

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ ТА ТУРИЗМУ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Моніторинг земель лісогосподарського
призначення за даними аерокосмічних знімачь**

Виконав: студент, групи ЗВ-61
напряму підготовки (спеціальності)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Зінкевич М. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.е.н., доцент Колодій П.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент:

ДУБЛЯНИ - 2020р

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Теоретичні положення моніторингу лісів за диними 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 та захист населення в надзвичайних ситуаціях	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

УДК 528.9

Моніторинг земель лісогосподарського призначення за даними аерокосмічних знімачів. Зінкевич М.В. - Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Дубляни, ЛНАУ, 2021.

80 с. текст. част., 5 табл., 52 рис., 38 джерел, Електронна презентація.

Розкрито геоінформаційні методи у реалізації Моніторинг земель лісогосподарського призначення за даними аерокосмічних в межах Карпатського регіону Львівської області.

Методом неконтрольованої класифікації зображень для визначення зміни площ лісів в гірській частині Львівської області проведено моніторинг використання лісів.

Запровадження у виробництво результатів дослідження кваліфікаційної роботи сприятиме підвищенню ефективності контролю за використання лісових ресурсів.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технології у сфері геодезії і геоінформатики дозволяють проводити оціну використання угідь методами дистанційного зондування незалежно від місцярозташування чи доступності до них. Особливої актуальності ці методи мають у сфері лісокористування з метою контролю за вирубками та хворобами лісів.

Мета і задача дослідження. Моніторинг земель лісогосподарського призначення за даними аерокосмічних знімків.

Предметом дослідження даної роботи є визначення зміни площ лісів в гірській частині Львівської області з використанням методу неконтрольованої класифікації зображень.

Об'єктом дослідження є територія лісових масивів у гірській частині Львівської області.

Методологія і методика дослідження. Методологічною основою дослідження, вимірювання, спостереження, методи просторово-часового аналізу, аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених з досліджуваної проблеми.

Інформаційна база. Зображення досліджуваної території за допомогою космічних знімків супутника Landsat 8 з геосервісу геологічної служби США (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>, інструментальне забезпечення програмного комплексу ArcGIS 10.8.

Особистий внесок дипломника. Кваліфікаційна робота є самостійно виконаною науковою працею, в якій викладено методологію дослідження використання лісових ресурсів методами дистанційного зондування із застосуванням сучасних методів геоінформаційного аналізу у гірських районах Львівської області. Висновки що винесені на захист, зроблено самостійно.

Структура і обсяг кваліфікаційної роботи. Складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури. Робота виконана на 80 тексту, презентаційні матеріали підготовлені у в PowerPoint 2010.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ ЗА ДИНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

1.1. Системи моніторингу, їхні види та класифікація.

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

Задачею моніторингу є організація збору, систематизація, накопичення у визначених структурах і форматах, передача та обробка інформації. Моніторинг як система заходів має забезпечити вирішення означених завдань за такими критеріями, як інформативність, точність, достовірність, оперативність, повнота отримання первинних даних. Моніторинг, який здійснюється методами дистанційного зондування Землі характеризують, як динамічний. Він передбачає безперервне отримання даних знімань. Виділяють такі основні вимоги до систем моніторингу:

- Забезпечення повного охоплення усіх досліджуваних територій;
- отримання тематичної інформації та виявлення змін вимірів;
- забезпечення необхідної точності вимірів тематичних параметрів досліджуваного явища;
- масштабованість системи моніторингу, тобто забезпечення доступу до вмісту баз даних без зміни мережевої інфраструктури;
- забезпечення достатньої щільності вимірювальних станцій або датчиків (пристроїв);
- доступність даних.

Об'єктами ландшафтно-екологічного моніторингу є: атмосферне повітря, водні угіддя, біологічне різноманіття, природні ресурси, землі, геологічне середовище. За кожним з об'єктів здійснюється цілеспрямоване, масштабоване в часі спостереження, аналіз, оцінка. Оцінкою точності

отриманих даних вважають порівняння вимірюваної досліджуваної (або контрольованої) величини з побудованою тим, чи іншим способом завірковою моделлю [8].

Моніторинг здійснюють на різних територіальних рівнях: міжнародному, загальнодержавному, територіальному, локальному. Тому інформаційне забезпечення як правило будують за ієрархічним принципом та різним ступенем деталізації і узагальнення інформації по кожному з об'єктів моніторингу. Геоінформаційні системи є потужними масштабованими інструментами, що дозволяють здійснювати оперативне і достовірне опрацювання інформації, здійснювати аналіз та прогнозування на будь-якому рівні охоплення.

У відповідності до сучасної концепції моніторингу виділяють різні рівні спостережень. Вони різняться між собою за територіальним охопленням, методами спостережень, видами спостережень, призначенням, частотою спостережень, також за вимогами та точністю одержуваної інформації (рис.1).

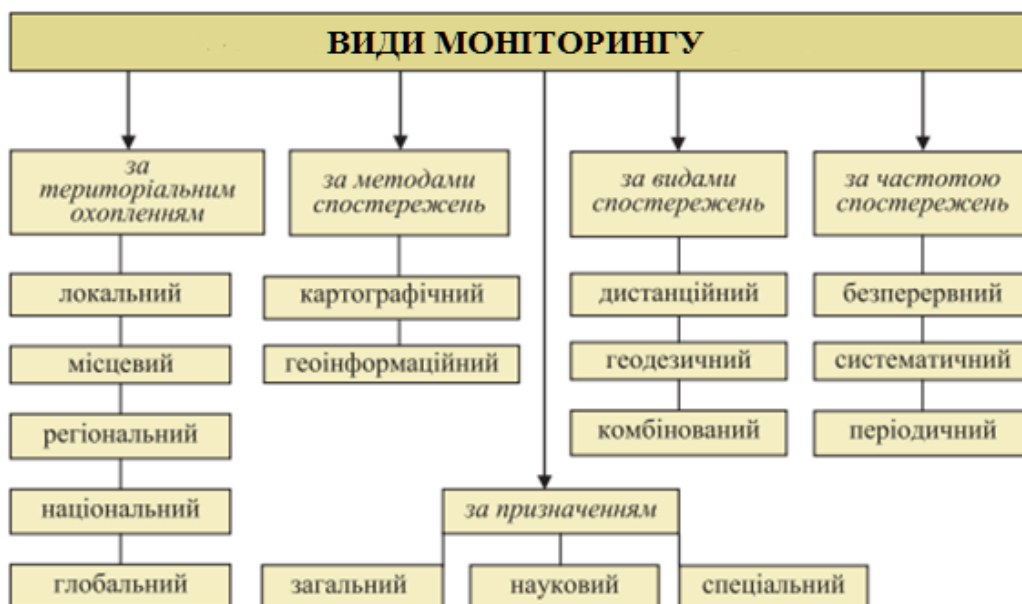


Рисунок. 1. - Види моніторингу

За територіальним охопленням моніторинг буває: глобальний (континент, частина світу), національний (країна), регіональний (область),

місцевий (ландшафтна фація), локальний (виділений на відносно невеликій площі за природоохоронними, ландшафтними чи іншими критеріями об'єкт, такий як наприклад парк, урочище, лісовий масив тощо).

За методами спостереження та організації даних моніторинг поділяється на геоінформаційний (створення електронних карт) та картографічний (створення традиційних карт, планів, абрисів та схем).

За призначенням виділяють такі види моніторингу: загальний (стандартний) – здійснюється за множиною основних показників для всієї території; науковий (фоновий) – проводиться за множиною багатьох показників з дослідницькою метою; спеціальний (оперативно-кризовий) – за визначеним набором показників на певну або ж усю територію.

За видами спостережень розрізняють моніторинг дистанційний, геодезичний, комбінований.

За частотою спостережень буває безперервний (під час пожежонебезпечного сезону, на потенційно небезпечних ділянках), систематичний, періодичний (визначення межі снігового покриву, фенологічного стану лісів) види моніторингу.

Починаючи з 90-х методи дистанційного моніторингу активно застосовуються у спостереженні за лісовою рослинністю (незалежно від її видів та місця її знаходження). Напрямок цих спостережень націлений отримання різних характеристик лісів, (типи порід, їх вік, хвороби лісів, поточний стан тощо) спираючись на дані отриманні дистанційними методами.

Сутність моніторингу лісів та його мету, складові, які повинні забезпечити ведення моніторингу, методи підвищення оперативності отримання і якості первинних даних про екологічний стан лісів, зростання рівня адекватності реального екологічного стану лісів та його інформаційної моделі, подано на сайті Державного агентства лісових ресурсів України [18].

Виділено такі основні завдання моніторингу лісів [3]:

- довгострокові систематичні спостереження за станом лісових екосистем України для одержання повної об'єктивної та своєчасної інформації щодо його поточних змін;
- виявлення та оцінювання природних і антропогенних чинників, які впливають на стан лісів;
- оцінювання масштабів погіршення стану лісів;
- з'ясування причин і механізмів зміни їх стану;
- визначення закономірностей їх сталого функціонування і прогнозування динаміки; інформаційно-аналітична підтримка рішень щодо управління лісами.

Інтегруючим програмним середовищем, в якому відбувається накопичення всіх видів даних та здійснюється реалізація алгоритмів їхнього опрацювання є геоінформаційні системи.

Основні етапи програми моніторингу з використанням даних дистанційного зондування Землі:

- отримання та попередня обробка космічних знімків;
- отримання і нагромадження наземної завіркової та контрольної інформації (підсупутникових вимірювань та спостережень);
- інтегрована обробка космічних знімків та наземної інформації;
- аналіз отриманих результатів та прогнозування розвитку досліджуваного процесу чи явища;

Дистанційні спостереження із штучних супутників Землі, пілотованих та безпілотних повітряних літальних апаратів можуть здійснюватися як у ході знімань в оптичному і радіодіапазонах, так і шляхом візуальних (інструментально-візуальних) спостережень. За просторовим розрізненням вся інформація, одержана методом дистанційного зондування з метою її застосування в моніторингових системах умовно поділяється на чотири групи:

- оглядова космічна інформація оптичного і радіо діапазону з дуже низьким просторовим розрізненням (близько 1000 м), отримувана зі

штучних супутників Землі NOAA (радіометр AVHRR), "Метеор-3М", "Океан", а також в радіодіапазоні пасивними засобами знімання (НВЧ-радіометрами) до 10 км;

- космічні зображення низького просторового розрізнення (100-200 м), отримані із супутників MODIS, "Ресурс" і "Океан" (з тепловими каналами в інтервалі 2-5 мкм),;
- космічні зображення оптичного і радіодіапазонів середнього просторового розрізнення (10-30 м) – отримані із супутників типу SPOT, Landsat-8, Sentinel -1, Sentinel -2;
- космічні знімальні системи високого просторового розрізнення (1-10м) – типу Ikonos, EROS-B, QuickBird та надвисокого (менше 1м) просторового розрізнення – типу WorldView, GeoEye.

Призначена для виконання моніторингу ГІС повинна відповідати наступним вимогам:

1. розподілена серверна архітектура;
2. використання структур баз геоданих із суміщенням атрибутивної та геометричної і просторової інформації;
3. реплікація баз даних;
4. зрозумілий і зручний для користувача інтерфейс;
5. можливість вибору картографічної та атрибутивної інформації за критеріями та її візуалізація;
6. можливість створення різних форм лісового реєстру, що відповідають чинній галузевій нормативній документації;
7. можливість формування електронної звітності.

Досвід використання моніторингових інформаційних систем на базі розподілених ГІС показує, що експерименти з інтеграцією геоінформаційних технологій у нову предметну область, як правило, закінчуються реалізацією пілотних проектів і отриманням лише "візуально-презентаційного" ефекту і здебільшого не стають прототипами для розробки систем виробничого

застосування. Аналізуючи основні причини випадків неефективної реалізації проектів моніторингу, слід зазначити, що основними з них є недостатня інтеграція засобів ГІС/ДЗЗ моніторингу в поточні бізнес-процеси управління і відсутність законодавчої і нормативної бази щодо використання космічних знімків у конкретних предметних областях.

1.2. Принципи здійснення дистанційного зондування Землі

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) описано в багатьох джерелах і в цілому розглядається як комплекс заходів, що включає спостереження та вимірювання всіх елементів поверхні Землі та її атмосфери із застосуванням електромагнітних хвиль у різних діапазонах. Це дає можливість виявити та місцезнаходження, описати характер зміни отриманих даних у часовому періоді як природних явищ та об'єктів а також антропогенних об'єктів.

Серед ознак, що роблять ДДЗ одним з найважливіших джерел даних для екологічних досліджень різноманітного практичного спрямування, слід відзначити наступні [19]:

- Інформативність - інтегральна властивість даних дистанційного зондування, яка формулюється як можливість отримувати на основі цих даних великі об'єми інформації про земну поверхню в різних вимірах: просторовому (тобто можливістю їх вивчення з різною детальністю), часовому за періодичністю повторного знімання) та тематичному (спостереження в різних спектральних діапазонах, для визначення різних показників для характеристики стану досліджуваного об'єкта).

- Просторова оглядовість – забезпечується територіальним охопленням інформації, отримання якої є можливим завдяки ДЗЗ. Найбільшою мірою це характерно для супутникового знімання, що забезпечує можливість отримання знімків встановленого просторового розрізнення на території в десятки або сотні квадратних кілометрів. При цьому великі регіони покриваються

зйомкою практично одночасно, за сталих умов. В результаті з'являються можливість вести дослідження в глобальному масштабі. Крім того, ДЗЗ є унікальним у своїй можливості забезпечувати зведеними даними, тобто цілісно покривати великі території які можуть містити сукупність дискретних даних. Своїм всеохоплюючим покриттям дані ДЗЗ забезпечують дотримання принципу загальності в дослідженнях довкілля, який означає вичерпне включення всіх об'єктів в дослідження території. Оглядовість даних означає дещо більше, ніж просто можливість отримати інформацію для великої території з одного джерела даних. В фундаментальному розумінні вона надає можливість побачити ті характерні структурні риси, які можливо розрізнити лише в тому випадку, коли в полі зору знаходиться значна частина ландшафту.

- Повторюваність та динамічність – ДЗЗ забезпечує унікальні можливості для періодичного збору даних порівняно з іншими джерелами геопросторових даних, такими як польове знімання або створення картографічних матеріалів. Це дає можливість постійно слідкувати за динамікою ландшафту чи окремих явищ і процесів (добовою, сезонною, річною та багаторічною), фіксувати його стан за різних умов, більш повно розкриваючи особливості просторово-часової структури, і визначати найбільш репрезентативні стани. Поглиблений просторово-часовий аналіз також може проводитись на основі ДДЗ, оскільки архівні знімки дають можливість «оглянути» територію в минулому. Дані аерофотознімання, що зберігаються в багатьох національних архівах як мінімум з 1940-х років, та космічного знімання, що почало відігравати важливу роль з середини 1970-х років, значно розширюють доступні часові межі. Оперативні дослідження сучасного стану ландшафтів забезпечується більшістю супутникових систем з періодами повторення знімання від годин до декількох тижнів.

- Об'єктивність – порівняно з польовими дослідженнями та картографічними матеріалами, які є найбільш важливими джерелами

інформації про ландшафти, ДЗЗ має ряд переваг. Польовий збір даних займає багато часу, є дорогим і складним для здійснення. Наявні картографічні матеріали є готовими для використання, але являють собою суттєво перероблене, узагальнене та вибіркоче за змістом представлення території. Наприклад, топографічна карта - це результат застосування обумовленого набору правил стосовно визначення окремих рис ландшафту і способів їх подавання на карті, що означає істотне спрощення реальності. Саме тому робота з ДДЗ розглядається як засіб, що має потенціал вловлювати ландшафтну інформацію через використання джерел даних позбавлених від проходження процесу абстрагування людиною. Це особливо стосується даних аерофотознімання, які мають загальний рівень детальності, близький до того, що характерний для спостережень в реальності. Також, для різних типів натурних досліджень інформація, надана ДДЗ, може істотно допомогти при підготовці до ефективного проведення польових спостережень.

- Стандартизованість - забезпечує можливість співставлення індивідуальних даних, є важливою для практичного застосування рисою в будь-якій техніці, що використовується для здійснення фізичних вимірювань. Для технології ДЗЗ, яка значною мірою базується на візуалізації, це є фундаментальною вимогою. Відповідно до цього більшість наборів ДДЗ характеризується високими рівнями внутрішньої стандартизованості даних. Їх стандартизованість ґрунтується на базових фізичних принципах, що робить можливим розрахунок та оцінювання багатьох параметрів земної поверхні, таких як вміст вологи або кількість біомаси. Стандартизованість є принциповою для даних супутникового знімання, де можливим є контроль над такими параметрами як освітлення або ракурс огляду, які власне і можуть спотворити вихідні значення. Стандартизованість також проявляється в загальноприйнятих способах постачання ДДЗ, наприклад у вигляді растрових даних в широко вживаних файлових форматах, що супроводжуються файлами метаданих.

Дані, отримані шляхом дистанційних спостережень поверхні землі з мають широкий кругозір застосування в народогосподарському комплексі, від створення та оновлення карт до опрацювання даних з метою управління земельними ресурсами, обліку та контролю за змінами у широкому колі розуміння цього поняття.

ДДЗ є важливим джерелом отримання тематичної інформації щодо типів землекористування та наземного покриття на різних масштабних рівнях. Процес отримання тематичної інформації на основі ДЗЗ і з застосуванням автоматизованих (комп'ютеризованих) методів їх обробки називається автоматичною тематичною класифікацією.

Класифікаційні алгоритми ґрунтуються на тому, що кожному земному об'єкту властива своя специфіка відбивання в різних ділянках електромагнітного спектра. Оскільки ці характерні риси фіксуються багатозональними знімками, вони можуть бути використані для розпізнавання цих об'єктів на знімках (рис.2).

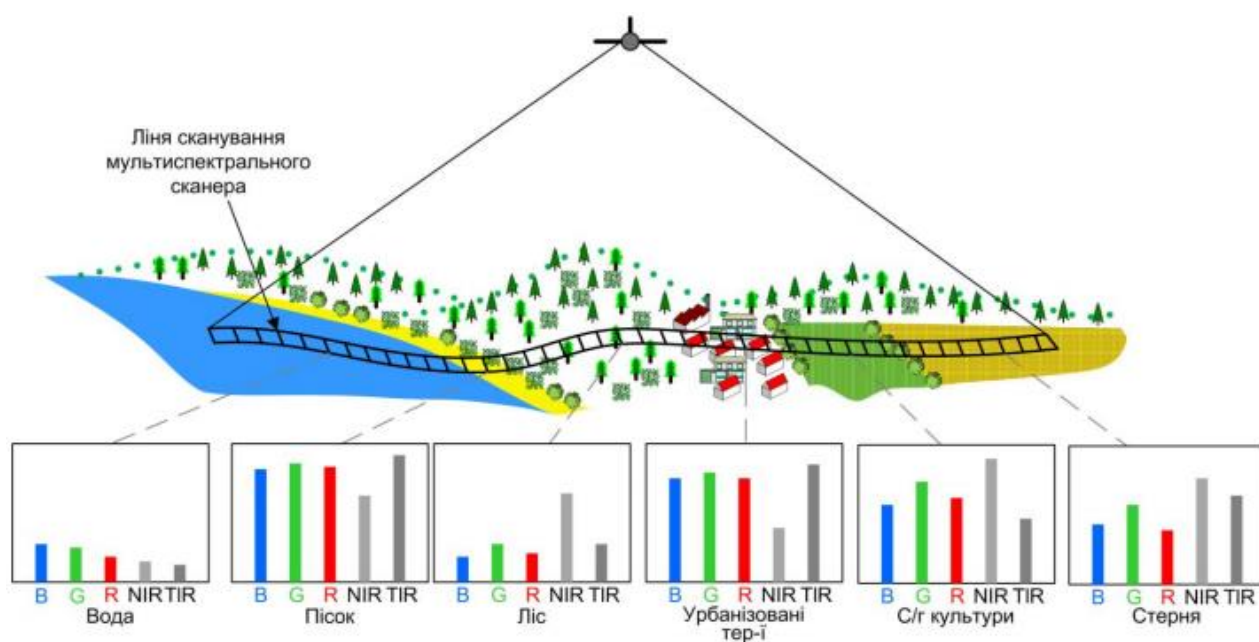


Рисунок 2 – Розподіл різних типів земні поверхні та їх характеристики методом сканування з комбінацією різних спектральних каналів.

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

Класифікація як процедура полягає в тому, щоб проаналізувавши положення пікселя в просторі спектральних ознак, порівняти його з певним класом земних об'єктів, тому іноді її називають розпізнаванням спектральних образів. З цієї точки зору важливо розрізняти, що спектральним класом а що є тематичним.[32] Якщо узагальнити інформацію про ці класи то можна сказати, що спектральні представляють дані відбивальної здатності об'єктів, а тематичні представляють самі об'єкти досліджень

Тому класифікація націлена на визначення зв'язків між спектральними та тематичними класами. Окремі спектральні образи можуть бути доволі компактними і тому легко порівняються з іншими тематичними класами. Проте, через значну неоднорідність територій, один тематичний клас може мати не один спектральний, чере їх перекритті в просторі спектральних ознак. В такому випадку прив'язка пікселя до тематичного класу напряму залежить від обраного класифікаційного підходу та алгоритму його реалізації [19].

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, яка подає принципи оброблення багатоспектральних космічних знімків високого просторового розрізнення, зокрема для вивчення рослинності є праця [36]. Приводяться типові сигнатури рослинності та графіки поведінки спектральної відбивної здатності рослин. В теперішній час ці підходи вже зазнали певних змін і доповнень, які пояснюються в першу чергу зміною типів знімальної апаратури.

Робота [31] послідовно подає всі етапи автоматизованої тематичної обробки і основні алгоритми, які застосовуються на кожному з етапів. Найбільша увага приділена методам автоматичного опрацювання мультиспектральних зображень, як найбільш поширеному типу відеоданих. Проте в роботі не розглядаються методи опрацювання космічних знімків саме для вирішення завдань вивчення лісів.

Книга [29] подає класичні методи опрацювання космічних знімків при вивченні рослинності. Описано рекомендації щодо сезонності, комбінування каналів та дешифрувальні ознаки різних типів лісових масивів. Автори подають дешифрувальні ознаки суцільних, вибіркових і прохідних рубок. Найбільш поширеним способом рубок в лісовому господарстві є суцільні рубки, при яких відбувається повна виїмка древостою або зберігаються тільки окремі дерева. Дешифрування суцільних рубок рекомендовано виконувати в синтезі каналів NIR-RED-GREEN – в такому випадку суцільні вирубки будуть мати голубовато-зелений відтінок, а в синтезі SWIR-NIR-RED – яскраво-рожевий. Це також дозволяє надійно відокремити їх від заростаючих вирубок, які мають яскраво-зелений колір в синтезі каналів SWIR-NIR-RED.

Дослідження які є в збірнику [23, с.5-7] вказують, що у випадку детального вивчення локальних ділянок лісів доцільно поєднувати використання матеріалів космічних знімків, даних авіаційного та лідарного знімання з розрізненням до 5 см. Проте автори не деталізують умови виникнення таких ситуацій. Очевидно, мова не може йти про великі лісові

масиви. В загальному випадку цілком виправданим є застосування космічних знімків із розрізненням до 10м, на що вказується в роботі [28].

Як вже згадувалось вище ДЗЗ є ефективним засобом для обліку природних ресурсів зокрема порушень цілісності лісових масивів. В Австралії було досліджено і опубліковано в роботі [35] методи картографування як порушень, так і оцінки відновлення лісів на великих територіях за 30- річний період (1988–2016 роки) з використанням даних часових серій знімків Landsat. Класифікація відбувалась з двома класами – «ліс» і «не ліс».

Фінський досвід класифікації лісів на національному рівні показано в роботі [36]. В Фінляндії некерована класифікація супутникових знімків методом найближчого сусіда для розмежування лісових і не лісових земель стала невід’ємною частиною загально державної інвентаризації лісів. Особливо він є ефективним в північних районах країни.

В статті [6] для ідентифікації лісів досліджено методи контрольованої класифікації за мінімальною відстанню, відстанню Махаланобіса і метод максимальної правдоподібності. Застосовано космічні знімки з супутників Ikonos, QuickBird і завіркова наземна інформація. Встановлено, що ефективним для класифікації лісів є метод максимальної правдоподібності.

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.

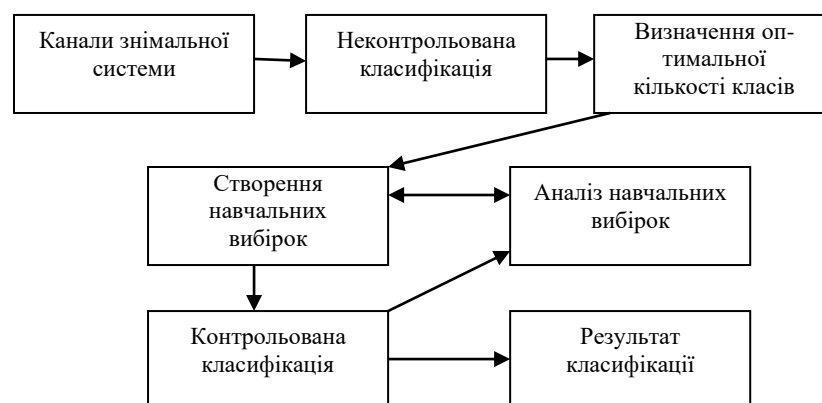


Рисунок 4. – Структурна схема гібридної класифікації

Автори вказують на багатоетапність виконання досліджень і важливість кропіткого виконання кожного з послідовних процесів.

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

$$\frac{\Delta M_{(i+1)-i}}{\Delta M_{1-n}} \leq \varepsilon, \quad (1)$$

де n – кількість класів; $\Delta M_{(i+1)-i}$ – усереднені різниці середніх спектральних яскравостей між класами з каналів; ΔM_{1-n} – усереднена загальна різниця спектральних яскравостей.

Вибір заданого значення критерію ε залежить від завдання класифікації та типу місцевості: інтегровані за видами дерев масиви (хвойні, листові, мішані), ще більш структуровані (береза, дуб тощо).

Загалом вибір значення ε залежить від загальної різниці спектральних яскравостей ΔM_{1-n} та усередненої різниці між класами $\Delta M_{(i+1)-i}$:

$$\Delta M_{(i+1)-i} = \frac{\sum_{i=1}^L [\Delta M_{(i+1)-i}]}{L}, \quad (2)$$

$$\Delta M_{1-n} = \frac{\sum_{i=1}^L [\Delta M_{1-n}]}{L}, \quad (3)$$

де L – кількість каналів.

В роботі [5] приведено результати вивчення лісів прикарпаття методом візуального аналізу та неконтрольованої класифікації. Особливістю цієї роботи є використання фрагментованих космічних знімків, отриманих на різні часові періоди.

Мета роботи [4] полягає у вивченні стану хвойних лісів Прикарпатського регіону за космічними зображеннями середнього та високого розрізнення з використанням для отримання завіркової інформації знімків, отриманих з безпілотного літального апарату (БПЛА) та спектрофотометричних вимірювань хвойної рослинності. Аналіз отриманих спектральних кривих дає змогу вибирати відповідні діапазони електромагнітного спектру для ідентифікації пошкодженої та сухої рослинності. Дослідження базується на використанні космічних знімків

високого та середнього розрізнення, отриманих із супутників GeoEye-1 та Sentinel-2. Отримані спектральні криві дозволяють ідентифікувати пошкоджену та здорову рослинність. Для визначення площ ділянок із пошкодженою хвойною рослинністю виконано контрольовану класифікацію за методом максимальної вірогідності.

Робота [38] подає підхід до вивчення стану деревостою та його таксаційних параметрів за космічними знімками надвисокого розрізнення WorldView-2. Технологія передбачає використання інформації про рельєф та умови освітлення для врахування розміру і щільності тіней в умовах різної зімкнутості плугу лісу. Метод демонструє високу достовірність виявлення окремих крон в умовах рідколісся (85%), проте є затратним щодо необхідних для його реалізації ресурсів і умов моделювання.

В роботі [25] автори вказують на факт, що геоінформаційні технології є в наш час найбільш перспективним методом систематизації і аналізу фактологічної і просторової інформації про динаміку лісового покриву. Проте, не йдеться про інтеграцію функціоналу безпосереднього оброблення космічних знімків та інших даних дистанційного зондування Землі в середовищі ГІС. Такі прийоми описуються в роботі [27] з вказанням на фактичну інтеграцію ДЗЗ та ГІС технологій, проте для професійного оброблення знімків рекомендуються спеціалізовані програмні комплекси ENVI та ERDAS IMAGINE.

Одним з перших повідомлень про формування глобального веб-сервісу, який у відкритому доступі показує зміни лісового покриву є робота [34]. В 2013 році в журналі Science опублікована стаття групи вчених з Мерілендського університету і ряду інших науково-дослідних організацій про зміни лісового покриву з 2000 року - High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Сама карта розміщена у відкритому доступі в мережі інтернет http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.7.html . Джерелом для її створення стали супутникові

знімки Landsat. На сьогоднішній день це важливий інформаційний ресурс для розуміння динаміки лісового покриву, який став основою для великої кількості різноманітних інших досліджень і оцінок. Проте цей ресурс має певну циклічність оновлення і очевидним є певне узагальнення (генералізація) інформації, що подається.

За повідомленнями в інших джерелах, зокрема [24], ресурс подає дещо спотворені оцінки відновлення лісу на вирубках і заростання лісом покинутих сільськогосподарських угідь. Також знімки Landsat є джерелом інших глобальних покриттів, в якому відомості про ліси є важливою частиною і активно застосовуються в дослідженнях загально національного та регіонального рівня [16].

Веб-Гіс технології знайшли реалізацію при створенні інтернет-карти лісорубних виділів [9] Державним агентством лісових ресурсів України. Цей ресурс створено як частина електронного реєстру лісорубних квитків на заготівлю деревини. Це реєстр дозвільних документів, які дають право здійснювати господарську діяльність, пов'язану із заготівлею деревини. Реєстр лісорубних квитків покриває всю територію України. В цьому реєстрі зібрано всі дані про лісорубні квитки для того, щоб зробити цю інформацію доступною для громадськості.

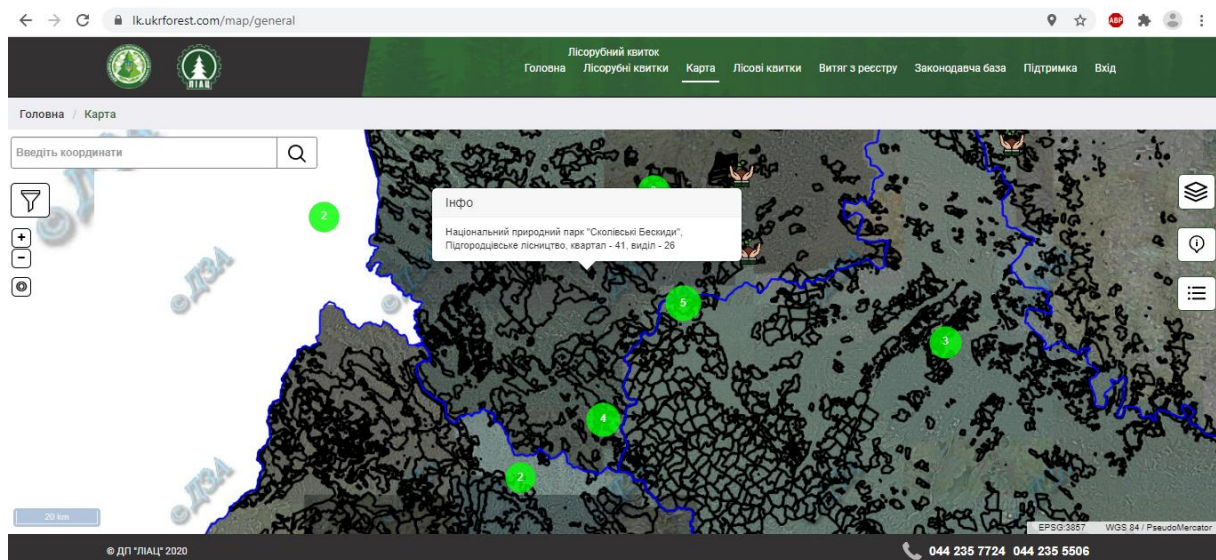


Рисунок.5. – Інтернет-карта лісорубних виділів

Область	Постійний лісорубувач	Номер лісорубного квитка	Початок ді лісорубного квитка	Строк закінчення заготівлі	Поміттво	Вид, спосіб рубки	Квартал, виділ, ділянка	Площа, га	Господарство	Запас деревини, дозволений до заготівлі, куб. м.	
										всього	в т. ч. ліквідної
Львівська	Радеківське ЛМГ	017227	13.07.2020	31.12.2020	Лопатин	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	57 кв (8 вид) 3 діл.	1	хв	159	142
Львівська	Радеківське ЛМГ	017227	13.07.2020	31.12.2020	Лопатин	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	57 кв (9 вид) 1 діл.	0,9	хв	146	129
Львівська	Радеківське ЛМГ	017229	13.07.2020	31.12.2020	Бабичівське	Суцільнолісосічна, середньолісосічна рубка	8 кв (19 вид) 5 діл.	0,6	хв	126	111
Львівська	Радеківське 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	Опацьке	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	Опацьке	Вибіркова санітарна рубка	59 кв (13 вид) діл.	4,5	хв	352	352
Львівська	Самбірське ЛГ	015576	07.08.2020	07.11.2020	Рудківське	Вибіркова санітарна рубка	19 кв (20 вид) діл.	8	тп	97	97
Львівська	Самбірське ЛГ	015571	27.07.2020	31.12.2020	Мостиське	Проріджування	2 кв (35 вид) діл.	2,3	хв	40	40
Львівська	Самбірське ЛГ	015572	29.07.2020	31.12.2020	Підбузьке	Проріджування	12 кв (8 вид) діл.	2,6	хв	18	18
Львівська	Самбірське ЛГ	015572	29.07.2020	31.12.2020	Підбузьке	Проріджування	27 кв (5 вид) діл.	2,4	хв	19	19
Львівська	Самбірське ЛГ	015563	14.07.2020	31.12.2020	Опацьке	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	Судовишинське	Прохідна рубка	30 кв (32 вид) 1 діл.	6	хв	145	145
Львівська	Самбірське ЛГ	015575	03.08.2020	31.12.2020	Судовишинське	Розчищення ЛЕП - Вибіркове	11 кв (24 вид) 3 діл.	0,1	хв	18	18
Львівська	Самбірське ЛГ	015574	03.08.2020	31.12.2020	Судовишинське	Рубка переформування, вибіркової	28 кв (7 вид) 2 діл.	9,8	тп	286	286
Львівська	Скопівське ЛГ	011122	14.07.2020	31.12.2020	Гребенівське	Вибіркова санітарна рубка	3 кв (50 вид) 5 діл.	1,6	хв	240	240
Львівська	Скопівське ЛГ	011120	14.07.2020	31.12.2020	Довжківське	Вибіркова санітарна рубка	14 кв (7 вид) 3 2020 діл.	2	хв	22	22
Львівська	Скопівське ЛГ	011130	24.07.2020	31.12.2020	Козівське	Вибіркова санітарна рубка	22 кв (13, 6 вид) діл.	3,6	хв	264	264
Львівська	Скопівське ЛГ	011128	21.07.2020	31.12.2020	Орківське	Рівномірно-поступова рубка, двопрямонахвцевий 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)» [https://drive.google.com/file/d/1kGGwyyurm-5_zJPlh5QnjnOxHmzDUm1/view]

2. ПРИНЦИПИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОСЛИННОСТІ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ

2.1. Спектральні особливості сонячного випромінювання

Встановлені на штучних супутниках датчики реєструють відбите від земної поверхні сонячне випромінення або відбите від цієї поверхні штучно згенероване опромінення. Розглянемо основні фізичні принципи поширення променистої енергії в атмосфері Землі і умови відбиття цієї енергії від поверхонь рослин.

Сонце є найбільшим джерелом тепла та світла, що надходить в атмосферу та на поверхню Землі. Частина сонячного випромінення перетворюється в тепло в атмосфері та на поверхні земних об'єктів. Інша частина променистої енергії Сонця є видимим світлом. При потраплянні потоку випромінення Q на поверхню деякого тіла у загальному випадку частина цього потоку Q_R відбивається від тіла, суттєва частина Q_A поглинається тілом і деяка частина Q_D може проходити крізь тіло (рис.7). Таким чином, закон збереження енергії виражається рівнянням $Q = Q_R + Q_A + Q_D$ [8].

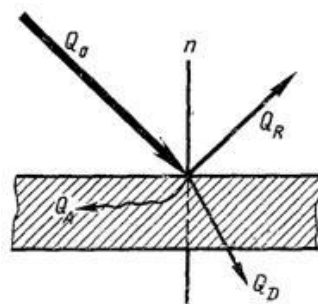


Рисунок 7. – Розподіл променистої енергії, яка потрапляє із зовнішнього простору на довільне тіло

Важливою характеристикою для реалізації ідеї дистанційного зондування Землі є відношення потоку енергії, відбитої поверхнею тіла до потоку відношення потоку випромінювання відбитого поверхнею тіла до

поток енергії, що потрапила на це тіло із зовнішнього світу. Таку характеристику називають відбивною здатністю об'єкта.

Іншими важливими характеристиками є параметри, що описують процеси поглинання і пропускання енергії конкретним тілом. Ці параметри залежать від геометричної форми тіла, його фізичних властивостей, кута під яким відбувається опромінення та від довжини хвилі опромінення. Спектр сонячного випромінювання показано на рис.8. на цьому рисунку виділено діапазони, важливі для здійснення дистанційного зондування Землі. В першу чергу мова йде про видимий лідиною спектр та інфрачервоний, мікрохвильовий та радіохвильовий діапазони невидимого спектру.

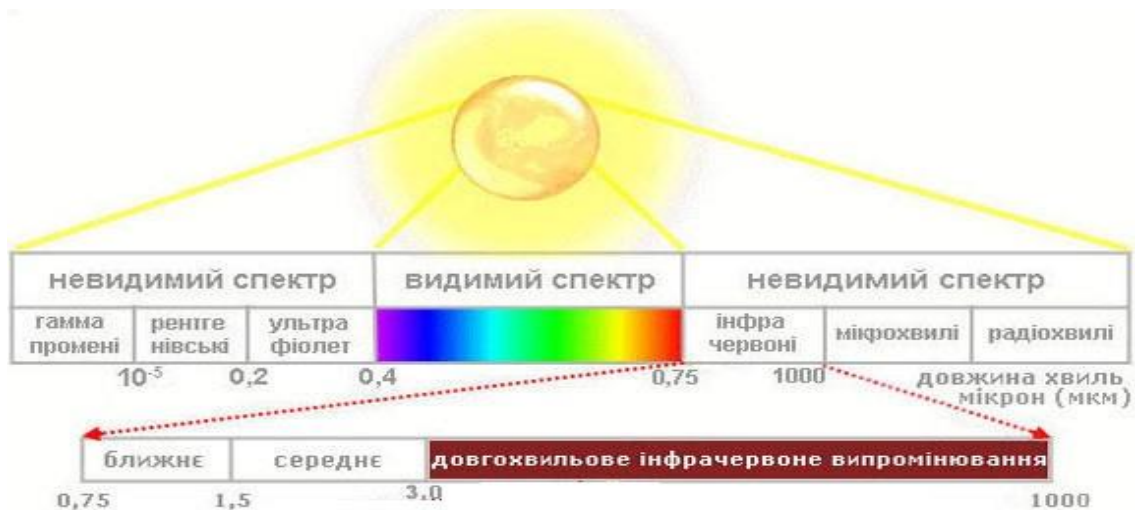


Рисунок 8. – Спектр сонячного випромінювання

Як видно з рисунка 8, від Сонця тіла на поверхні планети отримують електромагнітну енергію в широкому діапазоні довжин хвиль. Відповідно до закону Планка всі тіла з не нульовою температурою поверхні самі мають здатність випромінювати електромагнітну енергію. В термодинаміці використовується поняття «абсолютно чорне тіло». Цю фізичну абстракцію увів в 1862-му році Густав Кіркгофф. Згідно цієї фізичної абстракції абсолютно чорне тіло повністю поглинає все випромінювання, що падає на

нього. Проте, абсолютно чорне тіло може випромінювати теплову енергію, як показано на його моделі на рис.9.

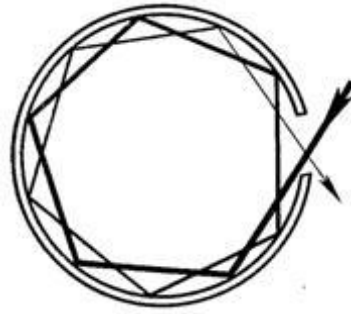


Рисунок 9 – Модель абсолютно чорного тіла

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

$$B^{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \frac{c_2}{e^{\lambda t}} - 1} \quad (4)$$

тут B^{λ} – енергія, яку випромінює абсолютно чорне тіло на хвилі довжиною $\lambda(m)$, (Wm^{-3});

c_1 та c_2 - константи.

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

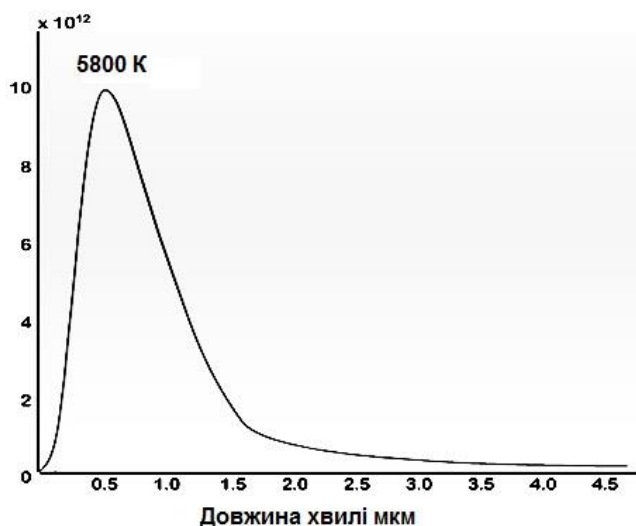


Рисунок 10. – Розподіл довжин хвиль сонячного випромінювання

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 випромінення, 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 падають хвилі різних довжин, але лише деякі відбиваються і можуть бути сприйняті оком людини. Всі інші поглинаються або перетворюються. Тому ми бачимо одні об'єкти в одному кольорі, а інші в іншому. Ці принципи застосовуються при синтезації космічного зображення. В RGB моделі, кольорове зображення це - синтезація зображень червоного, зеленого і синього спектральних каналів. На рис. 12 зображено різні варіанти взаємодії падаючої енергії з матерією.

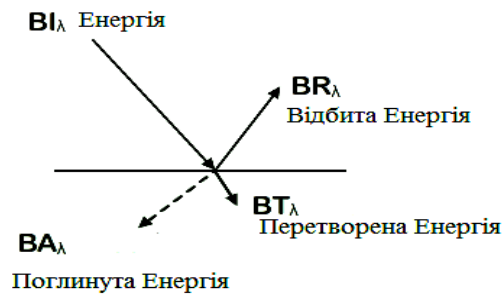


Рисунок. 12. – Схема взаємодії Сонячного випромінювання та земної поверхні

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 рис.13 сонячне випромінювання при проходженні товщі атмосфери:

- відбивається хмарами і атмосферою;
- поглинається поверхнею Землі (сушею і океанами);
- абсорбується (атмосферними пилом, газами);

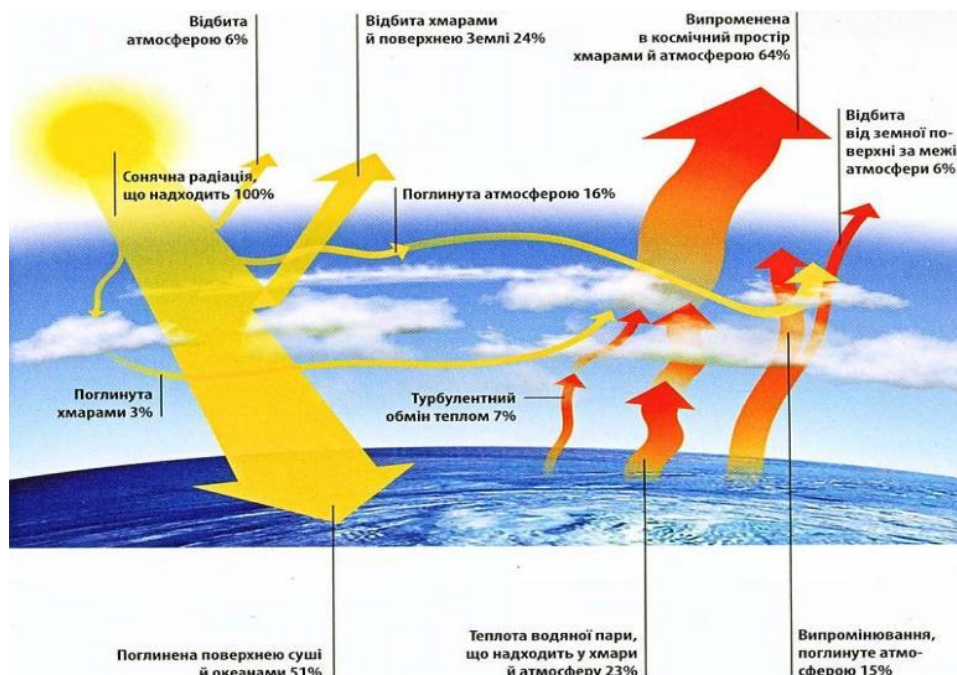


Рисунок. 13 – Схема проходження сонячного випромінювання крізь атмосферу

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 своєрідною кривою спектральної яскравості (СЯ) (рис. 14):

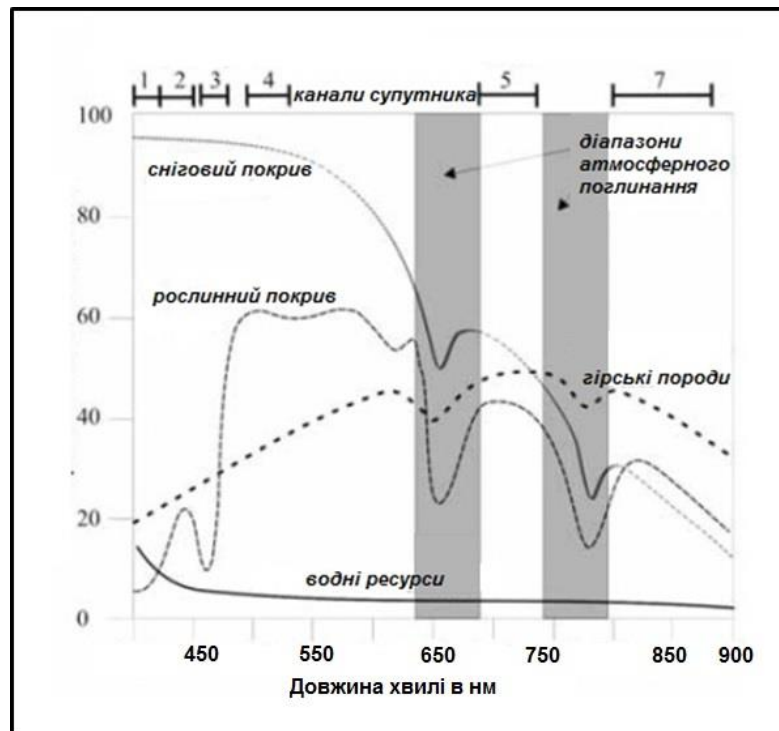


Рисунок 14. – Графік відбивної здатності об'єктів

- 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 ціткіу 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.

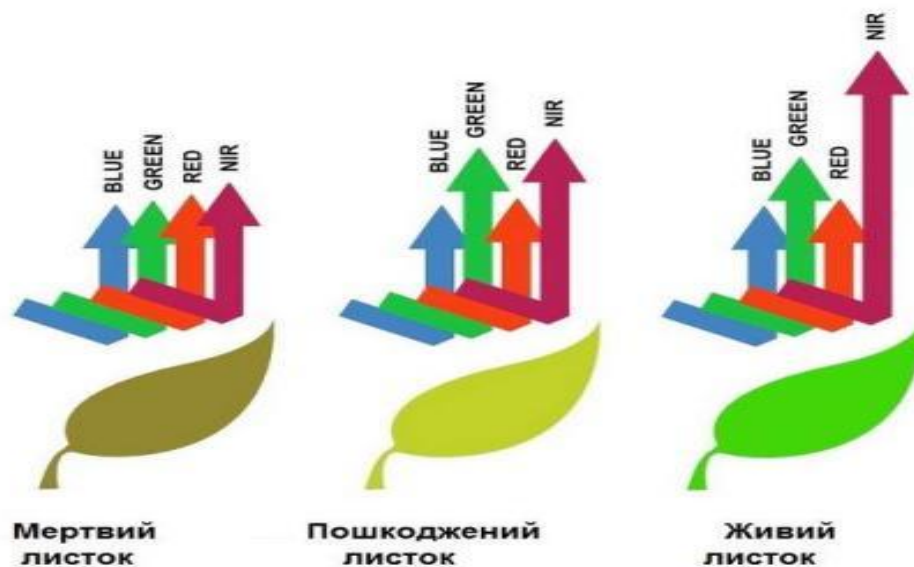


Рисунок 15 – Візуальне представлення відбивної здатності листя в різних зонах спектру

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.

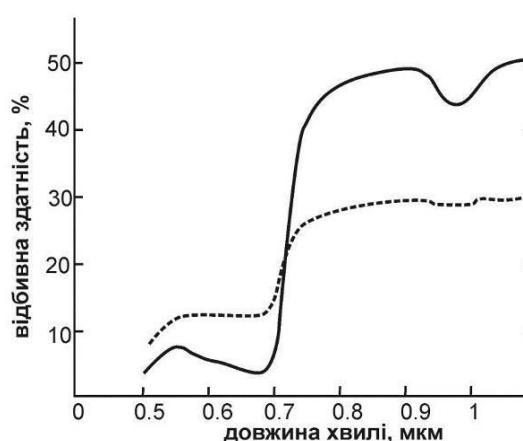


Рисунок 16 – Спектральна відбивна здатність здорових (суцільна лінія) і ушкоджених (пунктирна лінія) листків

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 0,6мкм – 0,7мкм. 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 ксантофіл (відповідає за колір листя восени) має сильне поглинання в 0,35 – 0,5 мкм, це довжина хвилі синього світла.

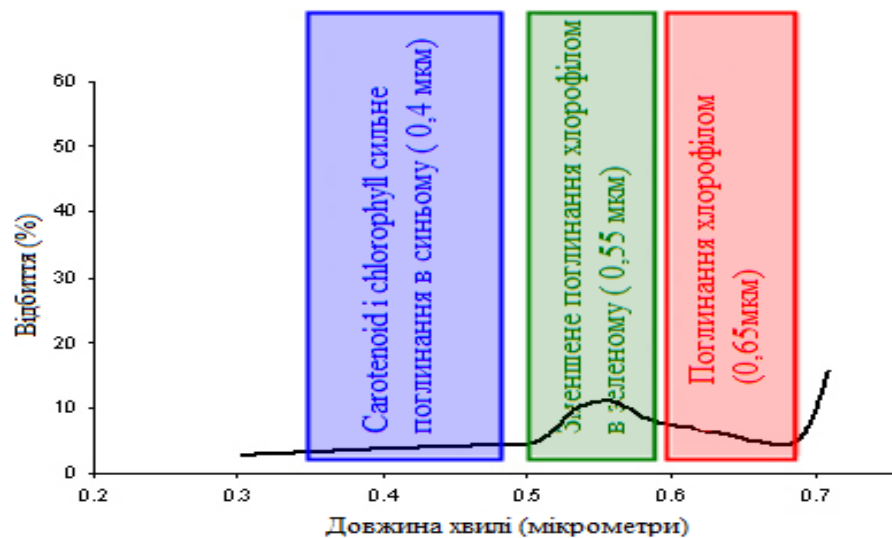


Рисунок 17 - Спектральна характеристика зеленої трави у видимому спектрі

Інфрачервоне (ІЧ) випромінення 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 затруднюють 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).

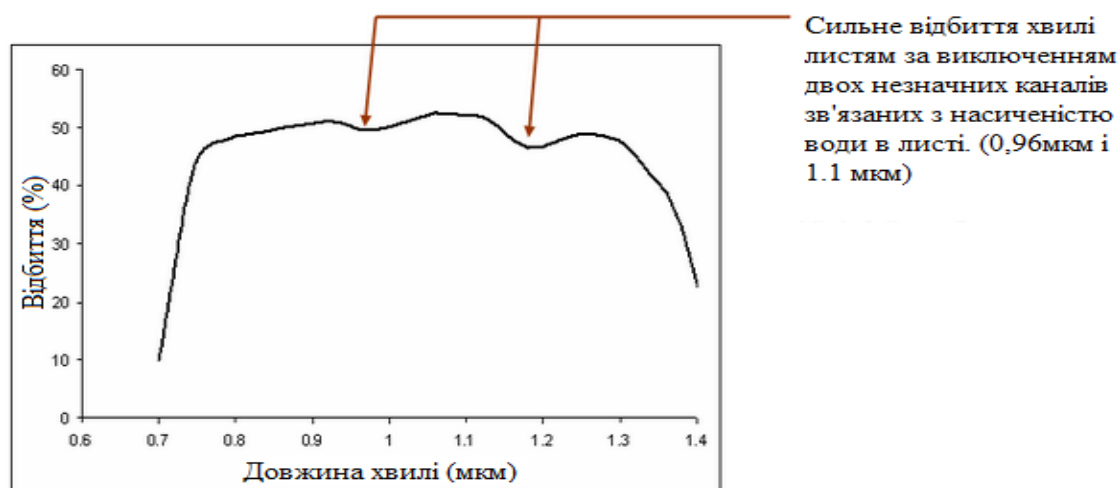


Рисунок 18 - Спектр відбиття для зеленого листя в ближній інфрачервоній ділянці

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 кутниковий 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 використовує для оцінки вмісту хлорофілу в листі або рослинному покриві [26].

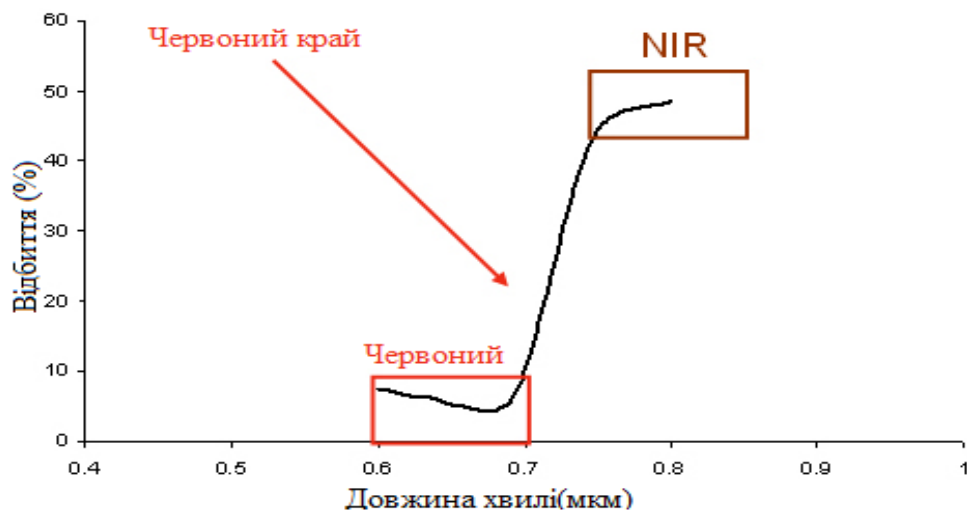


Рисунок 19 – Спектр відбиття зеленого листа в зоні переходу від видимої червоної до близької інфрачервоної ділянок

Властивість ефекту червоного краю є рішенням для реалізації обрахунків 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.

$$\text{NIR} = \beta_1 R + \beta_0, \quad (5)$$

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

Грунтова 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) .

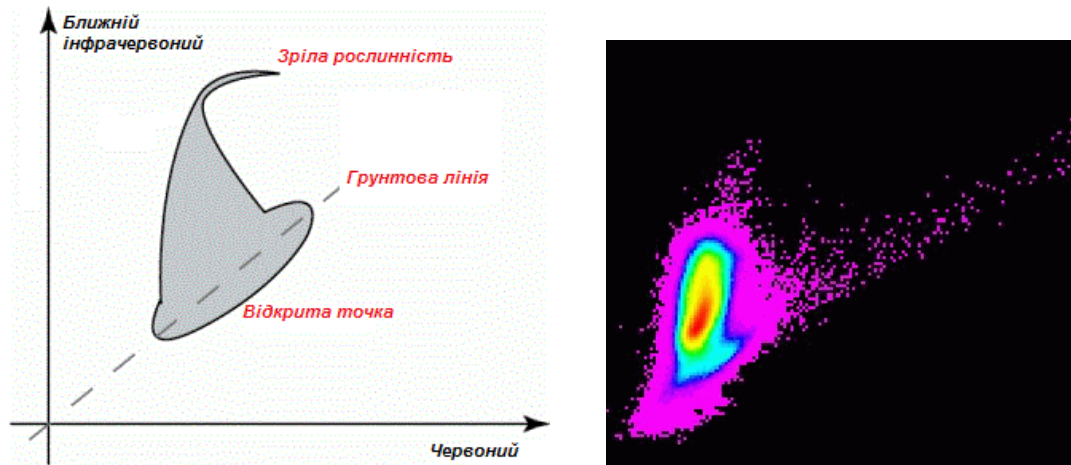


Рисунок 20 – Графік розподілу червоного (вісь X) та ближнього інфрачервоного (вісь Y) каналів в Landsat

Простий спосіб попіксельного 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).

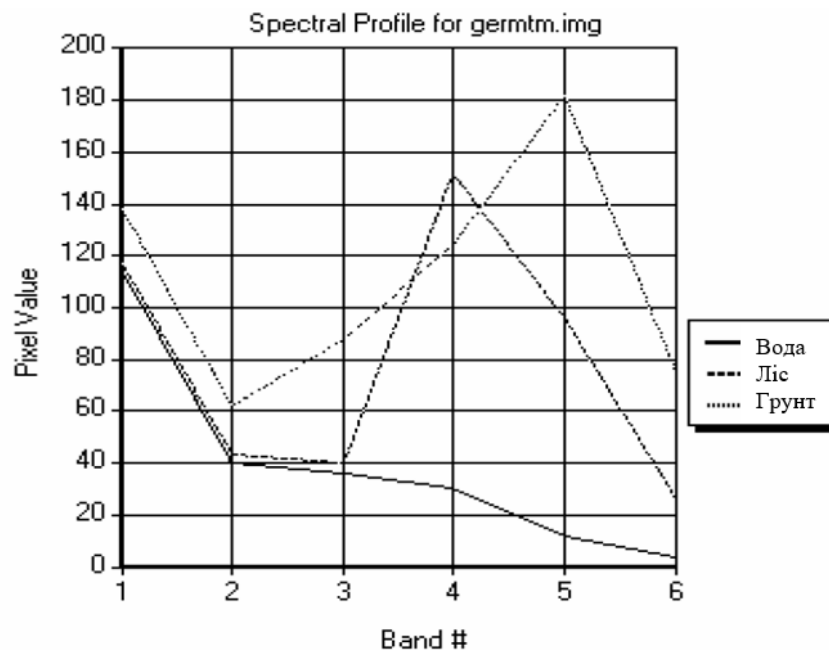


Рисунок 21 – Спектральні профілі води, лісу і ґрунту в 6 каналах сенсора ЕТМ+ (супутник Landsat-7):

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

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}, \quad (6)$$

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).

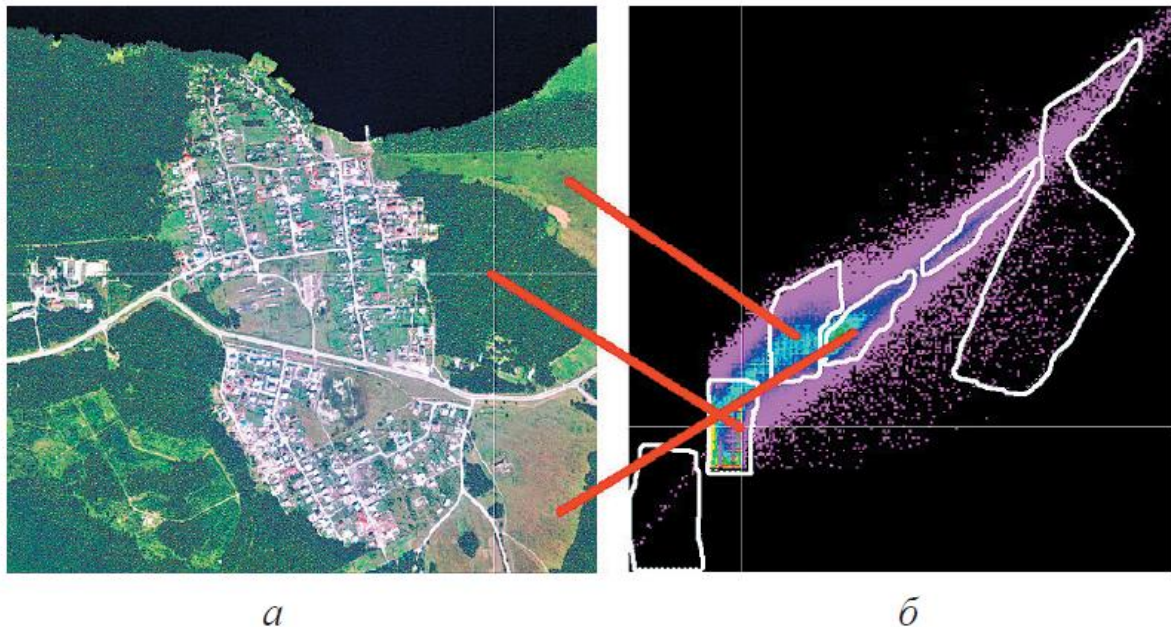


Рисунок 22 – Космічний знімок SPOT 4 (а) і об'єкти простору ознак (б)

Приклад трансформації двохканального 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 піксел відносять до найбільш підходящого класу. Якість навчання оцінюють за правильністю класифікації еталонних ділянок. Такі методи використовують, коли є достовірні наземні (завіркові) 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 (поріг схожимості, 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

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

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

Далі весь простір спектральних ознак ділять на N рівних частин (рис.23). Точками на графіку позначені гіпотетичні центри кластерів.

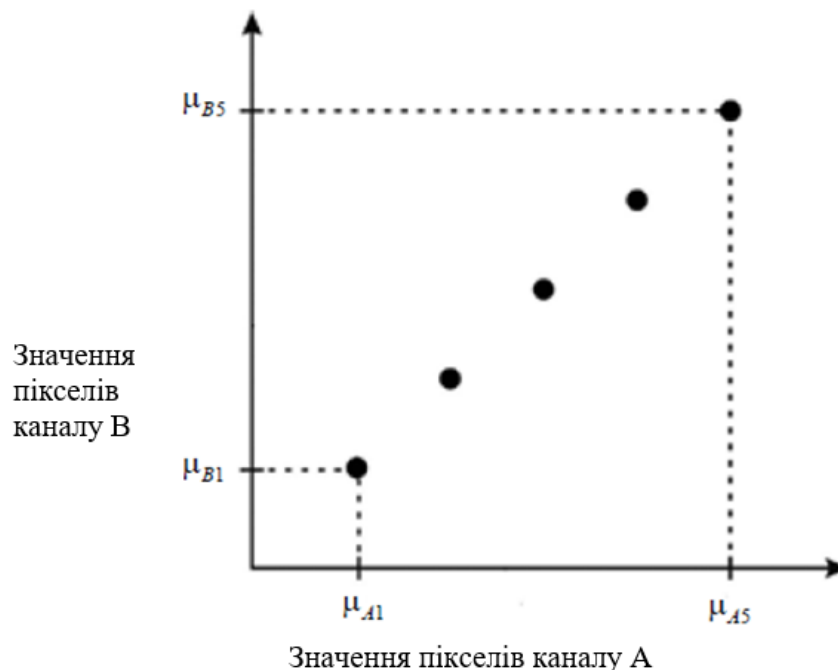


Рисунок 23 – Початкове розбиття простору ознак на кластери

На першій ітерації кластеризації: для значень яскравості всіх пікселів починаючи з лівого верхнього кута і закінчуючи правим нижнім розраховують спектральні відстані d_{ij} 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.

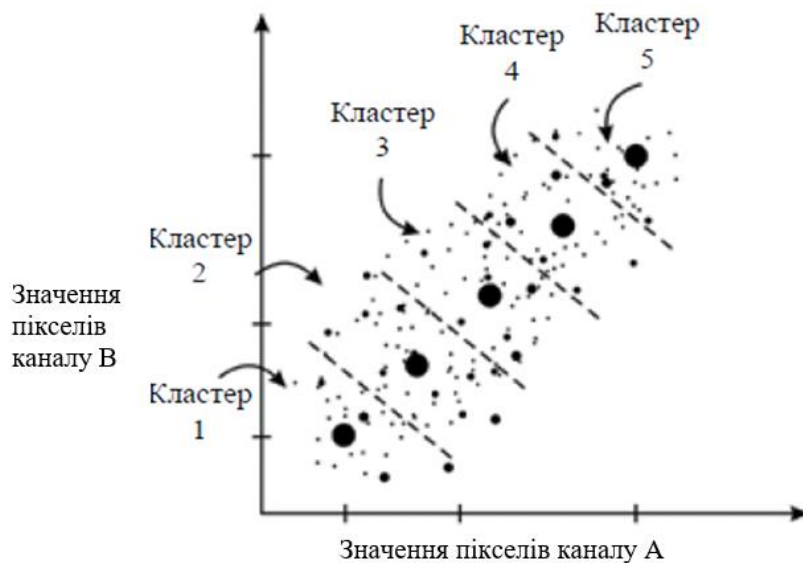


Рисунок 24 – Початкове розбиття на кластери

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

$$\mu_i = \frac{1}{L_i} \sum_{j=1}^{L_i} x_{ij}, \quad (8)$$

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).

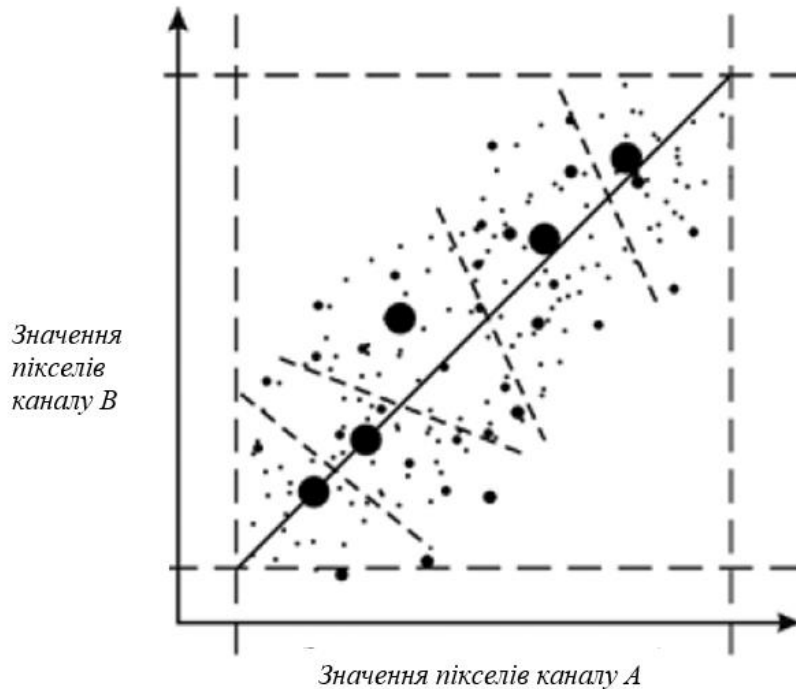


Рисунок 25 – Результат чергової ітерації уточнення кластеризації

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 схожимості, 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 запусканий 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 знімальник землі (Operational Land Imager (OLI)) і тепловий інфрачервоний сенсор (TIRS).

Оперативний знімальник 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 випромінювання 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.

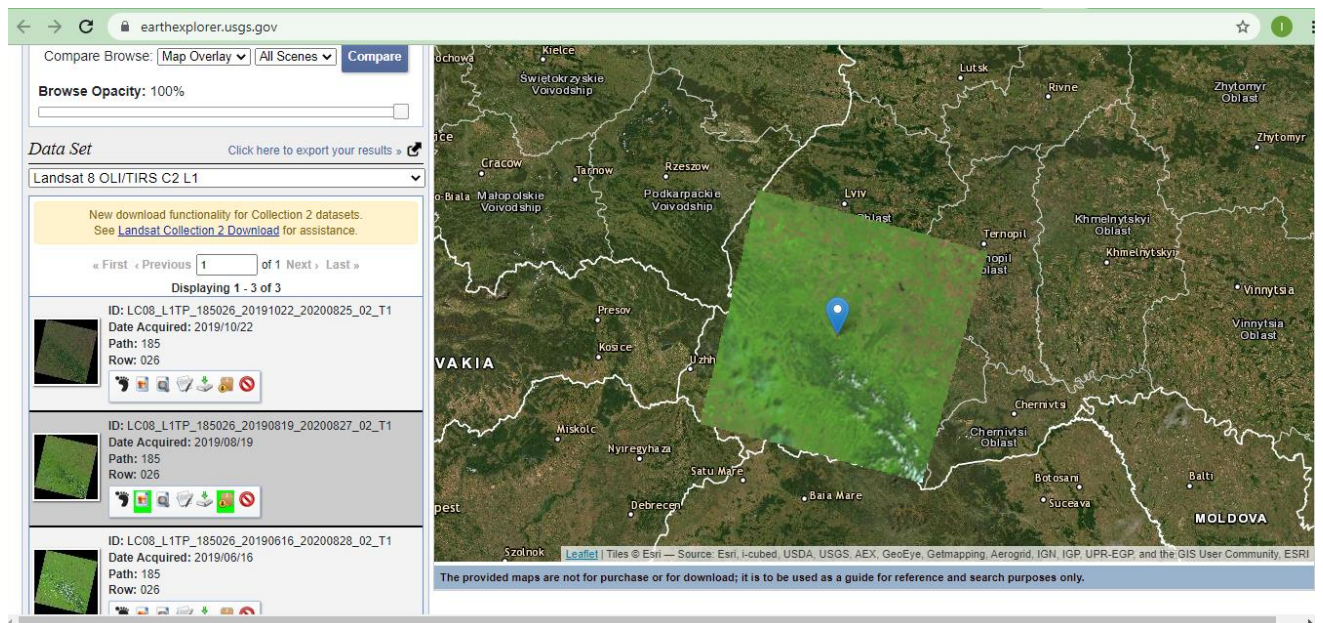


Рисунок 26 - Результат відбору знімків за умовами користувача

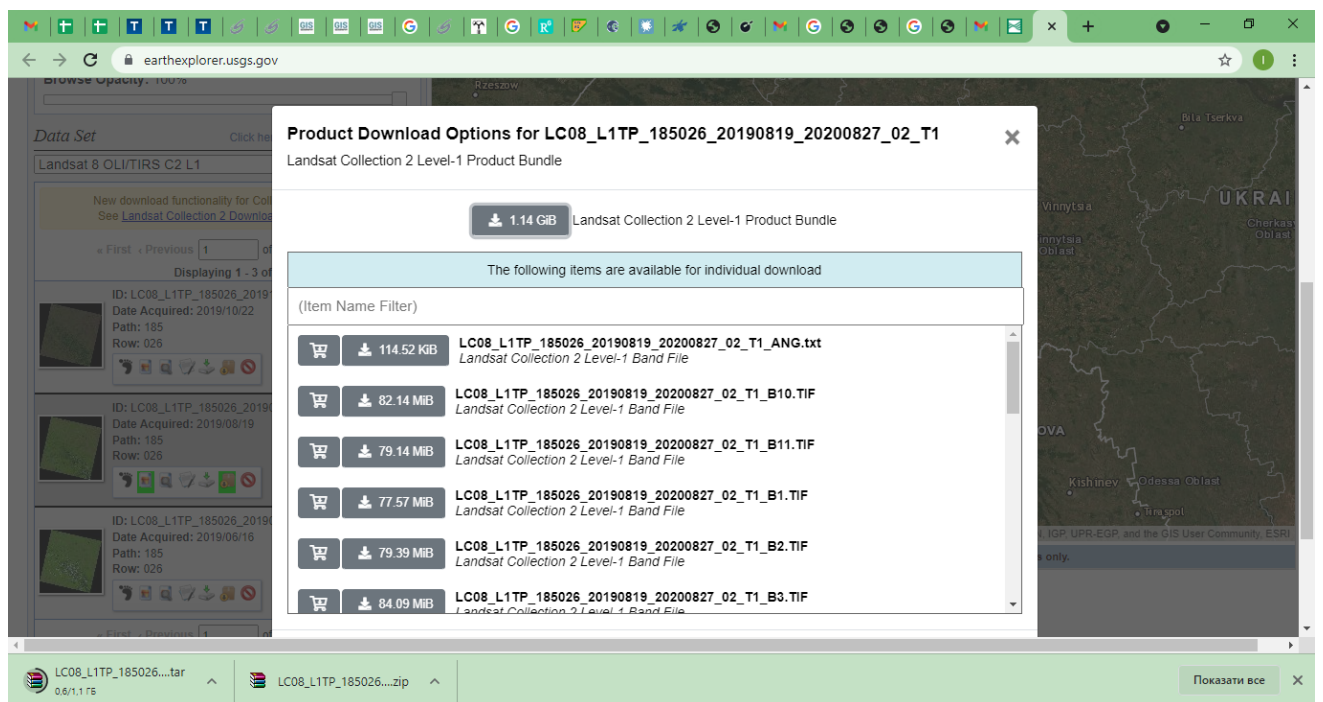


Рисунок 27 – Процес скачування багатоспектрального космічного знімка з геопорталу USGS

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
висота, км	705
нахил, град	98,2
період обертання, хв.	98,9
кількість витків за добу	14,6
час перетину екватора, год. за Грінвічем	10:05
Час активного існування, років	5
Потужність, Вт	4300
Вага КА, кг	2623
Період повторного знімання, діб	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/піксел	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.

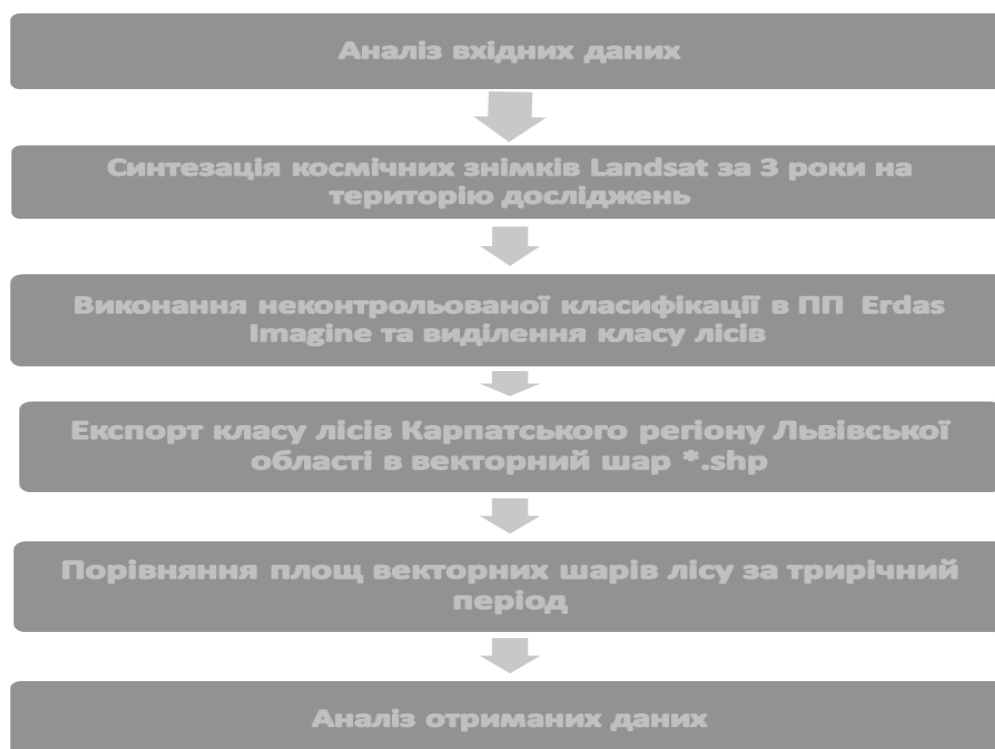


Рисунок 28 – Технологічна схема моніторингового дослідження лісів Карпатського регіону в межах Львівської області в період 2019-2021 років

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 гами в залежності від глибини і мутності вод. Здорова рослинність буде зображена відтінками зеленого кольору і відтінками від помаранчевого до коричневого. Яскраво-блакитними відтінками можуть відображатися 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).

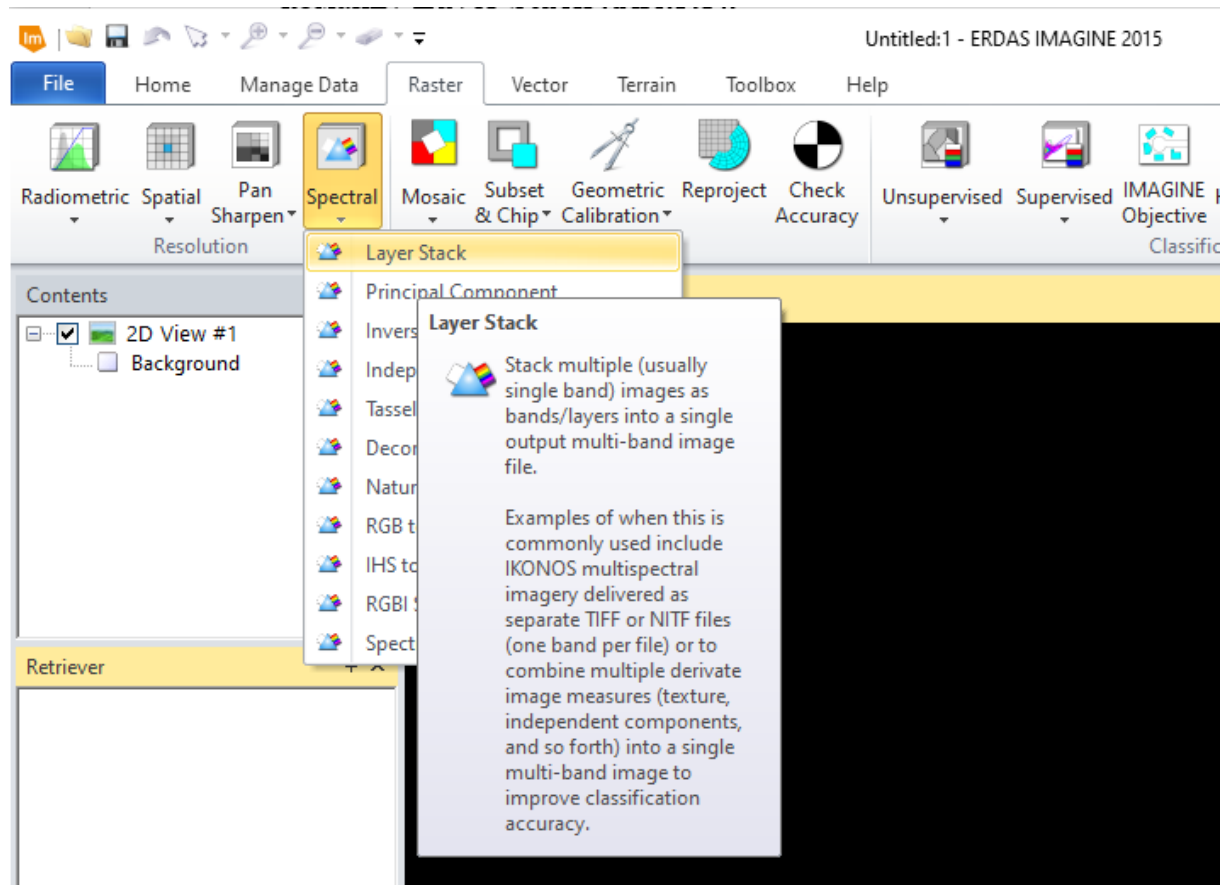


Рисунок 31 – Вибір і виконання команди синтезації каналів

У діалоговому вікні послідовно вибираємо в пункті *Input File* першим файл зображення, яке буде відображатись у відтинках синього – тобто в створюваному синтезованому зображенні буде третім (нижнім). В націй 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).

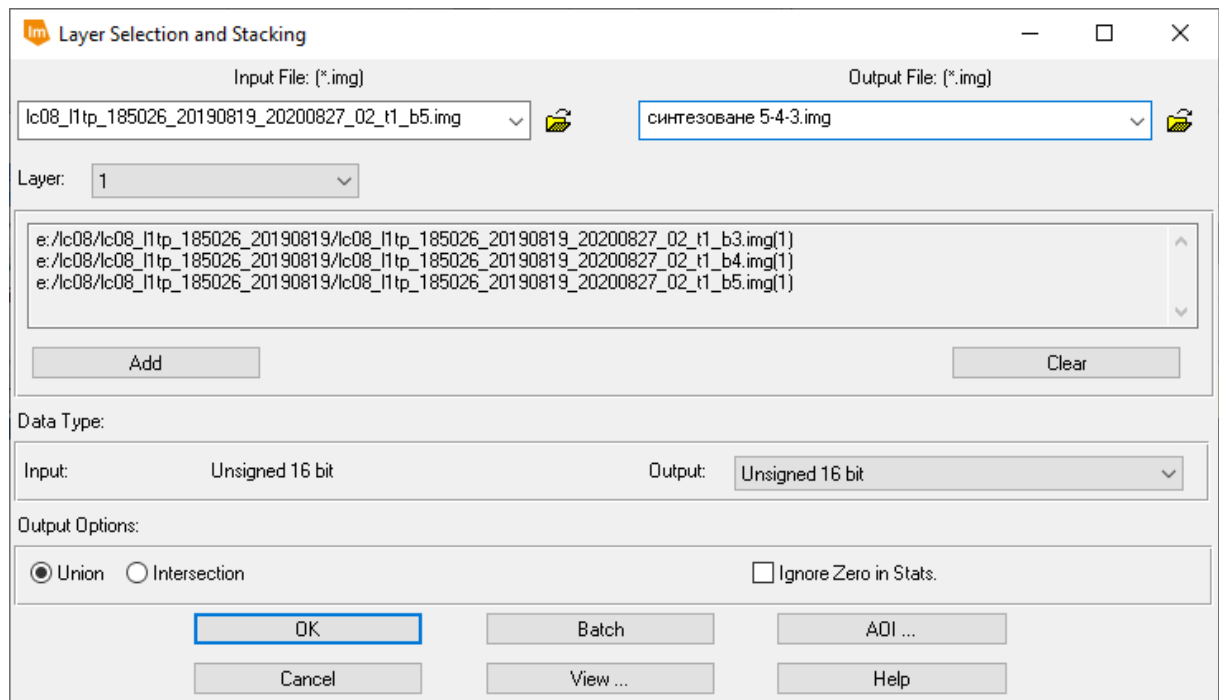


Рисунок 32 - Діалогове вікно налаштування синтезації каналів

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

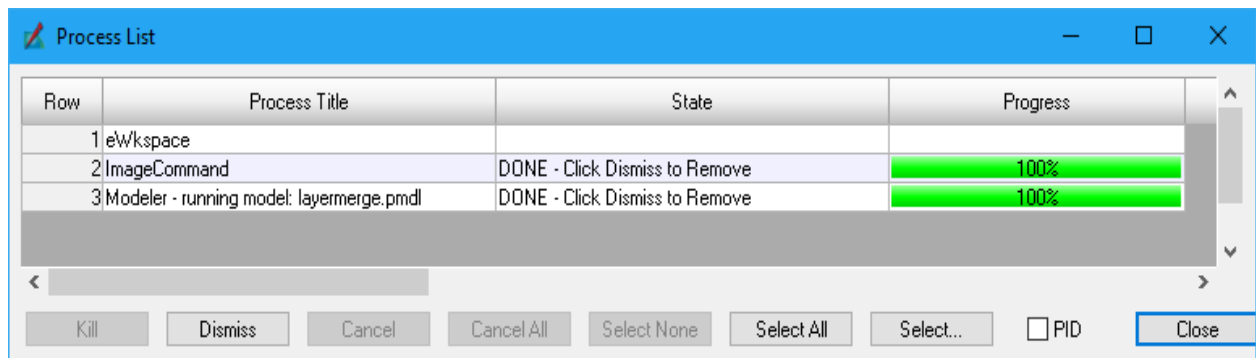


Рисунок 33 – Діалогове вікно прогресу виконання синтезації каналів

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).

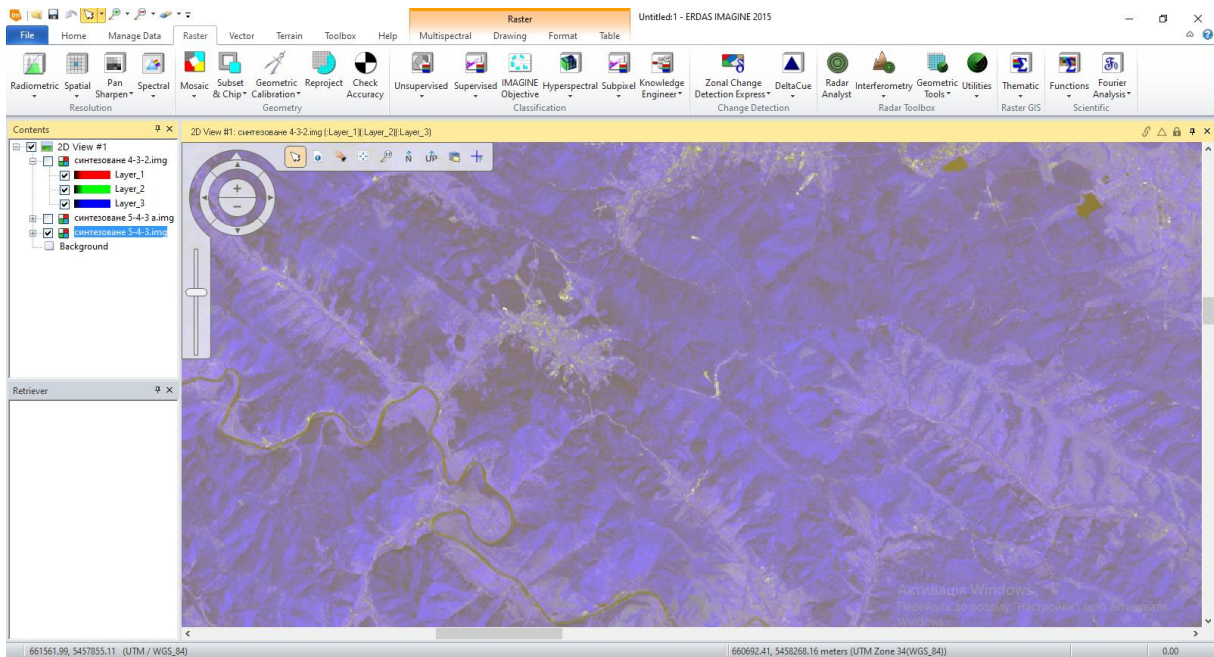


Рисунок 34 – Комбінація у кольорах 5-4-3 (збільшений фрагмент)

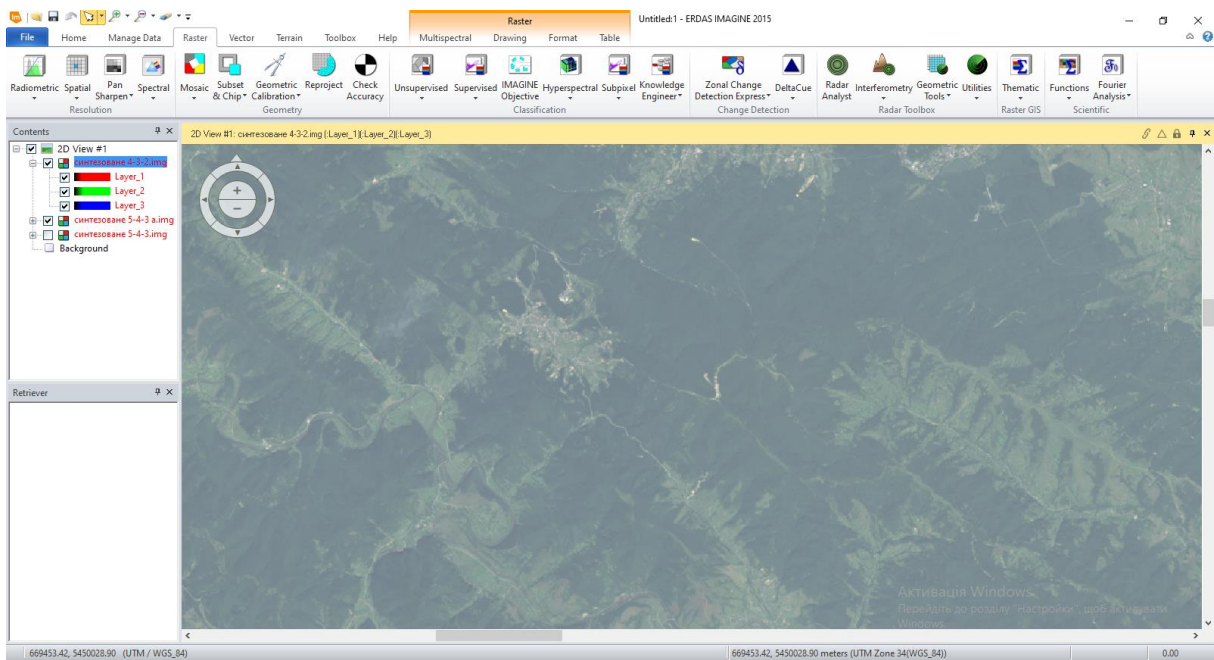


Рисунок 35 – Комбінація у натуральний кольорах 4-3-2
(збільшений фрагмент)

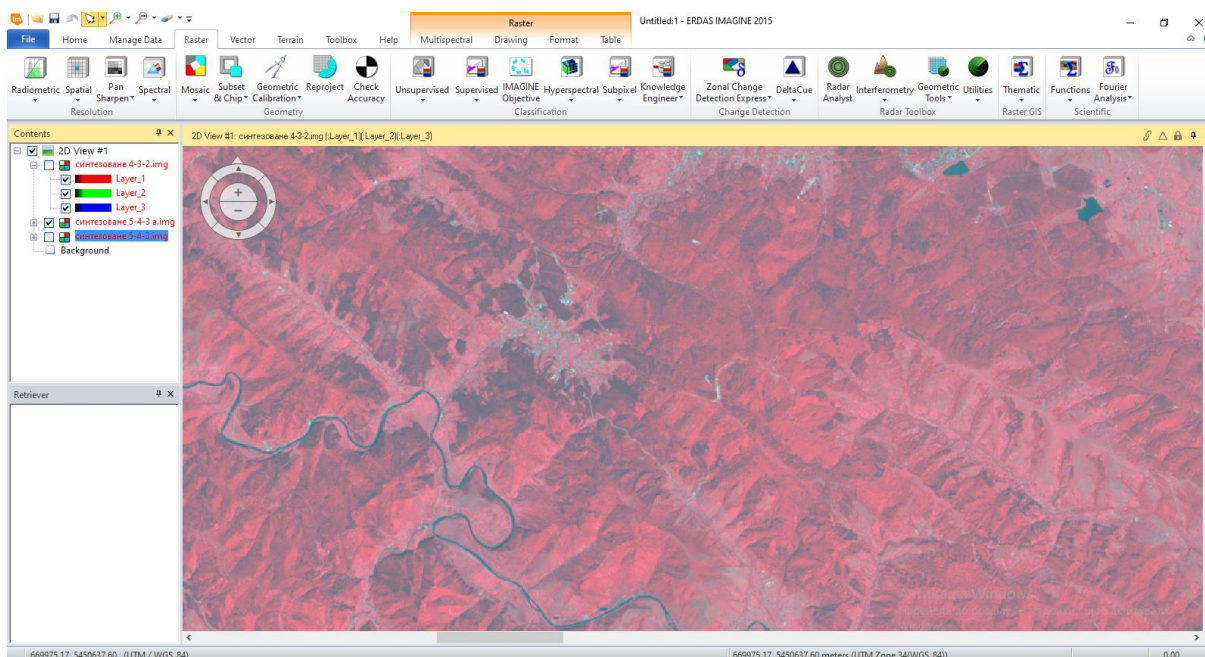


Рисунок 36 – Комбінація у натуральний кольорах 7-4-2 (збільшений фрагмент)

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.

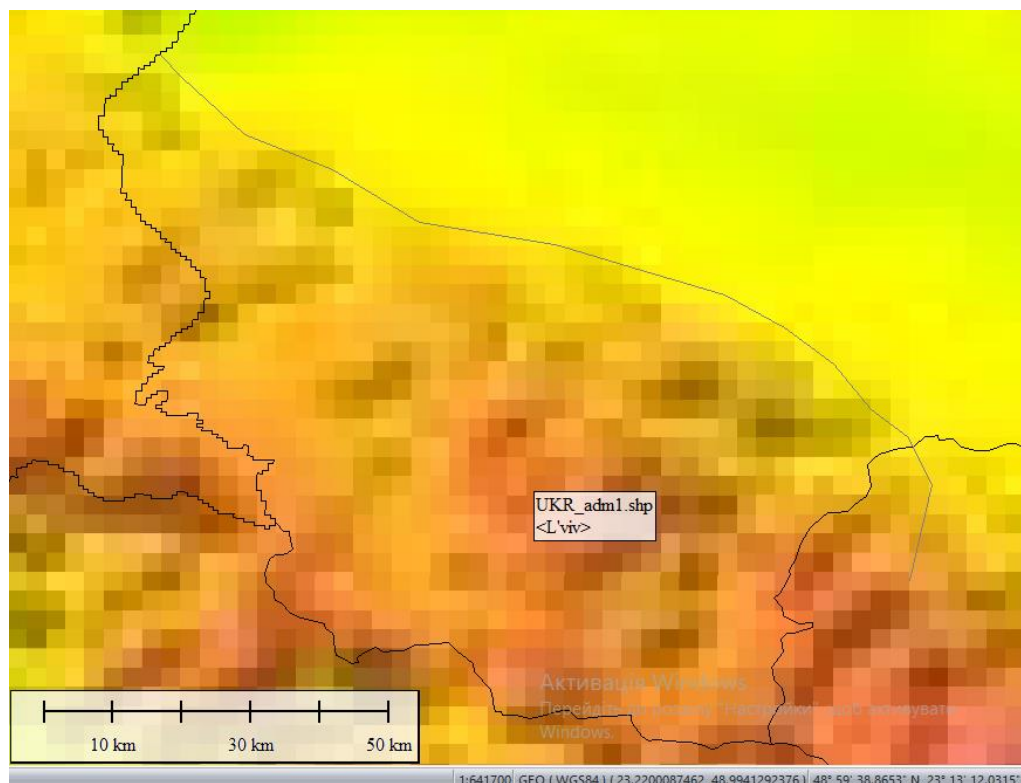


Рисунок 37 – Розділення рівнинної та гірської частин Львівської області

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).

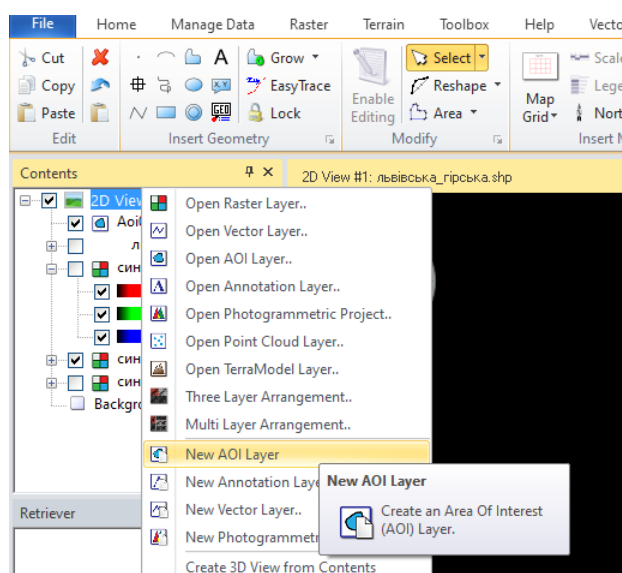


Рисунок 38 – Виклик команди створення області інтересу

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

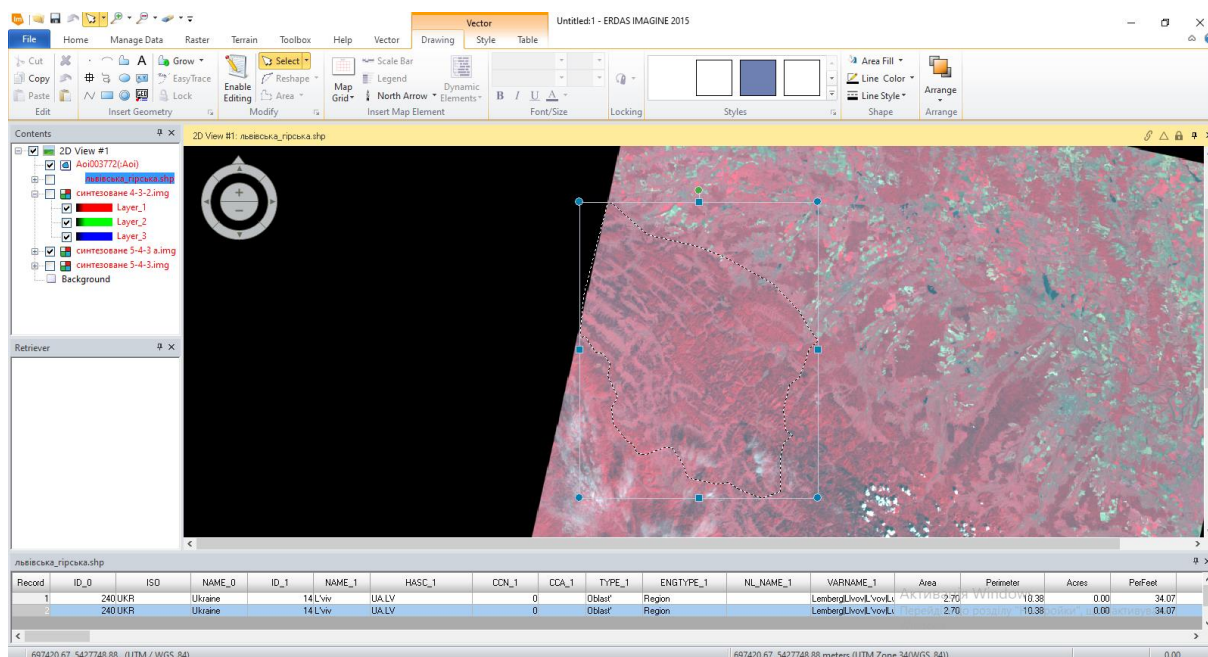


Рисунок 39 – Синтезований знімок з виділеною областю інтересу

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).

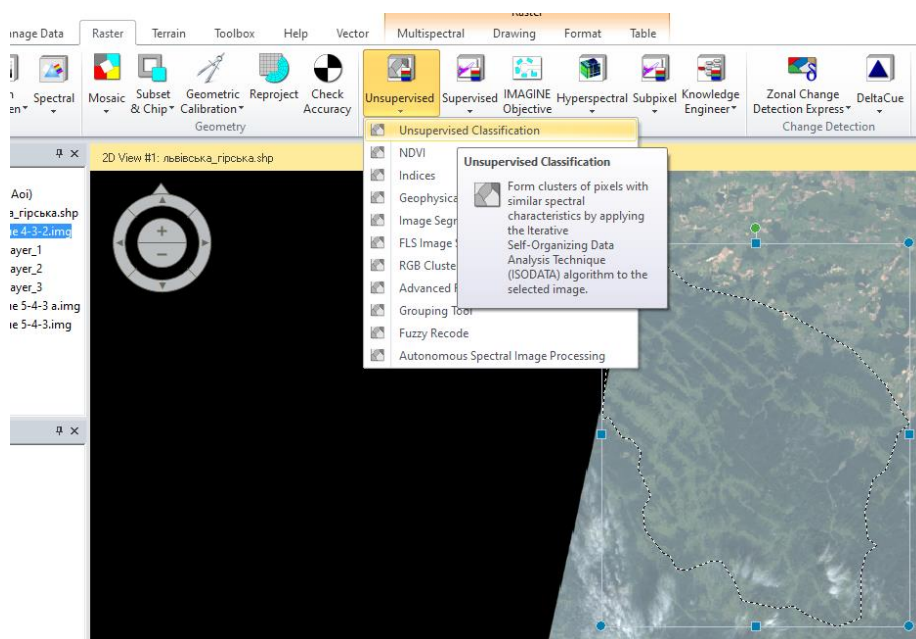


Рисунок 40 – Запуск команди неконтрольованої класифікації

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

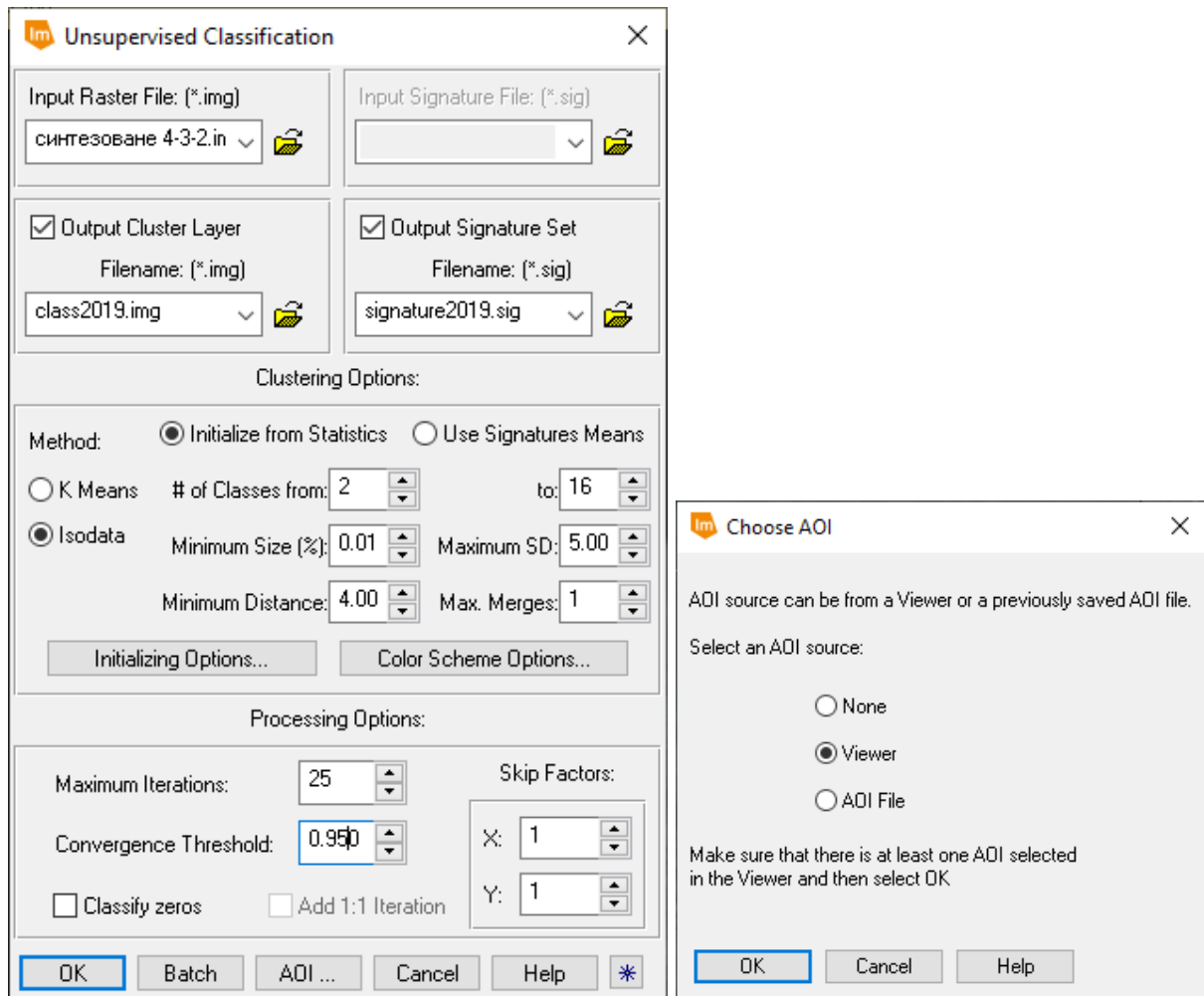


Рисунок 41 – Встановлення рекомендованих параметрів неконтрольованої класифікації методом Isodata

- 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 сходимості (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).

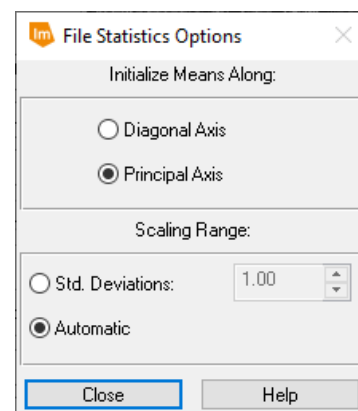


Рисунок 42 – Діалогове вікно налаштувань початкових параметрів

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).

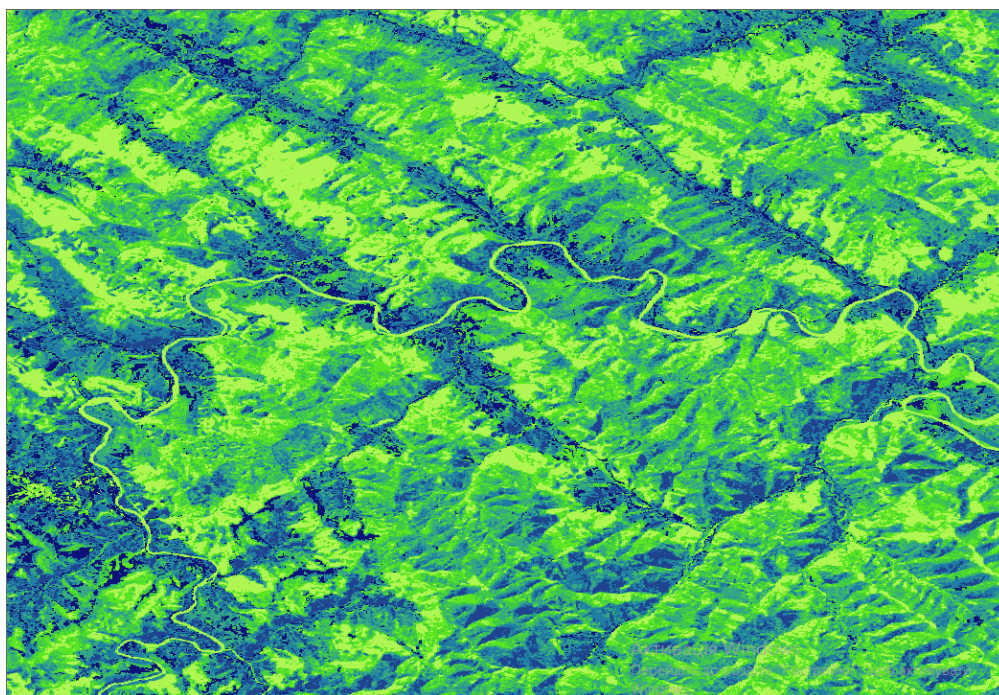


Рисунок 43 – Класифікована область досліджень за знімком 2019 року

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).

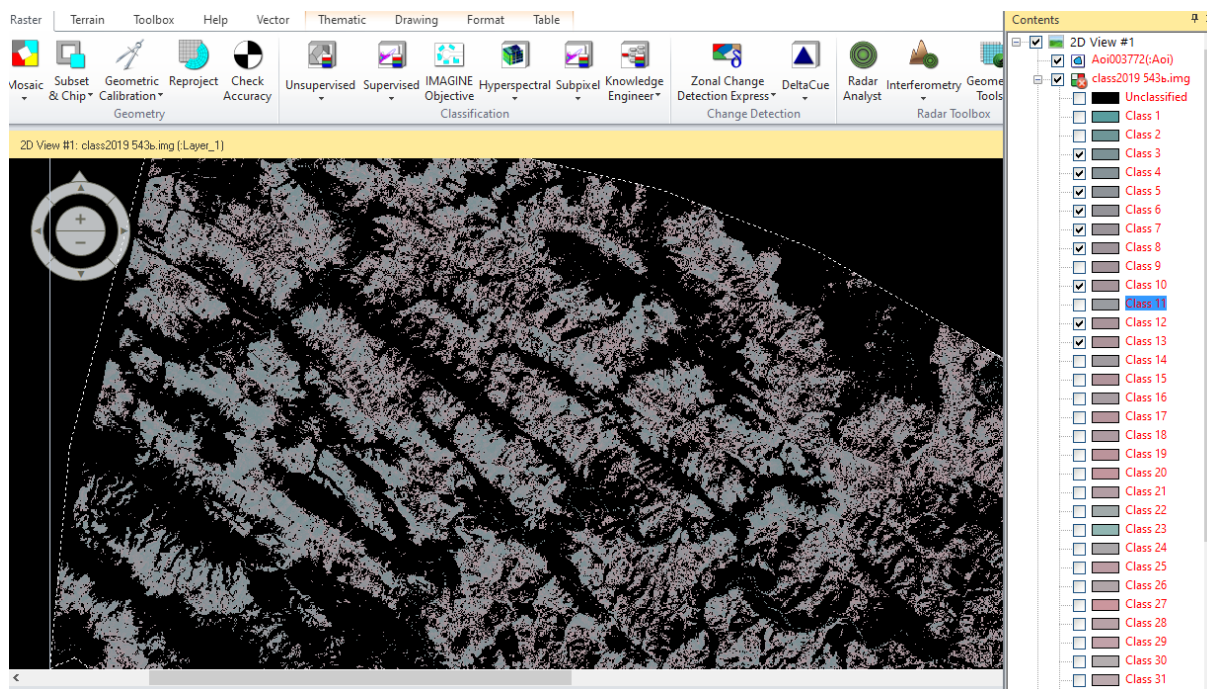


Рисунок 44 – Класифікована ділянка знімка при виключеній видимості класів, які не є лісом

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).

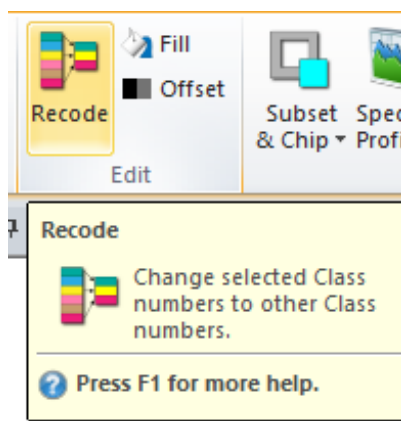
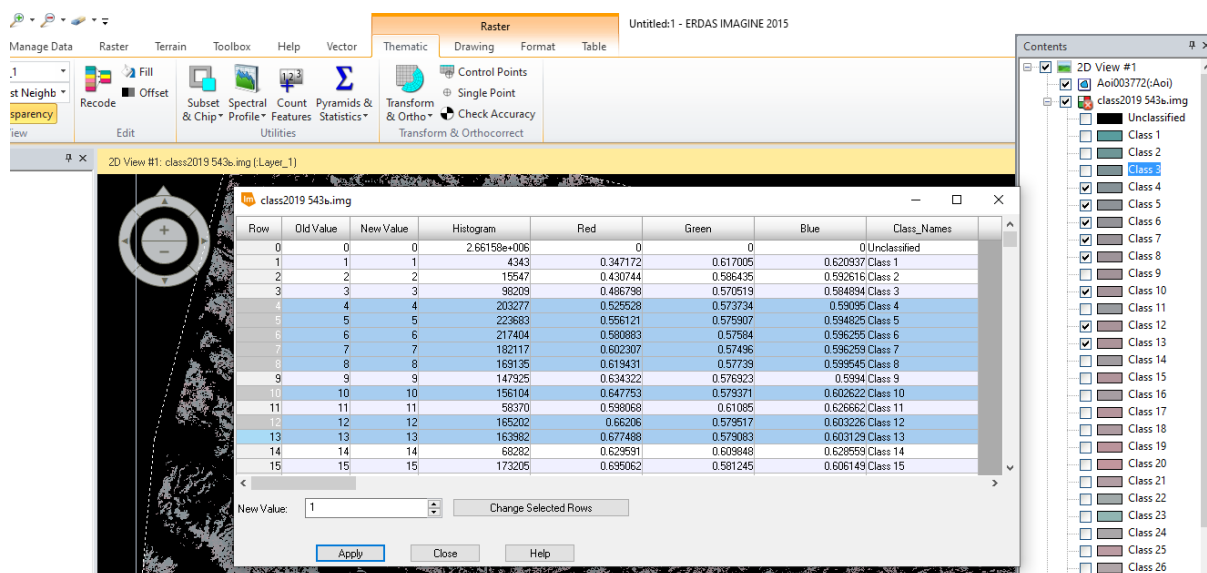


Рисунок 45 – Виклик команди перекласифікації зображення

Щоб об'єднати визначені як ті, що належать лісу класи у загальну групу, натискаємо правою клавішею миші на колонці *Row* і, 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).

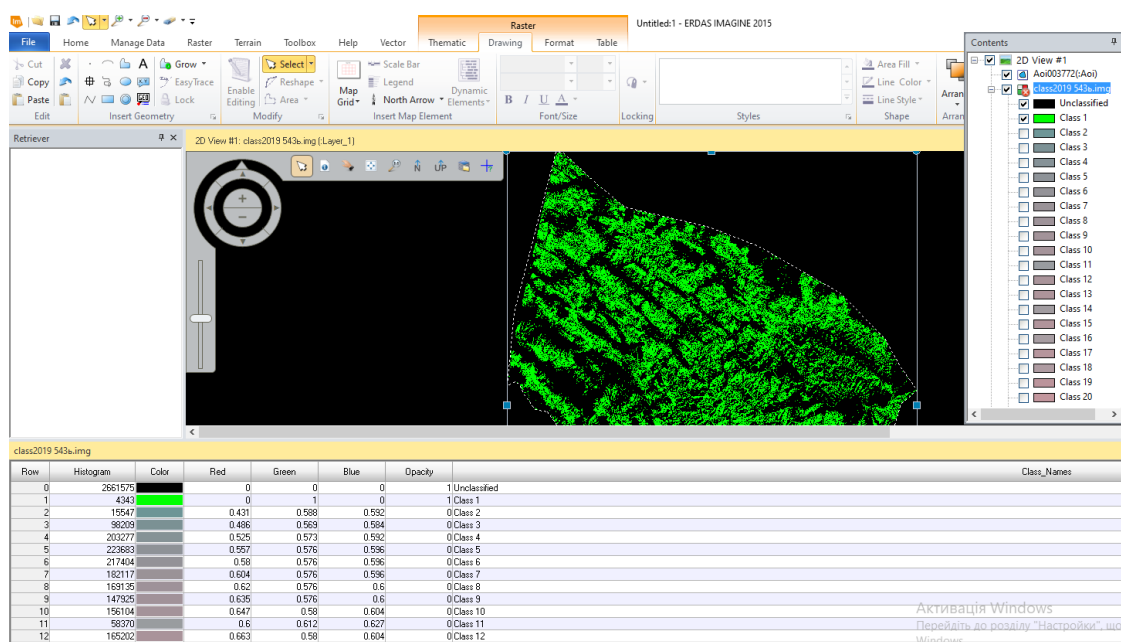
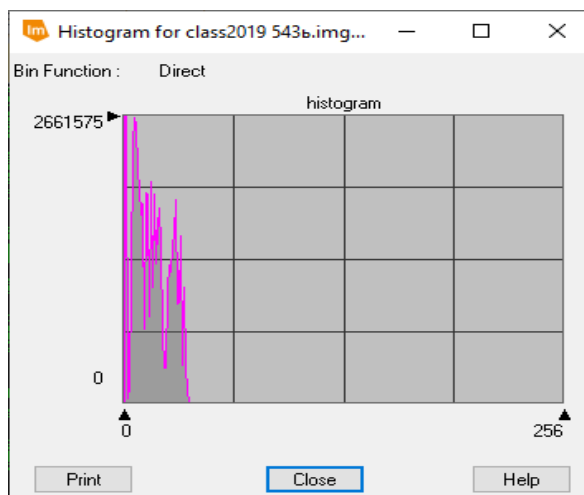


Рисунок 47 – Перекласифіковане зображення

На рисунку нижче показана гістограма класифікованого зображення.



Рисуно 48 – Гістограма 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 шейпфайлу, який буде створений. Також вказується геометрія палетки, що буде перераховувати сусідні пікселі (рис.50).

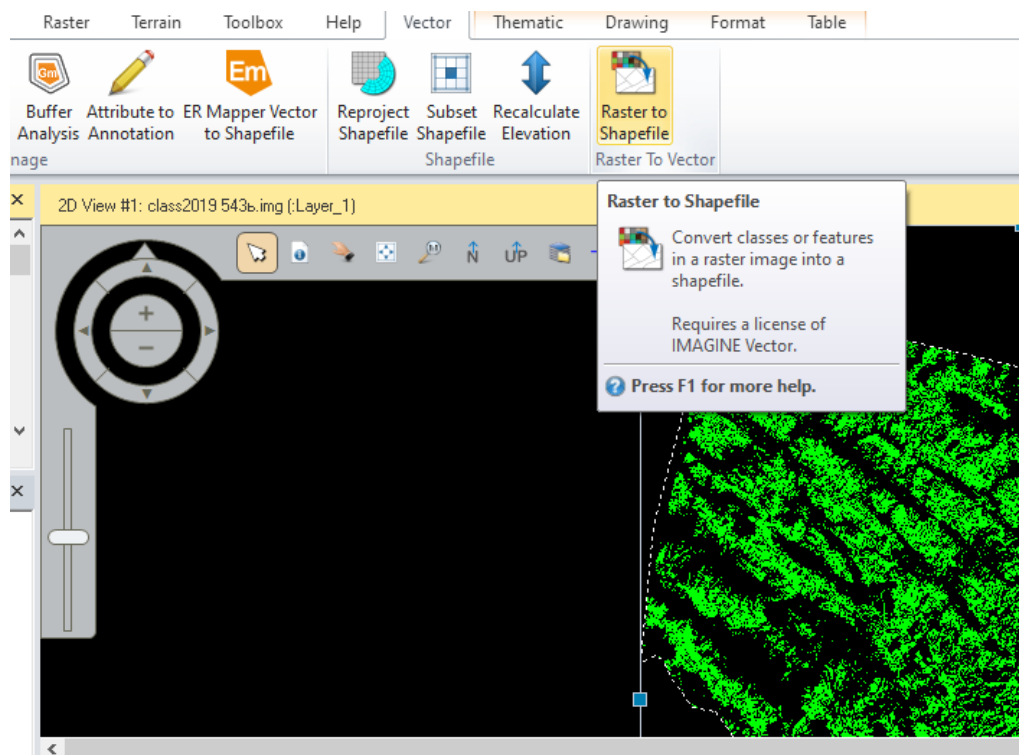


Рисунок 49 – Виконання команди експорту даних класу «ліси» у векторний файл

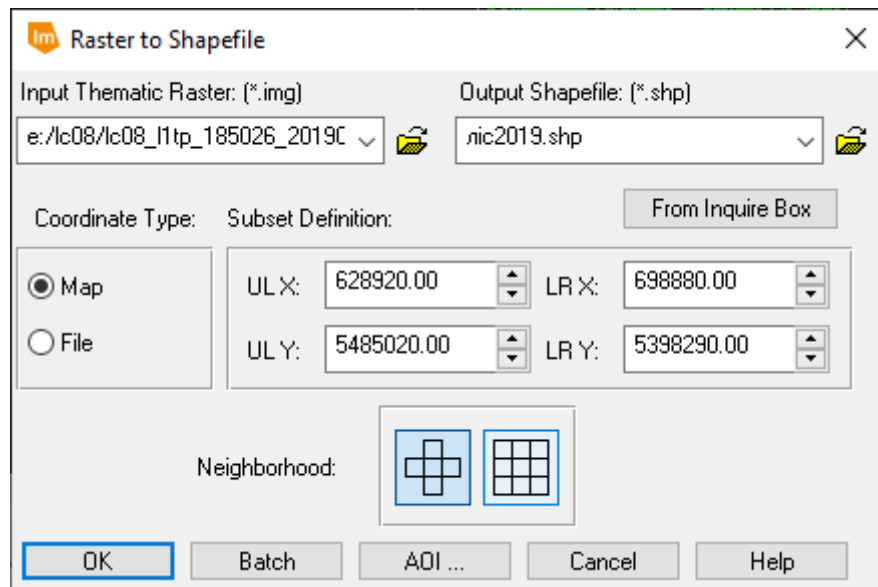


Рисунок 50 – Налаштування експорту даних у векторний шейп-формат

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

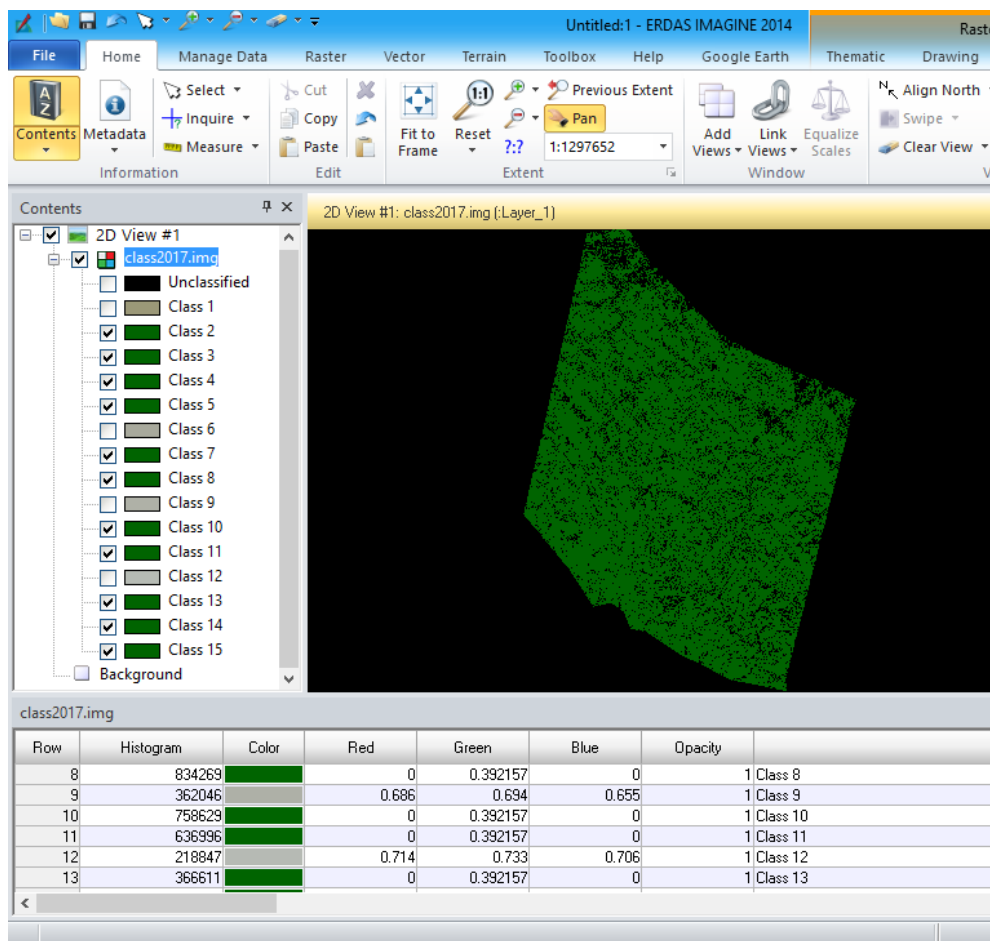


Рисунок 51 – Класифікована область досліджень за знімком 2021 року

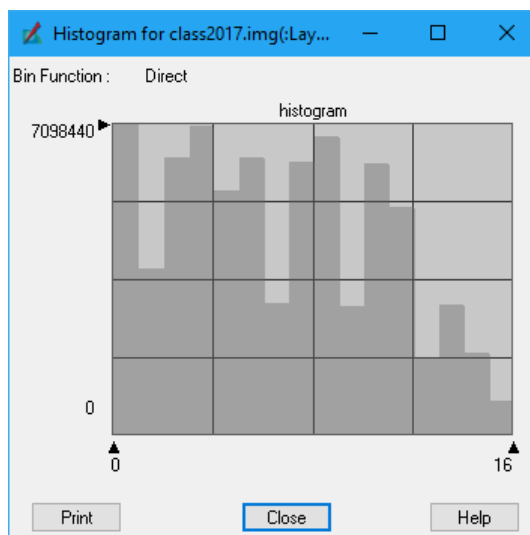


Рисунок 52 – Гістограма класифікованого знімка 2021 року

В таблиці 5 подані площі класифікованого лісового покриття за 2016-2018рр. пораховані 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 90 м.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, яка вивчає теоретичні і практичні питання безпеки праці, причини виробничого травматизму і розробляє заходи щодо створення здорових і безпечних умов праці. Головним об'єктом її досліджень є людина в процесі праці, виробниче середовище і обставини, взаємозв'язок людини з промисловим обладнанням, з технологічним процесом. Для вирішення цих питань використовуються наукові досягнення багатьох галузей знань: соціально-правових і економічних наук – трудове право і економіка; медичних наук – гігієна праці, психологія праці, фізіологія праці, промислова токсикологія та ін; технічних наук – загальноінженерних і профільюючих дисциплін, інженерна психологія, промислова етика.

В зв'язку з тим, що деякі галузі народного господарства мають специфічні умови праці, виникає потреба розробляти галузеві правила і норми охорони праці .

Нормативно-технічна документація з охорони праці є основою для розробки заходів щодо забезпечення на всіх місцях безпечних і здорових умов праці. На кожному підприємстві з урахуванням вимог згаданих нормативно-технічних документів розробляють інструкції з охорони праці з урахуванням конкретних умов для кожної робочої професії.

Серед нормативно-технічної документації, яка ставить вимоги з охорони праці, важливе місце посідає стандартизація. Система стандартів безпеки праці (ССБП) – це комплекс взаємопов'язаних стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки праці, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Робота із стандартизації вимог до безпеки праці ведеться у двох напрямках: розробка спеціальних стандартів (ССБП) та включення до стандартів і технічних умов спеціального розділу "Вимоги безпеки".

Контроль за виконанням законодавства про працю, правил і норм техніки безпеки, виробничої, санітарної і протипожежної безпеки ведеться по трьох напрямках: державному, внутрівідомчому і громадському.

Державний нагляд і контроль здійснюють спеціалізовані органи нагляду, які не залежать в своїй діяльності від адміністрації підконтрольних організацій і їх вищестоячих органів; технічні і правові інспекції, що підпорядковані профспілковим органам.

Державний нагляд за станом охорони праці здійснюють Державний комітет України з охорони праці, Державний комітет України з ядерної та радіаційної безпеки, органи Державного пожежного нагляду, 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, які є обов'язковими при проектуванні будівель і експлуатації підприємств.

Санітарні інспекції проводять облік і розслідування причин професійних захворювань, беруть участь в роботі по зниженню загальних і професійних захворювань.

Державний пожежний нагляд в системі Міністерства внутрішніх справ веде велику профілактичну роботу: здійснює нагляд за дотриманням протипожежного режиму в процесі проектування будівництва і експлуатації підприємств, установ і організацій; здійснює прийом побудованих і реконструйованих об'єктів, обстежує в процесі експлуатації всі об'єкти з метою перевірки виконання протипожежних вимог, розробляє протипожежні правила і норми, контролює їх виконання, дає консультації з питань встановлення систем пожежної безпеки підприємств, вирішує питання про організацію пожежної охорони різноманітних об'єктів народного

господарства, стежить за їх устаткуванням, бере участь в розслідуванні пожеж і бере їх на облік, вживає заходи щодо усунення причин пожежі.

Державний і громадський контроль і нагляд в галузі охорони праці не знімає відповідальності з керівників і власників підприємства за охорону праці.

Законом України «Про охорону праці» встановлено відповідальність посадових осіб за порушення правил охорони праці. Відповідальність може бути дисциплінарна, адміністративна, кримінальна і матеріальна [12].

Дисциплінарну – накладають у випадках, коли з вини посадових осіб, власника, адміністративно-технічних і адміністративно-господарських працівників допускаються порушення охорони праці, які не призводять до тяжких наслідків. На посадову особу в порядку підлеглості накладають такі стягнення: догана, звільнення з роботи.

Адміністративна відповідальність постає тоді, коли особи адміністративно-управлінського персоналу порушили правила охорони праці в будівництві, санітарно-гігієнічні правила, правила пожежної безпеки, правила охорони атмосферного повітря, землі, надр, лісів, водних ресурсів. Підприємство чи організація сплачує штраф за кожний нещасний випадок та випадок професійного захворювання, які сталися на виробництві з його вини.

Кримінальна відповідальність полягає в покаранні осіб, які допустили порушення правил охорони праці, що могли призвести або призвели до нещасних випадків чи інших тяжких наслідків.

Матеріальна відповідальність полягає у тому, що органи соціального страхування і соціального забезпечення мають право стягувати з підприємства суму пенсії, яка була виплачена потерпілому при нещасному випадку з вини адміністрації. Доказом вини є акт про нещасний випадок, пов'язаний з виробництвом, постанова слідчих органів і звинувачувальний вирок суду.

Організація і координація робіт в галузі охорони праці повинна передбачати формування органів управління охороною праці, встановлення

обов'язків і порядку взаємодії осіб, які беруть участь в управлінні, а також прийнятті і реалізації управлінських рішень.

Планування робіт з охорони праці повинно включати визначення завдань підрозділів і служб підприємства.

Контроль за станом охорони праці повинен бути спрямований на перевірку стану умов праці, виявлення відхилень від вимог стандартів ССБП, норм і правил з охорони праці, перевірку виконання служба і підрозділами своїх обов'язків у галузі охорони праці, на прийняття ефективних заходів щодо ліквідації недоліків.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стану роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за затвердженою програмою, головним інженером підприємства та з обов'язковим підписом тих, хто проводив і отримував інструктаж

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт. Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи не рідше ніж через шість місяців. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий – проводять, коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент, сировина та інші фактори, що впливають на безпеку праці.

Поточний інструктаж проводять перед виконанням робіт, на які необхідно оформити наряд-допуск. Проведення його фіксується в наряді допуску на виконання робіт.

4.2 Захист населення у надзвичайних ситуаціях

Техногенне, екологічне та природне становище України рік від року стає складнішим, зростає його негативний вплив на населення та навколишнє середовище. Тому, з набуттям Україною незалежності, враховуючи досвід економічно розвинутих країн, було розпочате законодавче оформлення Цивільної оборони, як державної системи органів управління та сил для організації і здійснення заходів щодо захисту населення від впливу надзвичайних ситуацій. В 1993 році було прийнято закон України “Про цивільну оборону”. Держава, як гарант цього права, створює систему Цивільної оборони, яка має на меті захист населення від небезпечних наслідків аварій, катастроф техногенного, екологічного, воєнного характеру.

Захист населення від наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, вибухів, пожеж і застосування засобів ураження здійснюється проведенням комплексу заходів, які повинні забезпечити укриття населення в захисних спорудах, його евакуацію, медичний, радіаційний і хімічний захист від впливу біологічних засобів ураження.

Потреба у захисних спорудах визначається, виходячи з необхідності укриття всіх працюючих за місцем роботи і проживання всього непрацюючого населення за місцем проживання.

На території територіальних громад часом знаходяться небезпечні об’єкти. Це склади, на яких зберігають хімічні речовини, які використовують в сільськогосподарському виробництві. Дані об’єкти слід обробити захисним матеріалом. В разі якогось стихійного лиха можна сховатись в сховища, які є на території Ременівської сільської ради і вони можуть служити укриттям.

Крім складів є лінії електропередач, біля яких можна дати санітарно-захисну зону, де є обмежене використання земель. Навколо газопровідних об’єктів слід ставити огорожу і розпізнавальний знак, що попереджає про небезпеку.

На території торфорозробок можуть виникати пожежі. Тому населення, яке живе поблизу, повинне про це пам'ятати і якщо це може загрожувати життю, то слід евакувати з небезпечної зони в безпечну.

Керівники підприємств є відповідальними за захист населення, а особливо працівників, які працюють в даних господарствах. Тому вони повинні дотримуватись правил техніки безпеки. Керівники підприємств повинні розробити плани по евакуації населення.

Слід увагу приділити керівникам щодо індивідуального захисту працівників, які працюють на небезпечних об'єктах. Це зокрема можуть бути комбінезони, рукавиці і щонайпростіше марлеві пов'язки, які забезпечать захист слизових оболонок і шкіри.

З метою покращення стану охорони праці, недопущень виробничого травматизму, професійних захворювань необхідно постійно здійснити наступні заходи [12]:

- регулярно поводити інструктажі по техніці безпеки і вести їх чіткий облік;
- суворо дотримуватись вимог і правил техніки безпеки при проведенні обмірів земельних ділянок та інших геодезичних робіт;
- забезпечити працюючий персонал необхідним спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами;
- запобігати виникненню надзвичайних ситуацій і запровадити заходи, щодо зменшення збитків та втрат у разі аварій чи катастроф;
- створити системи управління (оповіщення, зв'язок, спостереження, контроль);
- захистити населення від наслідків аварій, катастроф, стихійних лих тощо;
- організувати та проводити рятувальні та інші невідкладні роботи в районах лиха.

Дотримання цих вимог дозволить покращити умови охорони праці та захист населення при виконанні господарської і виробничої діяльності

5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Біосфера – це область розповсюдження життя на землі, яка включає в себе заселену організмами верхню частину земної кори, води річок, озер, водосховищ, морів і океанів, нижню частину атмосфери (тропосферу). Біосфера постійно зазнає негативного впливу – отруюється атмосфера і водоймища, знищується флора і фауна. Проблема ускладнюється демографічним вибухом [2].

Проблема захисту навколишнього середовища – одна з найважливіших задач сучасності. Викиди промислових підприємств, енергетичних систем і транспорту в атмосферу, водоймища і надри на сучасному етапі розвитку досягнула таких розмірів, що в ряді районів земної кулі, особливо у великих промислових центрах, рівень забруднення суттєво перевищує допустимі санітарні норми. Велика кількість розроблених в другій половині ХХ ст. технологічних процесів і поява нових видів продукції, особливо в хімічній промисловості, привели до збільшення кількості забруднення.

Шкідливі викиди промислових підприємств і інших джерел забруднення показують негативну дію не тільки на навколишнє середовище, але і в ряді випадків, впливають на процес експлуатації технічних засобів.

Економічні дослідження проведені в останні десятиліття в багатьох країнах світу, показали, що руйнівна дія антропогенних факторів по навколишньому середовищу привела їх на межу кризи. Серед різних складників економічної кризи найбільш погрозливий характер прийняла проблема забруднення незамінних природних ресурсів – повітря, води, ґрунту – відходами промисловості і транспорту. У зв'язку з цим у промисловості різко зросла роль і задачі технічної екології.

Важливе місце в справі охорони навколишнього середовища відводиться вихованню усіх членів суспільства, в тому числі і інженерно-технічних кадрів, в дусі бережливого відношення до навколишнього середовища. На сучасному

етапі розвитку любе технічне рішення повинно прийматися не тільки з врахуванням технологічних і екологічних вимог, але і в обов'язковому порядку повинні прийматися екологічні аспекти.

Проблема охорони навколишнього середовища носить глобальний характер і тому повинна вирішуватись не тільки примусово до кожного підприємства чи промислового центру, але і в масштабах окремих міст і промислових центрів, регіонів, всієї території країни, групи країн, окремих континентів і всієї земної кулі [2].

В захисті навколишнього природного середовища важливу роль відіграють служби контролю якості навколишнього середовища, які мають за мету вести систематизовані спостереження за станом атмосфери, води і ґрунтів для отримання фактичних рівнів забруднення навколишнього середовища.

Охорона природи – це комплексна проблема, яка потребує зусиль вчених багатьох спеціальностей, в тому числі землевпорядників. важливе значення має кількісна оцінка наслідків забруднення навколишнього середовища і в першу чергу збитків, які наносять природному господарству забруднення атмосфери. Захист навколишнього середовища від забруднень на сучасному етапі окрім екологічної задачі – підвищення громадської продуктивності праці – включає також і соціально-економічну – покращення умов життя людини, збереження її здоров'я.

Раціональне використання земель в сільському господарстві включає економічно обґрунтовані системи землеробства, а також програми індустріалізації сільського господарства, протиерозійного та ґрунтозахисного обробітку земель, біологічного захисту посівів від шкідників і хвороб, зниження рівня забруднення ґрунту, регулювання мікроклімату тощо.

Система раціонального використання і охорони земельних ресурсів передбачає розробку ряду показників щодо визначення загальної площі зрошувальних, осушених і порушених земель, створення нових

сільськогосподарських угідь, захисних лісових смуг і лісових насаджень на землях, призначених для використання, відводу земель на не сільськогосподарські цілі, відпрацьованих земель тощо.

Після того, як у 1991 р Україна була проголошена незалежною суверенною державою, почався відрахунок і в прийнятті нових заходів з приводу охорони навколишнього середовища. Зокрема, постановою ВРУ було створено Міністерство охорони навколишнього середовища України і прийнято Закон "Про охорону навколишнього природного середовища" від 28.06.91р. [11]

Завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища є регулювання відносин в галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, запобігання екологічній безпеці і негативного впливу господарської та іншої діяльності на природу, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, унікальних природних об'єктів.

В наш час сільськогосподарські угіддя обробляються тракторами, урожай збирається машинами і комбайнами.

Розорювання і інший механізований обробіток змінюють склад і структуру ґрунту, мікробіологічні процеси, які протікають в ньому, рослинний покрив і тваринний світ. Все це разом взяте представляє антропогенний процес, який впливає на навколишнє середовище, в результаті чого порушується нормальний цикл кругообігу речовин, який склався в біогеоцинозі [20].

В умовах зростаючого антропогенного впливу на земельні ресурси негативні екологічні наслідки в Україні досягли небаченого рівня. В результаті інтенсифікації землеробства, запровадження на силових землях прямолінійної організації території, порушення ґрунтозахисних технологій сільськогосподарських культур площа еродованих земель тільки Західного регіону України за останні тридцять років щорічно збільшувалася на 7-8тис.га.

Інтенсивне сільськогосподарське використання ґрунтів призвело до втрати більше половини запасів гумусу в орному шарі, агрофізичної деградації, що згубно позначилось на родючості ґрунтів в цілому.

Своєчасне здійснення протиерозійного комплексу, який включає агротехнічні і лісомеліоративні міри служить полям надійною охороною від ерозії. Це невід’ємна частина охорони природи. Вона має ціль не тільки зупинити ерозію, але і зробити еродовані землі в продуктивні угіддя [20].

Цілком очевидно, що в умовах формування земельних відносин та екологічної ситуації, що склалася в Україні, землевпорядні розробки повинні започатковувати переорієнтацію на перехід до комплексного підходу вивчення території землеволодінь і землекористувань на основі існуючих ландшафтних систем. Суть землевпорядкування на ландшафтній основі полягає не тільки в урахуванні комплексу природноекономічних чинників, але й у пізнанні закономірностей будови частини ландшафтів, процесів, які проходять у них, вмінні дати прогностичний аналіз змін у ландшафтах на певний період часу, які відбуваються під впливом антропогенної дії. Тільки при такій умові будуть закладені основи ефективного землекористування. Дослідження довели, що на певній частині території повинні бути ділянки, покриті лісовими насадженнями, заболочені ділянки, деревно-кущові насадження, заболочені ділянки, деревно-кущові насадження, які мають виняткове значення для створення мікроклімату ландшафтів. Найбільш раціональний їх склад буде забезпечувати найбільшу ефективність. Стратегія системи екологізації землекористування має передбачати формування високопродуктивних і екологічно стійких агроландшафтів, поєднавши дії економічних законів і законів природи в межах територій землекористувань, відтворення ґрунтової родючості шляхом формування та реалізації системи ґрунтозахисних природоохоронних заходів та формування механізму економічної та адміністративної відповідальності землекористувачів за порушення екологічних вимог.

Особливій охороні підлягають природні території та об'єкти, що мають велику екологічну цінність як унікальні та типові природні комплекси, для збереження сприятливої екологічної обстановки, попередження та стабілізації негативних природних процесів і явищ.

Природні території та об'єкти, що підлягають особливій охороні, утворюють єдину територіальну систему і включають території та об'єкти природно-заповідного фонду, курортні та лікувально-оздоровчі, рекреаційні, водозахисні, полезахисні та інші типи територій та об'єктів, що визначаються законодавством України.

Ділянки суші та водного простору, природні комплекси й об'єкти, які мають особливу екологічну, наукову, естетичну і народногосподарську цінність і призначені для збереження природної різноманітності, генофонду видів тварин і рослин, підтримання загального екологічного балансу та фонового моніторингу навколишнього природного середовища, вилучаються з господарського використання повністю або частково і оголошуються територією чи об'єктом природно-заповідного фонду України.

Як підсумок можемо зробити висновок, що охорона природи та навколишнього середовища є важливою і не віємною складовою у формуванні життєвого простору людини. Тому будь-яке рішення щодо використання природних, земельних, водних та інших ресурсів має бути розглянуте крізь призму забезпечення їх раціонального використання та охорони навколишнього середовища

ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Моніторинг використання лісових ресурсів і надалі залишається актуальним завданням у системі організації раціонального природокористування.
2. В результаті аналізу сучасної спеціальної наукової літератури за тематикою досліджень: визначено що найбільш доцільні методи контролю за використанням лісових ресурсів є дистанційні методи спостережень.
3. Проаналізовано умови використання космічних оптико-електронних зніманих для збору інформації для вирішення задачі моніторингу лісу.
4. Проаналізовано існуючі методики організації моніторингу лісів за даними дистанційного зондування Землі. В роботі використано одну з можливих технологічних схем, що можна застосовувати для визначення зміни площ лісів. Технологією передбачене використання багатоспектральних даних ДЗЗ середнього просторового розрізнення, отримуваних космічним апаратом LANDSAT 8. Експериментальні дослідження виконано з допомогою спеціалізованого програмного пакету ERDAS IMAGINE 2015.
5. В роботі описано методику визначення зміни площ лісів в гірській частині Львівської області з використанням методу ISODATA неконтрольованої класифікації зображень. Визначено, що площа лісових насаджень в період з 2019 до 2021 року збільшилась на 188 га. Враховуючи притаманну для методу неконтрольованої класифікації точність виконання розрахунків, можна стверджувати, що видимої тенденції до зменшення чи збільшення лісів в досліджуваному регіоні не виявлено.
6. Розглянуті і 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. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. Дистанционное зондирование: количественный подход, пер. с англ. - М: Недра, 1983. – 415с.
 9. Державне агентство лісових ресурсів України. Онлайн-карта рубок [Електронний ресурс] URL: <https://lk.ukrforest.com/map/general>
 10. 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.
 11. 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>
 12. Закон України «Про охорону праці» (редакція 2002р. зі змінами та доповненнями). [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
 13. Лялько В.І., П’янило Я.Д. Використання класичних ортогональних сногочленів в дистанційному зондуванні рослинності // Доп. НАН України. – 1997. - №2. – С. 42 – 46.
 14. 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>
 15. 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>
 16. 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.

17. 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
18. Сайт Державного агентства лісових ресурсів України: [Електронний ресурс] URL: www.dklg.kmu.gov.ua/forest
19. Свідзінська Д. В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник. - К.: Логос, 2014. — 402 с.
20. 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.
21. 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).
22. Шпортюк З.М., Сибірцева О.М. Метод топографічної кореляції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Доп. НАН України. — 2004. - № 1. — С. 123 – 125.
23. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VII Всероссийской конференции (Москва, 22-24.04.2019) — М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. - 180с. [Електронний ресурс] URL: http://www.cepl.rssi.ru/confs/ASGIS2019/files/ASGIS2019_Abstract_book.pdf
24. Данилова И.В. Методика пространственного моделирования лесовосстановительной динамики на основе данных дистанционного зондирования: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 25.00.34. Красноярск, 2014 — 186 с.
25. Данилова И.В., Рыжкова В.А., Корец М.А. Алгоритм автоматизированного картографирования современного состояния и

- динамики лесов на основе ГИС. / Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. - 2010. - Том 08, Выпуск № 4. - С. 15-24.
26. Жумарь А.Ю. Исследование влияния параметров растительного покрова на положение максимума наклона «красного края» // Исслед. Земли из космоса. – 1992. - № 4. – С. 15-20.
27. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование: Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
28. Никитина А. Д., Князева С. В. Гаврилюк., Е. А., Тихонова Е. В., Эйдлина С. П., Королева Н. В. Картографирование динамики растительного покрова территории национального парка «Куршская коса» по материалам космической съемки Alos и Sentinel-2 // Вопросы лесной науки. 2019. №3. [Электронный ресурс] [URL:https://cyberleninka.ru/article/n/kartografirovanie-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-territorii-natsionalnogo-parka-kurshskaya-kosa-po-materialam-kosmicheskoi-semki-alos-i](https://cyberleninka.ru/article/n/kartografirovanie-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-territorii-natsionalnogo-parka-kurshskaya-kosa-po-materialam-kosmicheskoi-semki-alos-i)
29. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учебное пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова ; – Пермь, 2020. – 191с. – [Электронный ресурс] [URL:http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchukperminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciyakosmicheskikh-snimkov.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchukperminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciyakosmicheskikh-snimkov.pdf)
30. Обработка данных дистанционного зондирования Земли: практические аспекты : [учеб. пособие] / [В. Г. Коберниченко, О. Ю. Иванов, С. М. Зраенко и др. ; под общ. ред. В. Г. Коберниченко]. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 168 с.
31. Чабан Л.Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации при картографировании геопространственных данных. Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2013г., - 96 с

32. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. - М: Техносфера, 2008. - 312 с.
33. 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) : [Электронный ресурс] URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/journal/issue?issueId=106411&journalId=4541>
34. 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. [Электронный ресурс] URL:<http://www.sciencemag.org/content/342/6160/850>
35. 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.
36. 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/3c5687076c2379877a695dbbeddc6a11.pdf>
37. 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.
38. Richards, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis / J.A. Richards. – Springer-Ferlag, Berlin, 1993. – 340p.