

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **“МОНІТОРИНГ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ НА
ТЕРИТОРІЇ НОВОЯРИЧІВСЬКОЇ ОТГ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА
ДАНИМИ КОСМІЧНИХ ЗНІМАНЬ”**

Виконав: студент гр. ЗВ-51

Спеціальності 193 Геодезія і землеустрій

(шифр і назва)

С.Є. Гупало

(Прізвище та ініціали)

Керівник: І.З. Колб

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 528.9

Моніторинг змін земного покриву на території Новояричівської ОТГ Львівської області за даними космічних знімків. Гупало С. Е. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Львівський національний університет природокористування, 2024, – 68 с. текстової частини, 3 таблиці, 28 рисунків, 26 літературних джерел.

В роботі приведено аналіз сучасних засобів отримання доступних багатоспектральних космічних знімків та методик їхнього опрацювання для виявлення змін, що відбуваються на території Новояричівської об'єднаної територіальної громади в 2023-2024 роках. Результатами досліджень є карти вегетаційних індексів та класифікація земного покриву на території громади.

Розглянуті питання охорони довкілля.

Приведено висновки та рекомендації.

Ключові слова: Відкриті дані дистанційного зондування Землі, моніторинг територій, антропогенна активність, індексні карти NDVI

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ.	7
1.1 Дистанційний моніторинг земель.	7
1.2 Супутникове багатоспектральне знімання як джерело інформації для здійснення моніторингу.	11
1.3. Опрацювання даних мультиспектрального знімання.	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНИХ І ВОДНИХ ІНДЕКСІВ	24
2.1 Вегетаційні та водні індекси.	24
2.2 Вегетаційні індексні карти – ефективний інструмент вивчення земної поверхні	26
2.3 Водні індексні карти на основі даних багатоспектрального знімання	32
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ НА ТЕРИТОРІЇ НОВОЯРИЧІВСЬКОЇ ОТГ	43
3.1 Завантаження багатоспектральних знімків Sentinel 2 на територію дослідження	43
3.2 Розрахунок індексної карти NDVI	48
3.3 Дослідження зміни індексної карти NDVI за 2023-2024роки	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.	40
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	62
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	63

ВСТУП

Актуальним завданням при плануванні життєдіяльності громад є використання сучасних методів і засобів отримання даних, зокрема методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Ці методи та відповідні інструменти можуть бути корисними для фахівців, працівників і представників громад при здійсненні моніторингу та прийнятті обґрунтованих управлінських рішень. Моніторинг за допомогою даних ДЗЗ є важливим інструментом для просторової оцінки стану території в процесі планування. Зокрема, супутникові знімки ДЗЗ надають великий обсяг інформації про земну поверхню, рельєф, водні ресурси та інші характеристики території.

Метою даного дослідження є аналіз та оцінка методики здійснення моніторингу території Новояричівської громади у Львівській області засобами дистанційного зондування з використанням інтернет та ГІС технологій. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

1. збір доступних даних дистанційного зондування, а саме багатоспектральних космічних знімків;
2. вивчення інформаційних ресурсів та програмного забезпечення, доступних широкому загалу дослідників для аналізу змін що відбуваються на території. Опис відповідних джерел даних та методик;
3. застосувати методику аналізу змін за багатоспектральними космічними знімками щодо території Новояричівської територіальної громади Львівської області.

Об'єктом дослідження є методи моніторингу земель для потреб поточного управління активами Новояричівської територіальної громади Львівського району.

Предметом дослідження є методика здійснення оцінки змін на місцевості за даними дистанційного зондування Землі.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використано критичний аналіз спеціальних літературних джерел, аналіз змісту спеціалізованих інтернет-сервісів Європейського космічного агенства, побудова і статистичний аналіз карт вегетаційних індексів та класифікація земного покриття на територію ОТГ за 2017-2024 роки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ

1.1. Дистанційний моніторинг земель.

З огляду на основну цінність землі як національного багатства держава забезпечує її охорону правовими, організаційними та економічними методами. Охорона земельних ресурсів неможлива без періодичного визначення показників їхнього стану та якості з метою вжиття відповідних організаційних та економічних заходів. Вивчення стану земельних ресурсів виконують шляхом проведення моніторингу – системи спостережень з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, запобігання та ліквідації наслідків негативних процесів [1].

Забезпечення вимог сталого розвитку і стійкого управління територій громад передбачає ефективне використання земельних ресурсів та зелених насаджень і можливе лише за наявності налагодженої системи регулярних спостережень та наявності інструментарію аналізу отриманих даних щодо виявлених змін та інформативних способів подання отриманих результатів. Такий підхід вимагає чіткої системи спостережень для оцінки, вивчення динаміки та особливостей змін земельних ресурсів, їх охорони та захисту для підвищення екологічних, естетичних та санітарно-гігієнічних функцій, а також прогнозування їх стану з метою обґрунтування та прийняття рішень у сфері використання їх надалі.

Необхідно регулярно отримувати достовірну і актуальну інформацію яка необхідна для вирішення завдань стійкого управління земельними ресурсами.

За міжнародним стандартом термін «моніторинг» – це багаторазове (періодично повторюване за визначеним планом і методикою) вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра оточуючого середовища;

система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану зміни об'єктів. Крім вимірювань і спостережень, програми моніторингу передбачають оцінювання, прогнозування, розробку рекомендацій та інші активні дії.

Моніторинг довкілля – система спостережень і контролю за природними, природно-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються у них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування масштабів неминучих змін. Моніторинг довкілля ґрунтується на загальних екологічних законах і взаємодіє з природними, географічними і технічними науками.

При плануванні територій громад необхідно використовувати сучасні методи дослідження, зокрема методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Ці методи та відповідні інструменти можуть бути корисними для фахівців, працівників і представників громад при здійсненні моніторингу та прийнятті обґрунтованих управлінських рішень. Моніторинг за допомогою даних ДЗЗ є важливим інструментом для просторової оцінки стану території в процесі планування. Зокрема, супутникові знімки ДЗЗ надають великий обсяг інформації про земну поверхню, рельєф, водні ресурси та інші характеристики території.

Супутникові знімки, отримані засобами дистанційного зондування, дають якісну інформацію про земну поверхню та динаміку її зміни. Вільно поширювані супутникові знімки можна використовувати для наближеної оцінки землекористування (рис. 1) TERRA, Sentinel, Landsat, GIBS, Planet NICFI, які мають нижчу роздільну здатність, ніж пропріетарні знімки Planet, Maxar, Airbus та інших компаній. Проте часто безкоштовні супутникові знімки надають можливість отримати цінні дані для аналізу та оцінки територій, вирішенні задач екології і просторового планування. Зображення, отримані за допомогою дистанційного зондування допомагають визначати розподіл землекористувань, планувати розвиток сільського господарства, виявляти екологічні проблеми, вивчати наслідки воєнних дій.

Особливий інтерес і швидке поширення в практиці набуває оперативний моніторинг зміни землекористування і підстилаючої поверхні (LULC). Такий вид моніторингу в світі стає важливим компонентом для моніторингу змін оточуючого середовища і управління природними ресурсами на локальному рівні.

Поклавши в основу ознаку “охоплення території”, в структурі дистанційного моніторингу в роботі [13] виділено основні рівні, представлені в табл. 1.1:

Таблиця 1.1. Рівні охоплення моніторингом територій

Види моніторингу	Охоплення території	Масштаби
Глобальний	На міждержавному рівні	1:1000000- 1:10000000
Національний	На рівні держави	1:2500000- 1:1000000
Регіональний	Адміністративна область, басейн великої ріки	1:100000-1:250000
Субрегіональний	Район, ділянка великої ріки, басейн середньої ріки	1:25000-1:100000
Локальний	Землі ОТГ, сільських та селищних рад, ділянки середньої ріки, басейни малих рік	1:5000-1:25000
Сублокальний	Землі населених пунктів, ділянки малих рік і водотоків	1:2000-1:5000
Детальний	Системи схилів та їх частин	<1:2000

Важливим завданням, яке ставиться в процесі виконання моніторингу поверхні землі за даними дистанційного зондування з космосу є виявлення природних та антропогенних змін. Типово дослідження відбуваються у межах

адміністративних, соціально-економічних або природних ландшафтних утворень, наприклад у річкових басейнах. При наявності серії різночасових космічних знімків можна встановити інтенсивність протікання природних та антропогенних процесів. При застосуванні космічних знімків, отриманими радіолокаційними і оптичними знімальними системами ефективною виявилась методика створення різницевих карт, які демонструють всі зміни, які відбулись в ландшафтному середовищі в результаті діяльності людини або природних процесів.

В дослідженні [14] виконано дослідження цієї методики і проведено оцінювання динаміки змін природного середовища на території басейну р. Західний Буг. Для двох різночасових оптико-електронних космічних знімків з оптико-електронною знімальною системою TerraLook ASTER (США) зі супутника TERRA ідентичними наборами спектральних каналів відшукано відмінності (нормована різниця значень яскравості) попарно між відповідними каналами знімків, щоб контрастно виділити ті ділянки території, які за час між отриманням знімків змінили відбивні спектральні характеристики, у порівнянні з контрастом ділянок, які не зазнали змін, і отже не змінили свої відбивні спектральні характеристики. Для кожного з відповідних спектральних каналів вихідних знімків створювалось своє різницеве зображення. Загальна кількість різницевих зображень дорівнює кількості відповідних спектральних каналів. На рис. 1.1 приведено сформовану авторами дослідження карту динаміки змін, доповнену тематичними шарами з цифрової топографічної карти, а також райони з вираженим антропогенним впливом та природними змінами ландшафту. Методика дозволяє чітко встановити межі районів активної сільськогосподарської діяльності і пояснюються зміною видів та сортів культивованих рослин. Зареєстровано також наявність змін в долинах річок, що може пояснюватись заболоченням, надмірним зволоженням чи навпаки – осушенням лугових долин.

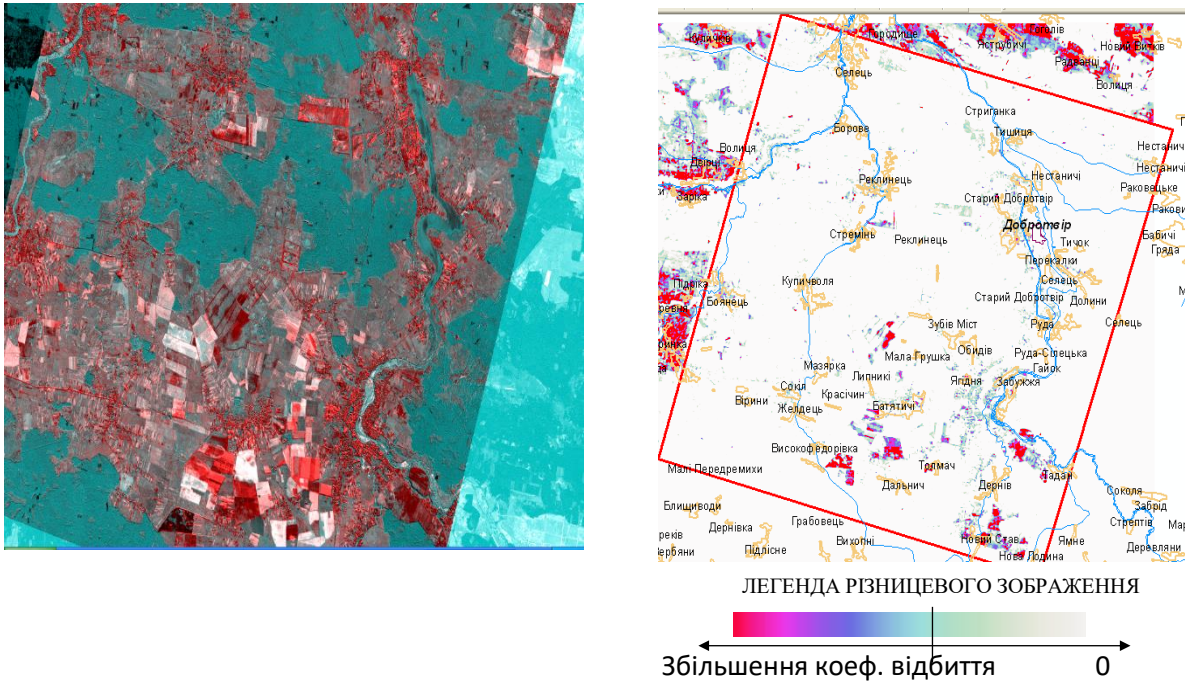


Рис.1.1. Різницеве зображення і карта змін природного середовища за період 2008-08-12 до 2010-06-06 в районі с.Добротвір

1.2. Супутникове багатоспектральне знімання як джерело інформації для здійснення моніторингу

Мультиспектральне знімання (англ. multispectral imaging) — це метод отримання інформації про властивості об'єктів шляхом аналізу їхньої взаємодії з електромагнітним випроміненням в різних діапазонах довжин хвиль. Звичайні кольорові знімки використовують тільки три канали (червоний, зелений і синій), натомість мультиспектральне знімання може використовувати декілька десятків каналів для отримання інформації про властивості об'єкта на різних довжинах хвиль (рис. 1.2). Наприклад, супутникова система Landsat має 11 спектральних каналів, а супутникова система Sentinel 2 - 13 спектральних каналів. Також існують більш складні прилади, такі як гіперспектральні камери, які можуть використовувати понад 100 спектральних каналів (рис. 1.3).

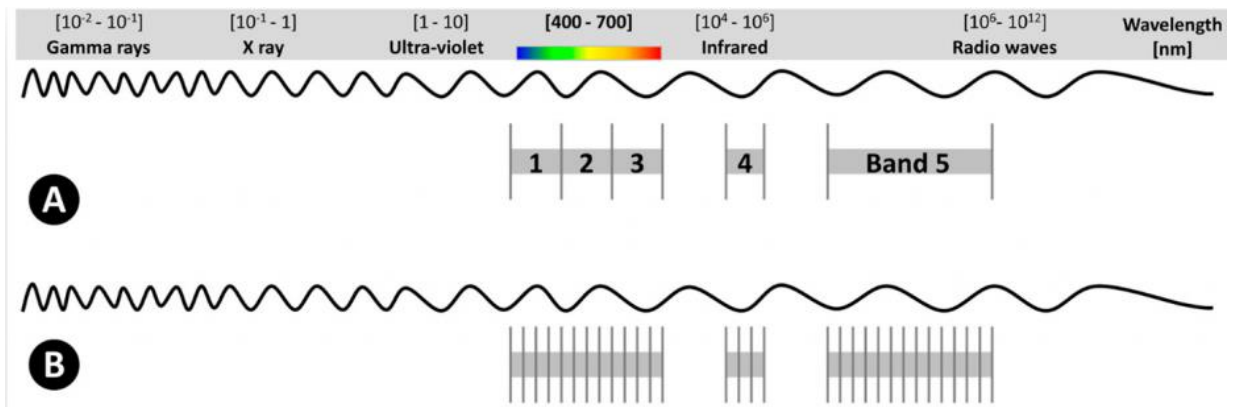


Рис. 1.2. Гіперспектральне знімання захоплює довжини хвиль від 250нм до 15000нм і теплове інфрачервоне вимірювання

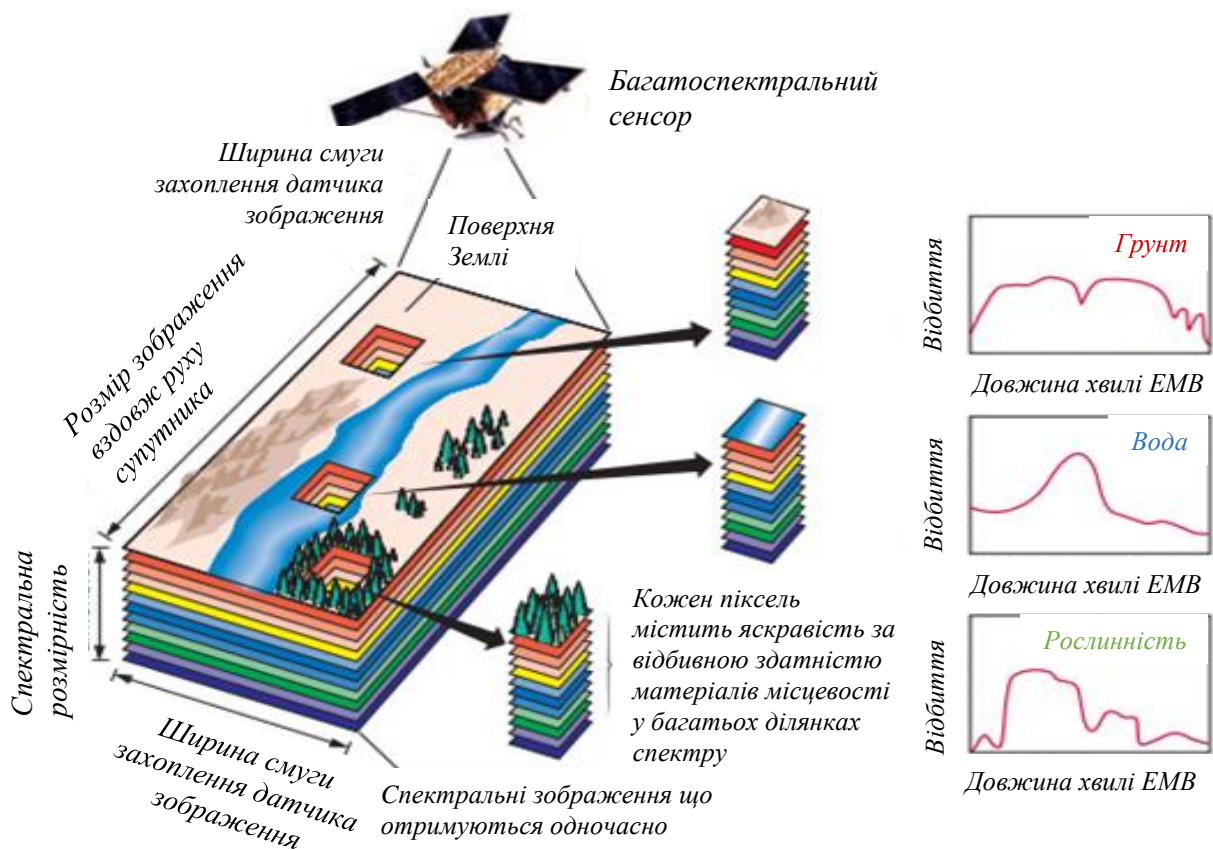


Рис. 1.3. Схема отримання супутникових мультиспектральних зображень: (1) космічна знімальна система; (2) смуга огляду; (3) поверхня Землі; (4) розрізнення по шляховій дальності космічного апарату; (5) спектральне розрізнення; (6) смуга огляду; (7) спектральні зображення фіксуються одночасно; (8) кожен піксель містить відібраний спектр, що потрібно для визначення типів присутніх на поверхні землі матеріалів за їхньою відбивною здатністю.

Мультиспектральне знімання засноване на фізичних принципах спектроскопії і оптики. Відомо, що кожен об'єкт на місцевості має свій власний, притаманний тільки для його типу спектральний відбиток (сигнатуру). Цей відбиток фіксує те, як і які довжини хвиль світла поглинаються, відбиваються або проходять через цей об'єкт. Для отримання спектральної інформації щодо поверхні землі використовуються спектральні камери і сенсори.

Мультиспектральне знімання виконується з допомогою мультиспектральної камери з сенсором, який розділяє світло на різні спектри. Спектральна камера — це прилад, який здатен розділяти відбиту від Землі електромагнітну хвилю на окремі сигнали за довжиною хвиль в різних діапазонах спектру і вимірювати їх інтенсивність відбиття. Ці дані потім застосовують для створення спектральних зображень, які для кожного з двомірного масиву пікселів показують, який відсоток світла на кожній довжині хвилі поглинається, відбивається або проходить через об'єкт на поверхні землі.

В результаті знімання на кожен кадр формуються монохромні у відтінках сірого тону знімки, кількість яких залежить від кількості каналів камери. Аналіз інформації зі знімків відбувається в середовищі спеціальних комп'ютерних програм з допомогою синтезування багатоканальних композицій в виді кольорових зображень або одноканальних растрів вегетаційних чи водних індексів: NDVI, NDRE, SAVI, LAI тощо. Одна з головних галузей застосування мультиспектральних знімків – сільське і лісове господарство.

Спектральні канали в мультиспектральному зніманні є чутливими до визначених діапазонів електромагнітних хвиль, які реєструються датчиками або камерами на борту супутника чи іншого літального апарата. Кожен спектральний канал призначений для вимірювання і фіксування інтенсивності світла в певному діапазоні довжин хвиль. Це дозволяє отримувати інформацію про різні фізичні і хімічні властивості об'єктів земної поверхні (рис.1.4).

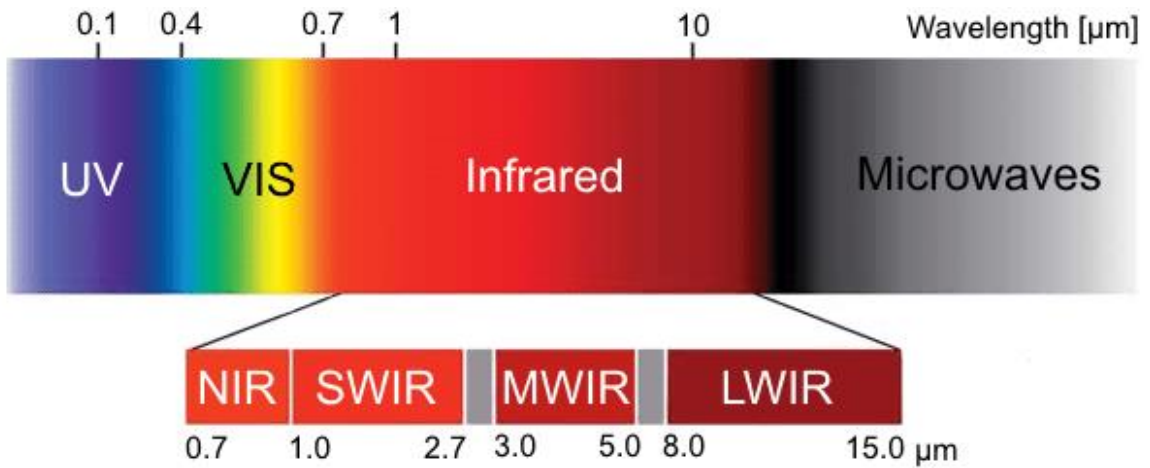


Рис. 1.4. Гіперспектральне знімання захоплює довжини хвиль від 250 до 15 000 нм і теплове інфрачервоне вимірювання

Для знімання рослинного покриття використовують канали, які реєструють інтенсивність світла в діапазоні від видимого світла до інфрачервоного, що дозволяє оцінити фотосинтетичну активність рослин і їхній стан. Для моніторингу земних поверхонь використовуються канали, які можуть

реєструвати енергію в більш широкому діапазоні, включно з ультрафіолетовим і мікрохвильовим діапазонами.

Використання різних спектральних каналів дозволяє отримувати більш повну і точну інформацію про поверхню землі, так як кожен канал реєструє інформацію про світло в певному діапазоні довжин хвиль, що є корисним для конкретних тематичних застосунків і задач мультиспектрального знімання. Окремі спектральні канали мультиспектральних знімків при візуалізації є монохромними, тобто одноканальними і візуалізуються як правило у відтінках сірого кольору.

Таблиця 1.2 Спектральні канали і області їх застосування

Найменування спектрального каналу і діапазон довжин хвиль, мкм	Застосування супутникової інформації в дистанційному зондуванні Землі
Видимий синьо – фіолетовий 0,42 – 0,55	Дані застосовують для океанографічних застосунків і здійснення атмосферної корекції даних ДЗЗ, зокрема при розрахунках деяких індексів озелененості.
Видимий синій 0,45 – 0,52	Зона призначена для відображення берегових ліній, батиметрії, наносів; диференціації ґрунтів від рослинності і відокремлення зображення лисяної від хвойної флори, картографування типів лісу, виявлення штучних споруд. Добре фрагментуються структурні гірські породи (наприклад, сланці, фосфати, евопорити, евопорати).
Видимий зелений 0,52 – 0,60	Зона, відповідна максимальному коефіцієнту відбиття зеленої (здорової) рослинності і

	використовується для таксації лісу, для складання карт концентрації наносів і опадів в мутних водах.
Видимий червоний 0,63 – 0,69	Зона потрібна для того, щоб розрізнити множину різновидів рослин, так як містить смугу поглинання хлорофілу. Також використовується для виявлення границь ґрунтів і геологічного оконтурювання рудних тіл, нафтових полів тощо.
Ближній інфрачервоний 0,76 – 0,90	Зона особливо чутлива до кількості вегетуючої біомаси. Це корисно для ідентифікації ґрунтів, оцінки урожайності, а також для окреслення берегових ліній водних об'єктів.
Короткохвильовий інфрачервоний 1,55 – 2,5	Зона чутливості до вмісту води в рослинності і ґрунтах, і відповідно корисна для оцінки стадії вегетації і дослідженні здоров'я рослин. В цьому спектрі можна відрізнити хмари від снігу і льоду.
Тепловий інфрачервоний 10,40 – 12,50	Використовується для визначення температури підстилаючої поверхні, інтенсивності теплоти об'єктів. Може також застосовуватись для виявлення геотермальної активності.
Теплова інфрачервона ділянка, короткохвильовий інфрачервоний 2,08 – 2,35	В даній зоні спектра багаті кремнієм матеріали, пилюка в повітрі і відкриті ґрунти часто дають відносно високий сигнал. Зона важлива для виділення границь ґрунтів ґрунтів, а також ступеня зволоження ґрунтів і рослинності.

Важливим для дистанційного зондування є також отримання панхроматичних знімків — напівтонових одноканальних зображень, які отримують з використанням одного широкого спектрального каналу з охопленням всього видимого діапазону електромагнітних хвиль. Такі знімки

зазвичай мають високе просторове розрізнення і застосовуються для виявлення деталей і текстур на місцевості. Широко також застосовується процедура підвищення просторового розрізнення окремих мультиспектральних каналів до розрізнення панхроматичного знімка – паншарпенінг.

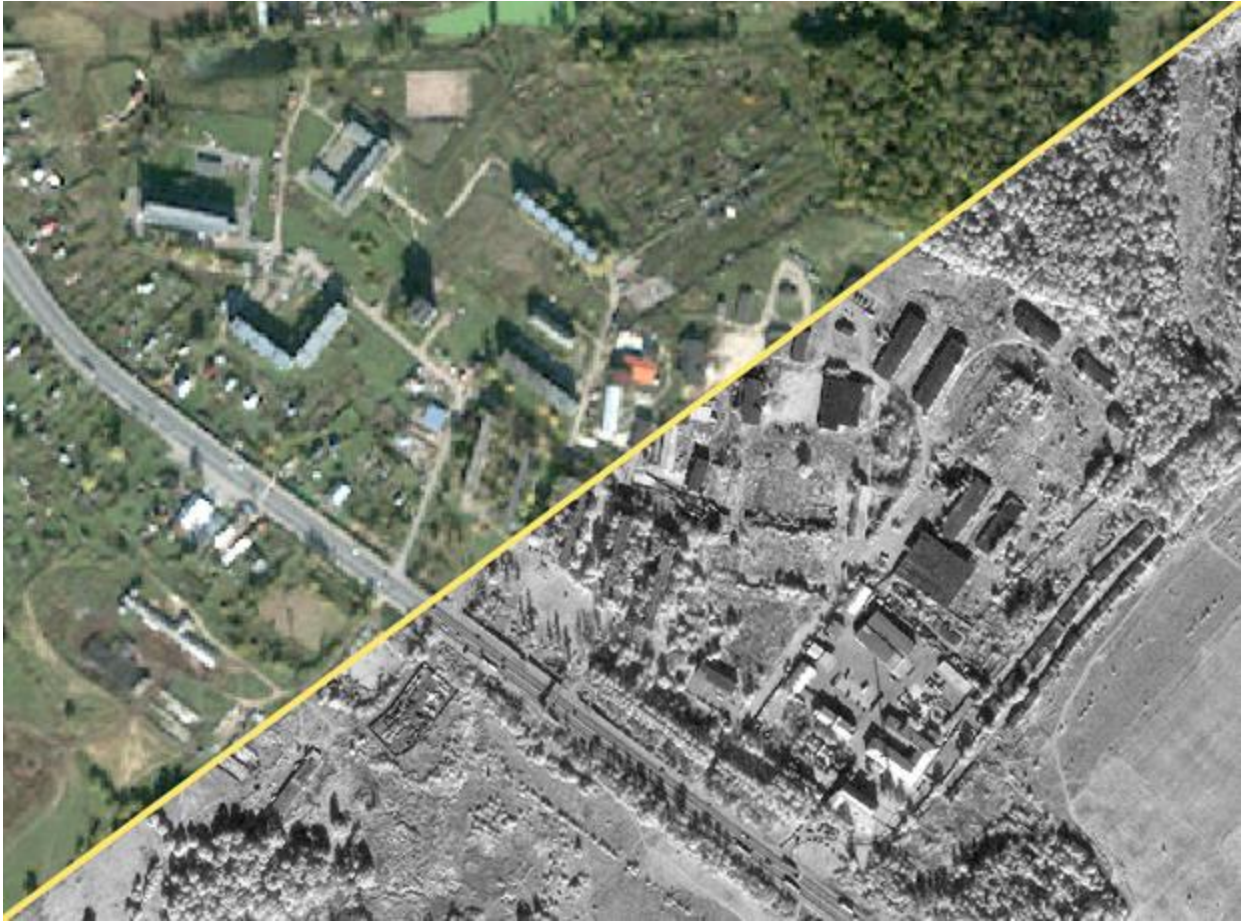


Рис. 1.5. Кольорове RGB і панхроматичне зображення

Для виявлення певних речовин і хімічних компонентів, які мають особливі характеристики в короткохвильовому інфрачервоному спектрі (наприклад виявлення пожегів корисні знімки діапазону SWIR). SWIR знімки, на відміну від мультиспектральних, ґрунтуються на реєстрації тільки короткохвильового інфрачервоного випромінення. Цей діапазон знаходиться між видимим і довгохвильовим інфрачервоним випроміненням. SWIR знімки володіють здатністю проникати крізь різні типи атмосферних і температурних неоднорідностей і здатні реєструвати інфрачервоне випромінювання, яке виходить від об'єктів або відображаються від них.



Рис. 1.6. Знімки в SWIR і у видимому діапазоні

SWIR знімки мають перевагу в проникненні крізь атмосферні і температурні неоднорідності, що робить їх корисними для виявлення об'єктів на значних висотах або в погодних умовах, які можуть утруднити проходження видимого світла.

1.3 .Опрацювання даних мультиспектрального знімання

Методи опрацювання даних мультиспектрального знімання можуть варіюватись в залежності від конкретних задач. Однак, існують декілька основних методів опрацювання, які набули широкого поширення в даній галузі:

1. Класифікація покриття землі: цей метод дозволяє розділити зображення на різні класи, такі як ліс, вода, забудова тощо на основі спектральних характеристик кожного пікселя на зображенні. Для цього застосовуються алгоритми машинного навчання, такі як метод опорних векторів (Support Vector Machine), випадковий ліс (Random Forest) та інші.
2. Оцінка стану рослинності: даний метод дозволяє визначити такі параметри рослинності як щільність зеленої маси, стадії росту рослин, урожайність тощо, на основі спектральних характеристик. Для цього застосовуються спеціалізовані індекси, такі як індекс зеленого кольору (Normalized Difference Vegetation Index), індекс вмісту вологи (Normalized Difference Water Index) та інші.

3. Визначення хімічного складу поверхні землі: даний метод дозволяє визначати вміст мінералів, металів, органічних речовин тощо, на основі спектральних характеристик. Для цього застосовуються спеціалізовані індекси, такі як індекс заліза (Iron Oxide Index), індекс глини (Clay Index) й інші.
4. Вимірювання температури поверхні землі на основі інфрачервоних спектральних каналів. Це може бути корисним для вивчення кліматичних змін, моніторингу природних катастроф і т. д.
5. Поліпшення якості зображення: даний метод дозволяє покращити якість зображення, видаляючи шум та артефакти, використовуючи різні фільтри та алгоритми.

Для виділення об'єктів на мультиспектральних зображеннях використовуються різні алгоритми, які можуть змінюватись в залежності від конкретних завдань та застосунків. Деякі з найбільш поширених алгоритмів включають:

1. Алгоритми граничної обробки: даний тип алгоритмів застосовується для бінаризації зображення на основі встановлених граничних значень. Таким чином пікселі, значення яких вищі або нижчі за заданий поріг, можуть бути виділені як об'єкти або тло.
2. Алгоритми на основі текстурних характеристик: дана група алгоритмів використовує текстурні характеристики, такі як ентропія, гладкість, градієнт та інші для визначення об'єктів на зображенні. Ці алгоритми можуть бути особливо корисними для виявлення об'єктів, які мають схожі спектральні характеристики із фоном.

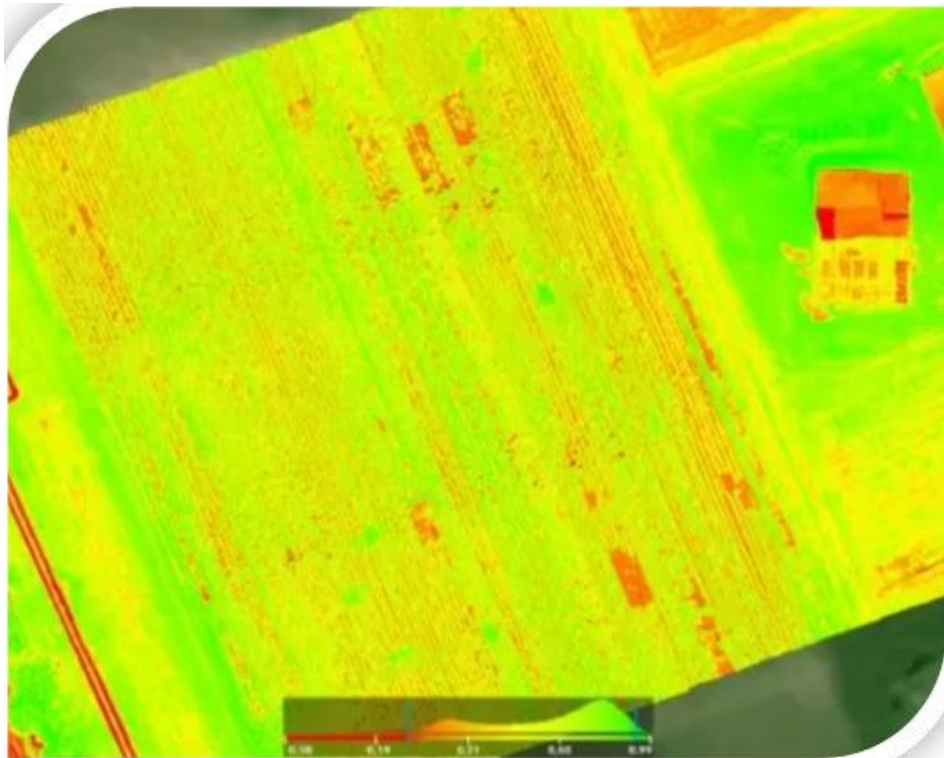


Рис. 1.7. Приклад застосування індекса NDVI

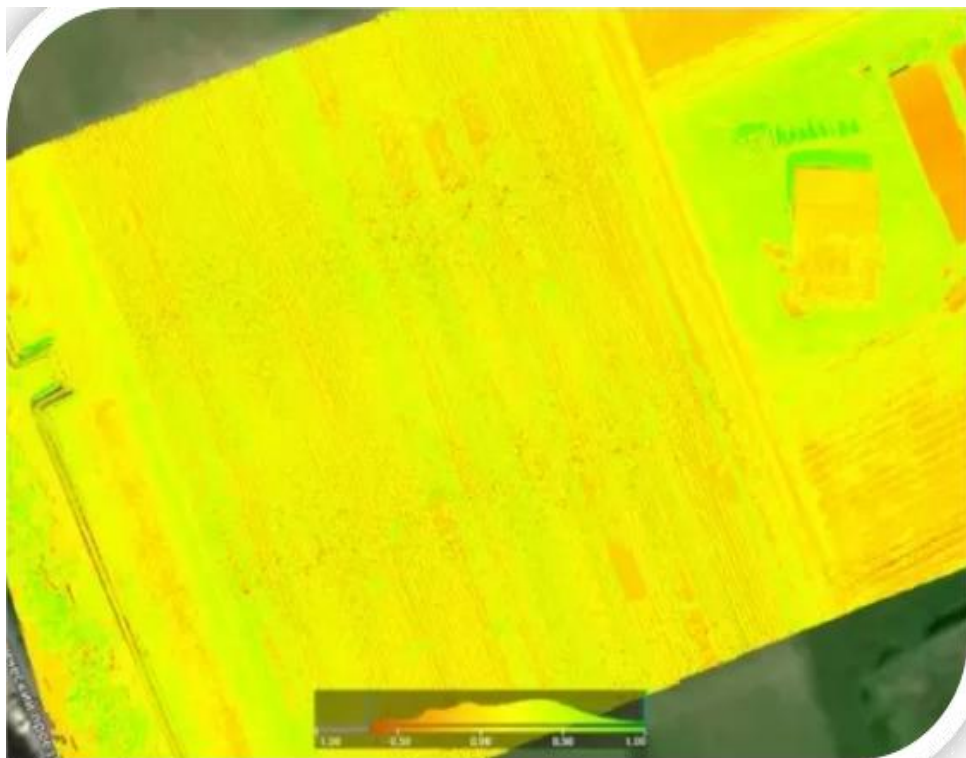


Рис. 1.8. Приклад застосування індекса VARI – біофізичний індекс, який застосовується для оцінки вмісту зеленого пігменту в рослинах на основі мультиспектральних знімків.

3. Алгоритми на основі математичної морфології: даний тип алгоритмів працюють для виділення об'єктів на зображенні. Ці алгоритми можуть бути особливо корисні для опрацювання зображень, які містять шуми і артефакти.

4. Алгоритми на основі машинного навчання: дана група алгоритмів використовує методи машинного навчання, такі як нейронні мережі, метод опорних векторів та випадковий ліс, для навчання моделі виділення об'єктів на зображенні. Ці алгоритми можуть бути особливо ефективними у випадках, коли зображення містять складні текстури та структури.

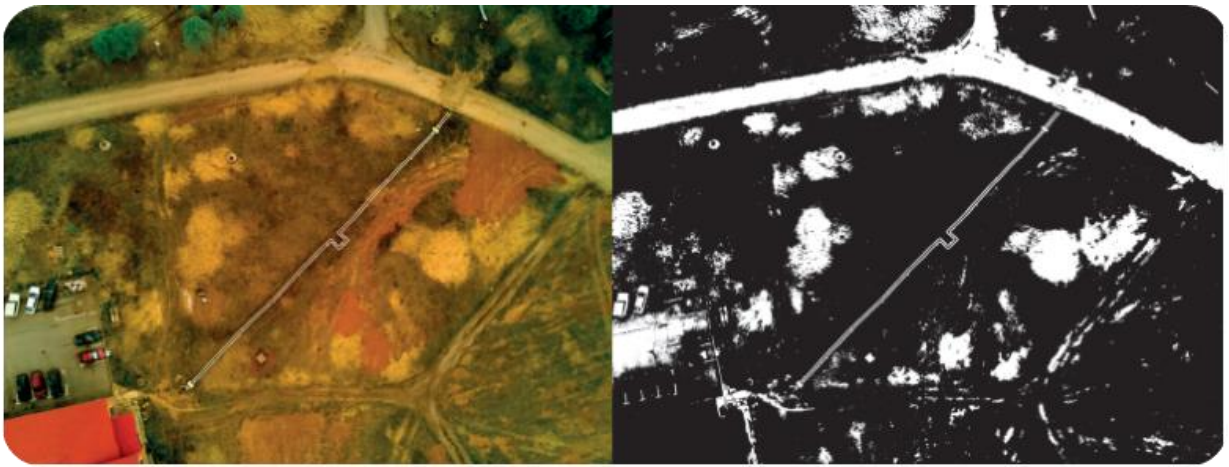


Рис. 1.9. Вхідне зображення і результат роботи порогового алгоритма

Об'єднання даних з різних каналів може привести до створення синтезованого кольорового зображення з виділенням різного роду об'єктів і феноменів.

Мультиспектральна зйомка має низку значних переваг, що виділяють її на тлі звичайних RGB космічних знімків:

1. Деталізація складу: Мультиспектральна зйомка дозволяє досліджувати та аналізувати спектральні характеристики об'єктів та поверхонь. Вона розширює спектральний діапазон, захоплюючи інформацію, недоступну очі людини. Це дозволяє визначити склад та властивості матеріалів, таких як рослинне покриття, ґрунтіви, водні об'єкти та інші.

2. Моніторинг змін: Мультиспектральна зйомка дає змогу відстежувати зміни з плином часу. Шляхом порівняння спектральних даних, отриманих у різні періоди, можна вивчати динаміку змін у рослинності, землекористуванні, захворюваннях рослин, забрудненні та ін. Це незамінний інструмент для екологічного моніторингу та управління ресурсами.
3. Виявлення прихованих патернів: Мультиспектральні дані дозволяють виявляти невидимі для звичайного спостереження патерни та сигнали. Наприклад, можна виділити ділянки з пошкодженими або хворими рослинами, виявити ранні ознаки стресу, передбачати рівень урожайності або визначити наявність різних хімічних речовин.
4. Корисність у різних галузях: Мультиспектральна зйомка має широке застосування у різних галузях. Її використовують у сільському господарстві для оптимізації управління полями та вирощуванням культур рослин, в екології та геології для вивчення біологічної різноманітності та складових ландшафтів, у гідрології та охороні навколишнього середовища для аналізу якості та стану водних ресурсів, а також у геодезії та картографії для створення високоточних карт та планування муніципального розвитку.
5. Надвисоке розрізнення: дозволяє отримувати більш деталізовані та точні дані. Це корисно для застосунків, що потребують високої точності, наприклад, у дослідженнях рослинного покриву та землекористування, а також для усунення шуму та артефактів при опрацюванні та аналізі отриманих зображень.

Загалом, багато- і мультиспектральні знімки володіють багатьма перевагами порівняно із зніманням у видимому діапазоні. Вони дозволяють отримувати додаткові спектральні дані, не видимі людському оку, такі як інфрачервоне або теплове випромінення. Це суттєво розширює можливості аналізу і виявляти важливу додаткову інформацію. Таким чином,

мультиспектральне знімання надає більш повну і точну інформацію про стан об'єктів місцевості і оточуюче середовище. Її можливості знаходять застосування в різних сферах досліджень, сприяють більш ефективному моніторингу, плануванню і прийняттю рішень.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНИХ І ВОДНИХ ІНДЕКСІВ

2.1. Вегетаційні та водні індекси як інструмент моніторингу

Дані ДЗЗ найбільш часто використовуються з метою здійснення екологічного моніторингу, дослідження стану лісів, вод і сільськогосподарських угідь. Окрім вирішення завдань моніторингу з допомогою вегетаційних і водних індексів, на сьогоднішній день існує запит на моніторинг затоплення територій, виявлення кількості запасів сировини, рівня горючих матеріалів в пожежно небезпечних зонах, розрахунку запасу вологи в сніговому покриві, зволоженості рослинного покриву тощо. Окрему групу складають задачі в галузі точного землеробства – це отримання оцінок розмірів областей проростання, ареалів поширення хвороб, бур'янів і інвазивних видів рослин, оцінювання запасів листової маси, вологості і температури ґрунтів і багато інших. Основою для вирішення цих задач часто стають растрові карти спектральних індексів, які об'єктивно і достовірно описують наявність і стан досліджуваних об'єктів а також динаміку змін їхніх властивостей з часом.

Супутникові мультиспектральні зображення, отримані сканерними оптико-електронними знімальними системами, покривають значні території у відповідності з деяким часовим розрізненням - від 1,5 до 16 днів. Широко використовуються якісні і безкоштовні набори даних із супутників MODIS [13], Landsat-8 [14], Sentinel-2 [15]. Мінімальне просторове розрізнення супутникових спектральних каналів для MODIS складає 250 м, для Landsat 8 – 30 м і Sentinel 2 – 10 м. Цих даних часто достатньо для вирішення багатьох сільськогосподарських задач. При проведенні моніторингу за станом рослин на сільськогосподарських угіддях важливими факторами є періодичність отримання зображень (часове розрізнення) і геометрична детальність знімання (просторове розрізнення). Супутниковий прилад MODIS Terra дозволяє

отримувати зображення кілька разів протягом доби при просторовому розрізненні від 250 м (видима і ближня інфрачервона область спектра) до 1 км (інфрачервона область спектра). Таке просторове розрізнення робить можливими лише оглядові обстеження великих територій, так як один піксель покриває площу 5 га. Дані супутників Landsat-8 і Sentinel-2 мають більше просторове розрізнення і відповідно дають можливість більш детально оцінювати ситуацію на полях і в лісах, але мають менше часове розрізнення (відповідно 16 і 5 днів).

Для отримання високої періодичності і деталізації вимірювання стану рослин можливе поєднання даних супутникових приладів і безпілотних літальних апаратів.

Для мінімізації впливу на радіометричні властивості рослинного покриву таких факторів, як оптичні властивості ґрунту, освітлення, геометрія спостереження, а також метеорологічних умов (хмарність), відбивні властивості в окремих областях (коефіцієнти відбиття, комбінуються в вегетаційні індекси. Ідеальний вегетаційний індекс повинен бути чутливим тільки до покриття рослинності (зелена частина), і не чутливим до ґрунтів. Крім того, він не повинен надмірно спотворюватись впливом стану атмосфери. Додатково значення відбивної здатності проходять атмосферну та геометричну корекцію до їх застосування при обчисленні індексів.

Відомі десятки різноманітних вегетаційних індексів. Найбільш часто вживаними є індекси, формули яких є відношеннями коефіцієнтів відбиття в окремих зонах спектра або їх лінійними комбінаціями.

Більшість вегетаційних індексів використовують червоний канал, який пов'язаний з поглинанням світла хлорофілом, і ближній інфрачервоний канал, який пов'язаний з щільністю зеленої рослинності, тому ці два канали містять більш як 90% інформації про рослинний покрив. В червоному і ближньому ІЧ каналах відмінності між рослинністю і відкритим ґрунтом є максимально вираженими.

Відомі комп'ютерні програмні продукти надають можливості для використання супутникової інформації на практиці, але вони пов'язані з вирішенням вузьких завдань та вимагають наявності досвідченого спеціаліста, здатного інтерпретувати одержувані результати.

2.2. Вегетаційні індексні карти – ефективний інструмент вивчення земної поверхні

Перший відомий вегетаційний індекс є відношенням яскравостей, яка розраховується за формулою (Pearson and Miller, 1972):

$$RVI = NIR/RED \quad (2.1)$$

де NIR – яскравість піксела в ближній інфрачервоній зоні, RED - яскравість в червоній зоні.

Пізніше в дистанційному зондуванні поширення набув нормалізований диференційований (різницевий) вегетаційний індекс NDVI. Для визначення стану всієї рослинності порівнюють значення в поглинанні і відбитті червоних і інфрачервоних променів. Вегетаційний індекс NDVI розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2.2)$$

Значення NDVI варіюються від -1 до +1, причому вищі значення вказують на здоровішу та густішу рослинність. Ось загальне тлумачення значень NDVI:

- Від -1 до 0: вода, сніг, лід або безплідна земля;
- Від 0 до 0,2: рідка рослинність або нездорові рослини;
- 0,2 до 0,4: помірна рослинність;
- 0,4 до 0,6: Густа рослинність;
- 0,6 до 1: дуже густа, здорова рослинність.

Перевагою NDVI є простота для розрахунку та інтерпретації, широка доступність опису і стандартизація. Карти цього індексу ефективні для моніторингу сезонних змін рослинності, корисні для виявлення стресу від посухи та для періодичної оцінки врожайності.

Обмеження NDVI:

- Насичення на ділянках з густою рослинністю;
- Чутливість до атмосферних умов і ґрунтового фону;
- Обмежена здатність розрізняти типи рослинності.

Розширений індекс рослинності EVI був розроблений як вдосконалення NDVI для усунення деяких його обмежень. EVI особливо корисний у районах із щільним, зімкнутим пологом рослинності і менш чутливий до атмосферних умов і ґрунтового фону. EVI розраховується за такою формулою:

$$EVI = g * ((NIR - \text{червоний}) / (NIR + C1 * \text{червоний} - C2 * \text{синій} + L)) \quad (2.3)$$

де:

NIR - коефіцієнт відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні;

Червоний - відбиття в червоній смузі;

Синій - відбиття в синій смузі;

g = коефіцієнт посилення (зазвичай 2,5);

$C1$ = Коефіцієнт атмосферного опору (зазвичай 6);

$C2$ = Коефіцієнт атмосферного опору (зазвичай 7,5);

L = Регулювання фону навісу (зазвичай 1).

Значення EVI зазвичай коливаються в межах від -1 до +1, подібно до NDVI.

Однак інтерпретація значень EVI може дещо відрізнятися:

- Від -1 до 0: незарослі території або вода;
- Від 0 до 0,2: оголений ґрунт або дуже рідкісна рослинність;
- 0,2 до 0,4: пасовища або розріджені посіви;
- Від 0,4 до 0,6: помірна щільність рослинності;
- 0,6 до 1: Густа, здорова рослинність.

Переваги EVI можна виділити наступні:

- Покращена чутливість у регіонах з високою біомасою;
- Зменшення атмосферних впливів;
- Краще відділення рослинності від ґрунтового фону;
- Більш чутливий до структурних змін навісу.

Прийняття вегетаційного індексу як індикатора стану підстильної поверхні, включаючи найбільш широко використовуваний NDVI та його вдосконалену форму EVI, є ще одним методом картографування рослинності за допомогою оптичних пристроїв дистанційного зондування. Принцип застосування NDVI у картографуванні рослинності полягає в тому, що рослинність має високу відбивну здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні та високу здатність поглинати у видимому червоному діапазоні. Контраст між цими каналами можна використовувати як індикатор стану рослинності. Іншими словами, NDVI - це біофізичний параметр, який корелює з фотосинтетичною активністю рослинності. На додаток до вказівки на «зеленість» рослинності (Wang and Tenhunen 2004), NDVI також може запропонувати цінну інформацію про динамічні зміни певних видів рослинності, враховуючи, що багаторазові зображення аналізуються. Таким чином, NDVI є хорошим індикатором для відображення періодичних динамічних змін груп рослинності (Geerken et al. 2005).

Окремі групи рослинності можна ідентифікувати за їхньою унікальною фенологією або динамічними сигналами NDVI (Lenney et al. 1996), яка також відома як «Класифікація мультитемпоральних зображень». Іншим підходом до ідентифікації конкретних груп рослинності є вивчення часового ряду вегетаційного індексу. Наприклад, Bagan et al. (2005) застосували об'єднаний мультинабір даних EVI, створений з 16-денних інтервалів даних MODIS протягом вегетаційного періоду рослин, як вхідні параметри для відповідності особливостям груп рослинності та класифікації зображень.

Коли справа доходить допорівняння ефективності EVI проти NDVI, обидва індекси мають свої сильні та слабкі сторони:

- NDVI має тенденцію до насиченості в областях з високою біомасою, що робить його менш ефективним у розрізненні різних рівнів густої рослинності; EVI підтримує чутливість у регіонах з високою біомасою, дозволяючи краще диференціювати щільність рослинності в лісах і сільськогосподарських районах з великою рослинністю.
- NDVI більш сприйнятливий до атмосферних впливів, таких як аерозолі та водяна пара, що може призвести до неточностей у вимірюваннях. EVI включає синю смугу для корекції атмосферних впливів, що забезпечує точніші вимірювання, особливо в регіонах із різними атмосферними умовами.
- NDVI може залежати від фону ґрунту, особливо в районах з рідким рослинним покривом. EVI розроблено для мінімізації ефектів ґрунтового фону, що робить його більш надійним у зонах з відкритим ґрунтом або різними типами ґрунту.
- NDVI: Менш чутливий до змін у структурі та архітектурі навісу. EVI краще реагує на структурні варіації пологів, забезпечуючи краще уявлення про складність рослинного покриву.
- NDVI простий для обчислення та зрозумілий, що робить його доступним для широкого кола користувачів. EVI дещо складніше обчислювати, вимагає додаткових спектральних смуг і коефіцієнтів, реалізація та інтерпретація яких може бути складною для деяких користувачів.

Для організації періодичних спостережень важлива наявність історичних даних. Для NDVI доступні обширні історичні набори даних, які дозволяють аналізувати та порівнювати довгострокові тенденції. Для EVI доступно менше

наборів історичних даних порівняно з NDVI, що потенційно обмежує довгострокові дослідження в деяких регіонах.

NDVI як правило, добре працює в широкому діапазоні екосистем, але може мати обмеження в районах з дуже густою або рідкою рослинністю. EVI особливо ефективний у тропічних і субтропічних регіонах з густою рослинністю, але може бути менш ефективним у посушливих або напівпосушливих середовищах.

Обидва індекси EVI NDVI мають значне застосування в точному землеробстві. Ось як фермери та агрономи можуть використовувати ці показники:

- Моніторинг стану рослин: NDVI та EVI можна використовувати для оцінки здоров'я культури протягом вегетаційного періоду. Аналізуючи часові ряди даних, фермери можуть на ранній стадії визначити зони стресу або потенційні спалахи захворювань, дозволяючи вчасно втручатися.
- Прогнозування врожайності: Індекси рослинності сильно корелюють з біомасою і можуть бути використані для оцінки врожайності сільськогоспо-дарських культур. EVI з його покращеною чутливістю в районах з високою біомасою може забезпечити точніші прогнози врожайності для певних культур.
- Управління зрошенням: відстежуючи зміни вегетаційних показників, фермери можуть оптимізувати графіки зрошення. Області з нижчими значеннями індексу можуть вказувати на нестачу води, що спонукає до цілеспрямованих зрошувальних зусиль.
- Внесення добрив: Просторові варіації EVI або NDVI можуть керувати змінними нормами внесення добрив. Області з нижчими значеннями індексу можуть потребувати додаткових поживних речовин для покращення продуктивності врожаю.

- Виявлення шкідників і хвороб: різкі зміни вегетаційних показників можуть свідчити про нашествя шкідників або спалахи хвороб. Раннє виявлення дозволяє швидко лікувати та мінімізує втрати врожаю.
- Відстеження фенології культур: відстежуючи сезонні зміни індексів вегетації, фермери можуть відстежувати стадії росту культур і відповідно оптимізувати методи управління.

Останніми роками активно ведуться дослідження методів дистанційного зондування та обчислень для розвитку точного землеробства (РА) і покращення якості сільськогосподарської продукції. Серед таких є оцінка ефективності індексів рослинності RGB при ідентифікації відкритого ґрунту та рослинності. Зображення були отримані цифровою камерою RGB. Відомі індекси рослинності RGB: MGVRI, GLI, RGBVI, MPRI, VEG, ExG та інші.

Таблиця 2. 1. Вегетаційні індекси (BI), засновані на яскравостях каналів видимого світла RGB [1]

Скорочена і повна назва BI	Формула	Посилання на літературне джерело
MGVRI, Modified Green Red Vegetation Index	$MGVRI = \frac{(G)^2 - (R)^2}{(G)^2 + (R)^2}$	Bendig, et al. (2015)
GLI, Green Leaf Index	$GLI = \frac{2G - R - B}{2G + R + B}$	Louhaichi, Borman & Johnson (2001)
MPRI, Modified Photochemical Reflectance Index	$MPRI = \frac{G - R}{G + R}$	Yang et al. (2008)
RGVBI, Red Green Blue Vegetation Index	$RGVBI = \frac{G - (B \cdot R)}{G^2 + (B \cdot R)}$	Bendig, et al.(2015)
ExG, Excess of green	$ExG = \frac{2G - R - B}{R + G + B}$	Woebbecke et al. (1995)

NGRDI, Normalized green/red difference index	$NGRDI = (G - R) / (G + R)$	Ide R., Oguma H. (2010)
VEG, Vegetativen	$VEG = \frac{G}{(R^a) \cdot B^{(1-a)}}$	Hague et al. (2006)

a^* = константа в діапазоні значень від 0.667; B = blue, G = green, R = red.

2.3. Водні індексні карти на основі даних багатоспектрального знімання

Одним з головних недоліків вегетаційних індексів є те, що коефіцієнт відбиття червоного каналу є надто чутливим до атмосферних змін що в свою чергу може спотворювати результати оцінки. Для вирішення цієї проблеми був створений перший водний індекс (NDWI), який використовує короткохвильовий інфрачервоний канал. SWIR канал пробиває практично 80% атмосфери. Його використовують для моніторингу лісових пожеж, пошуку корисних копалин тощо. Вода здатна поглинати ближні інфрачервоні хвилі, тому саме завдяки використанню в розрахунках каналів NIR і SWIR каналів ми можемо виділити контури водних об'єктів і вологих ґрунтів.

Нормалізований різницевий водний індекс (Normalized Difference Water Index, NDWI) – це індекс, який використовується для виявлення водних поверхонь на супутникових або аеро зображеннях. NDWI ґрунтується на різниці в поглинанні світла в ближньому інфрачервоному (NIR) і видимому зеленому (Green) діапазонах електромагнітного спектра. Даний індекс визначає кількість запасу вологи в рослинному покриві, яка взаємодіє з поступаючим сонячним випроміненням. NDWI розраховують за формулою:

$$NDWI = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2) \quad (2.4)$$

Індексні карти NDWI використовують для таких цілей:

- моніторингу змін вмісту вологи в листі рослин;

- аналізу сприйнятності досліджуваних ділянок до пожеж;
- моделювання родючості рослин;
- виявлення поверхневих вод серед заболоченої місцевості;
- виміру степені покриття територій поверхневими водами.

Значення цього індексу знаходяться в діапазоні від -1 до 1. Звичайний рівень індекса для зеленої рослинності дорівнює від -0,1 до 0,4; водні об'єкти приймають значення від 0,2 до 1; об'єкти що не містять вологи мають значення менше 0. Головною перевагою використання NDWI є здатність визначити водойми на супутниковому знімку. Недоліком застосування даного індекса є його більша чутливість до забудови, що може привести до грубих помилок при розрахунку NDWI.

Приклад використання NDWI приведено на рис.2. . По даному растровому зображенню можна встановити, які поля зібрані, які засіяні різними культурами і наскільки вони зволожені. За шкалою NDWI чим нижче значення індекса, тим більша ймовірність того, що на даній ділянці відсутня волога і навпаки.

Водний стійкий індекс WRI «Water Ratio Index» дозволяє визначати кількість вологи в рослинному покриві. Техніка розрахунку цього індексу заснована на відношенні між повним спектральним індексом двох видимих діапазонів світла (зеленого і червоного) і короткохвильового та середньохвильового інфрачервоних діапазонів. WRI розраховують за формулою:

$$WRI = (GREEN + RED) / (NIR + SWIR2) \quad (2. 5)$$

Використовується для дослідження фізіології екосистеми та виявлення водних об'єктів на території. Значення індекса коливаються від 0 до 3. Зазвичай, значення від 1 і вище представляють водні об'єкти або насичені вологою об'єкти.

Прикладом є використання растрової карти WRI з класифікацією для більш точного відображення картини за такими пороговими значеннями: від 0 до 1 – на поверхні відсутня вода; від 1 до 2,5 – рослини, в яких міститься волога; від 2,5

до 3,8 (максимальне значення індекса в області) – водні об'єкти. Класифіковане зображення показує чіткі границі водних об'єктів.

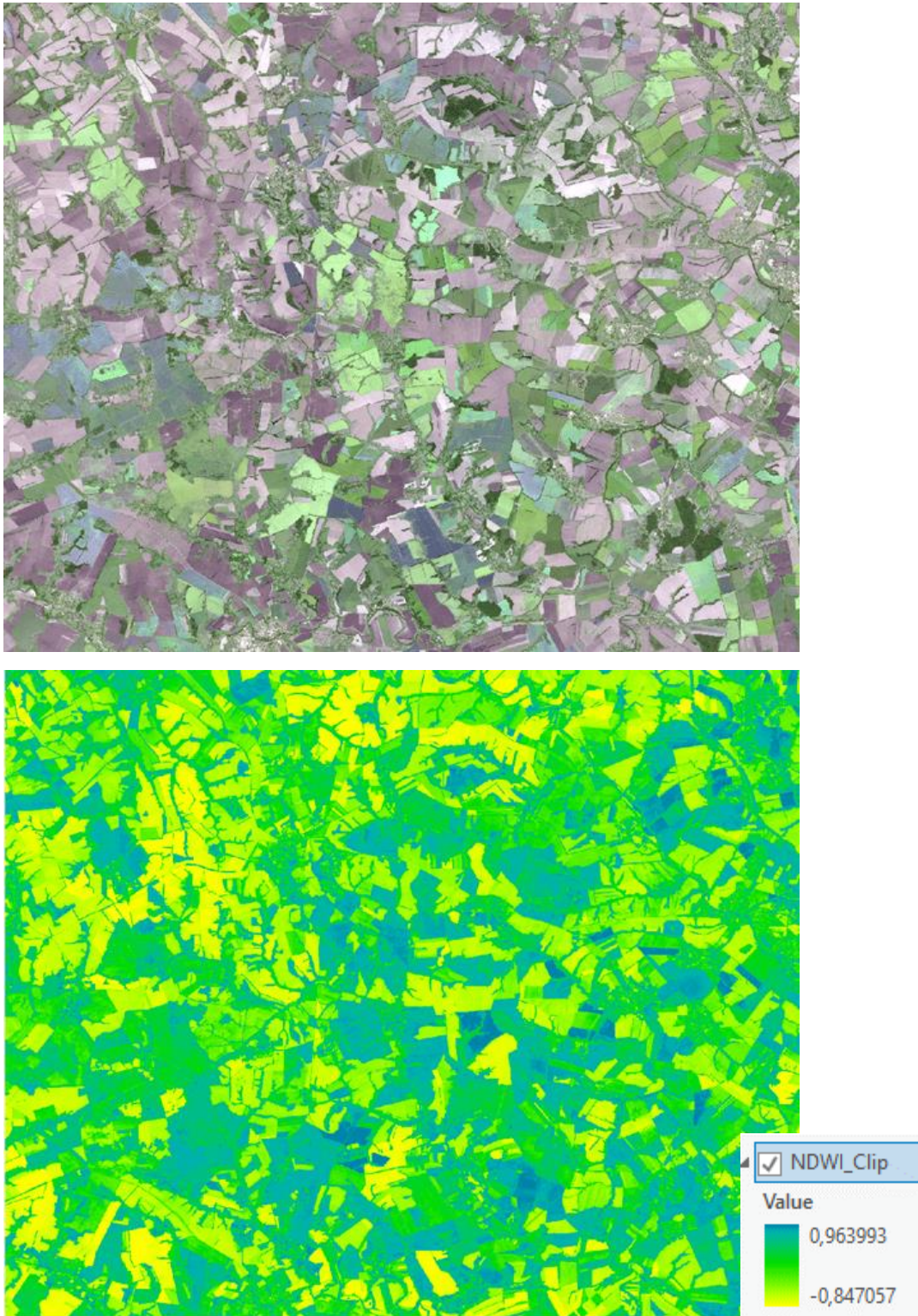


Рис. 2.1 Знімок супутника Sentinel-2B, перерахунок в NDWI

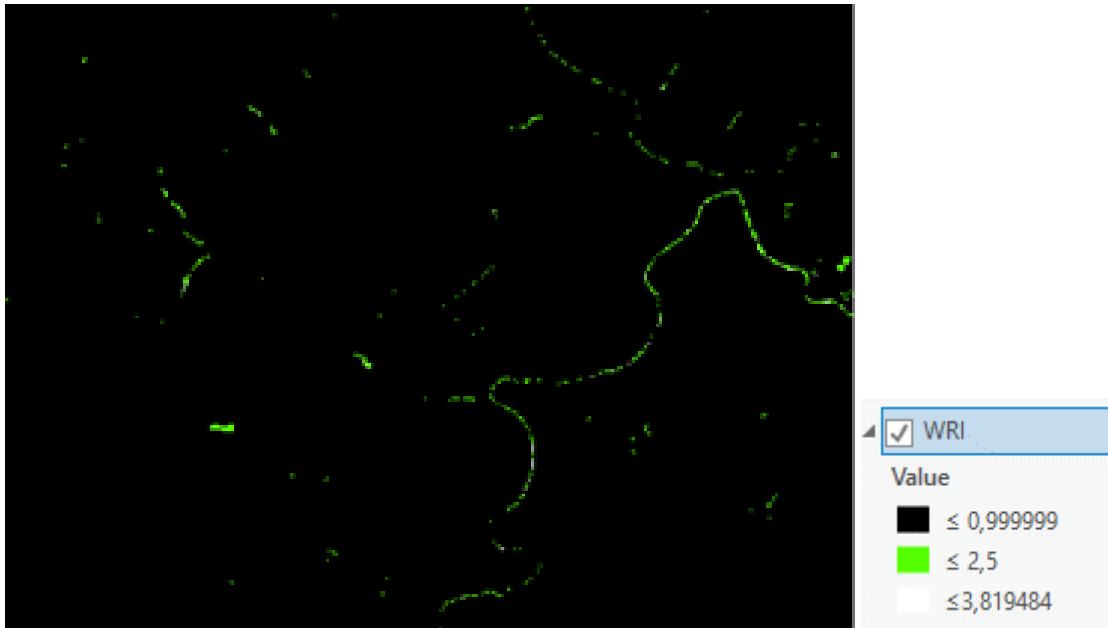


Рис. 2.2. Знімок із супутника Sentinel-2B, перерахований в WRI, класифіковане зображення

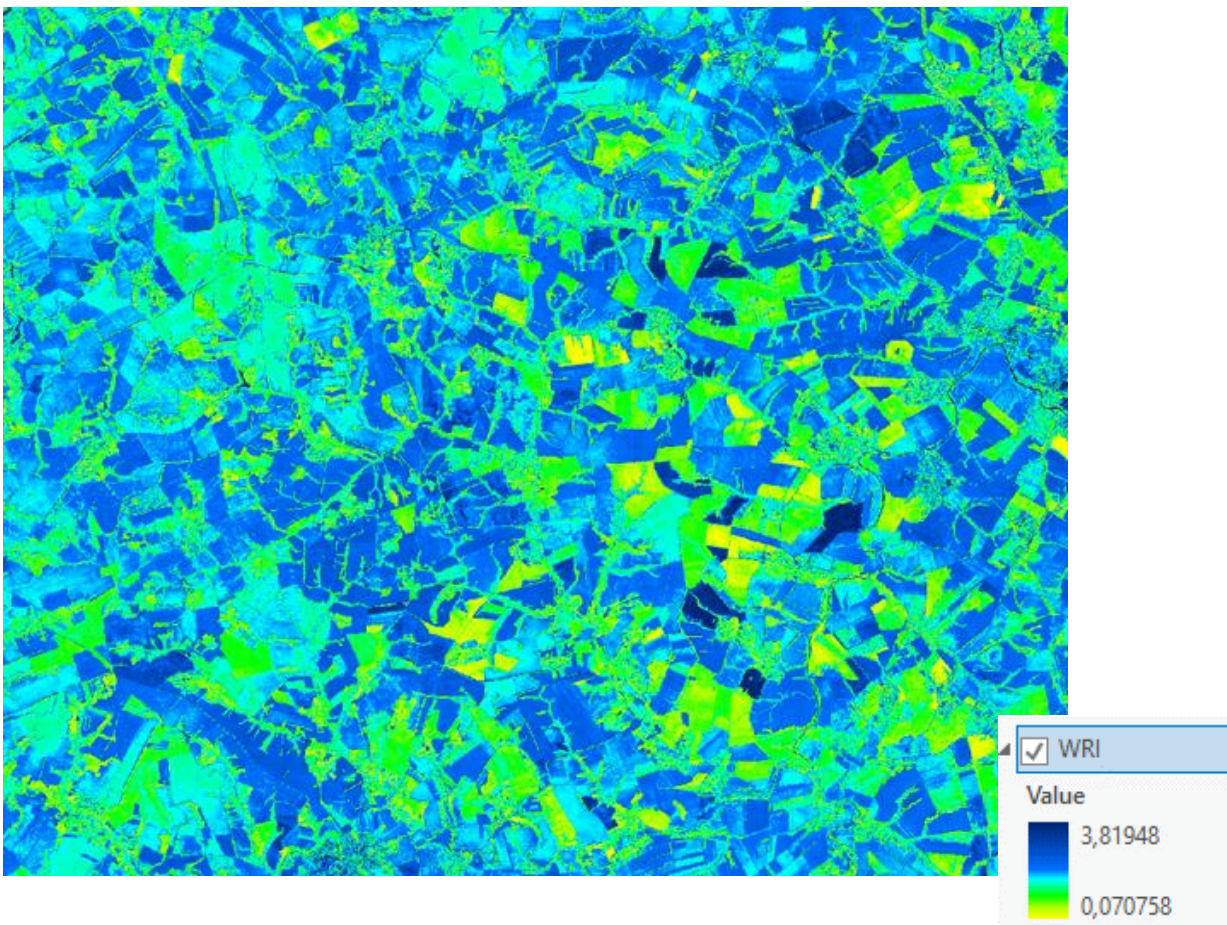


Рис. 2.3. Знімок із супутника Sentinel-2B, перерахований в WRI

У приведеному вище прикладі високі значення водного індекса показують території з вологим рослинним покривом і водні об'єкти. Видно, що в центральній частині знімка присутні яскраві об'єкти, які ймовірно є перезволоженими полями. Також чітко виділяється ріка. По представленій шкалі можна зробити висновки про те, які поля сильно зволожені, і в яких волога відсутня.

Модифікований нормалізований різницевий водний індекс (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) - це варіант індекса NDWI, котрий застосовується для виявлення водних об'єктів. Даний індекс більш ефективний у порівнянні з індексом NDWI, адже він зменшує характеристики забудованих територій, які часто корелюють з відкритою водою в інших індексах. Для розрахунку застосовуються зелений і SWIR-канали. MNDWI розраховується за формулою:

$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{SWIR2}) / (\text{Green} + \text{SWIR2}) \quad (2.6)$$

Використання цього індексу аналогічне щодо нормалізованого різницевого водного індексу NDWI. Значення індекса коливаються в діапазоні від -1 до 1. Вода має значення більше 0. Приклад застосування MNDWI показано на рис.

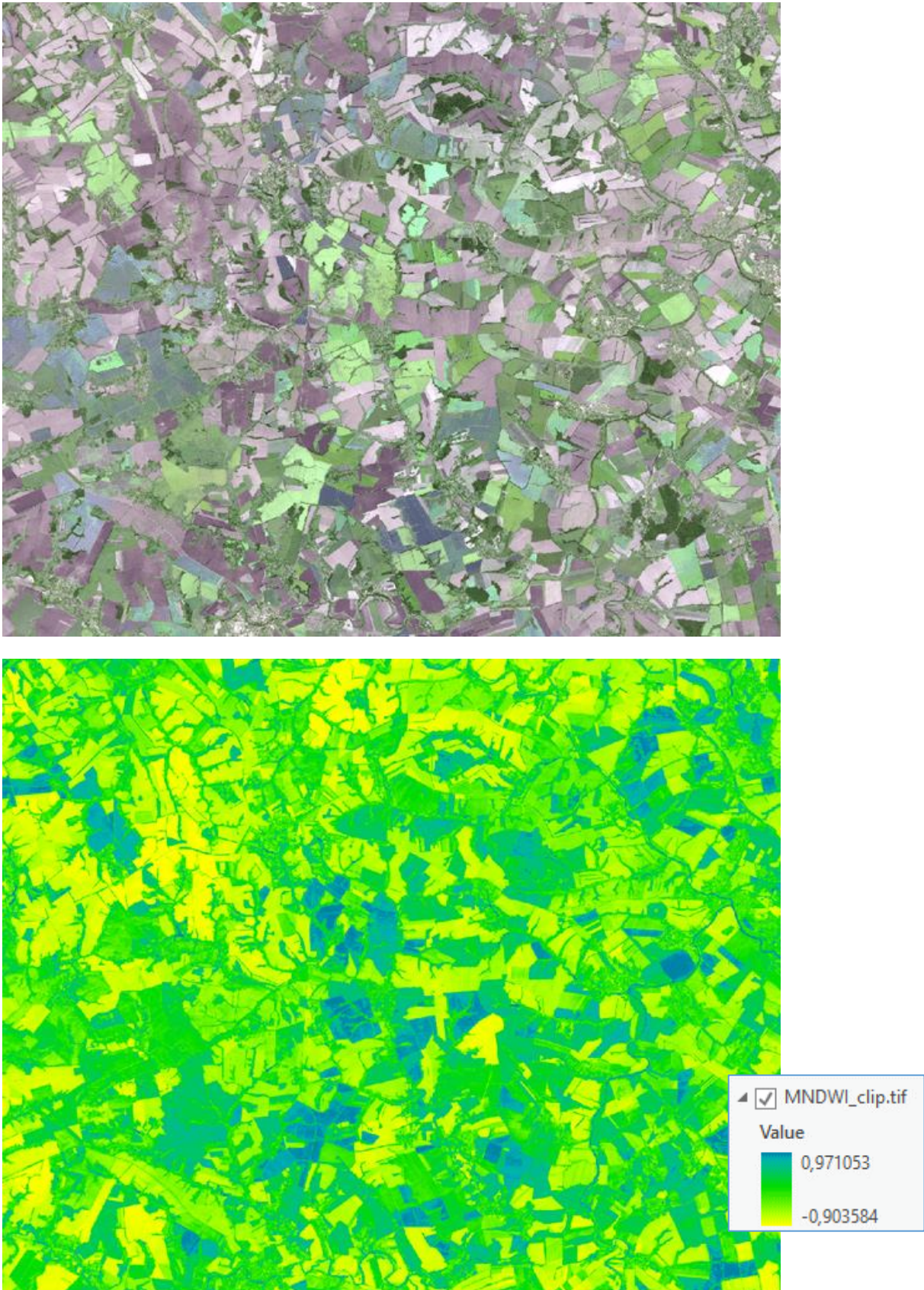


Рис. 2.4. Знімок із супутника Sentinel-2B, перерахований в MNDWI, шкала значень індекса MNDWI

Порівнюючи растрові індексні карти за індексами NDWI та MNDWI, можна зауважити, що останні є менш контрастними, тому оператору більш зручно виявляти границі деяких об'єктів, наприклад полів, водойм. MNDWI найбільш доцільно використовувати, якщо територія сильно забудована, так як застосування видимого зеленого каналу замість NIR діапазону дозволяє кращим чином розділити будівлі і водні об'єкти.

MNDWI широко застосовується в гідрологічних дослідженнях і дистанційному зондуванні для виявлення водних тіл, моніторингу зміни рівня води, виявлення зон затоплення, оцінки площ водних об'єктів та інших задач аналізу водних ресурсів. Він є також корисним інструментом для вивчення гідрологічних процесів і екосистем, пов'язаних з водою.

Стандартизований індекс виявлення снігового покриву (Normalized Difference Snow Index, NDSI) – це індекс, який використовується для виявлення присутності снігового покриву на супутникових або аеро знімках. NDSI засновано на різниці в поглинанні світла в ближньому інфрачервоному (NIR) і видимому зеленому (Green) діапазонах електромагнітного спектра. Даний індекс отримують на основі коефіцієнта відбиття поверхні Землі. Він є нормалізованою різницею між спектральними смугами зеленого (G) і короткохвильового інфрачервоного (SWIR). Сніг доволі складно розрізнити на спектральних знімках від хмар, так як за яскравістю дані об'єкти схожі. Однак, на певній довжині хвилі сніг поглинає сонячні промені і виглядає на знімках темнішим порівняно з хмарами. NDSI розраховується за формулою:

$$\text{NDSI} = (\text{Green} - \text{SWIR1}) / (\text{Green} + \text{SWIR1}) \quad (2.7)$$

Отримане індексне зображення використовується для розділення снігового покриву (і визначення його запасів) від рослинності, відкритого ґрунту і елементів літології. Значення цього індекса містяться в діапазоні від -1 до 1.

Ймовірність наявності снігу пропорційна тому, наскільки значення пікселя NDSI близьке до 1.

Приклад застосування карти NDSI:

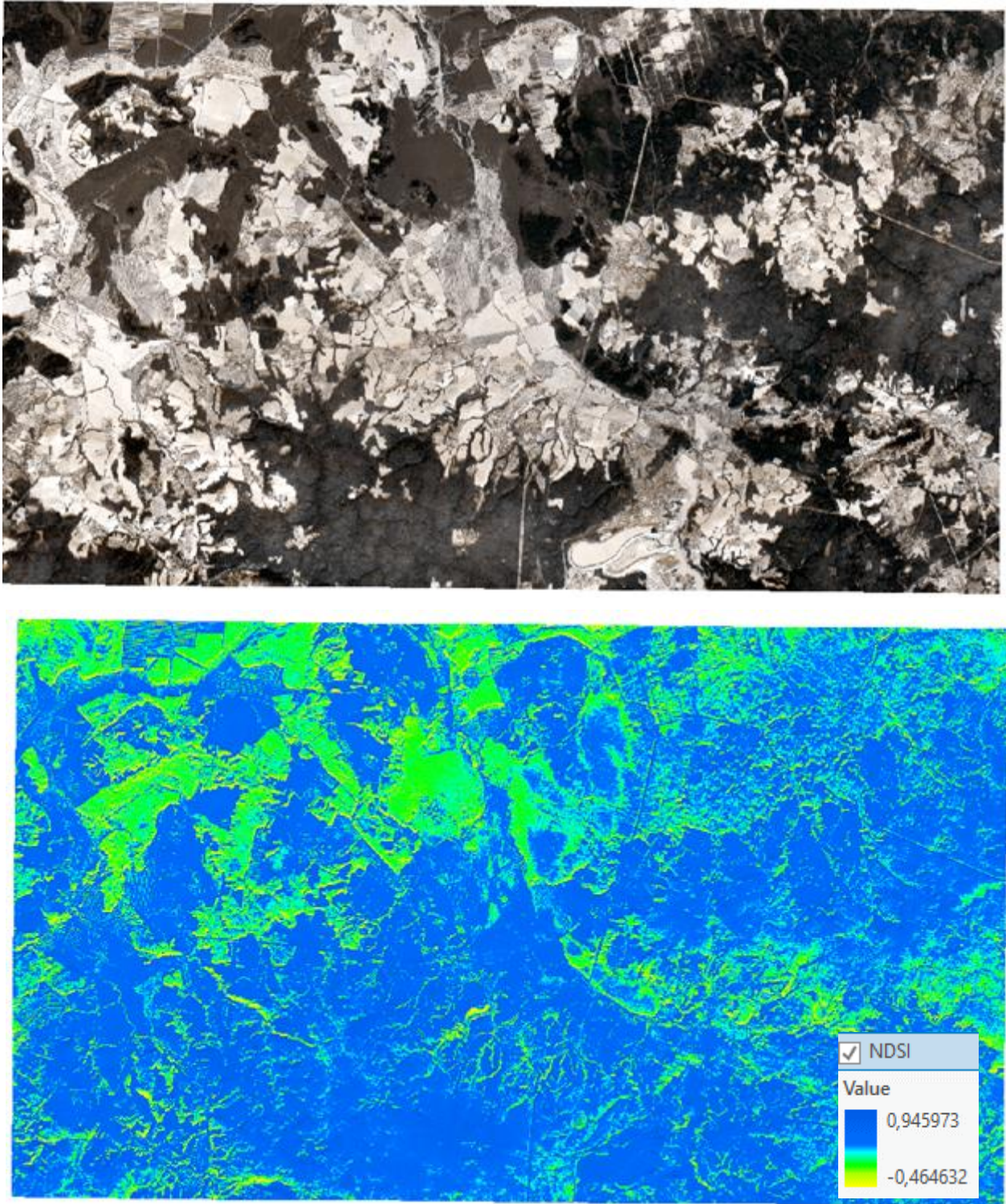


Рис. 2.5. Знімок із супутника Sentinel-2B, перерахований в NDSI

У приведеному вище прикладі не важко визначити, що територія практично повністю покрита снігом. Високе значення індекса відповідає синьому кольору на приведеному растрі. NDSI широко застосовується в гідрологічних дослідженнях, у кліматології, гляціології тощо.

Індекс мутності (NDTI) «The Normalized Difference Thermal Index».

Дані індексні карти характеризують зменшення прозорості води через наявність неорганічних і органічних забруднювачів або ж розвитку планктону. NDTI розраховують за формулою:

$$\text{NDTI} = (\text{RED} - \text{GREEN}) / (\text{RED} + \text{GREEN}) \quad (2.8)$$

Так як в розрахунку даного індекса застосовується тільки видимий діапазон спектра, можна використати дані знімання з космічних апаратів високого і надвисокого просторового розрізнення, наприклад World-View 3. Крім виявлення мутності води індекс використовують для прогнозування засухи, так як індекс несе більш глобальний показник — більш чутливий до зміни запасу вологи в рослинах. Значення цього індекса коливаються в діапазоні від -1 до 1. Мутність води приймає значення від 0.4 до 1.

Приклад використання карти індексів NDTI 1. Порівнюючи колір зображення зі шкалою значень даного індексу, можна дійти висновку у тому, що вода у річці є досить чистої, не замуненої. Низькі значення індексу відображаються на карті жовтим кольором і відповідають чистій замуненої воді, і навпаки.

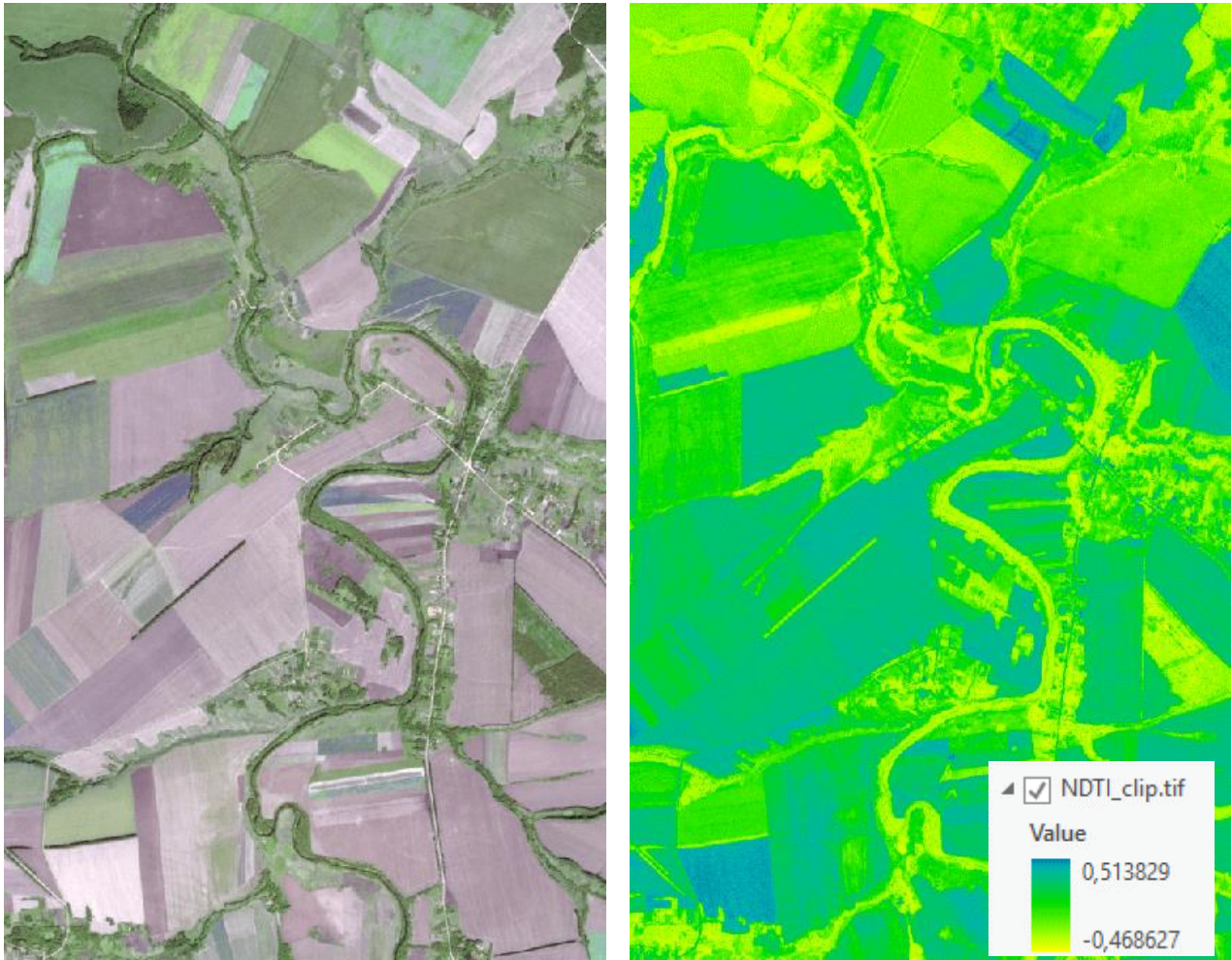


Рис. 2.6. Знімок із супутника Sentinel-2B і його перерахунок в карту NDVI

Узагальнюючи, слід вказати, що розглянуті вище водні індекси є відносно простим способом виконання дистанційного моніторингу. Кожен із індексів вмісту вологи якісно визначає водні об'єкти. Який із них вибрати – залежить від мети дослідження. Наприклад, NDWI та MNDWI відмінно показують кількість вологи в рослинах. За допомогою WRI легко дешифруються водні об'єкти тощо. Зазвичай мультиспектральні знімки мають не дуже високе просторове розрізнення, але, якщо це дозволяє технічне завдання, дослідження можна виконати на основі безкоштовних даних та будь-якої ГІС-програми, наприклад QGIS.

Очевидним недоліком водних індексів є те, що не кожна знімальна система має інфрачервоний і панхроматичні канали. Космічні апарати з камерами і

сканерами високого і надвисокого просторового розрізнення зазвичай виконують знімання тільки у видимому діапазоні, що не дає можливості вибрати індекс на розгляд користувача.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ НА ТЕРИТОРІЇ НОВОЯРИЧІВСЬКОЇ ОТГ

3.1. Завантаження багатоспектральних знімків Sentinel 2 на територію дослідження

Експериментальне дослідження розпочинається із завантаження багатоспектрального зображення Sentinel 2 для нашої досліджуваної області – території Новояричівської громади. У цьому дослідженні ми використовуємо червоний і ближній інфрачервоний (NIR) діапазони для обчислення вегетаційного індексу NDVI та канали видимого діапазону. Просторова роздільна здатність видимих і ближнього інфрачервоного каналів становить 10м.

Європейське космічне агенство (ESA) надає угоду про назви для завантажень стислих zip-файлів (складене зображення включає кілька спектральних смуг) для знімків супутників Sentinel-2:

Sentinel-2)_Дата (ДД/ММ/РРРР)_Номер діапазону_Центральна довжина хвилі діапазону (на основі таблиці нижче)_Опис діапазону_ Роздільна здатність діапазону (метри)

В склад шарів знімка входить так званий «Червоний край» – це спектральний діапазон рослинності, де спостерігається різке збільшення від дуже низького коефіцієнта відбиття червоного кольору (біля 5 %) до відносно високого коефіцієнта відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні (біля 50 %) — показники відбиття можуть відрізнятися залежно від типу рослин, а межі діапазону можуть змінюватися залежно від джерела.

Значення пікселів Sentinel-2 представляють одиниці відбиття у верхній частині атмосфери (ТОА) x 10 000 (наприклад, значення пікселя 5000 = 0,5000 одиниць відбиття ТОА [5000/10000], значення пікселя 250 = 0,0250 відбиття, піксель значення 3482 = 0,3482 відбивної здатності тощо).

Ім'я завантаженого стисненого файлу для файлу Composite Bands починається з цифри «0», файли діапазону 1-9 починаються з номера діапазону, а файли діапазону 10-12 починаються з «B», потім діапазон номер (це спосіб ESA упорядкувати файли за номером діапазону). Файли розпаковуються до оригінальної назви файлу Sentinel-2. Знімки Sentinel-2 завантажуються у вигляді плиток розміром 110 x 110 кілометрів.

Переглянути знімки попередньо визначивши їхню якість, степінь покриття хмарами тощо можна на сторінці для імен файлів зображень Sentinel-2: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/naming-convention>. Зображення мають обробку рівня 1C і є файлами .jp2, за винятком файлу Composite Band, який є файлом .tif. Файл композитних смуг (діапазон 11 [SWIR], смуга 8a [NIR], смуга 4 [червоний]). Всього склад завантаженого знімка на дату 16 листопада 2024 року такий:

S2_11/16/2024_Composite_Bands_B11_B8a_B4_RGB_20m.zip	(231,9 M)
S2_11/16/2024_B1_443nm_Coastal_Aerosol_60m.zip	(3,5 M)
S2_11/16/2024_B2_490nm_Blue_10m.zip	(97M)
S2_11/16/2024_B3_560nm_Green_10m.zip	(100,3 M)
S2_11/16/2024_B4_665nm_Red_10m.zip	(106,2 M)
S2_11/16/2024_B5_705nm_Vegetation_Red_Edge_20m.zip	(31,1 M)
S2_11/16/2024_B6_740nm_Vegetation_Red_Edge_20m.zip	(32,2 M)
S2_11/16/2024_B7_783nm_Vegetation_Red_Edge_20m.zip	(32,3 M)
S2_11/16/2024_B8_842nm_NIR_10m.zip	(126,6 M)
S2_11/16/2024_B8A_865nm_NIR_20m.zip	(32,2 M)
S2_11/16/2024_B9_945nm_NIR_Water_Vapor_60m.zip	(3,5 M)
S2_11/16/2024_B10_1375nm_SWIR_Cirrus_60m.zip	(1,4 M)
S2_11/16/2024_B11_1610nm_SWIR_20m.zip	(31,8 M)
S2_11/16/2024_B12_2190nm_SWIR_20m.zip	(31,6 M)

QGIS має спеціальний плагін STAC API Browser для завантаження знімків всіх спектральних діапазонів Sentinel 2, яким ми скористаємося. STAC означає SpatioTemporal Asset Catalogs. Це стандарт для обміну просторово-часовими даними. Порядок дій застосовано наступний:

1. Запуск програми QGIS Desktop і відкриття шейп-файлу з межами Новояричівської громади.

2. Встановлення плагіна STAC API Browser з диспетчера плагінів: у головному меню перейдемо до пункту «Плагіни | Керування та встановлення плагінів...».

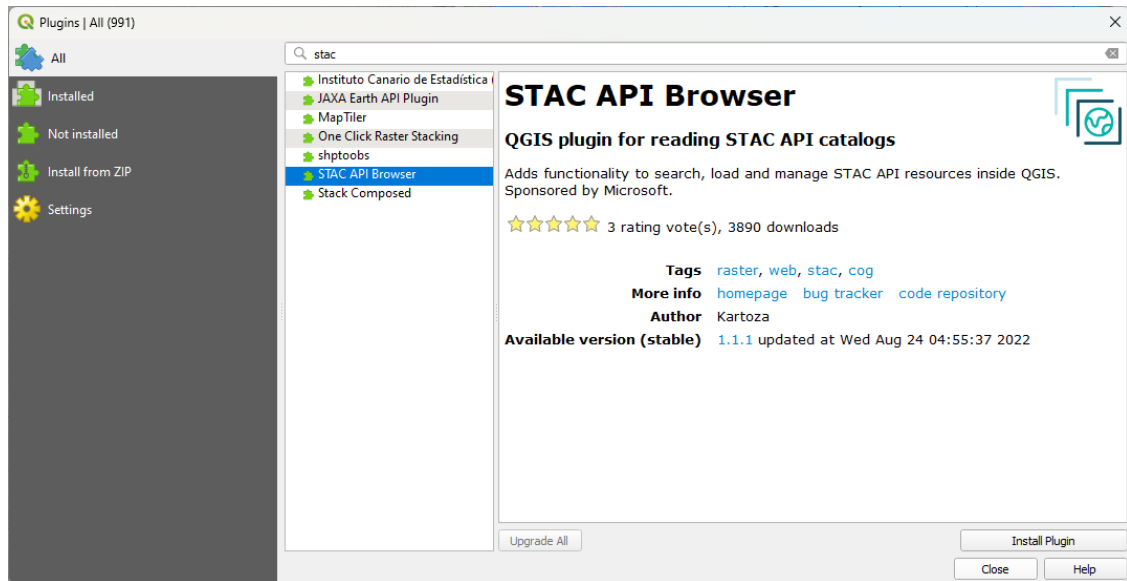



Рис.3.1. Встановлення плагіна STAC API Browser для програми QGIS Desktop

3. Після встановлення плагіна на панелі інструментів запускаємо піктограму , щоб відкрити діалогове вікно браузера STAC API . В цьому діалозі слід послідовно вибрати опції: Microsoft Planetary Computer STAC API , Fetch collections, Sentinel-2 Level-2A .

4. Встановлюємо прапорець для параметра «Фільтрувати за датою» та вибираємо діапазон дат на листопад 2024 та листопад 2023 років (рис.3.2).

5. Після натискання кнопки «Пошук» бачимо результати пошуку. Подається попередній перегляд зображення та опис із датою отримання та відсотком хмарного покриву.

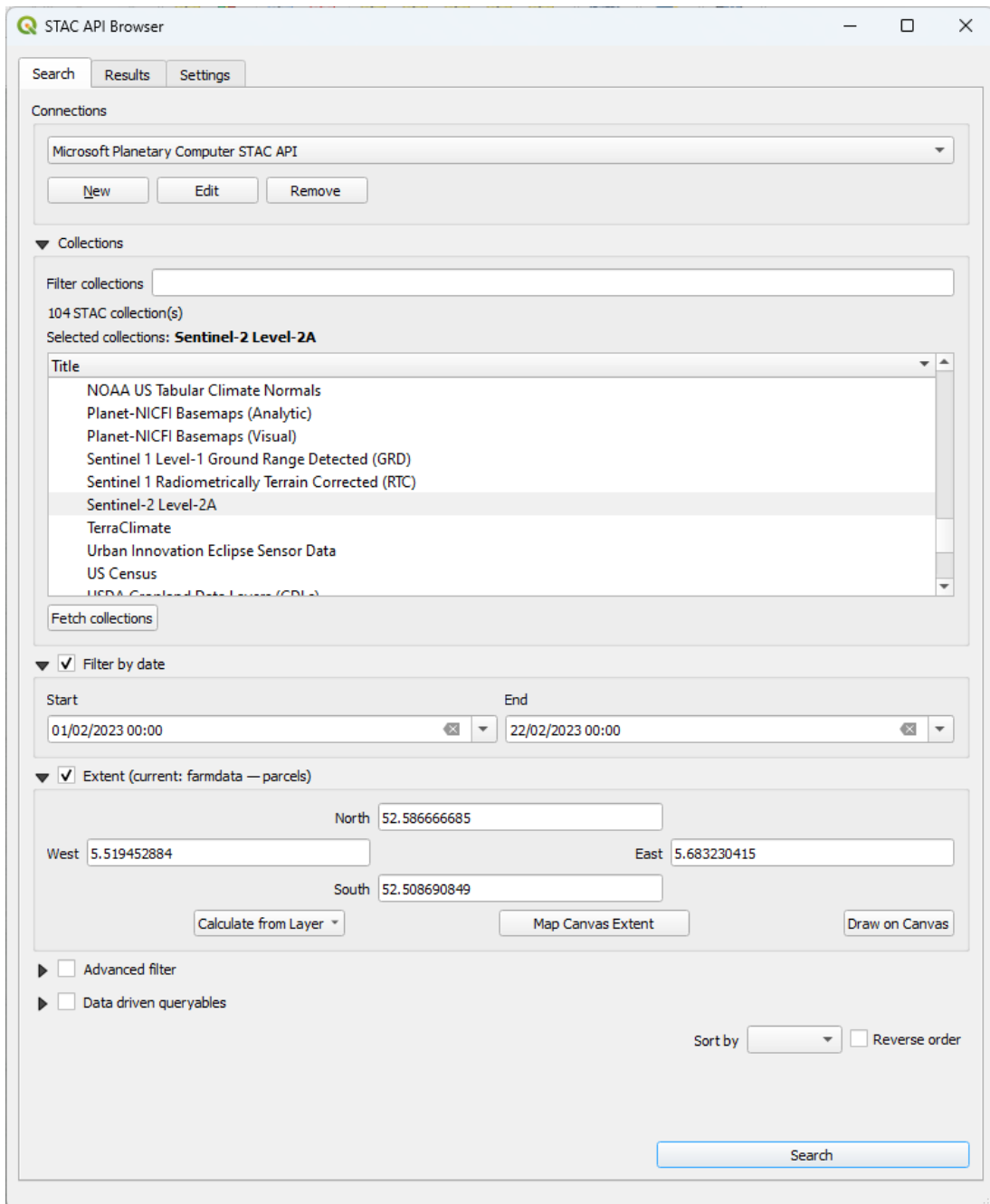


Рис.3.2. Налаштування для завантаження різночасових знімків

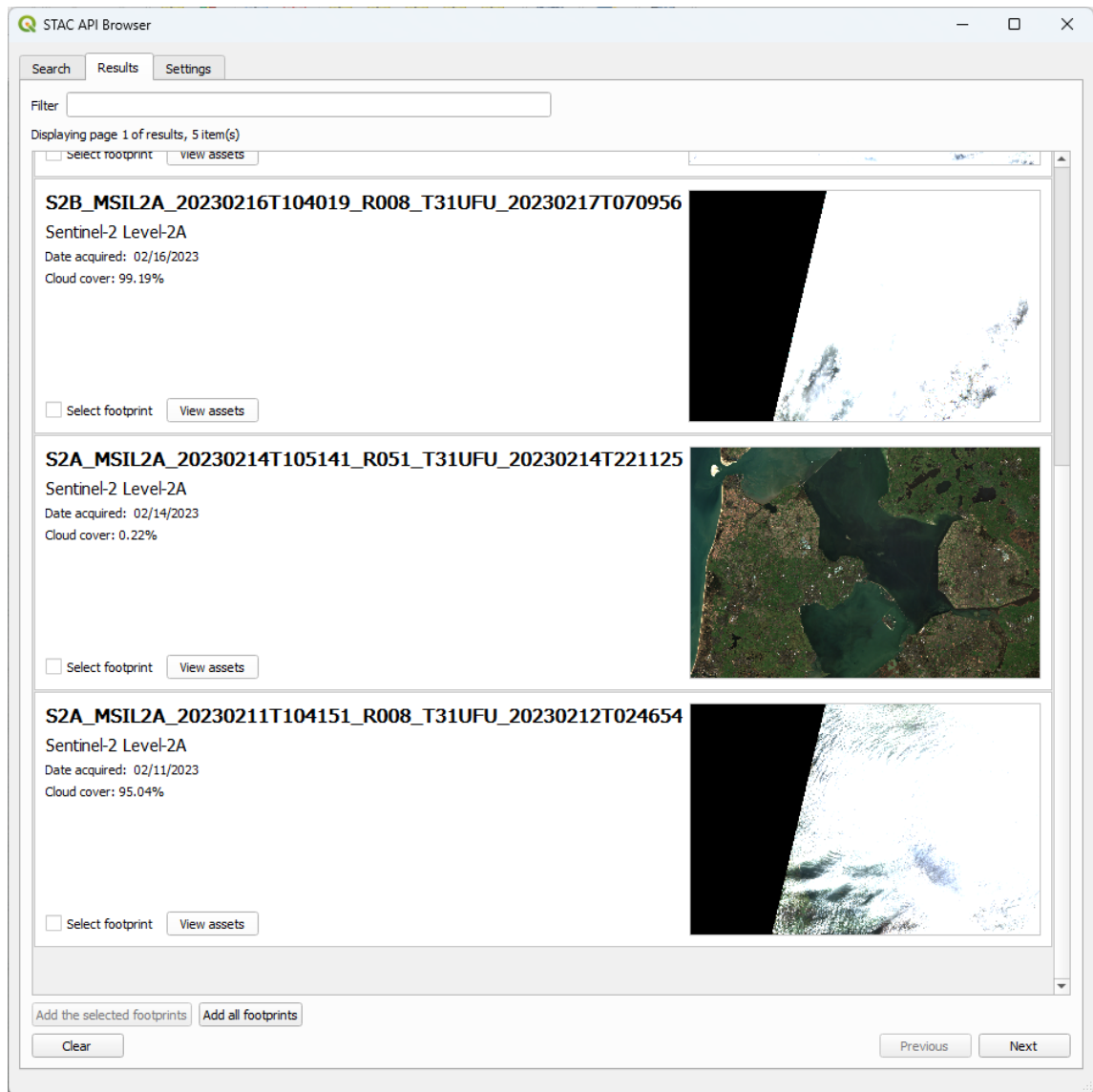


Рис.3.3. Браузер попереднього відбору різночасових знімків

6. Після підбору безхмарних зображень слід натиснути кнопку «Переглянути ресурси» для відображення каналів знімка, доступних для скачування. Для нашого дослідження NDVI нам потрібні червоний і ближній інфрачервоний діапазони, які є каналами 3 і 8 відповідно і тому ставимо прапорці для Band 3 і Band 8, щоб здійснити вибір і додавання каналів як шари в карту QGIS. Далі натискаємо «Додати вибрані ресурси як шари».

Таким чином обрані канали буде додано до полотна карти. Зауважимо, що це тимчасові, віртуальні шари.

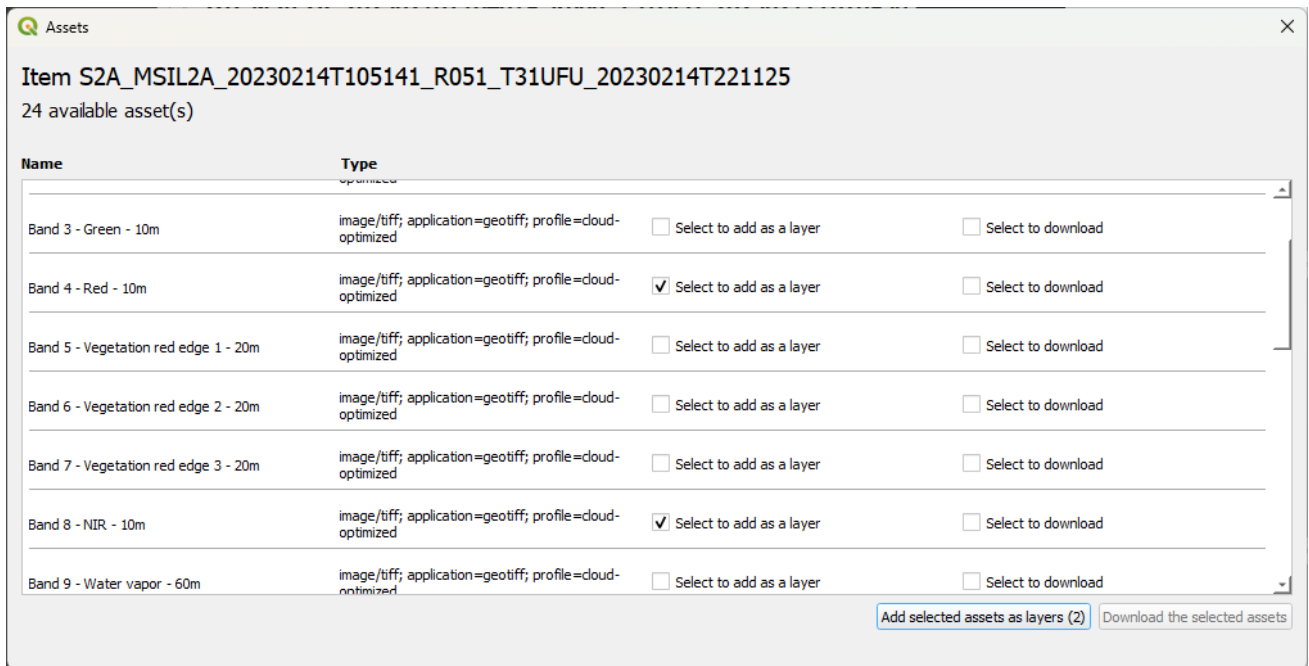


Рис.3.4. Діалог вибору каналів космічного знімка для завантаження в QGIS

Вони придатні для аналітичного опрацювання інструментами QGIS, але для їх збереження як файли на фізичний диск в попередньому діалозі слід вибрати «Вибрати для завантаження» або їх можна експортувати у файли формату GeoTIFF на своєму диску.

Таким чином дані готові для обчислення вегетаційних індексів та іншого аналітичного опрацювання в ГІС.

3.2. Розрахунок індексної карти NDVI

За допомогою смуг Sentinel 2, завантажених у попередньому розділі, ми тепер можемо обчислити нормалізований індекс різниці рослинності (NDVI). Згідно з рівнянням для NDVI вхідні дані такі:

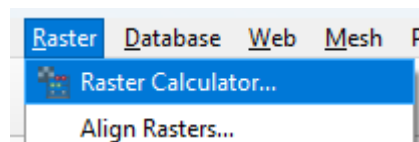
NIR – це ближній інфрачервоний діапазон, RED – червоний діапазон.

Результатом розрахунку є растрова карта із дійсними значеннями пікселів від -1 до 1. Зростання значень пікселів від 0 до 1 вказують на збільшення маси зеленої рослинності, щільності покриву, здоров'я посівів.

NDVI є корисним для аналізу лише після того, як ґрунт достатньо вкритий рослинністю та до того, як полог стане надто щільним – після цього NDVI загалом є надто нечутливим до змін (через відсутність мінливості червоної смуги) та ненормалізованого індексу (наприклад, Індекс відмінності рослинності або просте співвідношення) слід використовувати (NDVI все ще може розрізняти значно нижчі умови в густому пологу, але не може ефективно розрізняти помірні та достатньо незначні відмінності). Відомо, що в зимовий час, інколи й наприкінці року NDVI не слід використовувати для аналізу. Порівняння показує, що лише використання коефіцієнта відбиття NIR є кращим не лише тому, що воно має приблизно в 5 разів більшу варіабельність, але й створює набагато більш узгоджену та реалістичну карту стану врожаю (а також прогнозування врожайності) [9].

Для обчислення NDVI ми будемо використовувати растровий калькулятор геоінформаційної системи QGIS . Порядок дій наступний.

Запуск інструмента Raster Calculator : у головному меню вибираємо Raster | Растровий калькулятор... .



У растровому калькуляторі запишемо вираз із знімка екрана нижче та збережемо результати в файл формату GeoTIFF із датою в імені файлу. Та виконуємо обчислення (рис.3.5).

Коли обчислення буде виконано, зображення з'явиться на полотні карти.

Виконаємо візуалізацію отриманої растрової карти. Перейдемо до панелі Layer Styling і скористаємось псевдоколірним рендерером Singleband, щоб призначити діапазон кольорів для значень пікселів NDVI.

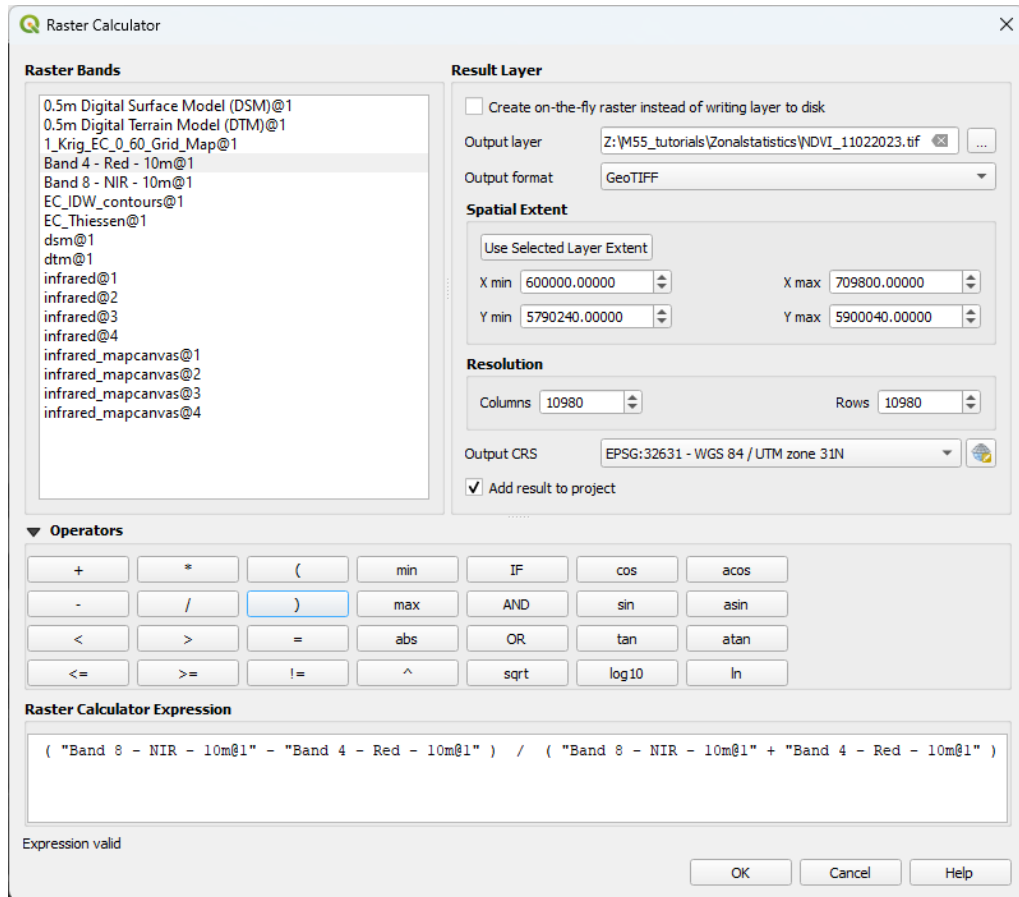


Рис.3.5. Обчислення NDVI з допомогою калькулятора растрів програми QGIS

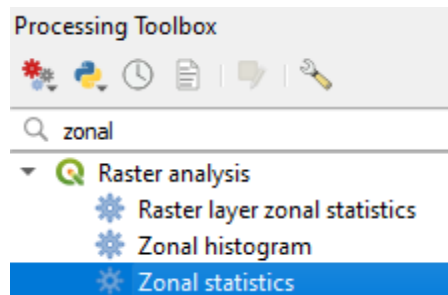



Рис.3.6. Діалог візуалізації карти NDVI

Далі розрахуємо зональну статистику для обраної ділянки. До статистичних параметрів віднесемо середнє значення, стандартне відхилення, мінімальне та максимальне значення NDVI. Дослідження завершується додаванням площі поверхні та периметра багатокутників ділянок до таблиці атрибутів ділянок.

Панель інструментів обробки в QGIS надає багато інструментів для обробки даних ГІС. Окрім інструментів QGIS, він також має дуже корисні інструменти від GDAL, GRASS і SAGA.

Спочатку слід активувати Панель інструментів обробки, вибравши з головного меню «Обробка | Панель інструментів». Тепер з'явиться панель інструментів обробки, у якій обираємо інструмент «Растровий аналіз | Зональна статистика»:



У діалоговому вікні вибираємо шар меж громади як вхідний шар і NDVI_11022023 як растровий шар який буде піддано аналізу, а його результати будуть записані в таблиці атрибутів. Вибираємо кнопкою  щоб вибрати статистичні дані, які потрібно обчислити: «Середнє значення», «Стандартне значення», «Мінімум і Максимум».

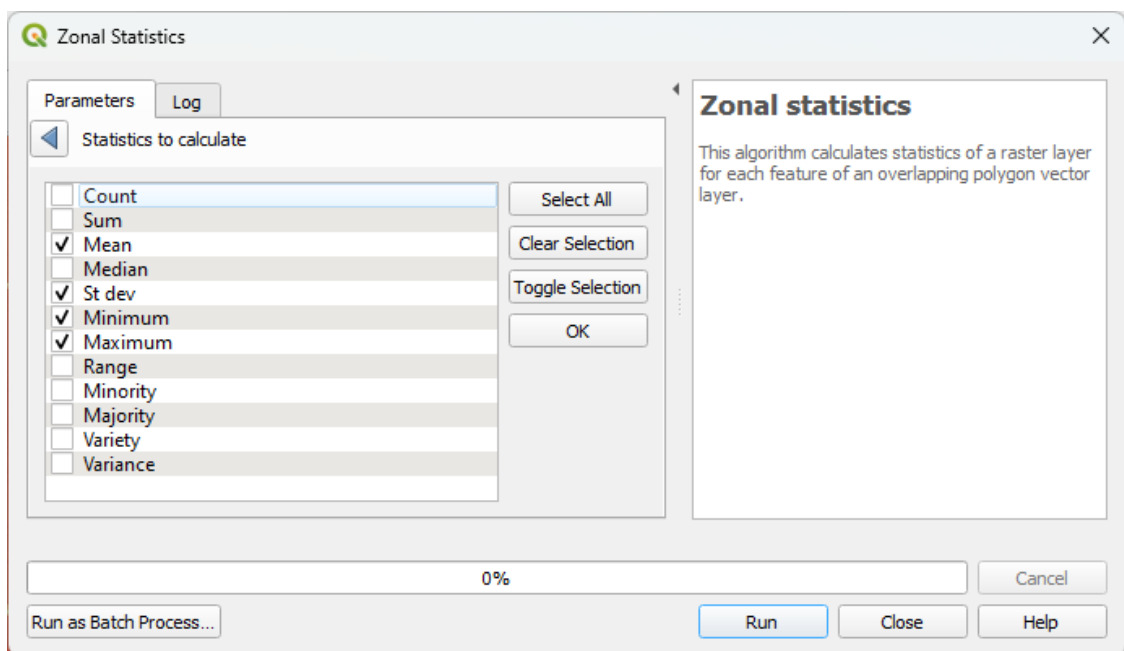


Рис.3.7а. Діалог задання параметрів обчислення зональної статистики для карти NDVI

У полі «Зональна статистика» скористаємось спадним меню, щоб вибрати «Зберегти в GeoPackage» цього проекту та вказуємо у спливаючому вікні, що слід використовувати `ndvistats` як назву шару.

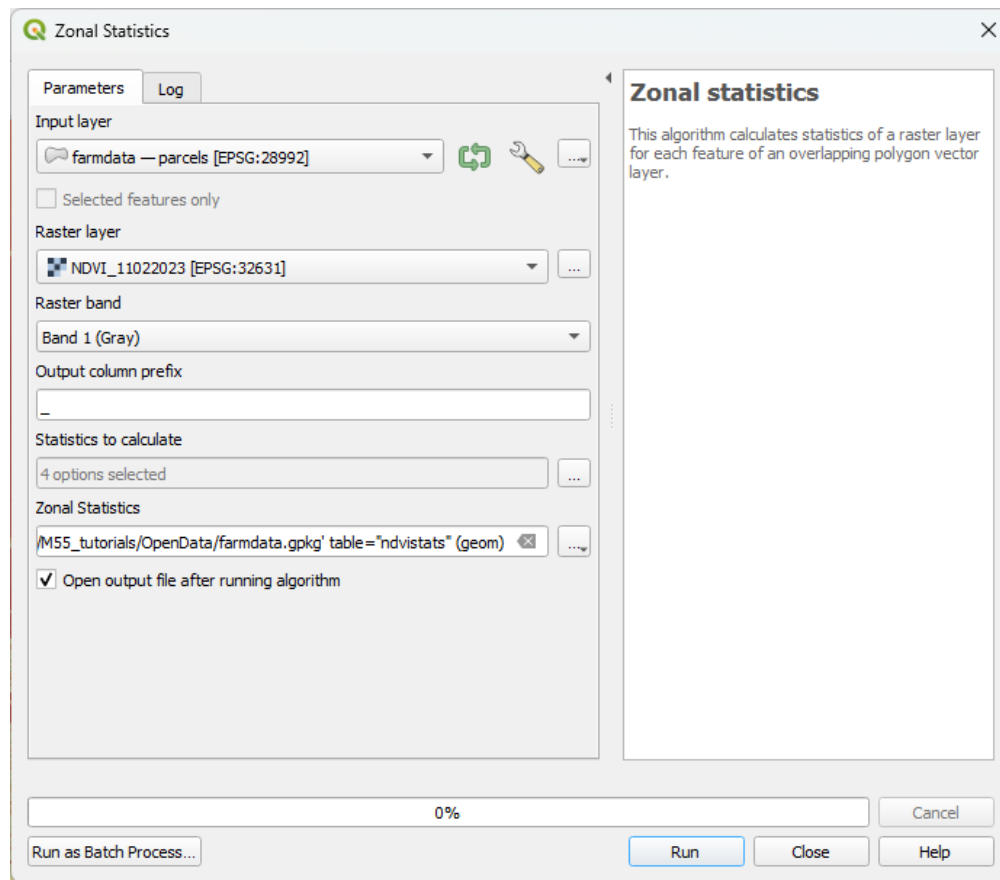


Рис.3.7б. Діалог задання параметрів обчислення зональної статистики

Коди картографічних проєкцій EPSG шару меж ОТГ і шару карти NDVI показано у квадратних дужках. У цьому випадку QGIS виконує повторне проєктування у фоновому режимі, проте для коректного розрахунку статистичних параметрів слід спроєктувати шари в однакові проєкції.

Після виконання розрахунків закриваємо діалогове вікно. Перевіряємо розраховану статистику в атрибутивній таблиці.

Qgis — Features Total: 1258, Filtered: 1258, Selected: 0

fid	category	gewas	gewascode	jaar	status	fuuid	_mean	_stdev	_min	_max
1	Grasland	Grasland, blijve...	265	2022	Concept	brp_gewas.7250...	0.583939936637...	0.032081175092...	0.434634327888...	0.616502046585...
2	Boumland	Aardappelen, c...	2014	2022	Concept	brp_gewas.4ca8...	0.082107465887...	0.014324535609...	0.053197205066...	0.185446530580...
3	Boumland	Tarwe, winter-	233	2022	Concept	brp_gewas.3ca5...	0.122071927416...	0.038116790194...	0.080346688628...	0.327243834733...
4	Boumland	Tarwe, winter-	233	2022	Concept	brp_gewas.9332...	0.084122371151...	0.058233050606...	0.038843210786...	0.332223147153...
5	Boumland	Tarwe, winter-	233	2022	Concept	brp_gewas.9be...	0.097110437811...	0.038651870728...	0.048685912042...	0.321340382099...
6	Boumland	Tarwe, zomer-	234	2022	Concept	brp_gewas.b57...	0.132181813567...	0.067921907588...	0.076228417456...	0.404833823442...
7	Boumland	Tulp, bloemboll...	1004	2022	Concept	brp_gewas.e79...	0.155924630921...	0.011138835808...	0.134801074862...	0.193427234888...
8	Boumland	Tarwe, winter-	233	2022	Concept	brp_gewas.5f32...	0.069026151984...	0.038005951665...	0.034322582185...	0.407704651355...
9	Grasland	Grasland, tijdelijk	266	2022	Concept	brp_gewas.87a8...	0.261888834834...	0.089104257269...	0.094330742955...	0.433815747499...
10	Boumland	Aardappelen, c...	2014	2022	Concept	brp_gewas.66c...	0.475430238525...	0.045625874954...	0.295238107442...	0.532934129238...
11	Boumland	Aardappelen, p...	2015	2022	Concept	brp_gewas.e2b...	0.432402219334...	0.040232276915...	0.195575222373...	0.506779015064...
12	Boumland	Winterpeen, pr...	2785	2022	Concept	brp_gewas.f729...	0.141041965834...	0.020638913518...	0.089201875030...	0.252474218606...
13	Boumland	Roodzwenkgras	3808	2022	Concept	brp_gewas.9248...	0.117616731971...	0.042819902413...	0.053868193179...	0.326407641172...
14	Boumland	Engels raigras	3506	2022	Concept	brp_gewas.6824...	0.123626410106...	0.080840937171...	0.064391002058...	0.508074104785...
15	Boumland	Tarwe, winter-	233	2022	Concept	brp_gewas.f310...	0.083344736685...	0.019905091919...	0.049788136035...	0.215536937117...
16	Boumland	Uien, gele, zaai	6660	2022	Concept	brp_gewas.09fb...	0.093600592410...	0.040851284487...	0.048012390732...	0.295464187860...
17	Boumland	Pastinaak, prod...	1023	2022	Concept	brp_gewas.319...	0.498179059942...	0.055478340284...	0.256795436143...	0.587237119674...

Show All Features

Стилізуємо растровий шар ndvistats за допомогою Graduated renderer із застосуванням зеленої рампи, щоб візуалізувати середні значення ndvi в ділянках.

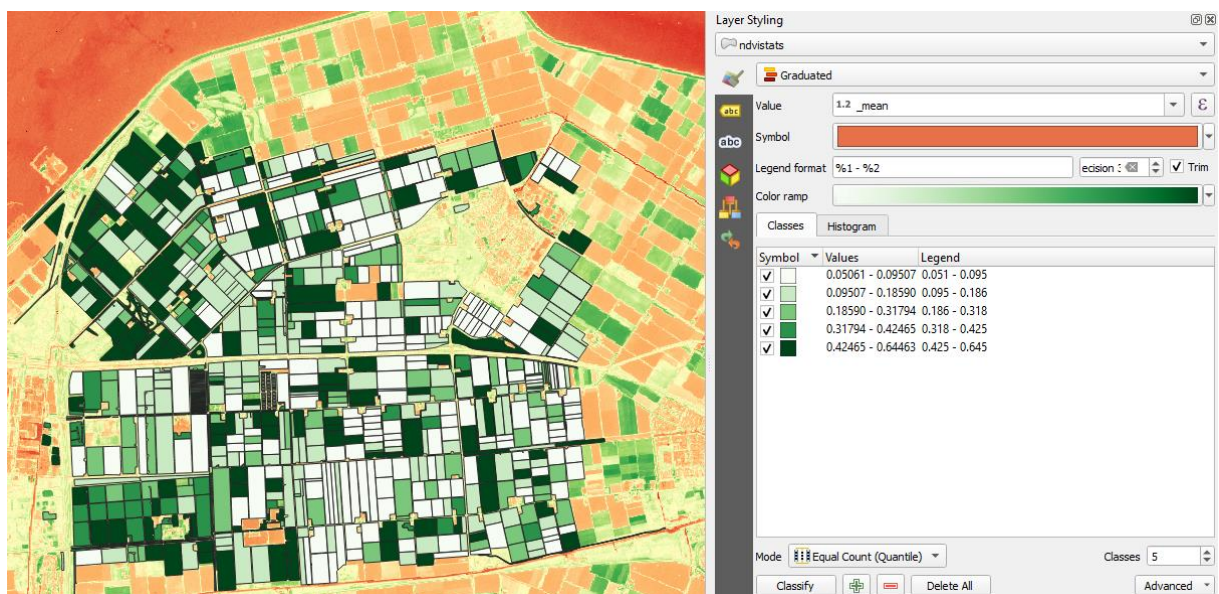


Рис.3.8. Візуалізація значень карти за ділянками (с.Старий Яричів)

3.3. Дослідження зміни індексної карти NDVI за 2023-2024 роки

Для візуального контролю змін, що відбулись на території Новояричівської ОТГ протягом 2023-2024 років скористаємось веб-сервісом EO Browser. Цей сервіс надає доступ як до архіву «сирих» тобто тематично не опрацьованих знімків LANDSAT, SENTINEL, MODIS та інших космічних апаратів так і до інформаційних продуктів що створені на основі аналітичного опрацювання – класифікація земного покриву, цифрові моделі рельєфу, карти вегетаційних індексів тощо. Для виконання нашого завдання обрано продукти на основі знімків SENTINEL-2 рівня оброблення L2A, тобто вони пройшли геометричну, спектральну і атмосферну корекцію самим постачальником даних EOS.

Спочатку віднайдемо карти вегетаційного індексу NDVI за листопад 2023 та листопад 2024 років та відобразимо гістограми розподілу значень індексу (рис. 3.9-3.10). Сервіс надає можливість оцінити графік розподілу значень індексу і також виконати візуальну оцінку змін з допомогою інструмента «шторка». Форма графіка дозволяє стверджувати, що період вегетації в 2024 році був дещо більш протяжним, про що свідчить більша амплітуда та більш пологий правий «хвіст» діаграми 2024 року.

Оцінимо зміни місцевості шляхом побудови карти різниці індексу NDVI з допомогою сервісу livingatlas.arcgis.com. Ми відібрали безхмарні знімки Landsat 8 на 2 дати жовтня: 27.10.2021 та 19.10.2024¹. На такій карті чітко видні, зокрема ділянки вирубок та інші зміни (рис.3.11).

Інший продукт – це карти класифікації земного покриву, які створюють за спеціально створеною процедурою, запатентованою EOS (рис.3.12).

1

<https://livingatlas.arcgis.com/landsatexplorer/#mapCenter=24.30585%2C49.89775%2C12.756&mode=analysis&mainScene=2021-10-27%7CNDVI+Colorized%7C6070394&tool=change&secondaryScene=2024-10-19%7CNatural+Color+with+DRA%7C9611829&change=vegetation%7Ctrue%7C-2%2C2>

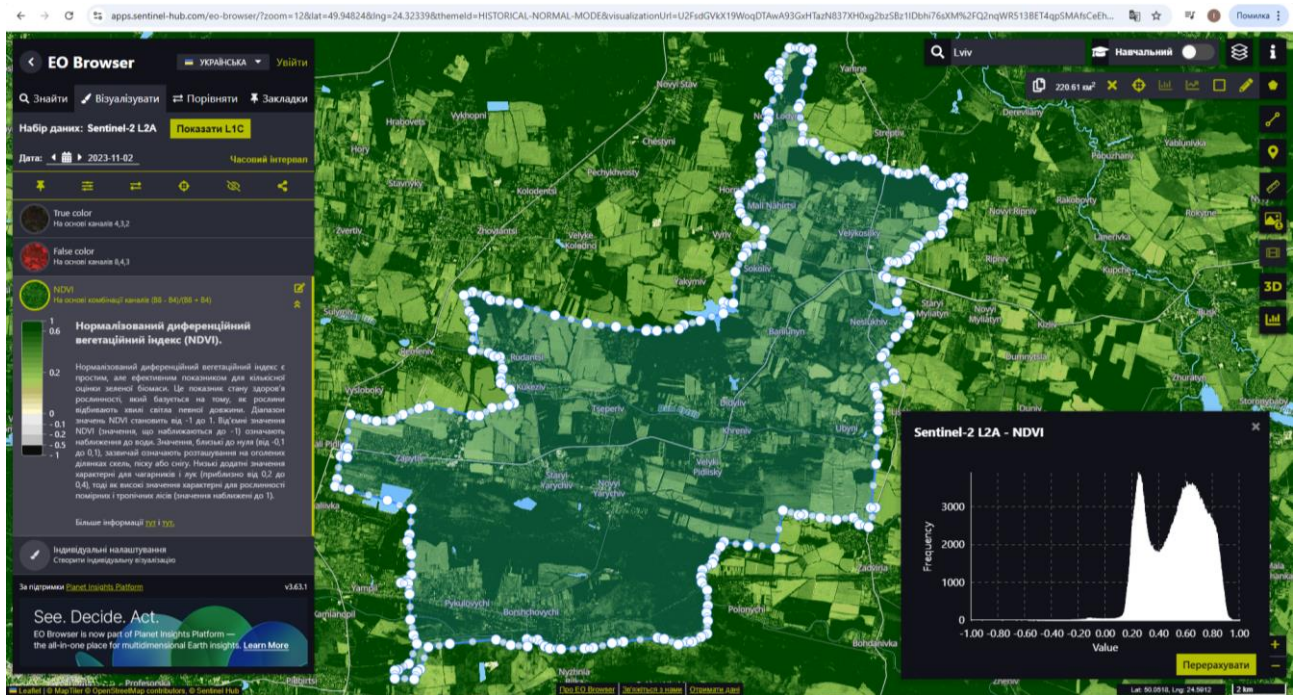


Рис.3.9. Візуалізація значень індексної карти NDVI на територію Новояричівської ОТГ на 2 листопада 2023 року

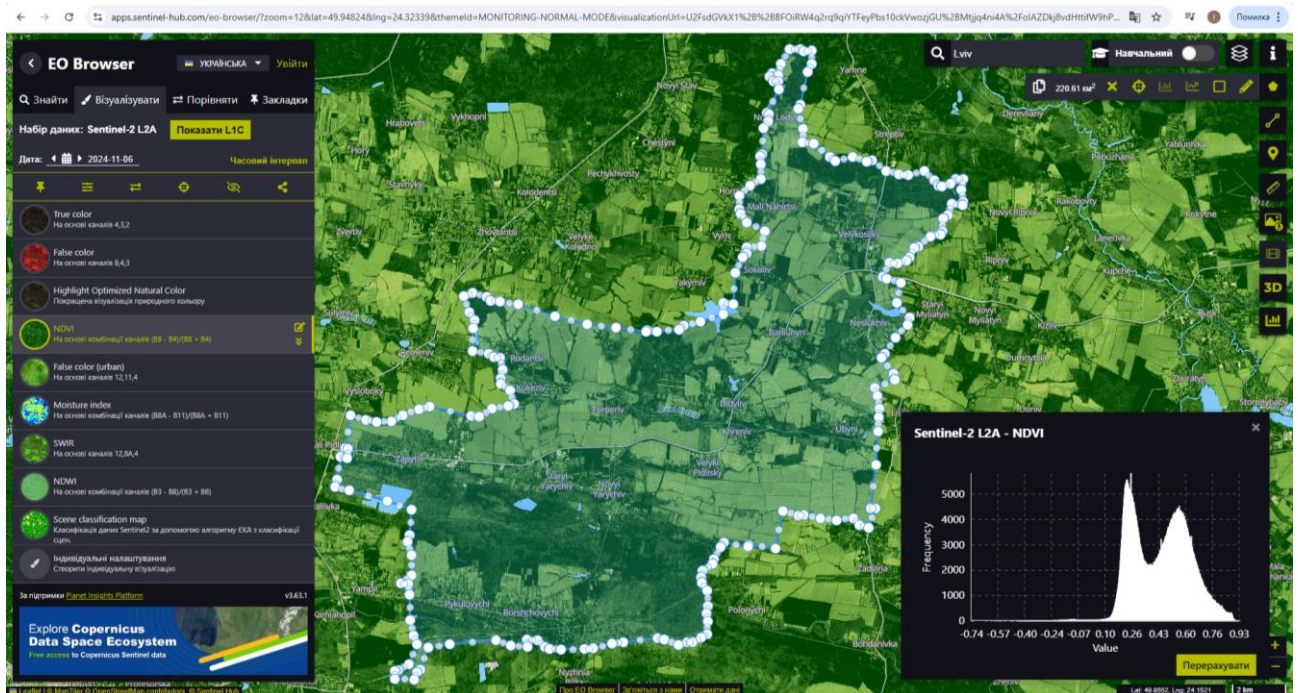


Рис.3.10. Візуалізація значень індексної карти NDVI на територію Новояричівської ОТГ на 6 листопада 2024 року

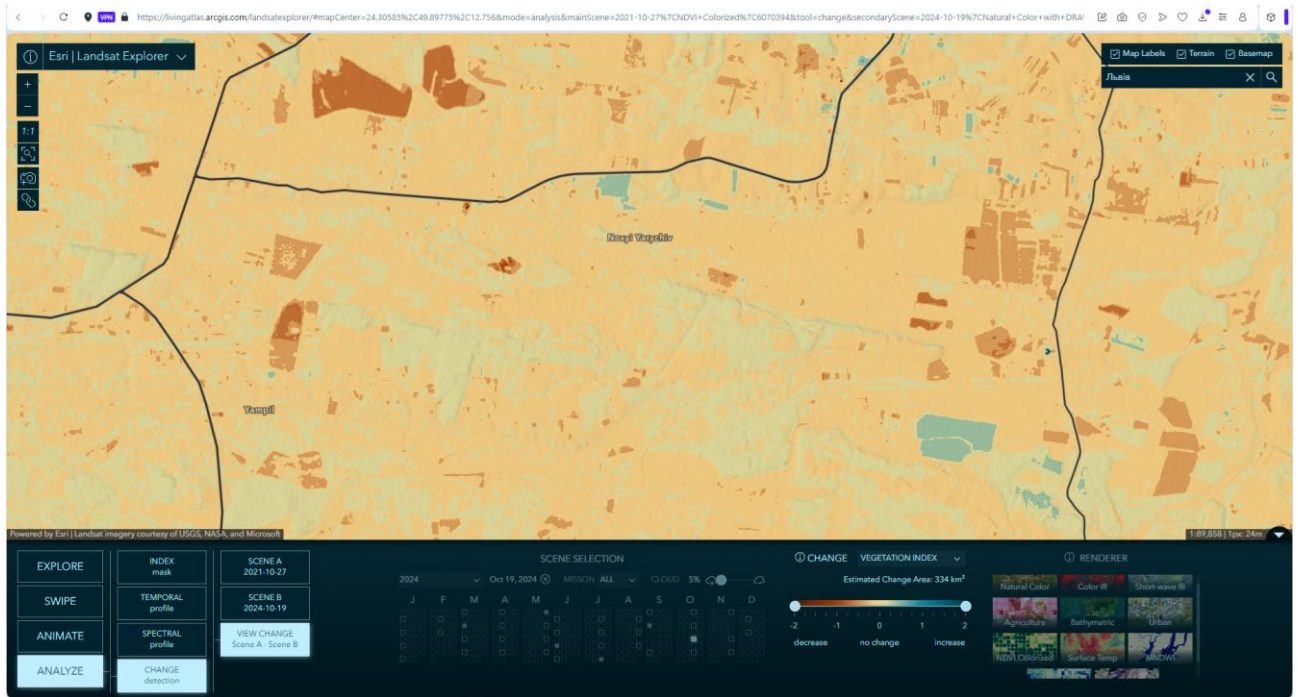


Рис.3.11.Карта зміни індекса NDVI на територію Новояричівської ОТГ (2021-2024)



Рис.3.12.Створення карт класифікації земного покриття на територію Новояричівської ОТГ

Процедуру класифікації автоматизують за скриптом «Scene classification», який описує послідовність дій з перетворення знімків. Класифікація сцени була

розроблена для даних Sentinel-2 та є результатом роботи алгоритму класифікації сцени EOS, описаному на сайті <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/scene-classification/>. Алгоритм використовує індексні карти NDWI, NDVI, BarrenSoil і канал B11 для розрізнення води, забудованих територій, відкритого ґрунту і вкритих рослинністю територій (рис.3.12).

Представлено 12 різних класів:

- No Data (Missing data) / Нема даних (Відсутні дані);
- Saturated or defective pixel / (Засвічені або пошкоджені піксели);
- Topographic casted shadows / (Затінення);
- Cloud shadows / (закриті хмарністю піксели);
- Vegetation / (рослинність);
- Not-vegetated / (рослинність відсутня);
- Water / (вода);
- Unclassified / (не класифіковані піксели);
- Cloud medium probability;
- Cloud high probability;
- Thin cirrus;
- Snow or ice / (сніг та лід).

На отриманих картах можна виявити зміни в типах покриття земної поверхні. Прикладом такої зміни які ми виявили на території громади є вирубка лісів, зміна в забудові тощо. Зразок антропогенних змін – будівництво сонячної електростанції в с.Старий Яричів. відбувається фрагментування лісів (загальна їх площа 4125,2га або 18,7% від загальної площі громади);

збільшення площ водойм на 0,2%, (загальна площа 147,2га або 0,9% від загальної площі громади);

зменшення площ лук і пасовищ за рахунок забудови і заростання чагарниками (загальна площа 2032,6га або 9,2% від загальної площі громади);

зберігається високий рівень розораності земель (загальна площа 13782,0га або 62,0% від загальної площі громади);

зростання площ забудови і помірне збільшення темпів урбанізації в цілому (загальна площа 1960,4га або 8,9% від загальної площі громади).

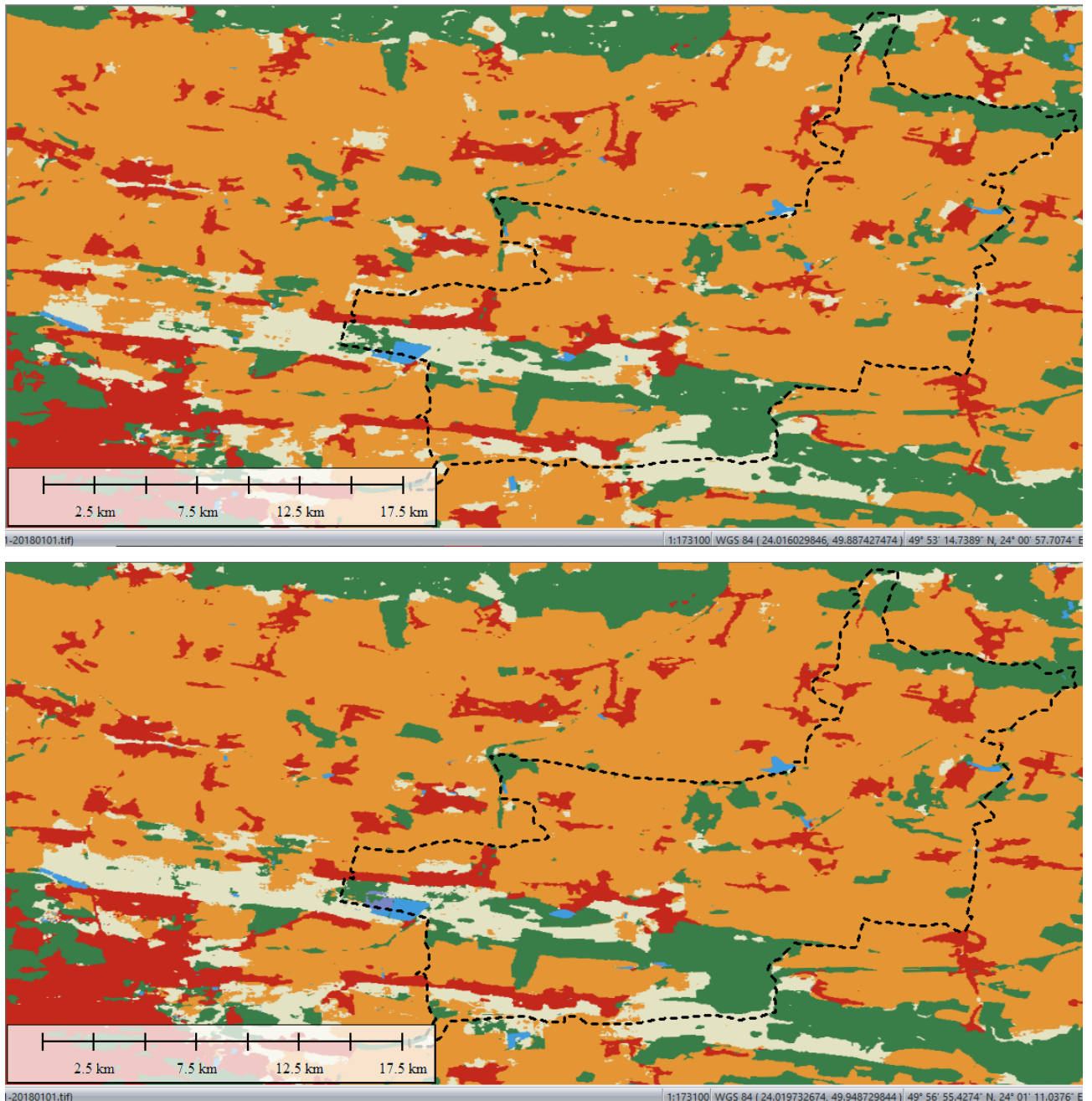
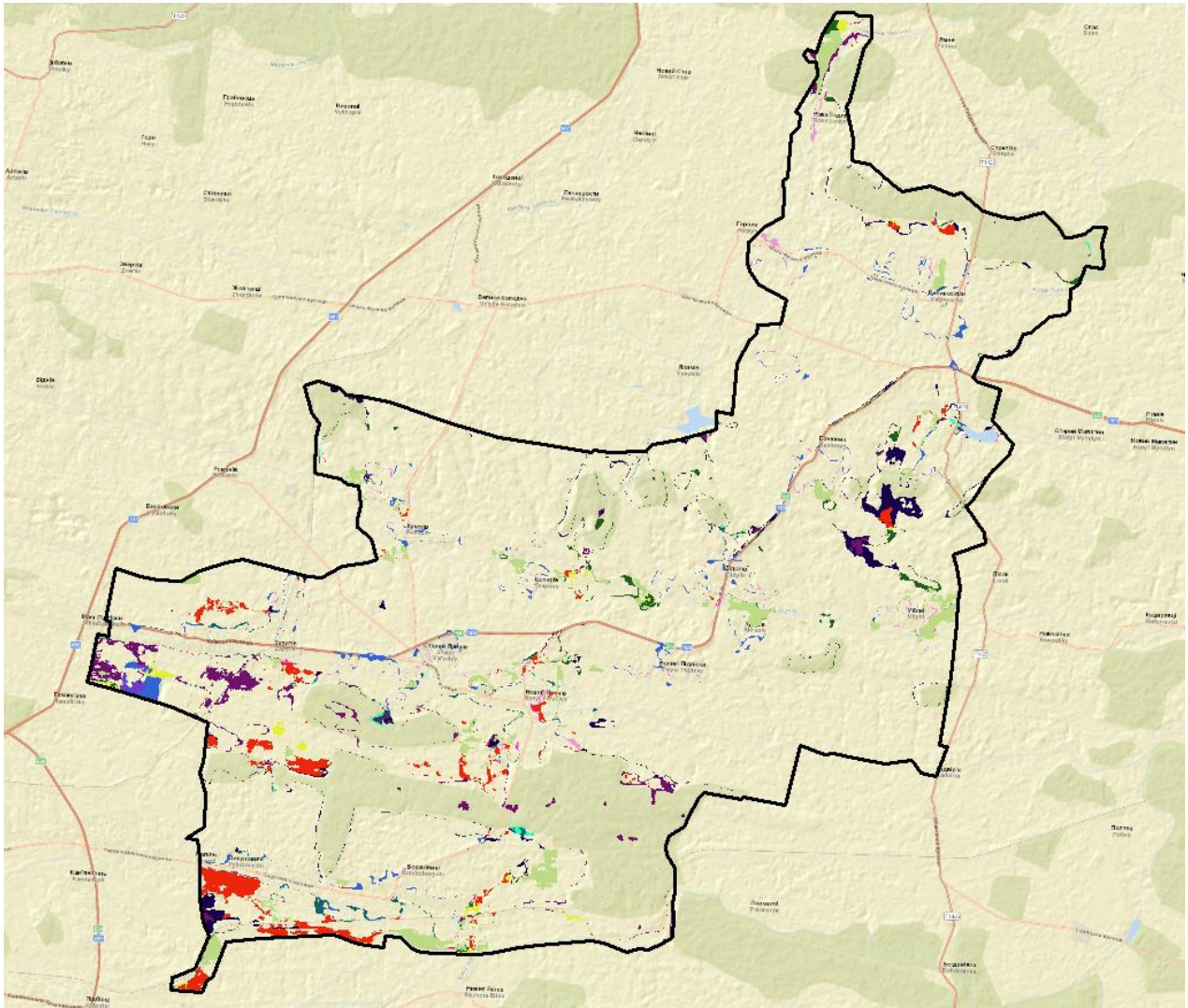


Рис.3.13. Порівняння карт класифікації земного покриття на територію Новояричівської ОТГ

Різниця представлених на рис.3.13 растрових карт показує місця де відбулись зміни, а статистична оцінка виявлених змін з вказанням площ ділянок показано на рис.3.14.



CrossClassCode	NewClass	ReferenceClass	PixelSum	Area [metre ²]
1	1.0	1.0	11519.0	1151900.0
2	1.0	2.0	1064.0	106400.0
5	1.0	4.0	183.0	18300.0
7	1.0	5.0	1217.0	121700.0
13	1.0	7.0	48.0	4800.0
16	1.0	8.0	1.0	100.0
25	1.0	11.0	685.0	68500.0
3	2.0	1.0	142.0	14200.0
4	2.0	2.0	370119.0	37011900.0
6	2.0	4.0	1.0	100.0
11	2.0	5.0	20810.0	2081000.0
17	2.0	7.0	817.0	81700.0
30	2.0	11.0	20230.0	2023000.0
9	4.0	2.0	2998.0	299800.0
14	4.0	4.0	21.0	2100.0
18	4.0	5.0	223.0	22300.0
23	4.0	7.0	9.0	900.0
34	4.0	11.0	1196.0	119600.0
10	5.0	1.0	194.0	19400.0
12	5.0	2.0	10573.0	1057300.0
22	5.0	5.0	1319144.0	131914400.0
27	5.0	7.0	7059.0	705900.0
37	5.0	11.0	41234.0	4123400.0
15	7.0	1.0	56.0	5600.0
20	7.0	2.0	714.0	71400.0
28	7.0	5.0	12529.0	1252900.0
33	7.0	7.0	179282.0	17928200.0
39	7.0	11.0	3456.0	345600.0
29	11.0	1.0	49.0	4900.0
32	11.0	2.0	5452.0	545200.0
36	11.0	4.0	1.0	100.0
38	11.0	5.0	29123.0	2912300.0
40	11.0	7.0	618.0	61800.0
42	11.0	11.0	168016.0	16801600.0

> LAND COVER CHANGE MATRIX [metre ²]							
V_ReferenceClass	> NewClass						
	1.0	2.0	4.0	5.0	7.0	11.0	Total
1.0	1151900	14200	0	19400	5600	4900	1196000
2.0	106400	37011900	299800	1057300	71400	545200	39092000
4.0	18300	100	100	0	100	100	20600
5.0	121700	2081000	22300	131914400	1252900	2912300	138304600
7.0	4800	81700	900	705900	17928200	61800	18783300
8.0	100	0	0	0	0	0	100
11.0	68500	2023000	119600	4123400	345600	16801600	23481700
Total	1471700	41211900	444700	137820400	19603700	20325900	220878300

Рис.3.14. Оцінка змін типів земного покриття на територію Новояричівської ОТГ за 2017-22023роки

4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Формування екологічної мережі Львівщини

У ХХІ ст. головною формою територіальної охорони природи та найефективнішим засобом збереження біорізноманіття визнано організацію екологічних мереж. Головною метою формування екомереж є створення територіально єдиної системи, яка здатна забезпечити збереження природних екосистем та поширення природних видів рослин і тварин, їхніх популяцій на локальному, регіональному, національному, континентальному та глобальному рівнях.

Схеми екомережі Львівської області, які сформовані відповідно до національних і європейських підходів, оскільки Львівщина розташована на крайньому заході України, відіграє вкрай важливу роль у майбутній інтеграції екологічної мережі держави у Всеєвропейську.

Головна мета формування регіональної екологічної мережі – збільшити площі земель області з природними ландшафтами до рівня, достатнього для збереження ландшафтної різноманітності, та сформувати територіально єдину систему, яка здатна забезпечити змогу міграції та поширення природних видів рослин і тварин, що посприяє збереженню природних екосистем, видів рослин і тварин та їхніх популяцій.

Важливими структурними комунікаційними елементами екомережі є екологічні коридори, які поєднують між собою ключові території та забезпечують міграцію тварин та обмін генетичного матеріалу. Розрізняють екокоридори національного, регіонального і місцевого значення. Окремо виділяють екокоридори, що забезпечують природні зв'язки зонального характеру (широтні екокоридори) та ті, що формуються вздовж річкових долин. У межах Львівщини розрізняють шість регіональних макроекокоридорів, які є складовими екокоридорів вищого рангу (національного та міжнародного значення):

- 1) Бузько-Волинський (Долини Бугу) – регіональний, що має міжнародне значення, оскільки зв’язує національну екомережу з екокоридором Західного Бугу на території Польщі;
- 2) Малополіський (Малополісько-Горинський) – регіональний;
- 3) Північноподільсько-Опільський – є складовим Галицько-Слобожанського національного екокоридору та забезпечує міжнародні зв’язки з екокоридором Польського Розточчя та лісостепу Росії;
- 4) Надсянський – є частиною Карпатського біоцентру національного значення та є елементом міжнародного екокоридору Сяну, розміщеного в Польщі;
- 5) Прикарпатсько-Дністерський – є частиною Карпатського біоцентру національного значення;
- 6) Карпатський – є частиною національного Карпатського біоцентру та Альпійського європейського біогеографічного регіону (Alpine Biogeographical Region) міжнародного значення.

Окрім цих широтних макроекокоридорів та Карпатського біоцентру, на території області виділяють фрагменти двох меридіональних екокоридорів національного значення – Бузького та Дністровського. Важливу роль у міграційних процесах відіграють також природні коридори регіонального рівня, які просторово обмежені долинами середніх і малих річок (Верещиці, Стиру, Стрия, Рати, Свині, Болотниці та ін.), які об’єднують водні та заплавні території і є шляхами міграції численних видів рослин і тварин.

На території Новояричівської ОТГ розміщено один з структурних елементів екологічної мережі Львівської області - це Грядово-Полтвинський екокоридор вздовж річкових долин р.Думна, р.Яричівський канал, р.Полтва загальною площею 20 306,0 га (рис.4.1).



Рис. 4.1. Робоча схема екологічної мережі Львівської області

4.2.Формування Смарагдової мережі.

Разом із формуванням екологічної мережі області, що ґрунтується на національній концепції України, у регіоні проводять роботи зі створення Смарагдової мережі, головними принципами побудови якої є виявлення територій, важливих для збереження видів та оселищ, які задекларовані у переліках Бернської конвенції (списках Резолюцій № 4 і 6). Сьогодні на Львівщині виявлено 14 видів рослин і 157 видів тварин (близько 70 % з них – це орнітофауна), що підлягають охороні відповідно до списків Бернської конвенції. Смарагдова мережа – це екологічна мережа, яка складається з спеціальних територій для збереження біологічного різноманіття, створених (визначених) відповідно до Конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних

середовищ існування в Європі (Бернської конвенції). Її метою є забезпечення довгострокового виживання видів і біотопів, зазначених у Бернській Конвенції, які потребують спеціального захисту.

У межах Львівської області окреслено 24 території особливого природоохоронного значення (ТОПЗ) Смарагдової мережі, які затверджені Секретаріатом Бернської конвенції у 2016 р. (16 ТОПЗ) та 2019 р. (8 ТОПЗ).

На території Новояричівської ОТГ частково розміщено Бузька ТОПЗ ((ТОПЗ - Територія особливого природоохоронного значення (Areas of Special Conservation Interest, ASCIs) у долині річок Полтва та Західний Буг між населеними пунктами Новий Яричів і Кам'янка-Бузька (рис.4.2).

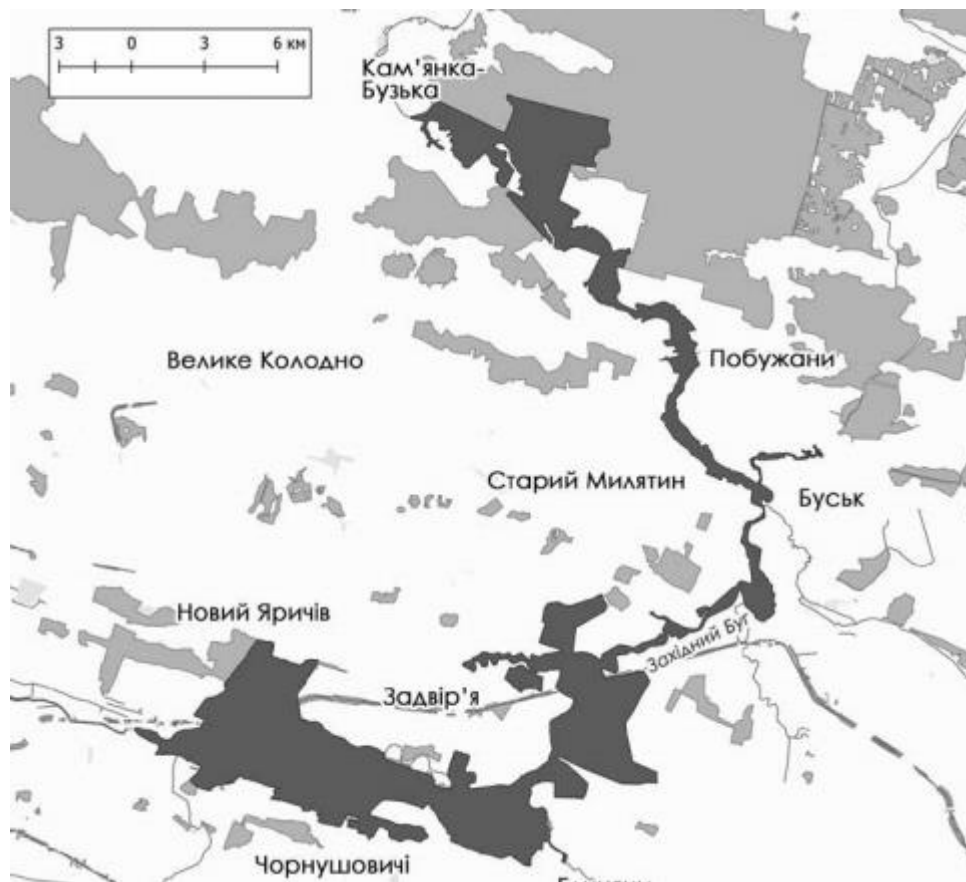


Рис. 4.2. Об'єкт «Бузьке» смарагдової мережі на території дослідження, басейн р. Західний Буг

Код цієї території UA0000343, загальна площа 11 314,4 га. Кількість видів, які знаходяться тут під охороною: птахи – 3; земноводні – 2; плазуни – 1. те, що річка тут є не надто повноводною, наявність великих лісових масивів та озер, що

прилягають до русла річки, робить його важливою територією для збереження таких видів як кумка червоночерева (*Bombina bombina*) та тритон гребінчастий (*Triturus cristatus*) (що скорочують свою чисельність і тому будуть внесені до наступного видання Червоної книги України), а також черепаха болотяна (*Emys orbicularis*). Згідно з висновками біогеографічного семінару (Emerald Biogeographical Seminar ALP (Carpathians) – CON – PAN, 11-13 May 2016, Chisinau, Moldova) для збереження популяцій цих видів до Смарагдової мережі в Україні мають бути додані нові території (оцінки IN MOD). На території об'єкту також було виявлено махаона *Papilio machaon* – вид, занесений до Червоної книги України. Домінуючими оселищами, що підлягають охороні на території Львівщини є букові лісові фітоценози (G1.6 *Fagus woodland*) та лісові угруповання з омінуванням дуба, ясеня, граба звичайного на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (G1.A1 *Quercus–Fraxinus–Carpinus betulus woodland on eutrophic and mesotrophic soils*) (див. табл. 3.10). В цілому найвищим рівнем репрезентативності за кількістю оселищ і видів (27 оселищ, 106 видів) характеризується ТОПЗ “Розточчя”, що пов’язано передусім із добре налагодженими інвентаризаційними роботами у заповіднику і національному природному парку, які знаходяться у центральній частині цієї ТОПЗ.

Отже, формування екомережі Львівщини триває. Важливо узгодити наявні схеми екомереж, затвердити їх на обласному рівні, виробити єдину стратегію дій зі сторони Департаменту екології області з метою охорони вже існуючих елементів екомережі, розробити їхні менеджмент-плани, які б визначали можливе природокористування на землях екомережі та заходи з охорони ландшафтів, оселищ та раритетних видів флори і фауни. На територіях, що є складовими регіональної екологічної мережі, потрібно забезпечити проведення спеціальних заходів, спрямованих на захист міграційних шляхів тварин та місць їхньої зимівлі. Зокрема, у місцях перетину міграційних шляхів тварин транспортними магістралями слід споруджувати спеціалізовані переходи та відповідні інженерні споруди, як це прийнято у світовій практиці.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Оточуюче середовище динамічне – для нього характерними є зміни в результаті як природного розвитку так і антропогенного впливу. Ефективним засобом, який може бути застосованим для виявлення і оцінки такого роду змін на конкретній місцевості є аерокосмічний моніторинг за даними дистанційного зондування Землі. Космічний моніторинг активно застосовується зокрема в державному, регіональному, муніципальному плануванні і управлінні.

В кваліфікаційній роботі приведено аналіз зміни земного покриття на території Новояричівської ОТГ і побудовано відповідні карти. В основі аналізу покладено порівняння карт вегетаційного індексу NDVI та порівняння карт класифікації земного покриття за 2017-2024 роки.

На отриманих нами картах можна виявити зміни в типах покриття земної поверхні та розрахувати відповідні площі. Прикладом такої зміни які ми виявили на території громади є вирубка лісів, зміна в площі забудови тощо. Зразок антропогенних змін – будівництво сонячної електростанції в с.Старий Яричів. Протягом 2017-2024 років:

відбувається фрагментування лісів (загальна їх площа 4125,2га або 18,7% від загальної площі громади);

збільшення площ водойм на 0,2%, (загальна площа 147,2га або 0,9% від загальної площі громади);

зменшення площ лук і пасовищ за рахунок забудови і заростання чагарниками (загальна площа 2032,6га або 9,2% від загальної площі громади);

зберігається високий рівень розораності земель (загальна площа 13782,0га або 62,0% від загальної площі громади);

зростання площ забудови і помірне збільшення темпів урбанізації в цілому (загальна площа 1960,4га або 8,9% від загальної площі громади).

На території громади слід вести також моніторинг змін розміщених тут об'єктів екологічної мережі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. Підготовлена Командою підтримки реформ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf
2. Геоекологія Львівської області : монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів : Простір-М, 2021. 606 с.
3. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. – 248 с.
4. Дяченко О.Ю., Писаренко П.В., Кунах О.М., Жуков О.В. Просторова агроєкологія як основа прогнозу чисельності шкідників. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2015. – 139 с.
5. Закон України "Про охорону земель". Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 39, ст.349 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15/conv#n404>
6. Земельний кодекс України. Стаття 191. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/conv#n1781>
7. Інструментарій місцевого економічного розвитку: теорія, методологія, практика: монографія / [Ковальов А. І., Корольова Т. С., Сментина Н. В., Павлова Т. В., Карпов В. А., Фіалковська А. А., Котова І. М.]; за заг. ред. А. І. Ковальова. – Київ: ФОП Гуляєва В. М., 2021. – 413 с.
8. Колб І., Процик М. Індикація динаміки природних та антропогенних змін у ландшафтах басейну р. Західний Буг. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II(24), 2012. с.142-145
9. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. І.В. Хом'як – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.

10. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / Пащенко Р., Радчук В., Красовський Г. та ін. // Під ред. С.О. Довгого. – Київ: ФОП Пономаренко Є. В., 2013. –316 с.
11. Регіональна програма формування екологічної мережі Львівської області на 2007–2015 роки. Львів, 2006. URL:
http://www.ekology.lviv.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=104&limit=1&limitstart=1.
12. Панас Р. М. Основи моніторингу та прогнозування використання земель: Нвчальний посібник. - Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 224 с.
13. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.08.1993 № 661 "Про затвердження Положення про моніторинг земель".
14. М.Т. Процик. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів: автореф. дисертації канд. техн. наук. Львів. -2012.
15. Сафаров О. О. (2018). Алгоритм підвищення якості візуалізації карт вегетаційних індексів. Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2018. - № 3(1). - С. 357-360. -
: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_3%281%29_53
16. Семенова І. Г. (2020) Використання супутникової інформації для моніторингу стану рослинного покриву. Методичні вказівки до практичних робіт для студентів денної форми навчання, ОПП “Агрометеорологія”, рівень освіти другий (магістр) / д.геогр.н., проф. Семенова І.Г. – Одеса, ОДЕКУ, 2020. 37 с.
17. Стратегія розвитку Новояричівської селищної територіальної громади до 2027 року. Затверджено рішенням селищної ради №4696 від 16 листопада 2023 року.
18. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Геоінформаційні системи в задачах моніторингу» для студентів спеціальності 193 –

- Геодезія та землеустрій / І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 55 с.
19. B.D.S. Barbosa, G.A.S. Ferraz, L.M. Gonçalves, D.B. Marin, D.T. Maciel, P.F.P. Ferraz and G. Rossi. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agronomy Research* 17(2), 349–357, 2019. <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>
20. Blaga Lucian, Ilieş Dorina Camelia, Wendt Jan Andrzej, Rus Ioan, Zhu Kai, Dávid Lóránt Dénes: Monitoring forest cover dynamics using orthophotos and satellite imagery, *Remote Sensing*, vol. 15, no. 12, 2023, Article number: 3168, pp. 1-24, DOI: 10.3390/rs15123168
21. ESA, 2015. Sentinel-2 User Handbook . : https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
22. EVI vs NDVI: Understanding the Key Differences in Vegetation Indices for Precision Agriculture. *Farmonaut* / September 22, 2024/ <https://farmonaut.com/remote-sensing/evi-vs-ndvi-understanding-the-key-differences-in-vegetation-indices-for-precision-agriculture/>
23. Ray T.M. A FAQ on vegetation in Remote Sensing // Yale Center for Earth Observation. URL: <http://www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html>.
24. S. Vynohradenko, T. Anopriienko, A. Riasnianska, V. Gurskienė, V. Pukite. Spatial planning tools for accelerated post-war recovery and sustainable development of community territories: experience and perspectives. International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2024” 7-9 October 2024, Lviv, Ukraine.
25. Snevajs H., Charvat K., Onckelet V. et al. Crop detection using time series of Sentinel-2 and Sentinel-1 and existing land parcel information systems. *Remote Sensing*. 2022. V. 14. No. 5. Article 1095. DOI: 10.3390/rs14051095.
26. Xue H., Xu X., Zhu Q. et al. Object-oriented crop classification using time series Sentinel Images from Google Earth Engine // *Remote Sensing*. 2023. V. 15. No. 5. Article 1353. DOI: 10.3390/rs15051353.