір	Довжина хвилі, мкм	Колір	Довжина хвилі, мкм
Фіолетовий	0,390-0,455	Жовтий	0,575-0,585
Синій	0,455-0,485	Оранжевий	0,585-0,620
Блакитний	0,485-0,505	Червоний	0,620-0,760
Зелений	0,505-0,575		

У видимому спектрі найбільша довжина хвилі належить червоному діапазону а найкоротша фіолетовому (Рис.11)



Рисунок 11 – Діапазони видимого спектрального випромінювання

Пік земного теплового випромінювання знаходиться на довжині хвилі в 10 мкм, а це є термальна інфрачервона область. Найбільш значна частина випромінювання знаходиться в діапазоні довжин хвиль від 3 до 100 мкм.

Отже, всі об'єкти випромінюють теплову енергію, допоки їхня температура не менша абсолютного нуля.

2.2. Взаємодія атмосфери та земної поверхні з випромінюваною сонячною енергією

На об'єкти падає випромінювання різних довжин хвиль, але лише частина його відбивається і може бути зафіксована сенсорами або сприйнята людським оком. Інша частина енергії поглинається об'єктами або перетворюється на інші

форми енергії (теплову, хімічну тощо). Саме завдяки цим фізичним процесам ми сприймаємо різні об'єкти у різних кольорах.

Ці принципи лежать в основі формування космічних зображень. Наприклад, у RGB-моделі кольорове зображення формується шляхом синтезу трьох спектральних каналів: червоного (Red), зеленого (Green) та синього (Blue). На рисунку 12 показано різні варіанти взаємодії падаючого сонячного випромінювання з матерією.

При дистанційному зондуванні сенсор фіксує лише відбиту та теплову енергію в межах певних діапазонів довжин хвиль. Водночас сенсор перетворює величину відбитої енергії на цифровий сигнал, зазвичай у 8-бітному діапазоні яскравості від 0 до 255 [5].

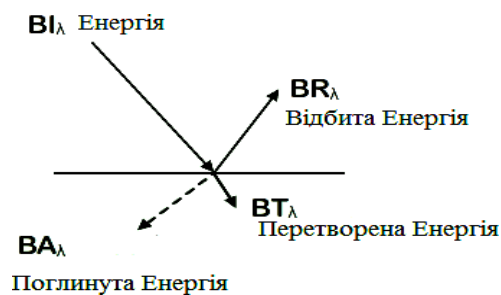


Рисунок 12 – Схема взаємодії Сонячного випромінювання та земної поверхні. Отже, при отриманні будь-якого зображення в дистанційному зондуванні сенсор може вловлювати лише відбиту та теплову енергію з різними довжинами хвиль. В той же час сам сенсор масштабує порцію відбитої енергії за певним ступенем яскравості, зазвичай в діапазоні значень

від 0 до 255 [5].

Як видно з рисунку 13, сонячне випромінювання при проходженні атмосфери зазнає таких процесів:

- Розсіювання та відбиття хмарами та атмосферними газами;

- Поглинання поверхнею Землі (сушею та водними поверхнями, океанами);
- Атмосферна абсорбція пилом, газами та іншими аерозолями.

Врахування цих процесів є ключовим для корекції космічних знімків та отримання точних спектральних даних для аналізу рослинності й інших об'єктів земної поверхні. Рис.13

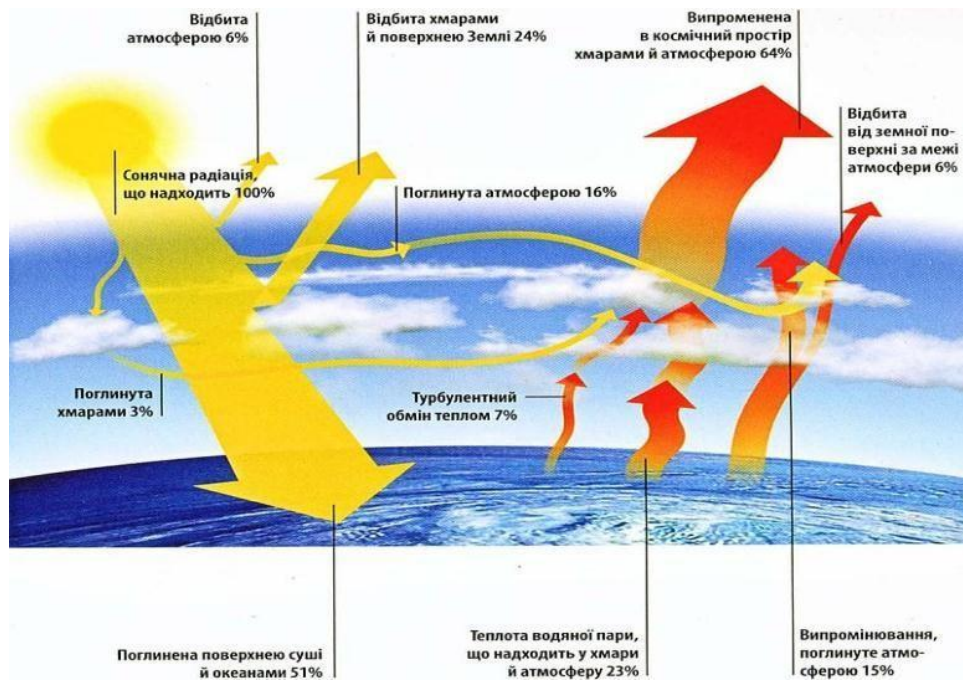


Рисунок 13 - Схема проходження сонячного випромінювання крізь атмосферу

2.2.1. Спектральні характеристики та спектральна здатність об'єктів

Значення відбитої енергії для різних об'єктів є різним на всій довжині хвиль, і його можна зобразити як графік відбивної здатності, що притаманна конкретному виду об'єктів. Такі відповідники називають спектральними характеристиками або спектральними сигнатурами. Для класифікації об'єктів використовується їхня спектральна здатність. Усе різноманіття об'єктів у

ландшафті прийнято розділяти на чотири класи, кожний з яких відрізняється своєю кривою спектральної яскравості (СЯ) (рис. 14):

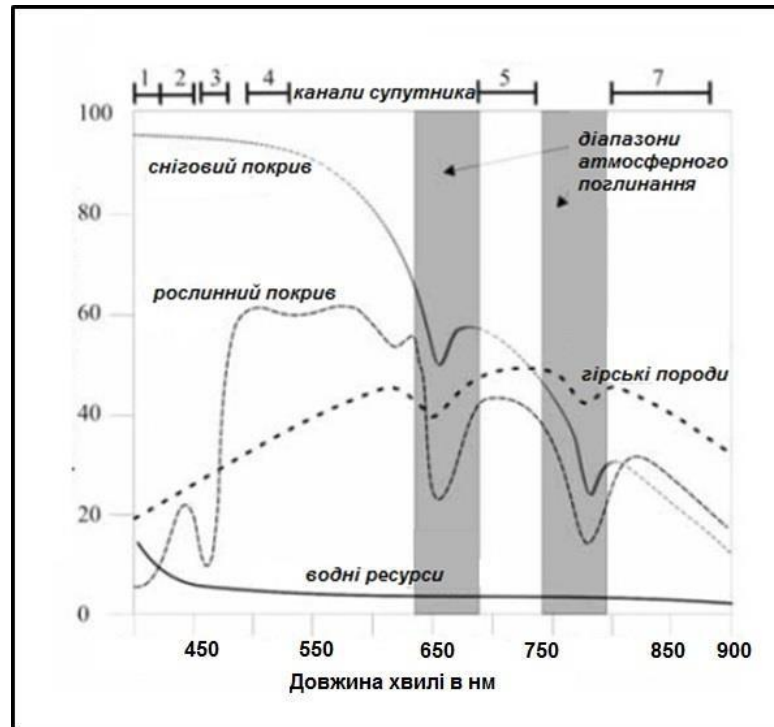


Рисунок 14 – Графік відбивної здатності об'єктів

- 1 клас (гірські породи та ґрунт) характеризується збільшенням спектральної яскравості в міру наближення до червоної зони ЕМ спектра;
- 2 клас (рослинний покрив) відрізняється характерним максимумом відбивної здатності в зеленій, мінімумом – у червоній і різким збільшенням відбиття в ближній ІЧ зонах;
- 3 клас (водні поверхні) характеризується монотонним зменшенням відбивної здатності від синьо-зеленої до червоної зони спектра, оскільки хвилі зі збільшенням довжини сильніше поглинаються водою;

- 4 клас (снігові поверхні й близькі до них хмари) має найбільш високі значення СЯ з невеликим зниженням у ближній ІЧ зоні. Зниження різко збільшується при насиченні снігу водою.

2.2.2 Спектральні відповідності рослинного покриву.

Виконати детальну ідентифікацію видів та стану рослинних мас стає можливим, знаючи типові особливості відбиття, поглинання та виділення тепла цими рослинами. Така ідентифікація виконується шляхом порівняння спектральних образів рослин різних видів з відповідними спектральними образами зафіксованих на знімку об'єктів. Також слід враховувати характер змін цих властивостей під впливом різних природних та антропогенних факторів.

Рослинний покрив за спектральними характеристиками має чітку відмінність від водних, ґрунтових, снігових покривів та від зображення виходів на поверхню гірських порід (рис.14). Головною причиною, яка визначає цю відмінність є здатність листя відбивати, поглинати та пропускати електромагнітне випромінення різних довжин хвиль. Найбільше такі відмінності проявляються на межі переходу від видимого діапазону електромагнітного спектра до його ближньої інфрачервоної зони.

У видимому діапазоні відбувається досить сильне поглинання з максимумом відбивної здатності в зеленій частині спектра. Поглинання й відбиття відбуваються в молекулах хлорофілу. Хлорофіл поглинає сонячне випромінювання синьої й червоної частин спектра, а – зелені промені в основному відбиває [22]. Цим пояснюється локальний максимум спектральної кривої у цій зоні. У ближньому ІЧ діапазоні спостерігається максимум відбивної здатності рослинності, як це показано на рис. 15. Величина відбиття в основному залежить від виду рослинності [13].

Із подальшим збільшенням довжини хвилі відбивна здатність зеленої рослинності знову знижується. Потік сонячної енергії цієї частини спектра поглинається структурною водою листка. При цьому є два характерні мінімуми – близько 1,43 і 1,93 мкм, що збігаються з аналогічними смугами поглинання для води. Вміст води в листках впливає на конфігурацію кривої спектрального відбиття. Чим воно нижче, тим сильніша відбивна здатність у видимому діапазоні й тем менша в ближньому ІЧ діапазоні.

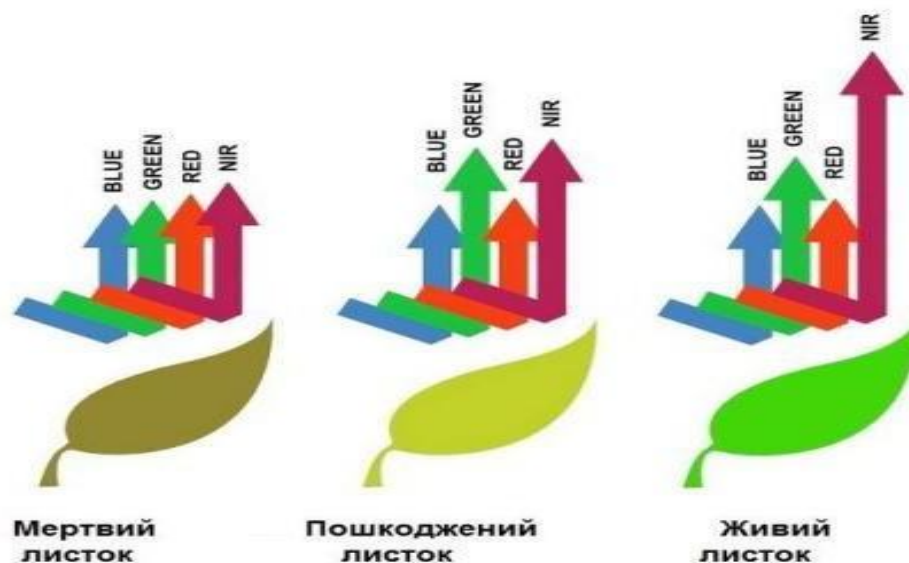


Рисунок 15 – Візуальне представлення відбивної здатності листя в різних зонах спектру

Особливості спектральних образів зеленої рослинності, яку формує листкова частина рослин по різному проявляються для різних видів рослинності. Це проявляється у положенні піка спектра та в загальній конфігурації кривої спектрального відбиття. Ці особливості, а також інші характеристики, такі як текстура, колір, тон дозволяють ідентифікувати різні види рослин та визначати їхній стан.

Спектральні характеристики рослинності не є постійними протягом року і також протягом вегетаційного сезону. Для різних видів рослин відомі свої характерні періоди, коли особливості їхніх спектральних образів проявляються найбільш чітко. Саме в ці періоди доцільно виконувати дистанційне зондування, а його результати найбільш придатні для достовірного розпізнавання стану рослинності [23].

Рослини реагують на зміни зовнішніх умов зміною пігментації, структури мезофілу, вмісту вологи в листках і т.д. Така реакція особливо відчутна в екстремальних ситуаціях, наприклад, при різкій зміні рівня ґрунтових вод, засоленості або забрудненості ґрунту, зневодненні. Нестача опадів приводить, зокрема, до зміни структури листя рослини. Наслідком цього буде різке падіння відбивної здатності рослин у ближній ІЧ ділянці спектра. На рис. 16 показана спектральна відбивна здатність здорових (крива 1) і ушкоджених (крива 2) листків.

Фізіологічний стрес у рослин призводить до різкого зменшення рівня хлорофілу, що у свою чергу провокує зменшення рівня поглинання та відповідного збільшення рівня відбиття сонячного випромінювання в синій та червоній частинах спектра. При цьому перестає проявлятися локальний максимум у зеленій частині спектра й рослини втрачають зелений колір. Таким чином, графік спектрального відбиття в рослин, що перебувають у несприятливих умовах, стає більш плавним, без вираженого стрибка на рівні довжин хвиль понад 0,70мкм, а поріг зміни відбивної здатності при переході від червоної до ближньої ІЧ ділянки спектру помітно зменшується, як це видно на рис. 16.

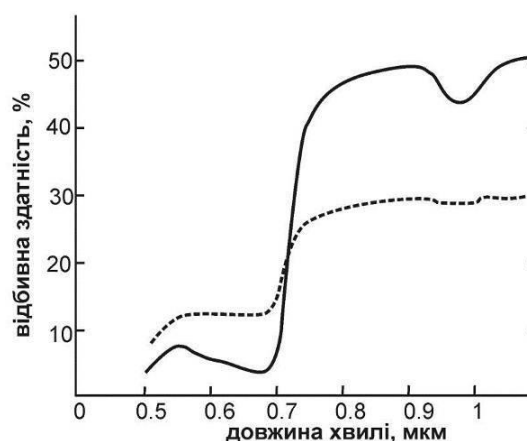
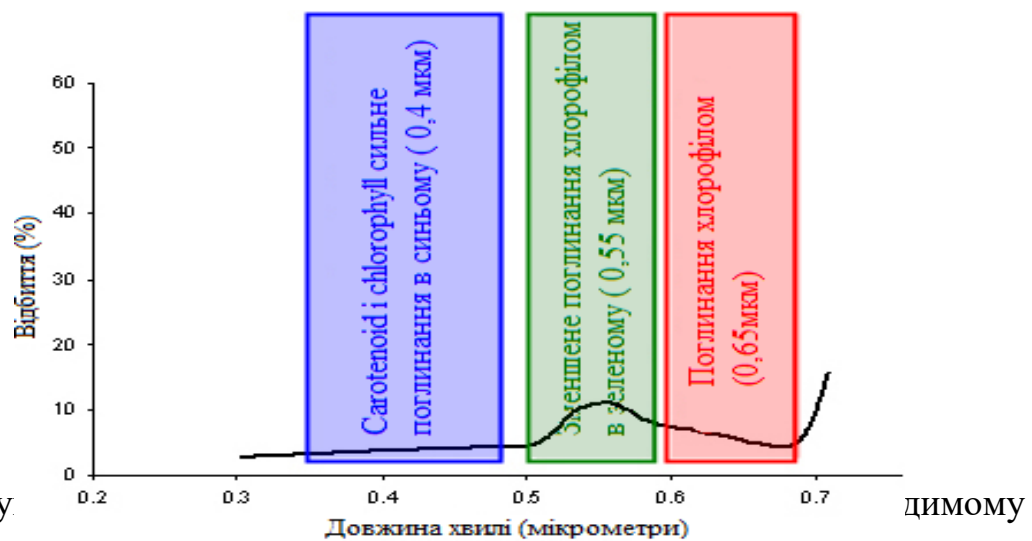


Рисунок 16 – Спектральна відбивна здатність здорових (суцільна лінія) і ушкоджених (пунктирна лінія) листків

Видимий спектр. Видима частина відбивного спектру (0,4 мкм – 0,7 мкм) рослинного покриву залежить від пігментів в зеленому листі. Пігмент є будь-якою речовиною, яка поглинає світло. Колір пігменту визначає довжину відбитої цією речовиною хвилі. Хлорофіл є основною поглинаючою речовиною у видимій ділянці, зокрема у видимому червоному діапазоні з довжиною хвилі 0,6 мкм – 0,7 мкм. Хлорофіл називають зеленим пігментом для всіх фотосинтезуючих клітин. Каротин (від жовтого до оранжево – червоного пігменту, який присутній в деяких квітах фруктів та листях без хлорофілу) та ксантофілл (відповідає за колір листя восени) має сильне поглинання в 0,35 – 0,5 мкм, це довжина хвилі синього світла.



спектрі Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання поділяють на такі ділянки:

- Near-infrared, NIR 0,75-1,4 мкм
- Short-wavelength infrared, SWIR 1,4-3 мкм
- Mid-wavelength infrared, MWIR 3-8 мкм
- Long-wavelength infrared, LWIR 8-15 мкм
- Far-infrared, FIR 15-1000 мкм

Ближній ІЧ-діапазон (NIR) слабо поглинається атмосферою. В межах короткохвильового ІЧ-діапазону (SWIR) розміщені смуги поглинання води (1,45 мкм та інші). В атмосфері Землі молекули води затрудняють зондування в SWIR-діапазоні з космічних апаратів. Проте в цій частині ІЧ-діапазону випромінення слабо розсіюється частинками пилу і диму. Це дозволяє використовувати ІЧ-камери SWIR-діапазону для спостереження в умовах задимлення, наприклад при лісових пожежах. Середньохвильовий ІЧ діапазон (MWIR) називається також тепловим, оскільки сильно нагріті тіла починають випромінювати в цьому діапазоні.

Оптичні властивості в NIR спектральному діапазоні (від 0,7 мкм до 1,4 мкм) пояснюється структурою листя. Губчаста клітина мезофілу, яка розташована всередині або зовні листка відбиває достатньо велику частину світла ближньої інфрачервоної ділянки. В близькому інфрачервоному спектрі інтенсивність відбитої хвилі значно більша ніж інтенсивність відбитої хвилі будь-якого іншого неорганічного матеріалу, тому рослинність набагато яскравіша в близькій інфрачервоній ділянці (рис.18).

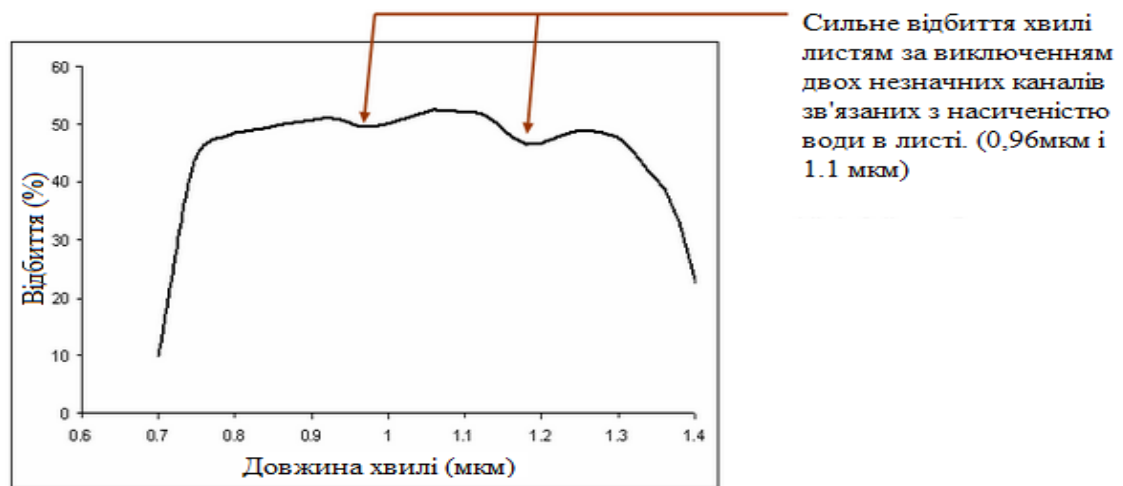


Рисунок 18 - Спектр відбиття для зеленого листя в ближній інфрачервоній ділянці

Червоний край проявляється в області різкої зміни коефіцієнта відбиття вегетуючої рослинності в ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектру (рис.19). Хлорофіл, що міститься в рослинності,

поглинає більшу частину світла у видимій частині спектру, але стає майже прозорим на довжинах хвиль, що перевищують 700 нм. Таким чином, клітинна структура рослинності бере важливу участь у відбиванні світла, бо кожна клітина діє як елементарний клітинковий відбивач. Це приводить до різких змін характеру відбиття, які можуть складати від 5% до 50% від відбивної здатності в ділянці довжин хвиль між 680 нм та 730 нм. Це явище полягає у високій яскравості листя на інфрачервоному знімку та широко використовується при розрахунку так званих індексів рослинності (до прикладу нормалізований різницевий вегетаційний індекс, NDVI). NDVI, як індекс нормованої різниці між відображенням в червоній видимій ділянці (0,6 мкм) та NIR (0,8 мкм). Також ділянку червоного краю використовується для оцінки вмісту хлорофілу в листі або рослинному покриві [26].

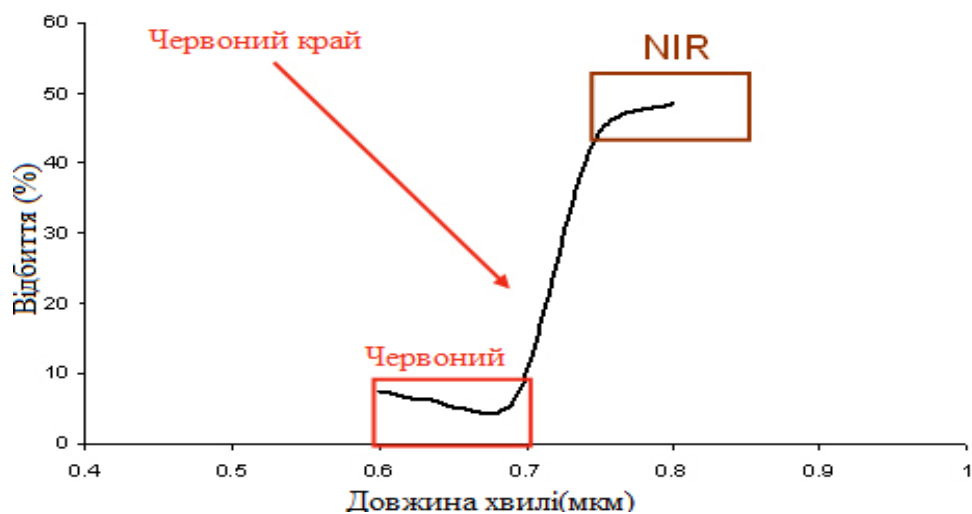


Рисунок 19 – Спектр відбиття зеленого листя в зоні переходу від видимої червоної до близької інфрачервоної ділянок

Властивість ефекту червоного краю є рішенням для реалізації обчислень більшості вегетаційних індексів з найбільш якісними результатами для детального розпізнавання типу рослинності.

Лінія ґрунту. Концепція, яку називають лінією ґрунту, є залежністю між відбивною властивістю відкритого ґрунту в ближньому інфрачервоному (NIR) і червоному (R) частинах спектру.

(5)

$$\text{NIR} = \beta_1 R + \beta_0,$$

де β_1 - кутовий коефіцієнт; β_0 – лінійне зміщення (величина відрізка, який відсікає пряма на осі ординат, рахуючи від початку координат, рис. 14).

Ґрунтова лінія - це лінія в спектральному просторі, яка описує варіацію спектра відкритого ґрунту на знімку. Лінія може бути визначена через визначення двох або більше еталонів відкритого ґрунту на знімку, що мають різне відображення і визначення найбільш підходящої лінії в спектральному просторі. Kauth і Thomas (1976) описали знаменитий "трикутний регіон, у формі «ковпака з пензликом» (tasseled cup) в RED-NIR спектральному просторі даних. Вони виявили, що найвища точка трикутника (яка лежить в області низького відображення в червоній області спектра і високого відбивання в ближньому інфрачервоному) відповідає районам з рясною рослинністю, а плоска частина трикутника лежачи навпроти кінця трикутника

- відповідає ділянкам відкритого ґрунту (рис. 20) .

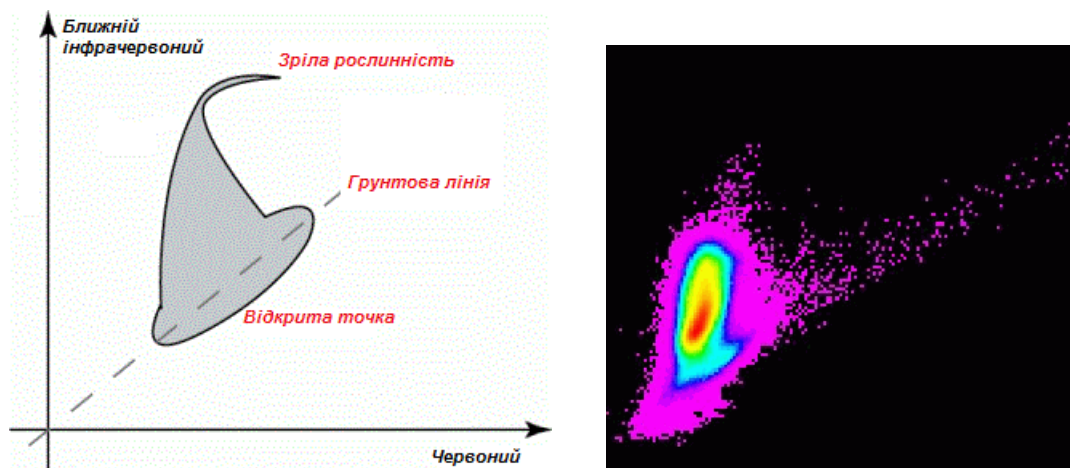


Рисунок 20 – Графік розподілу червоного (вісь X) та ближнього інфрачервоного (вісь Y) каналів в Landsat

Простий спосіб попиксельного розрахунку RED-NIR для визначення ґрунтової лінії: створити графік розподілу червоного та інфрачервоного каналу зображення. Рекомендується призначити червоному каналу вісь X і -

інфрачервоному каналу - вісь Y.

2.3. Класифікація як метод обробки багатоспектральних супутникових зображень

Класифікація зображень має в основі гіпотезу про те, що зображений на багатоспектральному знімку об'єкт характеризується притаманною саме для нього сукупністю кількісних ознак, бо кожен об'єкт земної поверхні має свою відбивну здатність в різних зонах спектра. Ці ознаки утворюють так звану сигнатуру. Таким чином, класифікація - автоматизований поділ всіх пікселів знімка на групи або класи, що відповідають різним об'єктам за спектральними ознаками на основі відмінностей в значеннях спектральної яскравості.

Яскравості пікселя по каналах багатоспектрального зображення, впорядковані за зростанням довжини хвилі електромагнітного спектра, графічно зображують як спектральний профіль [31] (рис.21).

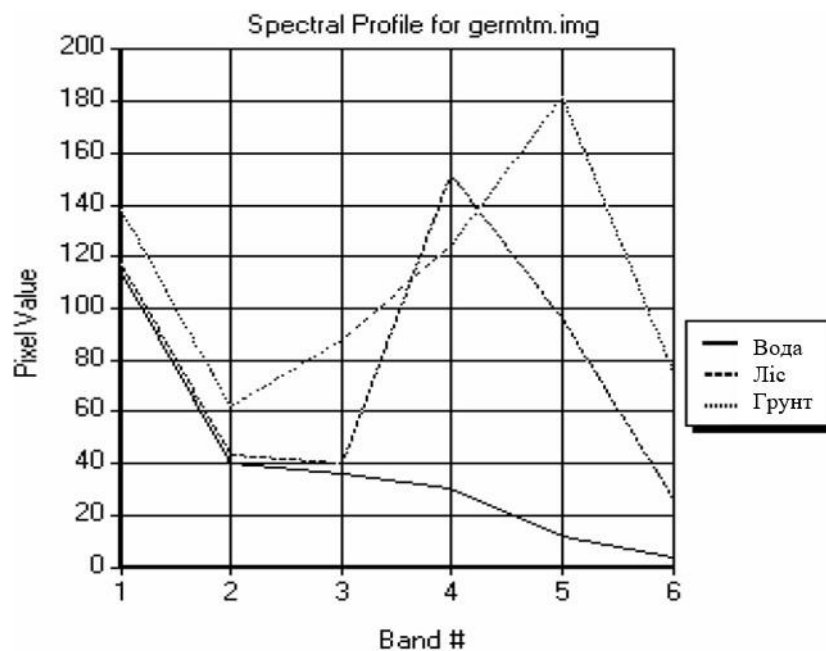


Рисунок 21 – Спектральні профілі води, лісу і ґрунту в 6 каналах сенсора ETM+ (супутник Landsat-7):

- 1 - 1. 0.45 – 0.52мкм; 2. 0.52 – 0.60мкм; 3. 0.63 – 0.69мкм;
4. 0.76 – 0.90мкм; 5. 1.55 - 1.75мкм; 6. 2.09 – 2.35мкм.

Цей графік є кусково-лінійною апроксимацією кривої спектральної відбивної здатності об'єкта в залежності від довжини хвилі. Цю криву називають спектральним образом пікселя (або просто спектром).

На багатоспектральних зображеннях кожен піксель описується n -мірним вектором яскравостей

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

(6)

де n – кількість спектральних діапазонів (каналів) багатоспектрального зображення.

Таким чином відбувається перехід від координат X, Y площини зображення до яскравісних координат, які задають так званий простір яскравісних ознак або просто простір ознак (Feature Space) (рис. 22).

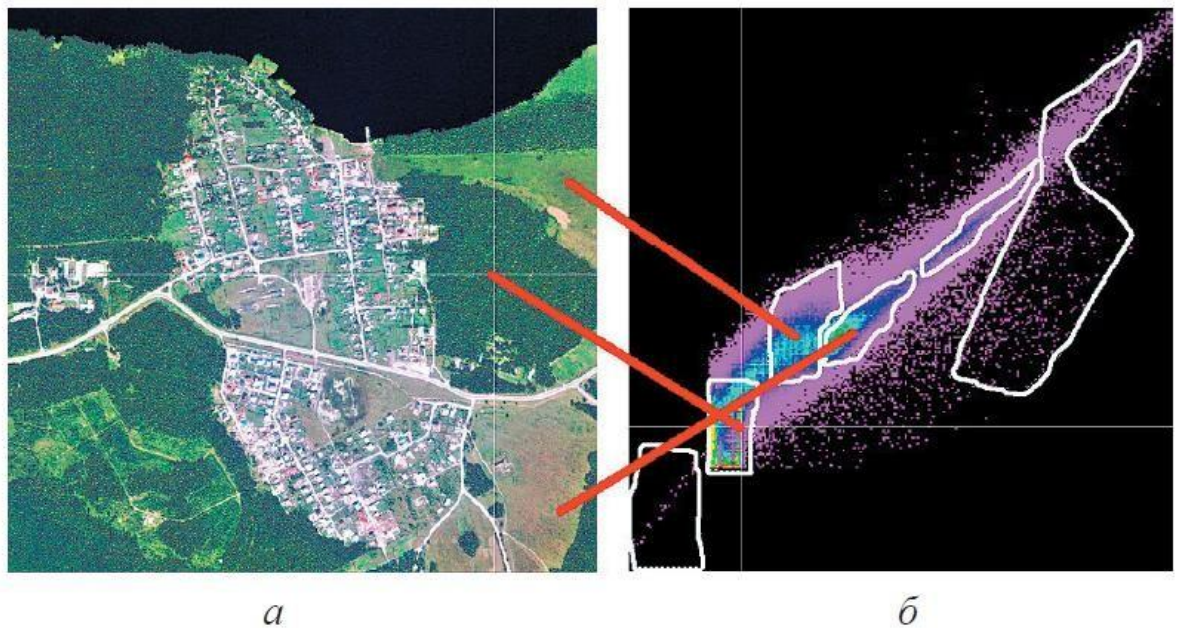


Рисунок 22 – Космічний знімок SPOT 4 (а) і об'єкти простору ознак (б)

Приклад трансформації двоканального растрового знімка в зображення простору ознак показано на рис. 4. По осям OX та OY (рис. 22, б) відкладені значення яскравостей в першому і другому каналах. Колір показує кількість точок на знімку з відповідними координатами. Чим більше насичений колір, тим більше пікселів з такою яскравістю присутні на зображенні.

Якщо представити значення яскравості по n каналах в виді n -мірного вектора x , то спектральний образ пікселя буде відображено точкою в n -мірному просторі спектральних яскравостей, який називають простором ознак. Вектор координат пікселя в цьому просторі називають спектральною сигнатурою пікселя. Набір спектральних сигнатур, який достовірно описує певний клас об'єктів, називають сигнатурою класу.

На практиці застосовують такі відомі методи класифікації, як метод кластеризації ISODATA, метод прямокутників, метод відстаней Махаланобіса, метод максимальної правдоподібності, метод мінімальних відстаней. Ці методи за реалізацією поділяють на класифікації без навчання (неконтрольована, *unsupervised classification*) і з навчанням (контрольована, *supervised classification*).

Методи некерованої класифікації засновуються на кластерному аналізі. Пікселі зображення розбиваються на класи, кількість яких визначають за кількістю піків на гістограмі яскравостей.

Методи керованої класифікації використовують наперед визначені оператором еталонні значення спектральної яскравості об'єктів. Інтерактивне задання цих еталонів називають навчанням. В процесі класифікації значення яскравості кожного пікселя порівнюються з еталонними і піксель відносять до найбільш підходящого класу. Якість навчання оцінюють за правильністю класифікації еталонних ділянок. Такі методи використовують, коли є достовірні наземні (заміркові) дані, не надто багато класів об'єктів (до 30) і вони чітко розрізняються на знімку.

Розглянемо часто вживаний метод некерованої класифікації (метод ISODATA). Алгоритм кластеризації ISODATA (*Iterative Self-Organising Data*

Analysis Technique - ітераційна самоорганізована методика аналізу даних) призначено для розділення заданої множини образів на підмножини (кластери). Критерієм віднесення пікселів до того чи іншого кластера є тільки схожість спектральних характеристик. Процес класифікації відбувається при деяких заданих початкових умовах а саме кількості створюваних кластерів N , порогу завершення процесу класифікації T (порог сходимості, або максимальний процент пікселів, значення яких можуть залишатись незмінними між ітераціями) та M — максимальна кількість ітерацій, яка буде виконана.

Перед першою ітерацією розраховують статистичні параметри розподілу яскравості всього знімка в кожній спектральній зоні: мінімальне, максимальне і середнє значення, стандартне відхилення за формулою

$$(7) \quad \sigma_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{\lambda i}^* - B_{\lambda m}^*)^2}{n-1}},$$

де n - кількість значень яскравості пікселів в межах класу, $B_{\lambda m}^*$ - середнє значення яскравості, $B_{\lambda i}^*$ - значення яскравості пікселя i .

Далі весь простір спектральних ознак ділять на N рівних частин (рис.23).

Точками на графіку позначені гіпотетичні центри кластерів.

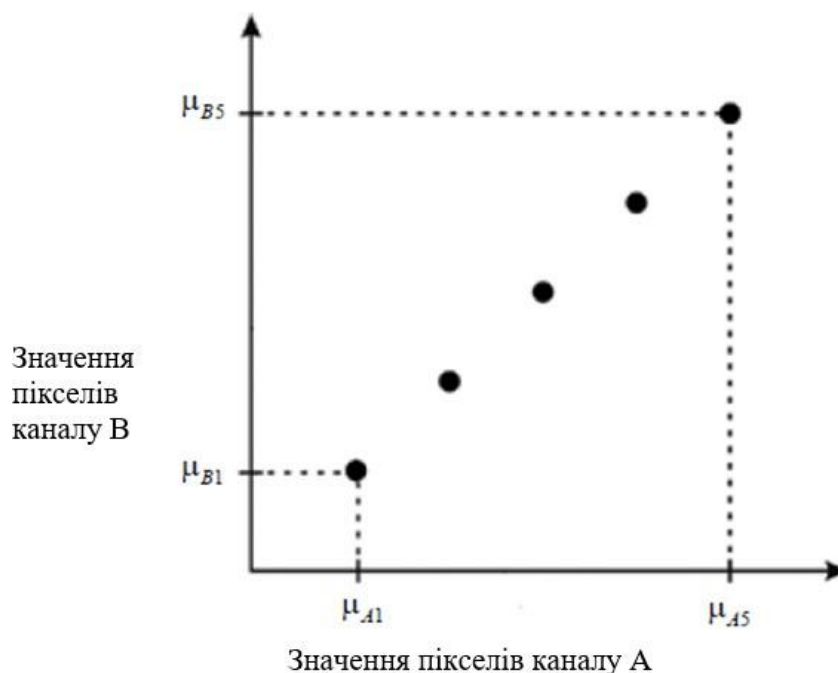


Рисунок 23 – Початкове розбиття простору ознак на кластери

На першій ітерації кластеризації: для значень яскравості всіх пікселів починаючи з лівого верхнього кута і закінчуючи правим нижнім розраховують спектральні відстані d до середніх значень і кожен піксель відносять в найближчий до нього кластер. Можливі варіанти вибору способу розрахунку відстані: мінімальна евклідова відстань, відстань Махаланобіса чи інше. В результаті отримаємо перше наближення кластеризації, рис. 24.

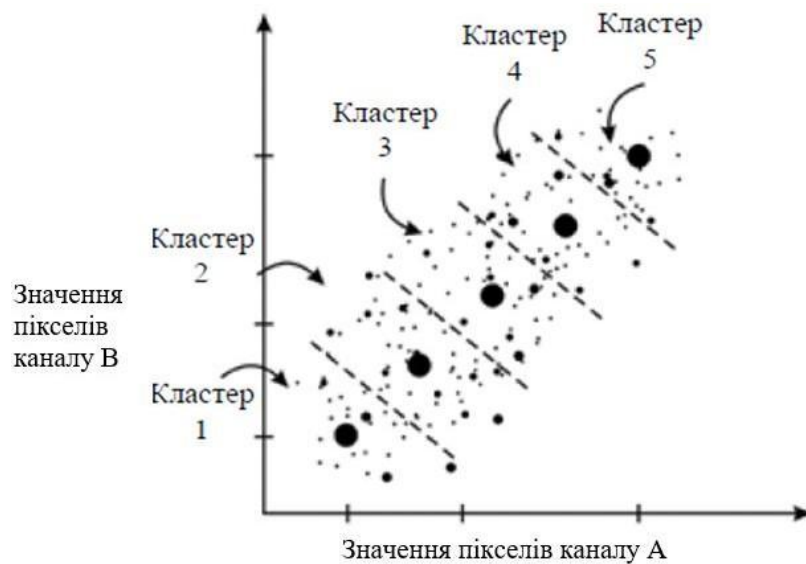


Рисунок 24 – Початкове розбиття на кластери

Завершують першу ітерацію розрахунком реальних середніх значень спектральних ознак в отриманих кластерах. Це будуть нові координати для центрів кожного кластера:

$$\mu_i = \frac{1}{L_i} \sum_{j=1}^{L_i} x_{ij},$$

(8)

де μ_i — середнє значення i -го кластера;

L_i — кількість точок, що знаходяться в кластері на даній ітерації;

x_{ij} — координати точок (значення яскравості пікселів), віднесених до i -го

кластера.

На другій ітерації повторюють кластеризацію з новими середніми значеннями і уточнюють границі кластерів. Результат цієї ітерації призведе до зміни розміщення центрів кластерів і їхніх границь (рис. 25).

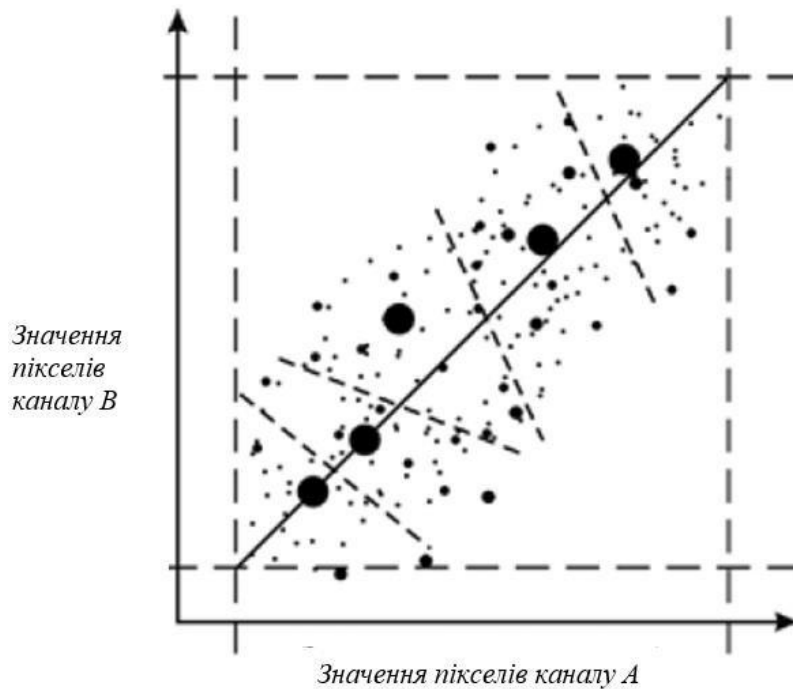


Рисунок 25 – Результат чергової ітерації уточнення кластеризації

Ітерації повторюють до тих пір, поки границі кластерів не стабілізуються, тобто пікселі перестануть переходити з кластера в кластер. Якщо це не відбувається, то спрацьовує встановлений наперед поріг сходимості, який обирають в межах від 95 % до 99 % від кількості всіх пікселів. Якщо стабілізація не відбувається, процес припиняється після виконання іншої обмежуючої умови – максимальної кількості ітерацій.

3. МОНІТОРИНГ СТАНУ ЛІСОВОЇ РОСЛИННОСТІ В КАРПАТСЬОМУ РЕГІОНІ

3.1. Аналіз вхідних даних для дослідження

Як достовірне джерело інформації для вивчення площ лісів в Карпатському регіоні, також простежити тенденцію зміни цих площ в останні роки в першу чергу за рахунок вирубок, нами обрано космічні знімки, отримані з супутника Landsat-8. Дослідження охоплює трирічний період з 2019 по 2021 роки.

Супутник Landsat-8 був запущений 11 лютого 2013 року і досі діє. Landsat-8 збирає 550 сцен на день.

Двома основними датчиками для виконання дистанційного зондування Землі на супутнику Landsat 8 є оперативний супутник землі (Operational Land Imager (OLI)) і тепловий інфрачервоний сенсор (TIRS).

Оперативний супутник Землі (OLI) формує зображення в 9 спектральних діапазонах (діапазони від 1 до 9 в табл.2) з просторовим розрізненням 15, 30 і 60 метрів. Зображення OLI можуть бути використані, щоб розрізнити типи рослинності, штучні покриття, біомасу, водні поверхні тощо.

Тепловий інфрачервоний сенсор (TIRS) формує зображення в 2 теплових діапазонах із просторовою роздільною здатністю 100 метрів. TIRS вимірює власне теплове випромінення Землі, що є особливо корисним для відстеження використання надр землі та водних ресурсів.

Завантаження космічних знімків супутника Landsat 8 нами здійснювалось з геосервісу геологічної служби США (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Цей сервіс надає змогу вибору території покриття знімка, часу його отримання та умов, таких як рівень хмарності та висота Сонця над горизонтом.

Таблиця 2. – Опис каналів багатоспектрального знімка Landsat-8

Номер каналу	Опис	Довжина хвилі	Розрізнення
Band 1	Фіолетовий / Реєструє аерозолі в атмосфері на момент знімання	від 0,433 до 0,453 мкм	30 метрів
Band 2	Видимий синій	Від 0,450 до 0,515 мкм	30 метрів
Band 3	Видимий зелений	Від 0,525 до 0,600 мкм	30 метрів
Band 4	Видимий червоний	від 0,630 до 0,680 мкм	30 метрів
Band 5	Близький інфрачервоний	від 0,845 до 0,885 мкм	30 метрів
Band 6	Коротка довжина хвилі інфрачервоного	1,56-1,66 мкм	30 метрів
Band 7	Коротка довжина хвилі інфрачервоного	2,10 - 2,30 мкм	60 метрів
Band 8	Панхроматичний	від 0,50 до 0,68 мкм	15 метрів
Band 9	Циррус	1,36-1,39 мкм	30 метрів
Band 10 (TIRS)	1-й Інфрачервоний діапазон з великою довжиною хвилі	10,3-11,3 мкм	100 метрів
Band 11 (TIRS)	2-й Інфрачервоний діапазон з великою довжиною хвилі	11,5-12,5 мкм	100 метрів

Ми обрали розташування знімка в маршрутизації USGS: Pass 185, Row 26. Цей знімок має габарити біля 185x185км і покриває практично всю територію України на південь від лінії Белз-Львів-Тернопіль. Відбір безхмарних (хмарність до 6%), добре освітлених знімків (кут Сонця від вертикалі не більше

35°) нами здійснювався двічі – на 19 серпня 2019 року та на 9 вересня 2021 року.

Повні назви відібраних знімків:

- LC08_L1TP_185026_20190819_20200827_02_T1
- LC08_L1TP_185026_20210909_20210916_02_T1.

Відбір знімків за умовами користувача та завантаження багатоспектрального знімка з геосервісу показано на рисунках нижче.

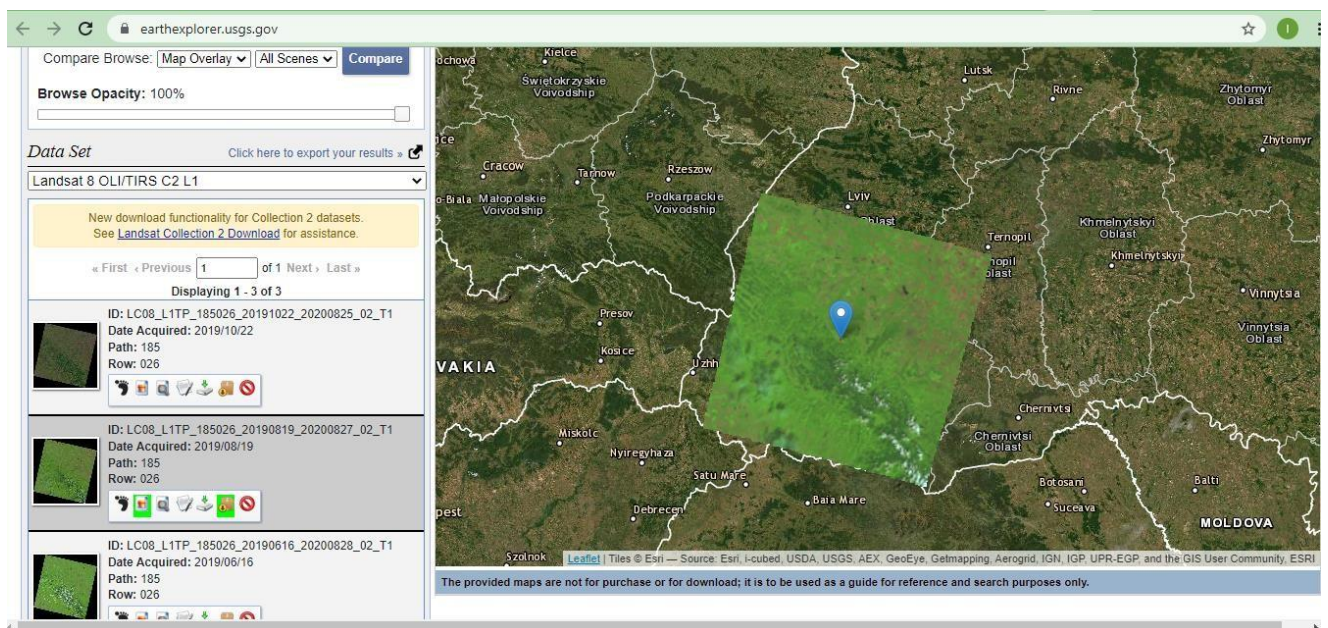


Рисунок 26 - Результат відбору знімків за умовами користувача

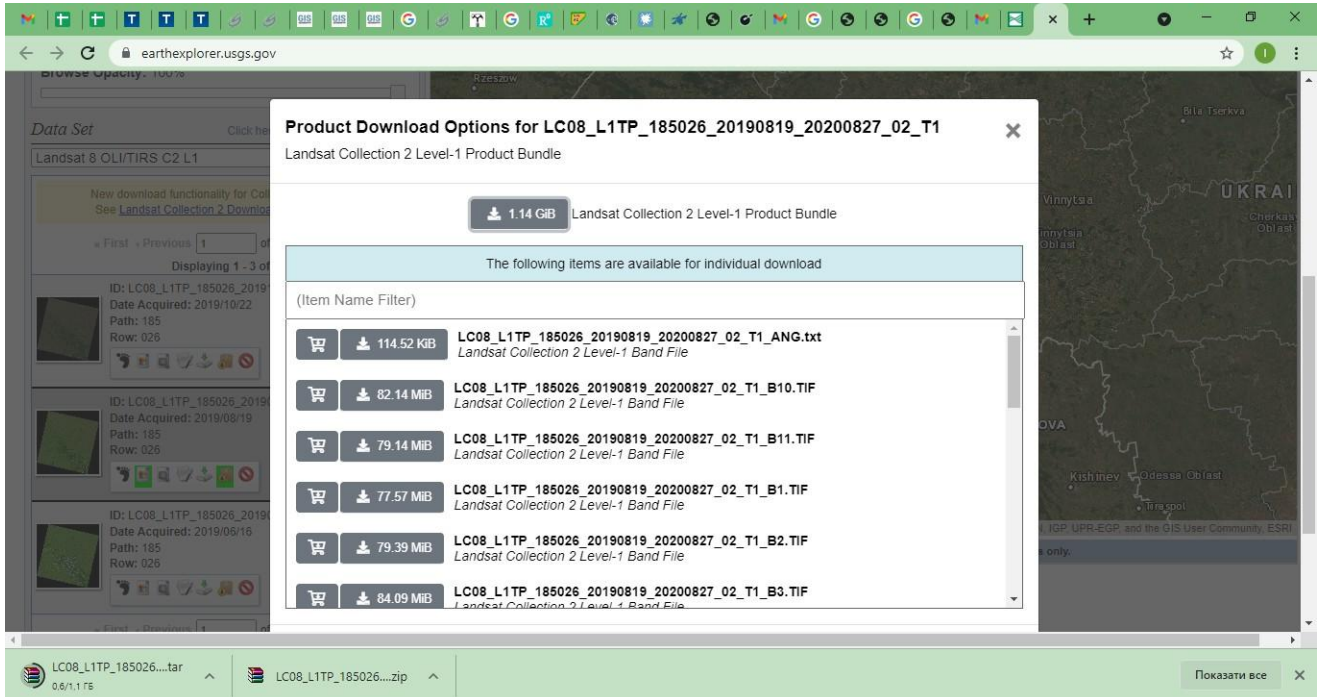


Рисунок 27 – Процес скачування багатоспектрального космічного знімка з геопорталу USGS

Всі знімки мають географічну прив'язку в картографічній проекції UTM WGS84 зона 34, одиниці виміру метри.

Технічні характеристики космічного апарата (КА) Landsat-8 та встановленої на ньому знімальної апаратури подаються в таблицях 3 і 4.

Таблиця 3 – Технічні характеристики супутника Landsat-8

Назва супутника	Landsat-8
Країна	США
Розробники	Orbital Sciences Corporation (OSC) (США; кол.назва General Dynamics Advanced Information Systems); Ball Aerospace (США)
Оператор	NASA, USGS (США)
Дата запуску	11.02.2013

Ракета-носій (РН)	Atlas 5
Орбіта:	Сонячно-синхронна 705
висота, км нахил, град	98,2
період обертання, хв. кількість витків за добу	98,9
час перетину екватора, год. за Грінвічем	14,6
Час активного існування, років	10:05
Потужність, Вт	5
Вага КА, кг	4300
Період повторного знімання, діб	2623
	16

Таблиця 4 – Технічні характеристики знімальної системи Landsat-8

Назва знімальної системи	OLI і TIRS
Спектральні діапазони, мкм	Панхроматичний: 0,50-0,68 Фіолетовий: 0,43-0,45 Синій: 0,45–0,52 Зелений: 0,53–0,60 Червоний: 0,63–0,68 Ближній ІЧ: 0,85–0,89 ІЧ: 1,36-1,39; 1,56-1,66; 2,10-2,30 Тепловий ІЧ: 10,40-12,50
Кількість елементів лінійки ПЗЗ*	6000 (OLI; 18000 PAN), 1500 (TIRS)
Динамічний діапазон, біт/піксель	12
Просторове розрізнення на місцевості, м	15 (PAN), 30 (VNIR,SWIR), 100 (TIR)
Ширина смуги знімання, км	185
Швидкість передачі даних, Мбіт/сек	265(OLI), 26,2(TIRS)

*Пристрій із зарядовим зв'язком, лінійка фоточутливих елементів

Нами сформована технологічна схема моніторингу лісів за даними КА Landsat-8. Крім підготовчого етапу цією схемою передбачено використання двох методів оброблення багатоспектральних космічних знімків – виконання побудови 3-х каналних синтезованих зображень (синтезація) та виконання класифікації без навчання (неконтрольована класифікація). Далі результати піддаються аналізу. Виконання описаних процесів відбувається в спеціальному програмному середовищі Erdas Imagine компанії Hexagon Geospatial. Територію

дослідження обмежено Львівською областю.

Технологічну схему досліджень подано на рис.28.



Рисунок 28 – Технологічна схема моніторингового дослідження лісів Карпатського регіону в межах Львівської області в період 2019-2021 років

3.2. Виконання моніторингового дослідження лісів в програмному середовищі Erdas Imagine

Як було зазначено вище, ефективним методом оброблення багатоспектральних космічних знімків є виконання побудови 3-х каналних синтезованих зображень (синтезація). Ця процедура передбачає в якості стандартного 3-х каналного зображення формувати штучне (синтезоване) зображення із заміною червоного, зеленого та синього каналів вибраними спектральними зображеннями космічного знімка. У випадку використання знімків Landsat-8 найбільш часто будують комбінації каналів: природний колір,

колір інфрачервоного випромінювання та різні індекси рослинності.

У Landsat 8 кращим поєднанням для визначення лісового покриву є 5, 4 і 3 канали. Ця комбінація діапазонів також називається композицією ближнього інфрачервоного діапазону (Color Infrared). Для зафарбовування у кольорах RGB у цьому випадку використовуються ближній інфрачервоний (канал 5), червоний (канал 4) і зелений (канал 3) спектральні канали зображення (рис.29).



Рисунок 29 – Синтезоване зображення в комбінації каналів 5-4-3

Оскільки хлорофіл відбиває світло ближнього інфрачервоного випромінювання, ця смугова композиція корисна для аналізу рослинності. Зокрема, червоні ділянки сигналізують про хороший стан рослинності. Темні зони – це вода, а міська забудова – біла. Така комбінація спектральної інформації, допомагає у вивченні здоров'я рослинності і автоматичному виділенні водних об'єктів. Водні об'єкти при застосуванні комбінації 5,4,3 відображаються відтінками синьо-блакитної гама в залежності від глибини і мутності вод. Здорова рослинність буде зображена відтінками зеленого кольору і відтінками від помаранчевого до коричневого. Яскраво-блакитними відтінками можуть відобразитися недавно вирубані ліси, а червоними – не здорова, пригнічена рослинність.

При цьому середній ІЧ-канал підвищує розрізнення стадій росту рослин і їх стресів. Дана композиція не рекомендується для вивчення штучних споруд і покриттів. Її слід обережно застосовувати в інтерпретаціях, особливо, якщо зйомка була проведена відразу після випадання атмосферних опадів.

Інша комбінація каналів 4-5-1 при синтезації забезпечує користувача великою кількістю інформації і кольорового контрасту. Здорова рослинність проявляється яскраво-зеленими відтінками, а ґрунт - рожевими, бузковими.

Композит природного кольору використовує комбінацію смуг червоного (4), зеленого (3) та синього (2). Він повторює те, що можуть бачити наші людські очі. У той час як здорова рослинність зелена, нездорова флора коричнева. Міські об'єкти виглядають біло-сірими, а вода темно-синьою або чорною.



Рисунок 30 – Синтезоване зображення в комбінації каналів 4-3-2

На відміну від описаних вище комбінацій каналів, поєднання 7-4-2, що включає 7 (SWIR-2) канал і таким чином дозволяє вивчати геологічні явища, ця композиція корисна для вивчення рослинності, її зараження сільськогосподарськими шкідниками і також широко використовується в галузі управління лісозаготівель.

Комбінація короткохвильових інфрачервоних діапазонів використовує SWIR-2 (7), SWIR-1 (6) і червоний (4). Цей композит відображає рослинність у відтінках зеленого. У той час як більш темні відтінки зеленого вказують на більш густу рослинність, рідкісна рослинність має світліші відтінки. Міські райони блакитні, а ґрунти мають різні відтінки коричневого.

Першим створимо синтезоване зображення в комбінації 5-4-3. Для побудови синтезованих композитних зображень в ПЗ Erdas Imagine необхідно обрати з

головного меню пункт *Raster*, увійти в групу функцій *Spectral* і запустити команду *Layer Stack* (рис.31).

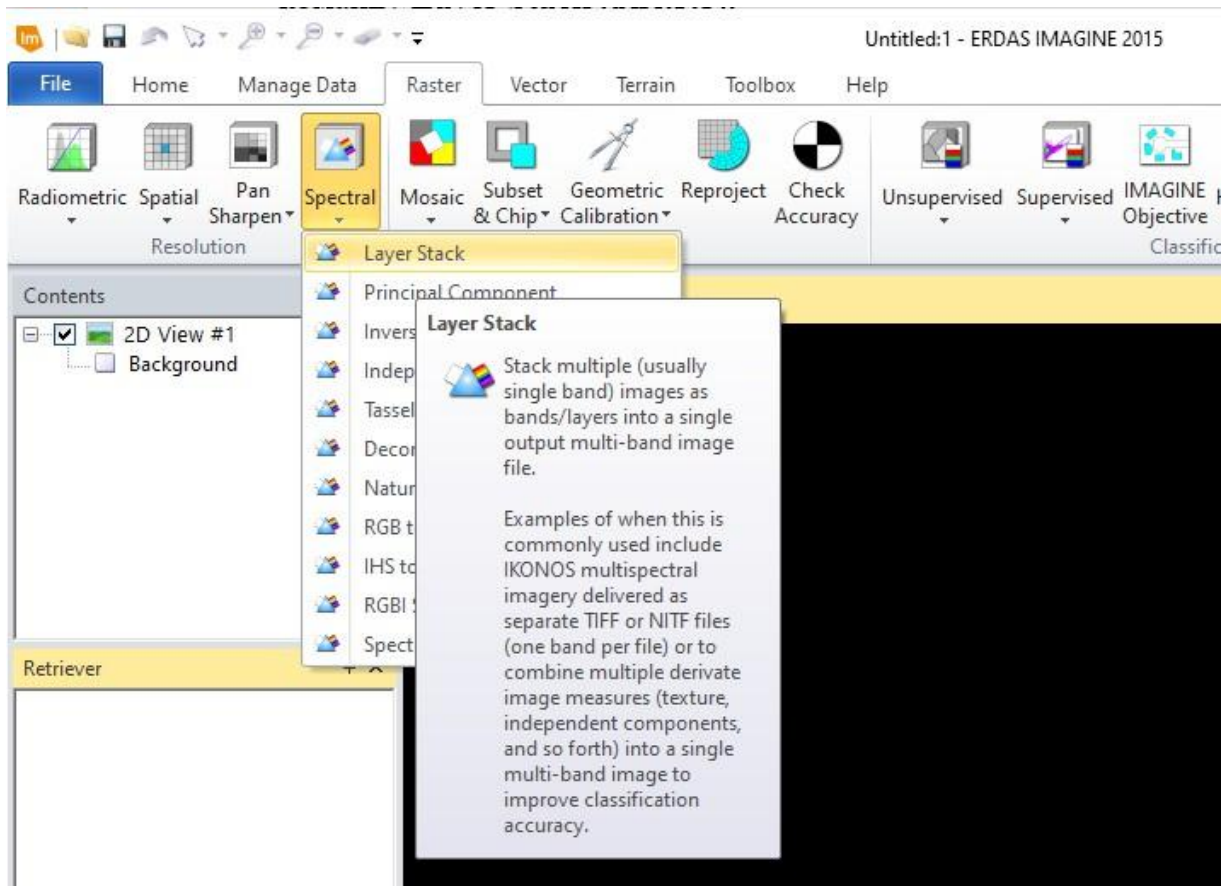


Рисунок 31 – Вибір і виконання команди синтезації каналів

У діалоговому вікні послідовно вибираємо в пункті *Input File* першим файл зображення, яке буде відображатись у відтінках синього – тобто в створюваному синтезованому зображенні буде третім (нижнім). В нащій задачі вибираємо третій канал `LC08_L1TP_185026_20190819_20200827_02_T1_V3` і натискаємо кнопку *Add*. Далі послідовно додаємо інші два канали `LC08_L1TP_185026_20190819_20200827_02_T1_V4` і `LC08_L1TP_185026_20190819_20200827_02_T1_V5`. Інформація про файли додається в текстову область вікна.

Після додавання всіх трьох файлів, обираємо шлях, ім'я та формат результуючого файлу і натискаємо *OK* (рис.32).

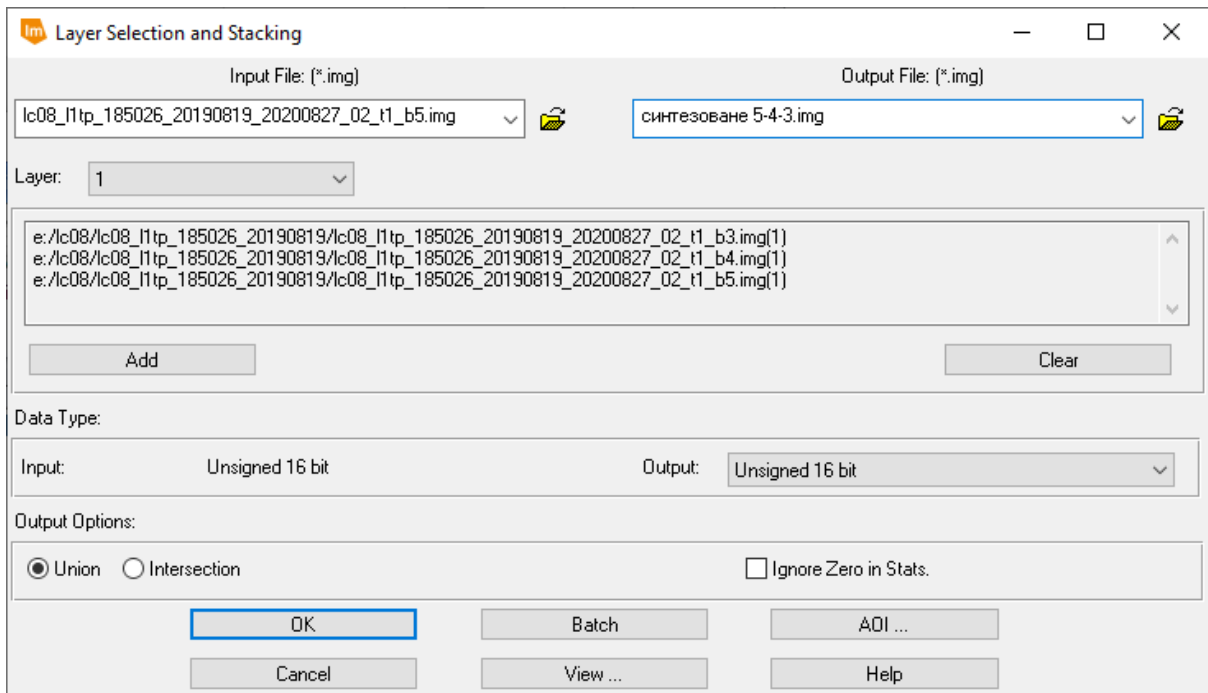


Рисунок 32 - Діалогове вікно налаштування синтезації каналів

В результаті відкривається вікно прогресу виконання команди (рис.33).

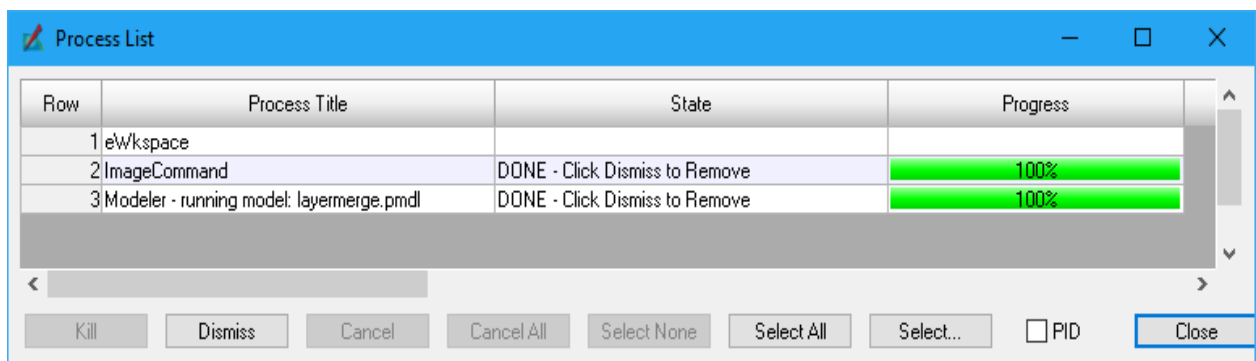


Рисунок 33 – Діалогове вікно прогресу виконання синтезації каналів
Після цього, відкриваємо щойно синтезований нами файл з розширенням *.img, де фіолетово-синім кольором підсвічуються лісові масиви Карпат (район південніше м. Борислав, рис.34- 36).

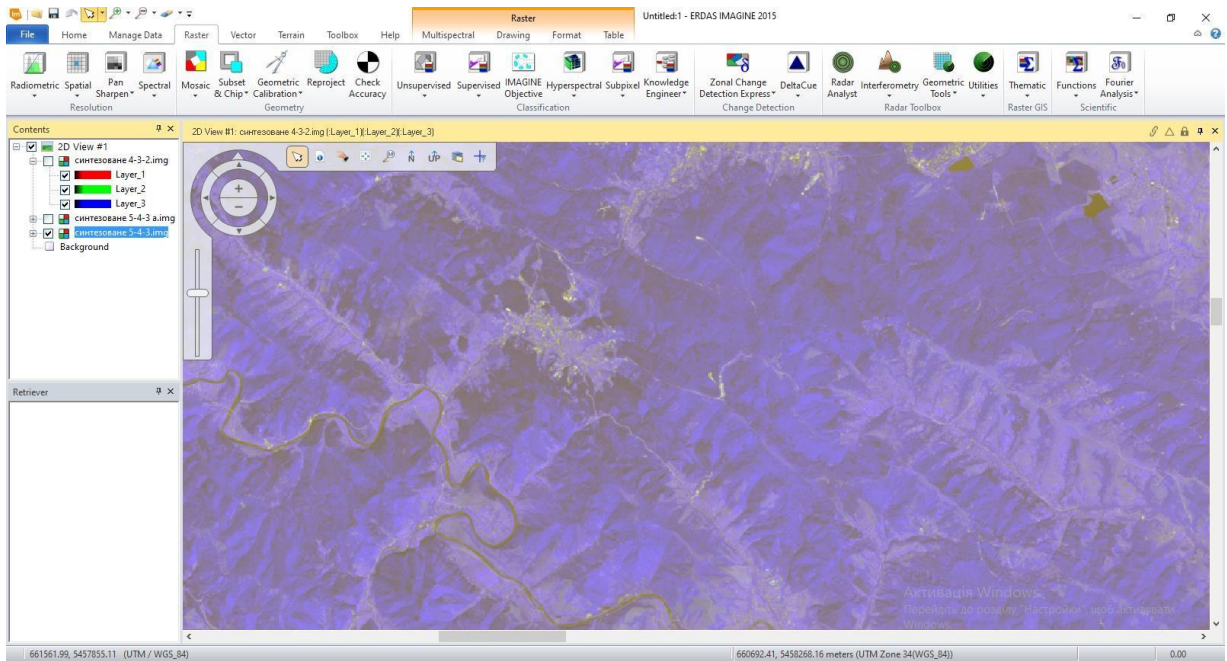


Рисунок 34 – Комбінація у кольорах 5-4-3 (збільшений фрагмент)

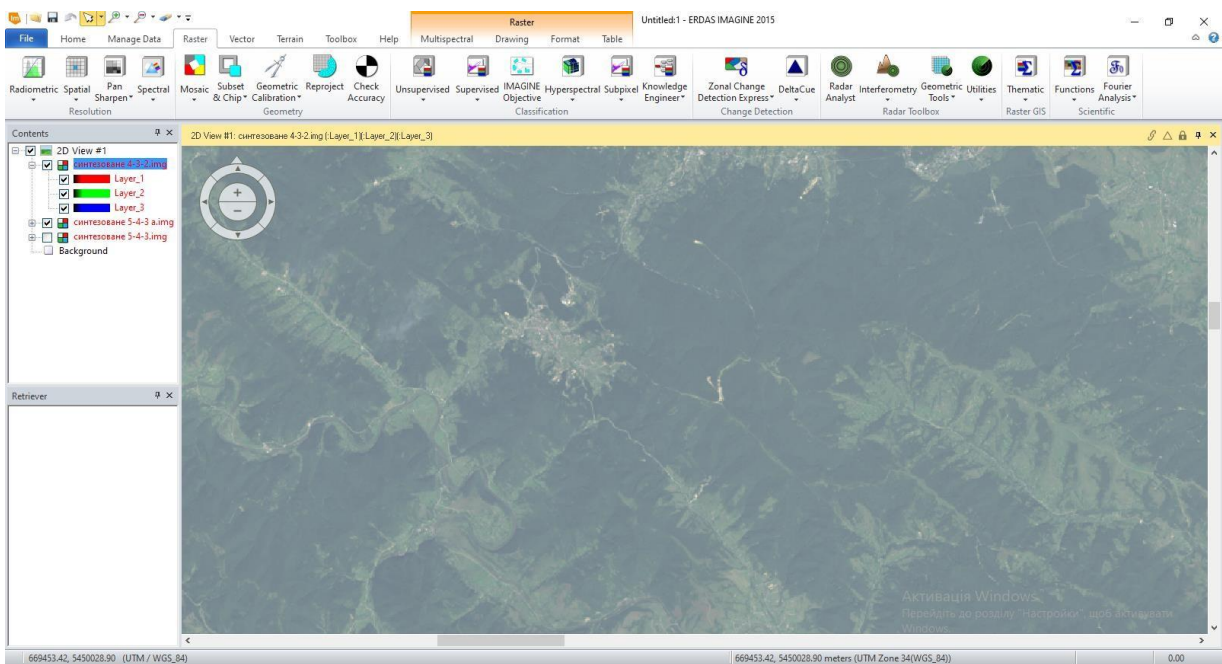


Рисунок 35 – Комбінація у натуральних кольорах 4-3-2 (збільшений фрагмент)

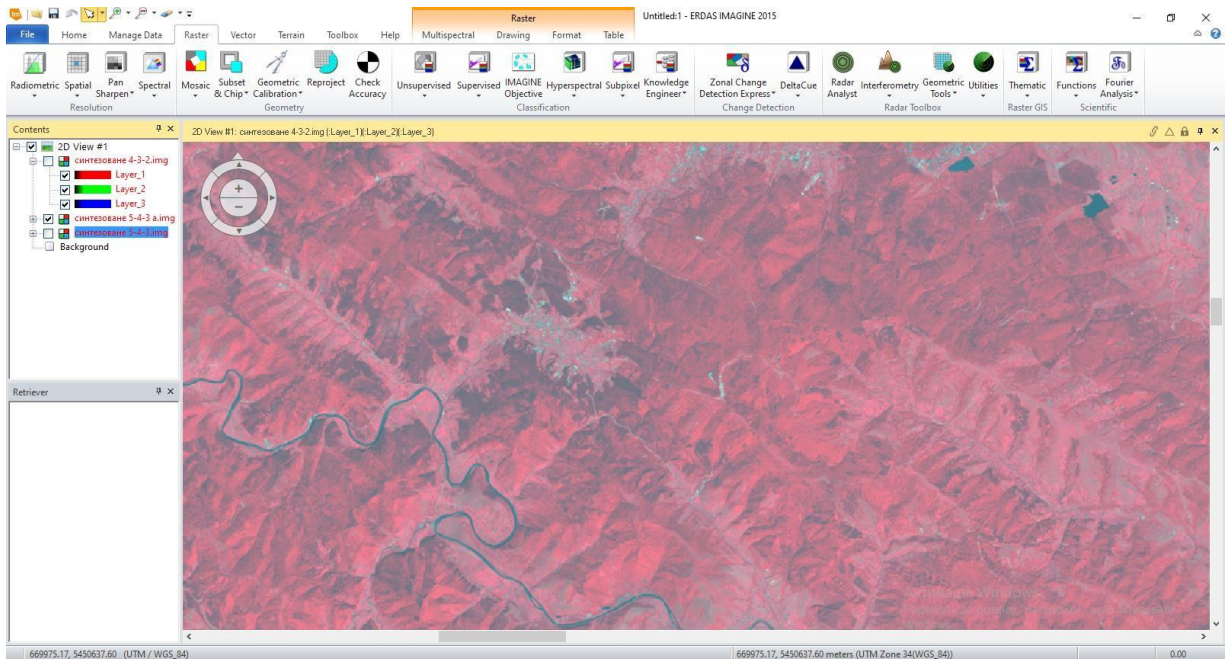


Рисунок 36 – Комбінація у натуральній кольорах 7-4-2 (збільшений фрагмент)

Подальші процеси будемо виконувати не в цілій площині космічного знімка, а тільки в його окремій частині, яка покриває гірську частину Львівської області. Це продиктоване тією обставиною, що за породовим складом і морфометрією масиви лісу в рівнинній і гірській частині дуже відрізняються. Тому для отримання коректних оцінок при класифікації краще розділити ці дві частини території і опрацьовувати їхні зображення окремо. Крім того, такий підхід дозволяє зменшити витрати часу на виконання класифікації.

Межу території досліджень встановимо з допомогою лінії, проведеної по цифровій моделі рельєфу SRTM, яка розділяє на карті полігон Львівської області на рівнинну та гірську частини (рис.37). Таким чином загальна площа території виконання дослідження складає 585 000 га.

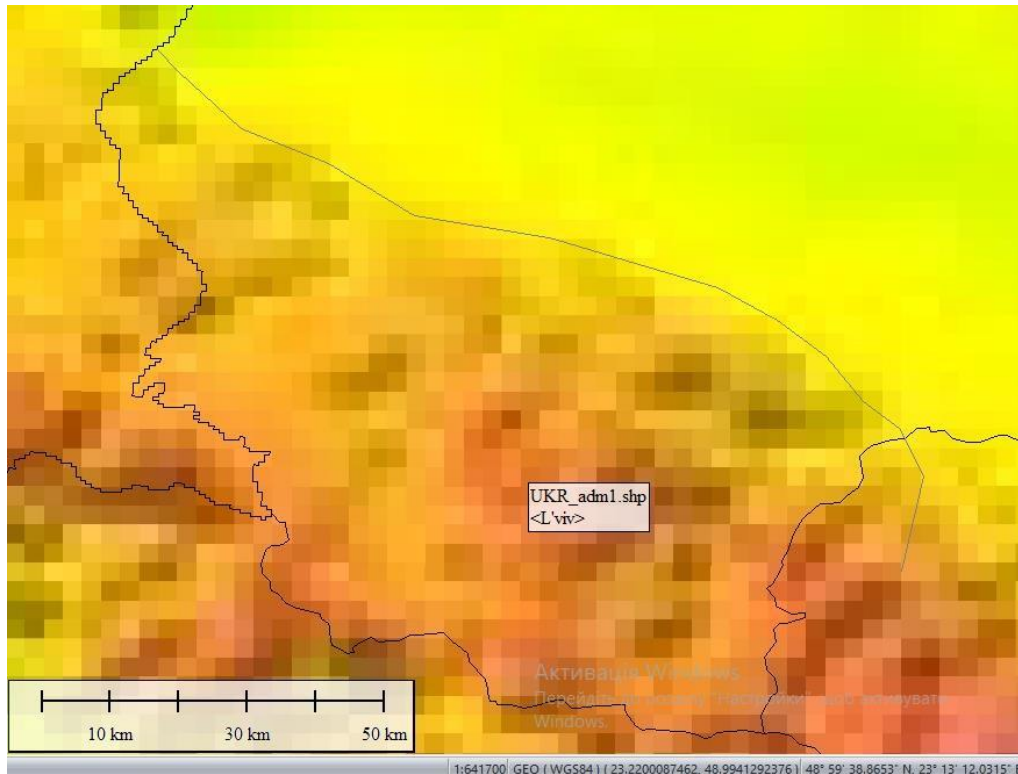


Рисунок 37 – Розділення рівнинної та гірської частин Львівської області

В ПЗ Erdas Imagine для виділення області інтересу є спеціальний інструмент (AOI). Виклик цієї команди можна здійснити з таблиці змісту в'ювера з контекстного меню, вибравши команду New AOI Layer (рис.38).

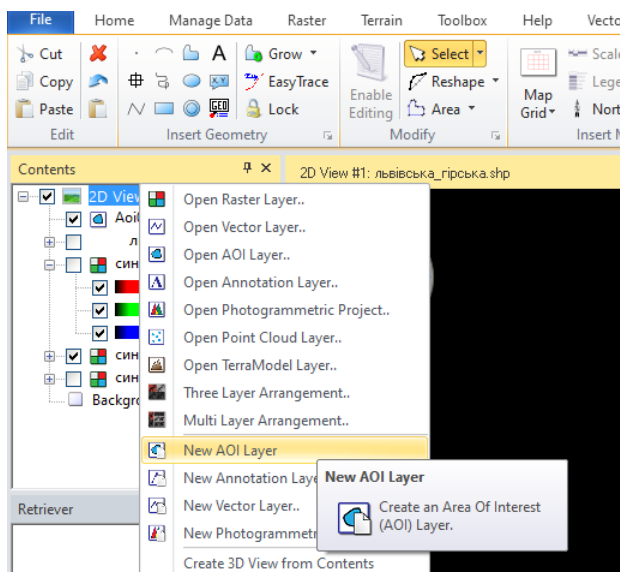


Рисунок 38 – Виклик команди створення області інтересу

При оконтуренні області інтересу до переліку шарів буде автоматично додано векторний шар AOI (рис.39).

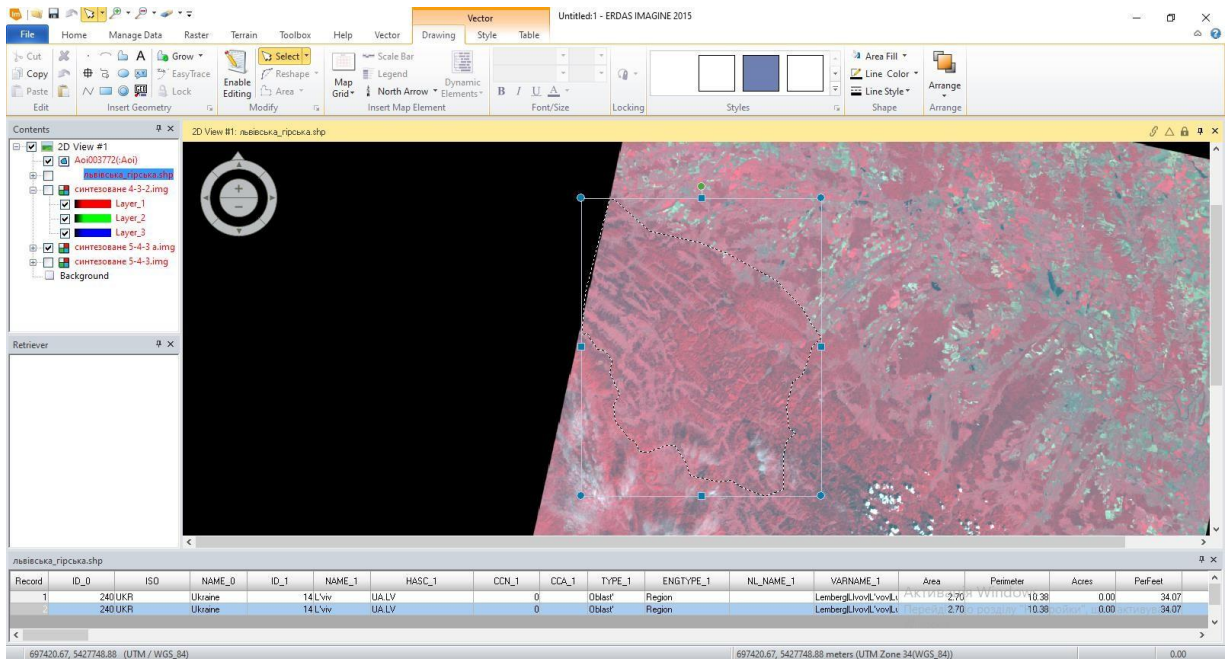


Рисунок 39 – Синтезований знімок з виділеною областю інтересу

Створений шар АОІ слід зберегти в окремий файл.

Наступним етапом дослідження є виконання неконтрольованої класифікації космічного знімка в межах області інтересу. Виконання цієї процедури здійснюється викликом команди з меню *Raster* – *Unsupervised* кнопкою *Unsupervised Classification* (рис.40).

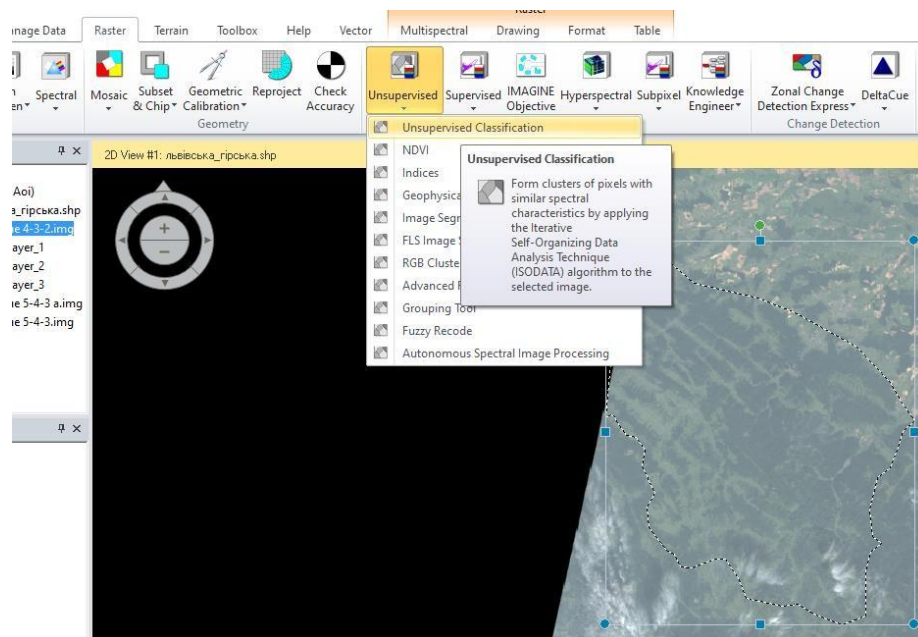


Рисунок 40 – Запуск команди неконтрольованої класифікації

У вікні налаштувань класифікації необхідно встановити наступні параметри (рис.41):

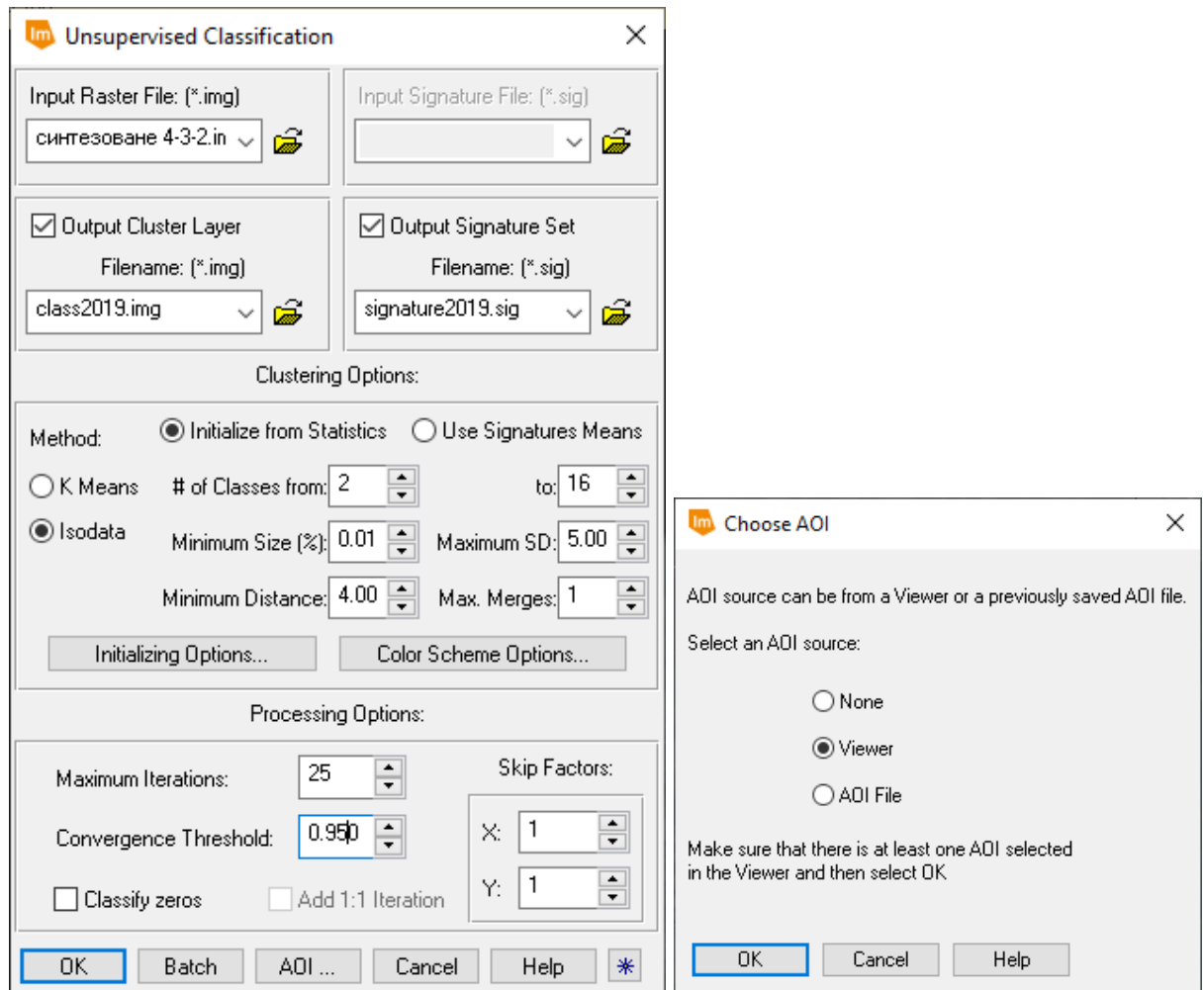


Рисунок 41 – Встановлення рекомендованих параметрів неконтрольованої класифікації методом Isodata

Вказати шлях до знімку, який підлягає класифікації

(наприклад, «синтезоване 4-3-2.img»);

- вказати шлях і назву файлу результату (class2019.img);
- вказати шлях і назву файлу сигнатур, що будуть створені (Signature2019.sig);
- вказати метод класифікації та звідки брати дані (Isodata, Initialize from Statistics);
- кількість класів, що будуть створені (15);

- вказати максимальну кількість ітерацій, що будуть проходити в автоматичному режимі (25 – рекомендоване для класифікації лісового покриву);
- вказати поріг схожимості (0,95, що відповідає 95%);
- в нижній частині вікна кнопкою АОІ слід вибрати спосіб задання області інтересу, щоб виконати класифікацію тільки в межах запланованого фрагмента знімка. З допомогою кнопки *Initializing Option* слід вказати початкові параметри у вікні *File Statistics Options* – вибрати вісь першої головної компоненти (*Principal Axis*) і параметри масштабування шкали (*Std.Deviations*) (рис.42).

Далі знову прогресор виконує всі заплановані дії. Результатом є класифікована частина знімку на Карпатський регіон Львівської області за 15 класами і один клас містить некласифіковані пікселі (рис.43).

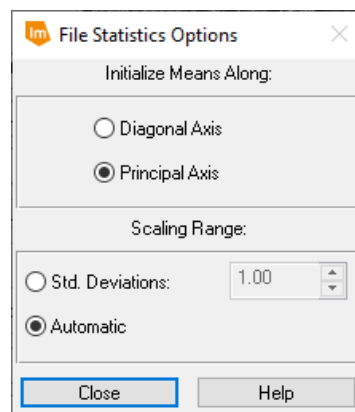


Рисунок 42 – Діалогове вікно налаштувань початкових параметрів

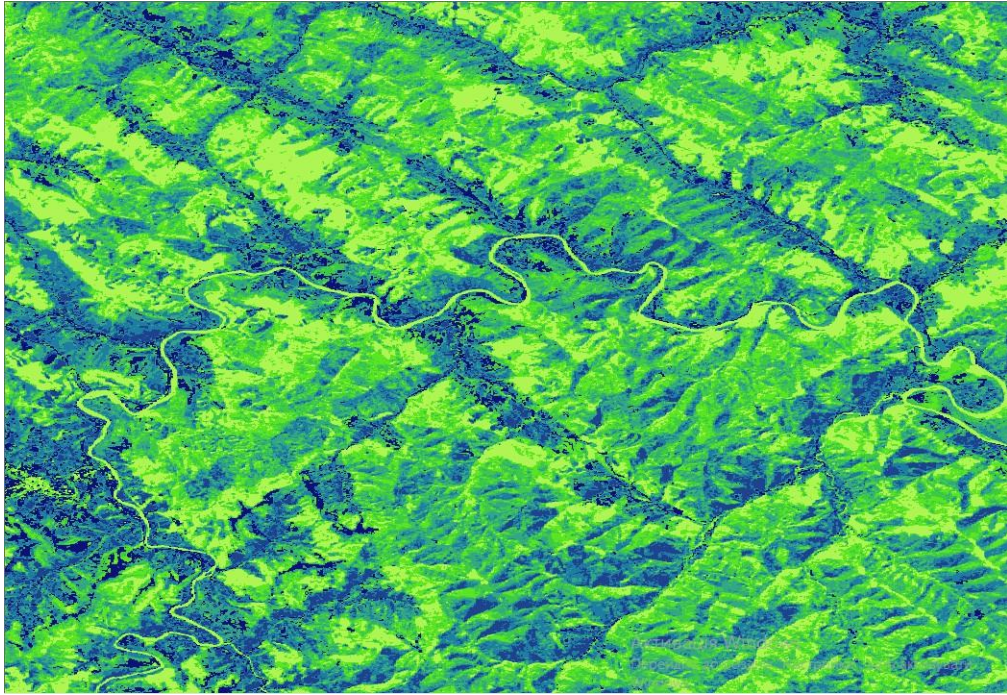


Рисунок 43 – Класифікована область досліджень за знімком 2019 року

Після виконання класифікації було отримано картину, при якій відразу кілька класів є частиною лісів, а всі інші – не є лісами. Для візуалізації лісів відключимо у в'ювері видимість непотрібних класів. Таким чином можемо бачити тільки два класи: «ліси» і «решта території».

У вікні редагування атрибутів відображення класифікованого файлу тимчасово змінюємо колір класів, що відповідають лісовому покриву, щоб легше було ідентифікувати потрібні пікселі (рис.44).

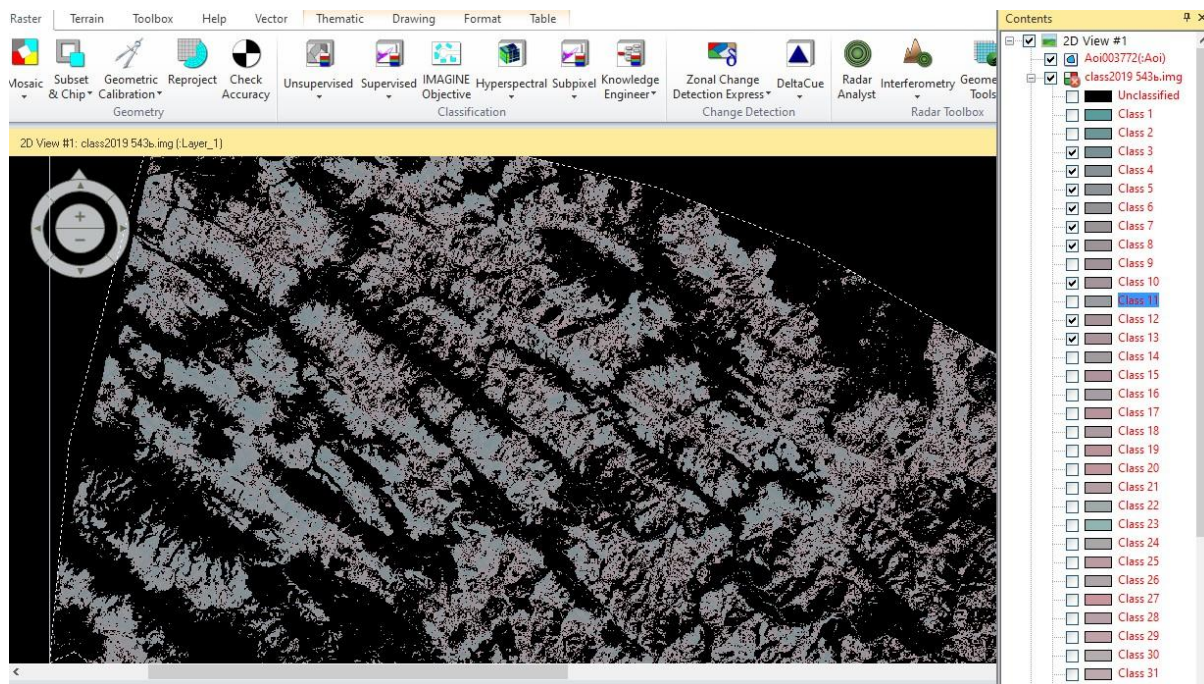


Рисунок 44 – Класифікована ділянка знімка при виключеній видимості класів, які не є лісом

Очевидно, класи, які відповідають лісовій рослинності повинні бути об'єднані. Виконаємо таке об'єднання класів шляхом перекодування растра. З пункту головного меню *Thematic* обираємо команду *Recode* (рис.45).

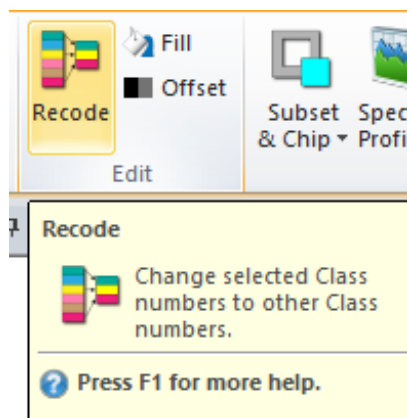
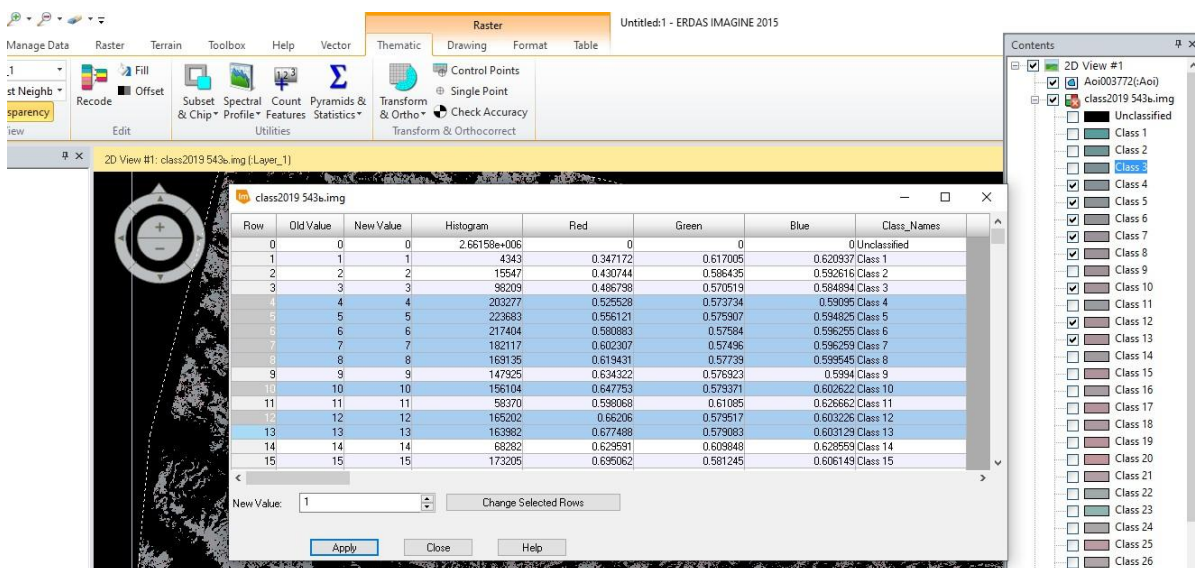


Рисунок 45 – Виклик команди перекласифікації зображення

Щоб об'єднати визначені як ті, що належать лісу класи у загальну групу, натискаємо правою клавішею миші на колонці *Row i*, утримуючи клавішу *Shift*, обираємо кнопкою миші всі ці класи. В нижній частині діалогу вводимо значення 1 в поле *New Value* і натискаємо *Change Selected Rows* (Змінити для обраних стрічок). Така операція дозволяє об'єднати обрані класи в один загальний клас – об'єкт «ліси» (рис.46).



Рисункок 46 – Діалог для перекласифікації класифікованого зображення. Після перекласифікації всі ліси залишились в класі 1. Всі не лісові ділянки – в усіх інших класах (рис.47).

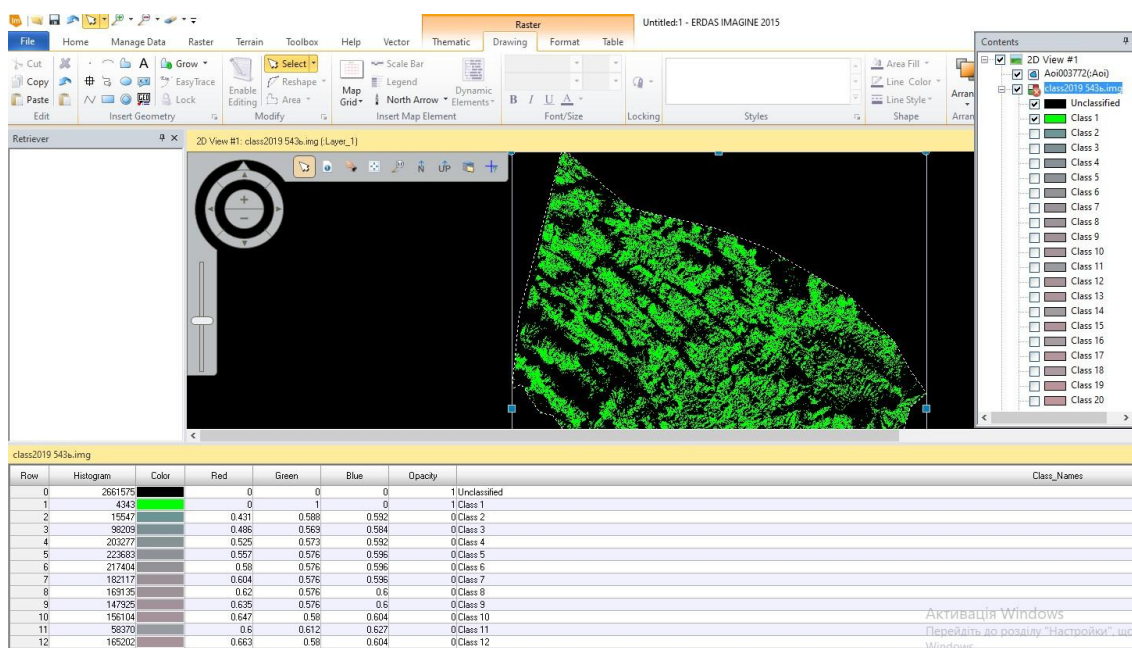


Рисунок 47 – Перекласифіковане зображення

На рисунку нижче показана гистограма класифікованого зображення.

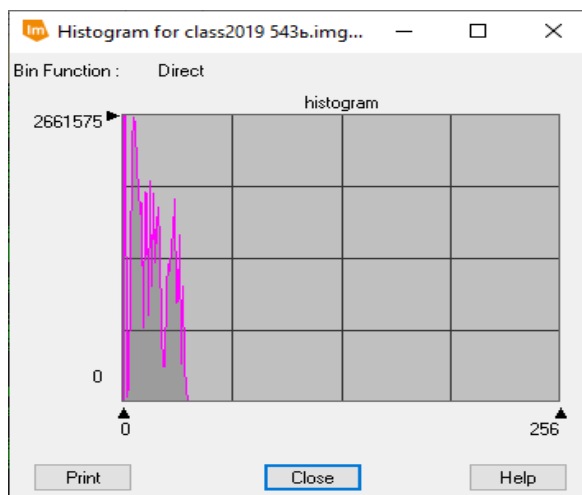


Рисунок 48 – Гистограма класифікованого знімка, отриманого у 2019 році

Для зручного підрахунку площі класу лісів необхідно зображення цього класу перетворити з растрової у векторну форму. Для цього використаємо команду Raster to Shapefile з головного меню (рис.49). У діалоговому вікні експорту даних вводимо вихідний файл перекласифікованого зображення і назву шейп-файлу, який буде створений. Також вказується геометрія палетки, що буде перераховувати сусідні пікселі (рис.50).

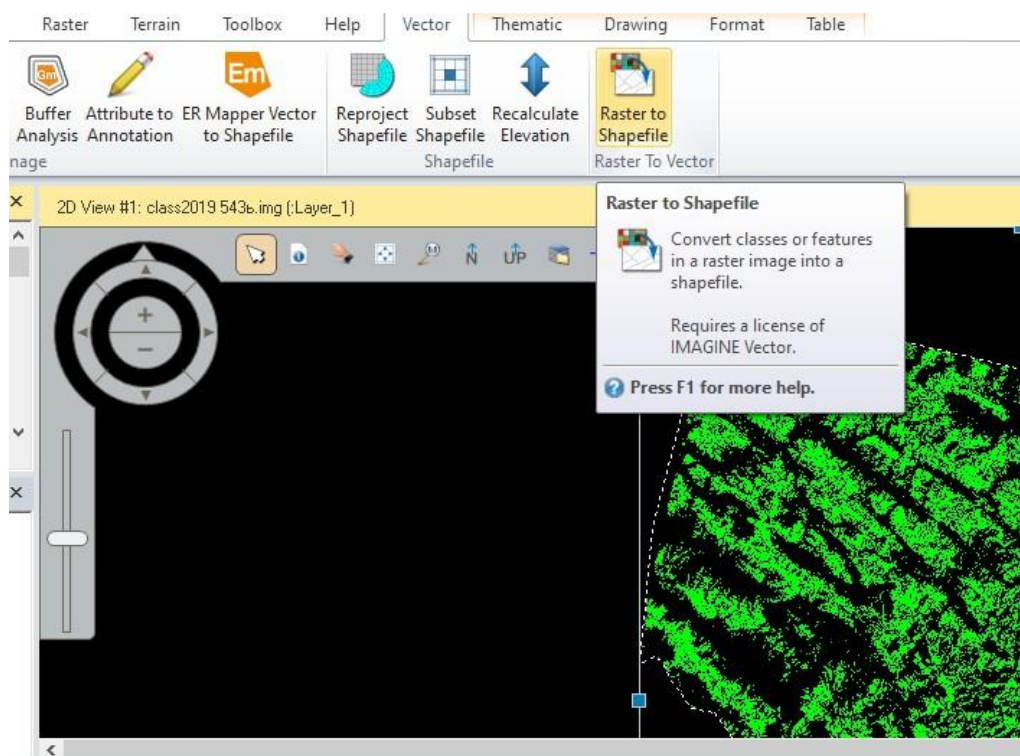


Рисунок 49 – Виконання команди експорту даних класу «ліси» у векторний файл

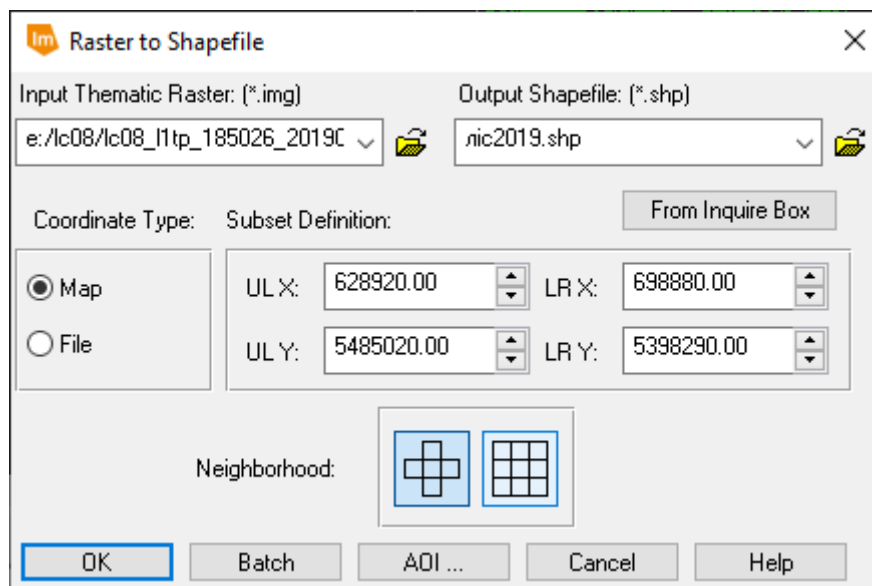
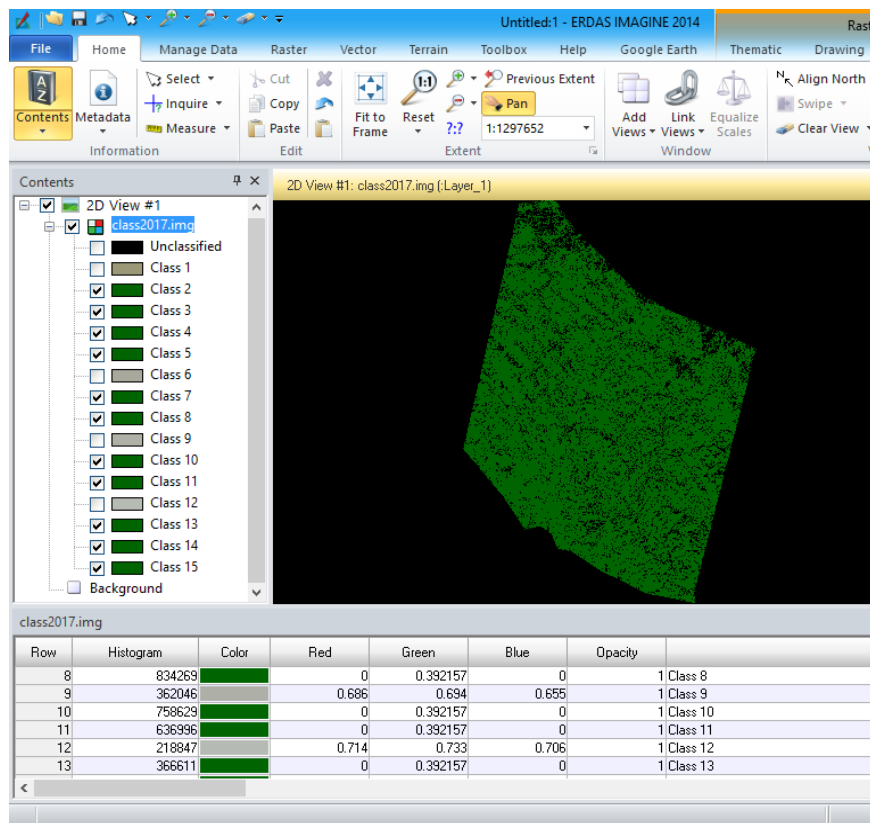


Рисунок 50 – Налаштування експорту даних у векторний шейп-формат

Виконуємо всі ті ж самі дії, що описані вище для знімка 2021 року. Отримані результати подано на рисунках 51 -52.

Рисунок 51 – Класифікована область досліджень за знімком 2021 року

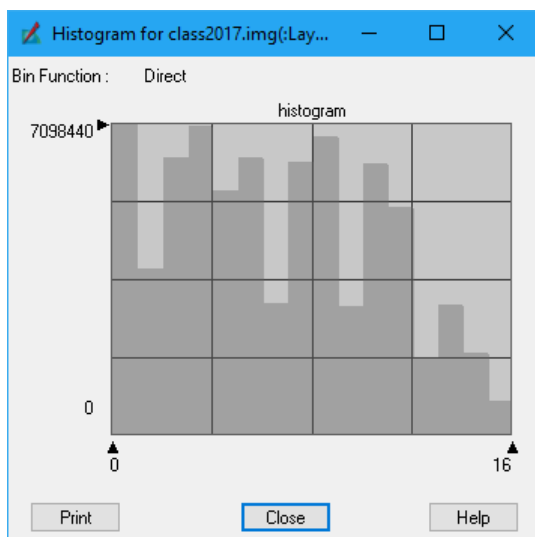


Рисунок 52 – Гістограма класифікованого знімка 2021 року

В таблиці 5 подані площі класифікованого лісового покриття за 2016-2018рр. порашовані за відповідними векторними шейп-файлами.

Таблиця 5 - Площі лісового покриття досліджуваного регіону Львівської області за 2019-2021рр.

	За знімком 2019 року	За знімком 2021 року
Площа лісів, га	522 067	522 255

З таблиці 5 видно дослідження демонструє деякий приріст лісових насаджень в останні 3 роки. Проте різниця в оцінках складає 188га, тобто 0,03% від загальної площі лісу. Таку різницю слід вважати несуттєвою і її можна оцінити як похибку методу. Згрупованих пікселів, які б демонстрували цей приріст як появу нових масивів лісу чи зникнення таких масивів протягом 3 досліджуваних років нами не виявлений. Отримані результати є задовільним значенням для цієї знімальної системи, оскільки площа одного пікселя складає

90м.кв. Отримані значення площ є доволі приблизними оскільки використовувались знімки середньої просторової розрізненості і неконтрольована класифікація, яка може надати лише наближені оцінки.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Основи охорони праці

Охорона праці — це наукова дисципліна, що вивчає теоретичні та практичні питання безпеки праці, причини виробничого травматизму та розробляє заходи щодо створення здорових і безпечних умов праці. Головним об'єктом її дослідження є людина в процесі трудової діяльності, виробниче середовище, а також взаємозв'язок людини з промисловим обладнанням і технологічними процесами.

Для вирішення зазначених питань використовуються наукові досягнення багатьох галузей знань: соціально-правових та економічних наук (трудове право, економіка), медичних наук (гігієна праці, психологія праці, фізіологія праці, промислова токсикологія тощо), а також технічних наук — загальноінженерних і профільюючих дисциплін, інженерної психології та промислової етики.

У зв'язку з тим, що окремі галузі народного господарства мають специфічні умови праці, виникає необхідність розроблення галузевих правил і норм з охорони праці.

Нормативно-технічна документація з охорони праці є основою для розроблення заходів щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці на всіх робочих місцях. На кожному підприємстві з урахуванням вимог чинних нормативних документів розробляються інструкції з охорони праці для кожної професії або виду робіт з урахуванням конкретних умов праці.

Важливе місце серед нормативно-технічної документації посідає стандартизація. Система стандартів безпеки праці (ССБП) — це комплекс взаємопов'язаних стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки праці, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності. Стандартизація вимог безпеки праці здійснюється у двох напрямках: розроблення спеціальних стандартів ССБП та включення до стандартів і технічних умов спеціального розділу «Вимоги безпеки».

Контроль за дотриманням законодавства про працю, правил і норм техніки безпеки, виробничої санітарії та протипожежної безпеки здійснюється за трьома напрямками: державним, внутрівідомчим і громадським.

Державний нагляд і контроль здійснюють спеціалізовані органи, які у своїй діяльності не залежать від адміністрації підконтрольних підприємств та їх вищих органів управління, а також технічні й правові інспекції, що підпорядковуються профспілковим органам.

Державний нагляд за станом охорони праці в Україні здійснюють Державний комітет України з охорони праці, Державний комітет України з ядерної та радіаційної безпеки, органи державного пожежного нагляду та органи санітарно-епідеміологічної служби.

Державний санітарний нагляд здійснюється санітарно-епідеміологічними станціями, які контролюють санітарний стан промислових об'єктів, громадських і житлових будівель, розробляють санітарно-гігієнічні нормативи, обов'язкові при проектуванні будівель і експлуатації підприємств. Крім того, санітарні інспекції здійснюють облік і розслідування причин професійних захворювань та беруть участь у заходах щодо зниження рівня загальної та професійної захворюваності.

Державний пожежний нагляд у системі Міністерства внутрішніх справ проводить профілактичну роботу, здійснює контроль за дотриманням протипожежного режиму на етапах проектування, будівництва та експлуатації об'єктів, бере участь у прийманні в експлуатацію нових і реконструйованих споруд, розробляє та контролює виконання протипожежних норм і правил, а також бере участь у розслідуванні пожеж і веде їх облік.

Державний і громадський контроль у галузі охорони праці не знімає відповідальності з керівників і власників підприємств за забезпечення безпечних умов праці.

Законом України «Про охорону праці» встановлено відповідальність посадових осіб за порушення вимог охорони праці, яка може бути дисциплінарною, адміністративною, кримінальною та матеріальною.

Дисциплінарна відповідальність застосовується у випадках порушень вимог охорони праці, що не призвели до тяжких наслідків, і передбачає такі стягнення, як догана або звільнення з роботи.

Адміністративна відповідальність настає за порушення санітарно-гігієнічних норм, правил пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища та інших нормативних вимог. Підприємство сплачує штраф за кожний нещасний випадок або випадок професійного захворювання, що сталися з його вини.

Кримінальна відповідальність передбачає покарання осіб, які допустили порушення вимог охорони праці, що призвели або могли призвести до нещасних випадків чи інших тяжких наслідків.

Матеріальна відповідальність полягає у відшкодуванні підприємством витрат, пов'язаних з виплатами потерпілим у разі нещасних випадків з вини адміністрації.

Організація та координація робіт у галузі охорони праці передбачає формування системи управління охороною праці, визначення обов'язків та порядку взаємодії відповідальних осіб, а також прийняття й реалізацію управлінських рішень.

Інструктажі з охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий. Вступний інструктаж проводиться з усіма працівниками при прийомі на роботу, а інші види інструктажів — безпосередньо на робочому місці відповідно до встановлених вимог.

4.2. Захист населення у надзвичайних ситуаціях

Техногенний, екологічний та природний стан України з кожним роком ускладнюється, що зумовлює зростання негативного впливу на населення та навколишнє природне середовище. У зв'язку з цим, після набуття Україною незалежності, з урахуванням досвіду економічно розвинених країн, було розпочато законодавче формування цивільної оборони як державної системи органів управління та сил, призначених для організації і здійснення заходів щодо

захисту населення від надзвичайних ситуацій.

У 1993 році було прийнято Закон України «Про цивільну оборону», відповідно до якого держава, як гарант безпеки громадян, створює систему цивільної оборони з метою захисту населення від небезпечних наслідків аварій, катастроф техногенного, екологічного та воєнного характеру.

Захист населення від наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, вибухів, пожеж і застосування засобів ураження здійснюється шляхом реалізації комплексу організаційних, інженерно-технічних, медичних та інших заходів. Ці заходи мають забезпечувати укриття населення в захисних спорудах, проведення евакуації, а також медичний, радіаційний, хімічний і біологічний захист.

Потреба в захисних спорудах визначається з урахуванням необхідності укриття всіх працюючих за місцем роботи та непрацюючого населення — за місцем проживання.

На територіях територіальних громад можуть розміщуватися потенційно небезпечні об'єкти, зокрема склади зберігання хімічних речовин, що використовуються у сільськогосподарському виробництві. Такі об'єкти потребують спеціальних заходів захисту та контролю. У разі виникнення надзвичайних ситуацій населення може укриватися в захисних спорудах, розташованих на території відповідної громади, які можуть використовуватися як укриття.

Окрім цього, небезпеку становлять лінії електропередач, навколо яких необхідно встановлювати санітарно-захисні зони з обмеженим режимом землекористування. Газопровідні об'єкти повинні бути огорожені та оснащені попереджувальними знаками про наявність небезпеки.

На територіях торфодобування існує підвищена пожежна небезпека. Тому населення, яке проживає поблизу таких об'єктів, повинно бути поінформоване про можливі ризики та у разі загрози життю своєчасно евакуйоване з небезпечної зони до безпечних районів.

Відповідальність за захист населення, зокрема працівників підприємств, покладається на керівників господарських об'єктів. Вони зобов'язані

забезпечувати дотримання вимог охорони праці та цивільного захисту, а також розробляти та впроваджувати плани евакуації.

Особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню працівників засобами індивідуального захисту на небезпечних об'єктах, зокрема спецодягом, спецвзуттям, рукавицями та найпростішими засобами захисту органів дихання, що забезпечують захист слизових оболонок і шкіри.

З метою покращення стану охорони праці, запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням доцільно постійно здійснювати такі заходи [12]:

- регулярно проводити інструктажі з техніки безпеки та забезпечувати їх облік;
- суворо дотримуватися вимог і правил техніки безпеки під час виконання геодезичних робіт та обмірів земельних ділянок;
- забезпечувати працівників необхідним спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту;
- здійснювати заходи з попередження надзвичайних ситуацій та мінімізації можливих збитків у разі аварій або катастроф;
- створювати та підтримувати системи управління, оповіщення, зв'язку, спостереження і контролю;
- забезпечувати захист населення від наслідків аварій, катастроф і стихійних лих;
- організовувати та проводити рятувальні й інші невідкладні роботи в зонах надзвичайних ситуацій.

Дотримання зазначених вимог сприятиме підвищенню рівня безпеки праці та ефективності захисту населення під час здійснення господарської і виробничої діяльності.

5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Біосфера – це область розповсюдження життя на Землі, що включає верхню частину земної кори, водойми (річки, озера, водосховища, моря та океани) та нижню частину атмосфери (тропосферу). Біосфера постійно піддається негативному впливу: забрудненню атмосфери і водойм, знищенню флори і фауни, що ускладнюється демографічним вибухом.

Забруднення повітря, води та ґрунту на сучасному етапі розвитку досягло критичних рівнів, особливо у великих промислових центрах. Основні джерела забруднення:

- промислові підприємства та енергетичні системи;
- транспорт;
- нові види продукції хімічної промисловості.

Негативний вплив антропогенних факторів створює загрозу не лише екологічну, а й економічну, впливаючи на експлуатацію технічних засобів та ресурсів.

Важливу роль у охороні навколишнього середовища відіграє виховання населення та інженерно-технічних кадрів у дусі бережливого ставлення до природи. Кожне технічне рішення повинно враховувати не лише технологічні, а й екологічні аспекти.

Після проголошення незалежності України у 1991 р. було створено Міністерство охорони навколишнього середовища та прийнято Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”, який регулює:

- охорону, використання та відтворення природних ресурсів;
- запобігання негативному впливу господарської діяльності на природу;
- збереження природних ресурсів, генофонду живої природи та унікальних природних об’єктів.

Раціональне землекористування включає:

- економічно обґрунтовані системи землеробства;

- протиерозійні та ґрунтозахисні технології;
- біологічний захист посівів від шкідників і хвороб;
- регулювання мікроклімату.

Система охорони земельних ресурсів передбачає:

- облік площ зрошувальних, осушених і порушених земель;
- створення захисних лісових смуг і насаджень;
- відведення земель на спеціальні цілі та рекультивацію відпрацьованих земель.

Інтенсивне сільськогосподарське використання ґрунтів призвело до ерозії та втрати гумусу, що негативно вплинуло на родючість. Впровадження протиерозійного комплексу та лісомеліоративних заходів є ефективним засобом охорони природи та підвищення продуктивності земель.

Ефективне землекористування базується на комплексному ландшафтному підході, що включає:

- врахування природно-економічних чинників;
- прогнозування змін у ландшафтах під впливом антропогенної діяльності;
- планування оптимального розміщення лісових, водно-болотних та деревно-кущових насаджень для формування мікроклімату.

До особливо охоронюваних об'єктів належать:

- природно-заповідний фонд;
- курортні та рекреаційні території;
- водозахисні та полезахисні об'єкти.

Ці території та об'єкти мають важливу екологічну, наукову, естетичну та народногосподарську цінність і призначені для збереження біорізноманіття, генофонду видів та підтримання екологічного балансу.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи можна зробити такі висновки:

1. Моніторинг використання лісових ресурсів і надалі залишається актуальним завданням у системі організації раціонального природокористування.

2. У результаті аналізу сучасної спеціальної наукової літератури з тематики дослідження встановлено, що найбільш доцільними методами контролю за використанням лісових ресурсів є дистанційні методи спостережень.

3. Проаналізовано умови використання космічних оптико-електронних знімачів для збору інформації з метою вирішення задач моніторингу лісів.

4. Проаналізовано існуючі методики організації моніторингу лісів за даними дистанційного зондування Землі. У роботі використано одну з можливих технологічних схем, яку можна застосовувати для визначення змін площ лісів. Технологією передбачено використання багатоспектральних даних ДЗЗ середнього просторового розрізнення, отриманих із космічного апарата Landsat 8. Експериментальні дослідження виконано з використанням спеціалізованого програмного пакета ERDAS IMAGINE 2015.

5. У роботі описано методику визначення змін площ лісів у гірській частині Львівської області з використанням методу ISODATA неконтрольованої класифікації зображень. Встановлено, що площа лісових насаджень у період з 2019 по 2021 рік збільшилась на 188 га. З урахуванням точності, притаманної методу неконтрольованої класифікації, можна стверджувати, що чіткої тенденції до зменшення або збільшення площ лісів у досліджуваному регіоні не виявлено.

6. Розглянуті та застосовані методи ГІС-аналізу показали високу ефективність контролю за використанням лісових ресурсів у Карпатському регіоні Львівської області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барладін А., Скавронський В., Скляр О.. Використання геоінформаційних технологій для картографічного забезпечення актуальними даними лісового господарства. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (19), 2010. – С.26-29.
2. Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища: навч. посіб. / Е.М. Солошенко, О.В. Бугай. – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. – 284 с.
3. Бурштинська Х., Декалюк Я.. Моніторинг хвойних лісів з використанням даних дистанційного зондування (на прикладі Тухлянського лісгоспу) // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II (42), 2021 С.99-108. [Електронний ресурс]
URL:<http://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2021/09/13.pdf>
4. Бурштинська Х. В., Петрик Ю.В., Поліщук Б.В., О.Є. Шило. Моніторинг засихання хвойних лісів Прикарпатського регіону з використанням даних дистанційного зондування. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 90, 2019. – С.29-40.
5. Бурштинська Х., Поліщук Б., Садовська О. Методика дослідження стану лісів прикарпатського регіону з використанням космічних знімків. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва.- Вип.1(21). 2011.– С.154-159. [Електронний ресурс] URL:<http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/10689/1/38.pdf>
6. Бурштинська Х. В., Поліщук Б. В., О.Ю. Ковальчук. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення. ISTCGCAP. 2013; Випуск 78, Номер 78: стор. 101–110. [Електронний ресурс] URL: <http://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/vypusk-78-2013>
7. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій [Текст]: монографія / [О. Л. Дорожинський та ін.]; за ред. Олександра Дорожинського; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів: Вид-во Львів.

політехніки, 2016. - 399с.

8. Державне агентство лісових ресурсів України. Онлайн-карта рубок [Електронний ресурс] URL: <https://lk.ukrforest.com/map/general>

9. Дорожинський, О.Л. Математичні моделі аналітичної та космічної фотограмметрії [Текст] : монографія / О. Л. Дорожинський ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. - 142 с.

10. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546 [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

11. Закон України «Про охорону праці» (редакція 2002р. зі змінами та доповненнями). [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>

12. Лялько В.І., П'янило Я.Д. Використання класичних ортогональних сногочленів в дистанційному зондуванні рослинності // Доп. НАН України. – 1997. - №2. – С. 42 – 46.

13. Положення про єдину державну систему цивільного захисту / Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 р. № 11 [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text>

14. Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1198-98-%D0%BF#Text>

15. Путренко В. В., Пашинська Н. М. Інтелектуальний аналіз земного покриву території України на основі даних Globeland 30 // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 31. – С.117 –125.

16. НПАОП 74.2-1.01-89 Правила техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах. [Електронний ресурс] URL: http://sop.zp.ua/norm_praop_74_2-1_01-89_03_ua.php

17. Сайт Державного агентства лісових ресурсів України: [Електронний ресурс] URL: www.dklg.kmu.gov.ua/forest

18. Свідзінська Д. В. Методи геоекологічних досліджень:

геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник. - К.: Логос, 2014. — 402 с.

19. Сохнич А.Я., Богіра М.С. Моніторинг та охорона земель: навчальний посібник-практикум / А.Я.Сохнич, М.С.Богіра; за ред. д.е.н. А.Я.Сохнича. – Львів: ЛНАУ, 2016. – 220с.

20. Шпортюк З.М., Лялько В.І., П'янило Я.Д. та ін. Спектральні методи обробки та аналізу інформації в дистанційному зондуванні рослинності. – Львів, 1993. – 93. – (Препр. / Центр мат. Моделювання Ін-ту прикл. Проблем механіки і моделювання ім. Я.С. Підстригача АН України, № 4).

21. Шпортюк З.М., Сибірцева О.М. Метод топографічної кореляції даних багатозональних космоснімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Доп. НАН України. – 2004. - № 1. – С. 123 – 125.

22. Khrystyna Burshtynska. Bogdan Polishchuk. Judith Madyar. The definition of the area of felling forests by high resolution satellite images. Geomatics, Landmanagement and Landscape/ - 2014; - (3) : [Електронний ресурс] URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/journal/issue?issueId=106411&journalId=4541>

23. M.C.Hansen, P.V.Potapov, R.Moore, M.Hancher, S.A.Turubanova, A.Tyukavina, D.Thau, S.V.Stehman, S.J.Goetz, T.R.Loveland, A.Kommareddy, A.Egorov, L.Chini, C.O.Justice, J.R.G.Townshend. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science, 15 November 2013: vol. 342 no. 6160 pp.850-853. [Електронний ресурс] URL:<http://www.sciencemag.org/content/342/6160/850>

24. Nguyen T.H., Berelov M.S., Jones S., Haywood A. Mapping forest disturbance and recovery for forest dynamics over large areas using Landsat time-series remote sensing // Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX, 104210W, At Warsaw, Poland. 2017. P. 1– 12.

25. Novichikhin Anton. 8-band Research Challenge. Development of object-oriented image classification technique with a tree heights and species interpretation using 8-band VHR

satellite imagery. April 2011. [Электронный ресурс]

URL:http://dgl.us.neolane.net/res/img/3c5687076c23798_77a695dbbeddc6a11.pdf

26. Räsänen A., Elsakov V., Virtanen T. Usability of one-class classification in mapping and detecting changes in bare peat surfaces in the tundra // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40, №.11. P. 4083 – 4103.

27. Richards, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis / J.A. Richards. – Springer-Ferlag, Berlin, 1993. – 340p.