

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет землевпорядкування

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Зав. кафедри геоінформатики та
аерокосмічних досліджень Землі

_____ **Антоніна МОСКАЛЕНКО**

«___» _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Картографування порушених земель за даними дистанційного зондування в межах Димерської громади Київської області

Спеціальність – 193 «Геодезія та землеустрій»

Гарант освітньої програми
«Геодезія та землеустрій»,

д. геогр. н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ **Іван КОВАЛЬЧУК**

(підпис)

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи,

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ **Антоніна МОСКАЛЕНКО**

(підпис)

Виконав

_____ **Вікторія ЛЕЩЕНКО**

(підпис)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. зав. кафедри геоінформатики та
аерокосмічних досліджень Землі**

_____ **Антоніна МОСКАЛЕНКО**

« _____ » _____ **2024 р.**

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТЦІ**

Лещенко Вікторії Юрївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 193 «Геодезія та землеустрій»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Картографування порушених земель за даними дистанційного зондування в межах Димерської громади Київської області», що затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024 р. № 2063 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру – за 10 днів до захисту

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: дані дистанційного зондування Землі на частину Димерської громади, описові дані щодо наявності порушених земель.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1) Аналіз можливості визначення порушених земель за даними дистанційного зондування Землі
- 2) Підбір даних дистанційного зондування Землі для визначення порушених земель
- 3) Визначення порушених земель за даними дистанційного зондування Земель

Дата видачі завдання “ 20 ” листопада 2024 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

_____ **Антоніна МОСКАЛЕНКО**

Завдання прийняв до виконання

_____ **Вікторія ЛЕЩЕНКО**

(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	
КАРТОГРАФУВАННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ	8
1.1. Стисла характеристика та особливості за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)	8
1.2. Огляд нормативно-методичного забезпечення порушених земель 10	10
1.3. Збір початкових даних та характеристика об'єкта	15
Розділ 2. ПІДБІР ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ	20
2.1 . Підбір та отримання даних дистанційного зондування	20
2.2 . Визначення дешифрувальних ознак	26
2.3 . Вибір еталонних ділянок	27
2.4 . Спектральні індекси даних дистанційного зондування Землі. .	29
Розділ 3. Дослідна реалізація картографування порушених земель	
3.1. Композиції тематичних карт	39
3.2. Керована класифікація	49
3.3. Некерована класифікація	52
3.4. Практичні рекомендації	53
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	57

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота студента факультету землевпорядкування спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» Лещенко Вікторії Юріївни на тему: «Картографування порушених земель за даними дистанційного зондування в межах Димерської громади Київської області».

Бакалаврська робота включає вступ, три розділи та висновки.

У першому розділі «Характеристика предметної області картографування порушених земель» розглянуто сутність дистанційного зондування Землі, класифікацію супутників, основні характеристики зображень та можливості їх використання для моніторингу земель. Проаналізовано нормативно-правову базу, що регулює питання деградації, забруднення та рекультивації земель. Особлива увага приділена впливу воєнних дій на стан земельного фонду України та наслідкам руйнування Каховської ГЕС.

У другому розділі «Підбір даних дистанційного зондування Землі для визначення порушених земель» розглянуто джерела супутникової інформації, критерії відбору даних та характеристики сенсорів. Проведено аналіз супутників Sentinel-2 та Landsat, описано принципи дешифрування зображень та критерії вибору еталонних ділянок. Також детально охарактеризовано основні спектральні індекси (NDVI, NDWI, SAVI, OSAVI тощо), що використовуються для виявлення порушень земельного покриву.

У третьому розділі «Дослідна реалізація картографування порушених земель» виконано обробку супутникових знімків у сервісі EO Browser, побудовано тематичні карти до і після підриву дамби у с. Демидів, проаналізовано рівень затоплення та зміни у рослинному покриві. Застосовано керовану та некеровану класифікації для деталізації порушених територій. Подано практичні рекомендації з оцінки стану земель після надзвичайних ситуацій.

У роботі використано матеріали супутникової зйомки, індексні карти NDVI та NDWI, приклади тематичних карт, результати класифікації, свідчення

очевидців та аналіз правових наслідків воєнного злочину (руйнування Каховської ГЕС).

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 58 сторінок, включає 4 таблиці та 18 рисунків. Список використаних джерел налічує 30 найменувань.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, супутникові знімки, порушені землі, спектральні індекси, NDVI, NDWI, картографування, класифікація, Димерська громада, Демидів, затоплення, рекультивація.

ВСТУП

Україна є однією із найбагатших країн за родючістю земель. Земельні ресурси, що характеризуються високою природною продуктивністю ґрунтів, є важливим елементом економічного розвитку України. Вони відіграють провідну роль у формуванні національного багатства країни та є основним засобом виробництва в сільському господарстві. Завдяки своїй значущості, земельний фонд сприяє сталому розвитку аграрного сектору, забезпечуючи стабільність продовольчої безпеки та економічне зростання держави.

Наразі, дистанційне зондування Землі є одним із ключових інструментів, що дає можливість отримувати оперативну інформацію щодо моніторингу земель не лише на малих територіях, а й на великих. Завдяки використанню різноманітних спектральних супутникових знімків, ми можемо визначити зміни в рослинному покриві, оцінювати стан ґрунтів, виявляти ерозійні процеси та моніторити інші екологічні проблеми, а також затоплення територій. Своєчасне виявлення даних змін дозволить уникнути негативних наслідків або мінімізувати їх, застосувавши заходи із запобігання і поліпшення.

Мета бакалаврської кваліфікаційної роботи полягає в визначенні порушених земель за даними дистанційного зондування Землі в межах Димерської громади Київської області.

Завдання:

1. Розглянути теоретичні аспекти проблеми.
2. Дослідити територію Димерської громади.
3. Вивчити дешифрувальні ознаки порушених земель.
4. Виконати побудову тематичних карт та визначити порушені землі.

Об'єктом дослідження виступає територія Димерської громади Київської області.

Предмет дослідження – ідентифікація затоплених територій

Інформаційною базою бакалаврської кваліфікаційної роботи є супутникові знімки, геопросторові дані, описові дані щодо наявності порушених земель Димерської громади Київської області.

Дана робота була частково представлена при написанні наукової роботи «Застосування методів дистанційного зондування для моніторингу стану земель», що була подана для участі для I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт та відзначена дипломом за оригінальну ідею. Таке дослідження завжди має у собі безліч операцій ДЗЗ, що надає змогу оцінити завданій шкоди землям під час війни. Наразі, дані дистанційного зондування Землі дають можливість отримати геоінформаційні дані, та порівнювати їх із різними проміжками часу, водночас, перебуваючи за кілометри від територій.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ КАРТОГРАФУВАННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

1.1. Стисла характеристика та особливості за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)

Розроблення різноманітних тематичних карт із використанням даних ДЗЗ є ключовими у вирішенні, прогнозуванні та аналізуванні сучасного стану земель. Дистанційне зондування - це отримання інформації на відстані різними видами знімальної апаратури, завдяки відбиття та випромінювання енергії на певний об'єкт [1].

Існує безліч супутників і всіх їх класифікують за висотою, де загалом їх 3: низька (500-2000 км), середня (10000 км) та висока (36000 км). Таким чином, орбіти різної висоти забезпечують рішення різних знімальних задач: низькі навколоземні орбіти використовуються для детальної зйомки, більш віддалені - для оперативної менш детальної зйомки і віддалені, або їх ще називають геостаціонарні орбіти - для постійного спостереження за визначеним районом [2].

Таким чином до детальної зйомки можна віднести виявлення порушених земель, виявлення ґрунтів, зміну ландшафту, моніторинг рослинності та водних об'єктів, спираючись на коефіцієнти, містобудівництво, природні катастрофи, а також їх можна використовувати у війсьній справі.

Прикладом є стаття, яка опублікована в журналі *Geomatica*, що описує дослідження картографування солонцювання ґрунтів в східному дельтаєгипетському регіоні за допомогою технологій дистанційного зондування та ГІС. Автори використовували зображення Landsat 5, яке було зняте у періоді із 22-26 вересня 1995 року. Дані були підвернені радіометричними та атмосферними коригуваннями, де було застосовано різні індекси солонцювання (SI1, SI2, SI3, SI4, SI5, SI6, SI7) та індекс вегетації для фільтрації даних. Потім вже було застосовано просту лінійну регресію та середню відносну помилку для визначення найкращого індексу. Найкращим виявився SI5, який показав найвищу кореляцію з індивідуальними даними на місці (0.87) та найменша

середня відносна помилка (22.7%). Вже на основі кращого індексу була створена карта солонцювання східного дельтаєгипетського регіону з прийнятною точністю. Це дослідження підкреслює важливість моніторингу солонцювання для збереження якості ґрунтів та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [3].

Іншим прикладом є стаття, яка підкреслює роль дистанційного зондування та застосувань ГІС у картографуванні сільськогосподарських культур, акцентуючи важливість посівних патернів в управлінні водними ресурсами для зрошення. У ньому пояснюється, як традиційні методи збору статистики про культури можуть бути доповнені дистанційним зондуванням, особливо в Індії, де традиційні методи збору статистики не завжди дозволяли отримати достовірні дані через фрагментацію угідь. Наводиться детальне дослідження декількох індексів вегетації, таких як NDVI, SAVI та інших, кожен з яких має свої формули та застосування. NDVI, будучи найширше використовуваним індексом, акцентується на своїй ефективності у вказанні на здоров'я рослинності. Інші індекси, такі як SAVI і PVI, обговорюються з точки зору їх чутливості до умов ґрунту та атмосферних ефектів. Стаття підкреслює потенціал цих методологій дистанційного зондування для покращення моніторингу та управління інфраструктурою зрошення та здоров'ям сільськогосподарських культур.

В дослідженні [4] використано супутникові дані з різних джерел для картографування угідь:

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) - дані використовувалися для картування рису в Кашмірській долині протягом 2010 року. Спостереження проводилися в травні, червні, липні, серпні та жовтні.

IRS LISS-III (Indian Remote Sensing Satellite - Linear Imaging Self Scanner) - застосовувалися для оцінки ефективності зрошення в окрузі Бельгаум, штат Карнатака, використовуючи дані з листопада, січня та березня.

Landsat 8 - дані цього супутника були використані для картування культур в окрузі Фетахабад, штат Харьяна, у серпні та вересні 2014 року.

RADARSAT - дані використовувалися для моніторингу рису в Заокінгу, провінція Гуандун, Китай, в період з березня по грудень 1996 року та з квітня по липень 1997 року.

Саме, ці супутники надали можливість проводити моніторинг і оцінку стану сільськогосподарських культур у різних регіонах з урахуванням варіацій у зрошенні і рості рослин [4].

Саме ці статті, підкреслюють всю важливість ДЗЗ, де опанування та вміння працювати з даними є критично важливим для прийняття ефективних та раціональних рішень у багатьох сферах діяльності. Це сприяє стійкому розвитку та збереженню природних ресурсів.

1.2. Огляд нормативно-методичного забезпечення порушених земель

При неправильному використанні земельних ресурсів можлива деградація і забруднення земель і ґрунтів (родючого шару). Закон України "Про охорону земель" № 962-IV від 19.06.2003 дає такі визначення цих термінів [5].

Деградація ґрунтів - погіршення корисних властивостей та родючості ґрунту внаслідок впливу природних чи антропогенних факторів [5].

Деградація земель – природне або антропогенне спрощення ландшафту, погіршення стану, складу, корисних властивостей і функцій земель та інших органічно пов'язаних із землею природних компонентів [5].

Забруднення ґрунтів - накопичення в ґрунтах речовин, які негативно впливають на їх родючість та інші корисні властивості [5].

Порушені землі - землі, що втратили свою господарську та екологічну цінність через порушення ґрунтового покриву внаслідок виробничої діяльності людини або дії природних явищ. [5]

Згідно з статтею 171 Земельного кодексу України до деградованих земель відносяться:

а) земельні ділянки, поверхня яких порушена внаслідок землетрусу, зсувів, карстоутворення, повеней, добування корисних копалин тощо;

б) земельні ділянки з еродованими, перезволоженими, з підвищеною кислотністю або засоленістю, забрудненими хімічними речовинами ґрунтами та інші.

До малопродуктивних земель відносяться сільськогосподарські угіддя, ґрунти яких характеризуються негативними природними властивостями, низькою родючістю, а їх господарське використання за призначенням є економічно неефективним [6].

Перш за все, рекультивація земель – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель.

Землі, які зазнали змін у структурі рельєфу, екологічному стані ґрунтів і материнських порід та у гідрологічному режимі внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт, підлягають рекультивації.

Для рекультивації порушених земель, відновлення деградованих земельних угідь використовується ґрунт, знятий при проведенні гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт, шляхом його нанесення на малопродуктивні ділянки або на ділянки без ґрунтового покриву [7].

Наразі, немає точної відповіді, скільки насправді є порушених та деградованих земель під час війни, адже із кожним днем чисельність збільшується. Якщо говорити загалом, то дослідження показують, що від 0,5 – 8,0 млн. га, є постраждалими. Більшість із яких внаслідок воєнних дій, а саме від вибухонебезпечних предметів. Найбільше територій зазнало – Київська, Чернігівська, Сумська та Херсонська області.

Директор «Агротрейд» розповів, що із воєнних знахідок більше припадає на розірвані боеприпаси, далі на вибухонебезпечні предмети та на їх наслідки, тобто це може бути влучання в критичну інфраструктуру, яка нанесла шкоди с/г землям, і найменше становить на умисно встановлені міни. Можна розглянути шкоду у відсотках на даному рисунку.

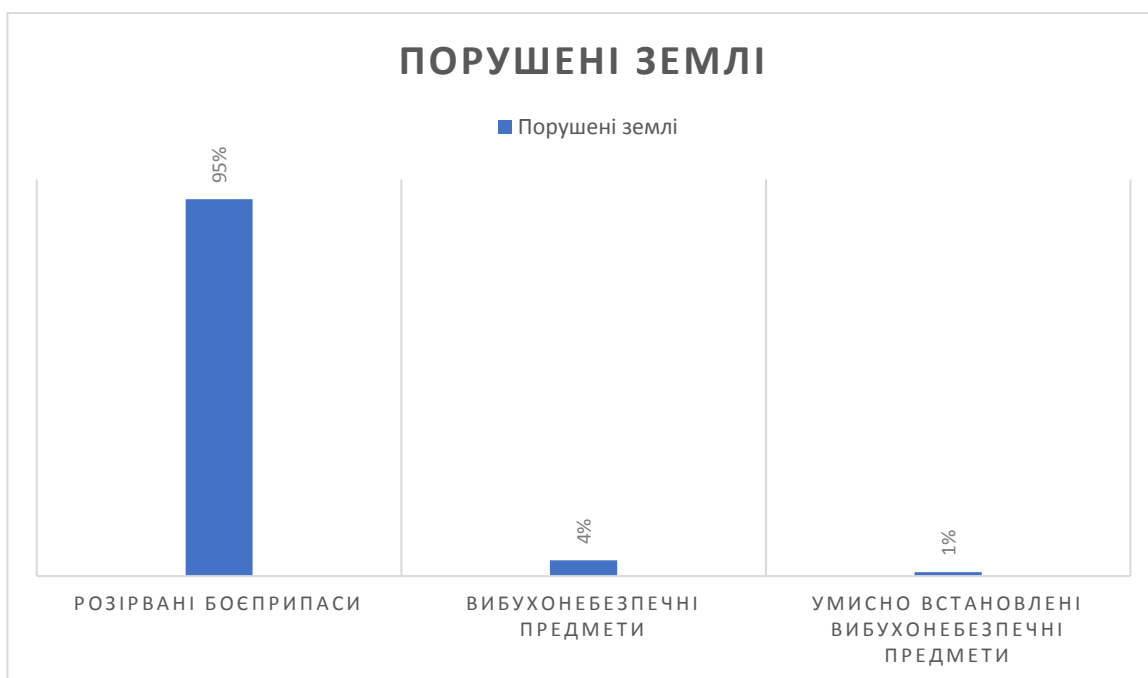


Рис 1.1. – Результат воєнних дій на сільськогосподарські землі

Таким чином, узагальнивши всі галузі сільськогосподарського господарства в Україні зазнало певних збитків. Це не говориться лише за врожайність, а й за тваринництво. Такі збитки оцінюються близько \$40,2 млрд, що включають втрату транспорту, обладнання, доступу до земель, складських приміщень, худоби, рибальства, аквакультури та багаторічних насаджень.

Але якщо виділяти найбільші збитки, то вони припадають на рослинництво. Прикладом є компанія «KSE – Агроцентр», адже станом на квітень 2023 року, його збитки зазнали \$14,3 млрд.

Відповідно, щоб «очистити» забруднену землю потрібно перш за все проаналізувати територію, і визначити тип пошкодження ґрунту під час воєнних дій – важливий етап. Є три види:

- Механічний вплив (ущільнення, із порушенням гумусового шару, як наслідок – розвиток водної та вітрової ерозій, порушення водного балансу ґрунту)
- Фізичний вплив (втрата буферної здатності ґрунтів до відновлення, втрата гумусу і зниження природної родючості)

– Хімічний вплив (важкі метали: адмій, мишак, свинець, цинк, мідь; екологічно небезпечна територія) [7].

Таким чином, аби обрати правильний метод рекультивації, проводиться аналіз території у 5 етапів:

1. ідентифікування землі, пошкодженої бойовими діями;
2. ідентифікування факторів впливу;
3. визначення типу впливу та наслідків для земель;
4. оцінювання рівня забруднення ґрунтів внаслідок певного типу впливу;
5. оцінювання рівня забруднення ґрунтів.

На основі даного аналізу підбиється найбільш оптимальна техніка, яка допоможе відновити природні властивості землі.

У минулому році, влітку, було проведено дослідження щодо руйнування Каховської греблі та його наслідки для екосистеми, аграріїв, цивільного життя та міжнародного правосуддя. Це є воєнний злочин та потенційно акт екоциду, здійснений армією Росії о 2:50 6 червня 2023 року під час російського вторгнення до України [8].

Вибух Каховської ГЕС, за даними супутникових і сейсмічних спостережень, було здійснено всередині греблі. Це призвело до стрімкого затоплення понад 600 км² територій Херсонщини. Люди втратили житло, доступ до води, їжі, медичної допомоги та енергопостачання. Значна частина сільськогосподарських земель залишилась без зрошення, знищено інфраструктуру, що забезпечувала зрошення понад 500 тис. га полів.т, втрати джерел водопостачання, житла та зрошення сільськогосподарських земель.

Дане дослідження включає використання двох супутникових знімків, а саме: Sentinel-1 і Sentinel-2 для фіксації руйнувань та відстеження динаміки затоплення. SAR-зображення дозволили виявити відмінності у структурі дамби до і після вибуху, навіть попри хмарність. Оптичні дані підтвердили масштаби повені та охоплення населених пунктів. Також залучено сейсмічний аналіз: було зафіксовано вибухову хвилю, яка свідчить про підрив. Для того, аби конкретно

оцінити наслідки та як життя змінилось було проведено інтерв'ю з очевидцями. Свідчення мешканців допомогли реконструювати послідовність подій та їхній вплив на життя людей, включаючи евакуацію, втрату домівок і проблеми з питною водою. Це також стало підґрунтям для юридичної оцінки дій як порушення міжнародного гуманітарного права.

Перш за все, юридичний аналіз у дослідженні базується на положеннях Римського статуту, зокрема статей, що забороняють напади на об'єкти, необхідні для виживання цивільного населення. Автори зазначають, що руйнування Каховської дамби підпадає під визначення воєнного злочину, оскільки було здійснено без військової необхідності, спричинило масові страждання цивільним та значну екологічну шкоду.

Якщо підбивати підсумки загалом, то це спричинило загибель тисяч видів флори й фауни, деградацію заповідників і водно-болотних угідь, знищення зрошувальної інфраструктури, яка забезпечувала понад 500 тисяч гектарів сільгоспземель.

Під час даного дослідження було розроблені такі додатки [9] :

- Додаток А: Дослідження та аналіз даних дистанційного зондування
- Додаток В: Експертне дослідження та аналіз наслідків руйнування греблі для Запорізької атомної електростанції (де існує ризик небезпеки ядерної аварії, через призупинення відновлювальних робіт, хоча обіцялось, але за знімками було зовсім інше)
- Додаток С. Гідрогеологічні експертні дослідження та аналіз (де відповідно аналізу було вказано, що вода не відповідає вимогам для використання, що внаслідку призведе до значного засолення ґрунтів)
- Додаток D: Розрахунок орієнтовних збитків від затоплення полів сільськогосподарських культур після прориву Каховської греблі (де збитки від затоплення с/г земель після прориву Каховської греблі становлять 5,4 млн. доларів США)

- Додаток Е. Розрахунок втрат при зрошенні (де було вказано за втрати понад 367,9 млн доларів)
- Додаток F: Дослідження щодо тлумачення «нападу» на об'єкти, що охороняються: стаття 56 Додаткового протоколу I та практика Міжнародного кримінального суду у світлі нападу на Каховську греблю (де вказано відреагування країн відповідно статті 56 Додаткового протоколу I)
- Додаток G. Заяви представників російського політичного та військового керівництва, що підтверджують обізнаність про потенційні наслідки вибуху на Каховській ГЕС (де є хронологія проповідей російських адміністрацій щодо наслідків)

Дане дослідження чітко показує наслідки вибуху Каховської ГЕС та на жахливі наслідки для країни та населення. Дуже чітко було проаналізовано та прораховані всі збитки та площі за допомогою використання ДЗЗ [9].

1.3. Збір початкових даних та характеристика об'єкта

Об'єктом дослідження є с. Демидів у складі Димерської селищної територіальної громади Вишгородського району Київської області.

Київська область – область на півночі України. Обласний центр – місто Київ – адміністративно до її складу не входить Площа області – 28131 км² (8-ма за цим показником в Україні), населення станом на кінець 2022 року становить 1,8 млн осіб. Розташована в басейні середньої течії Дніпра, більшою частиною на Правобережжі. На сході межує з Чернігівською і Полтавською, на південному сході та півдні з Черкаською, на південному заході — з Вінницькою, на заході — з Житомирською областями, на півночі — з Гомельською областю Білорусі [10].

В області налічується 7 районів, 69 об'єднаних територіальних громад, 489 старостинських округів, 26 міст, 30 селищ міського типу, загалом 1182 населених пунктів. Північну частину області площею близько 2 тис. км² займає Чорнобильська зона відчуження. Місто Славутич — екслав Київської області на території Чернігівської.

Поверхня області — горбиста рівнина із загальним нахилом до долини Дніпра. За характером рельєфу ділиться на три частини. Північна частина зайнята Поліською низовиною (висота до 198 м). Лівобережжя займає Придніпровська низовина з розвиненими річковими долинами. Південно-західна частина зайнята Придніпровською височиною — найбільш розчленованою і піднятою частиною області з абсолютними висотами до 273 м [10].

Клімат помірно континентальний, м'який, з достатнім зволоженням. Середня температура січня $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, липня $+19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість вегетаційного періоду 198—204 дні. Сума активних температур поступово збільшується з Півночі на Південь від 2500 до 2700° . За рік на території області випадає 500—600 мм опадів, головним чином влітку [10].

Київщина має густу річкову мережу (177 річок завдовжки понад 10 км). Найважливіша водна артерія — Дніпро (довжина його в межах області — 246 км), його головні притоки — Прип'ять, Тетерів, Ірпінь, Рось (праві); Десна і Трубіж (ліві). На території області — Київське водосховище і частина Канівського водосховища (створені на Дніпрі). Усього в області — 13 водосховищ і понад 2000 озер [10].

На півночі поширені дерново-підзолисті, у долинах річок — дерново-глеєві, лучні й болотні ґрунти. У центральній частині під лісами — опідзолені чорноземи, темно-сірі і світло-сірі лісові ґрунти; у південних районах — глибокі малогумусні чорноземи. На Лівобережжі зустрічаються лучно-чорноземні, лучні солонцюваті, солончакові і болотні солончакові ґрунти [10].

Загальна площа лісового фонду області — 675,6 тис. га. Для північної частини території області характерні масиви хвойних і змішаних лісів, значні площі різнотравно-злакових луків і заболочені ділянки. На півдні переважають широколистяні ліси (дуб, граб, ясен, вільха, липа), кущі й луки. Область розташована у межах двох природних зон: змішаних лісів (Київське Полісся) і лісостепової. На півночі області переважають недреновані перезволожені і заболочені, поліські алювіально-зандрові і терасні, на півдні — луково-степові височинні розчленовані і терасні, а також лісостепові височинні розчленовані

природно-територіальні комплекси. В області — 77 територій і об'єктів природно-заповідного фонду (загальна площа — 80,3 тис. га), у тому числі Дніпровсько-Тетерівське і заліське заповідно-мисливські господарства, 7 заказників (Дніпровсько-Деснянський, Звонківський, Жорнівський, Іллінський, Усівський тощо), пам'ятник природи (урочище Бабка), дендропарк «Олександрія» (Біла Церква) [10].

Вишгородський район – район в Україні, в Київській області. Утворений у 2020 році. Адміністративний центр — місто Вишгород [10].

Площа — 4437 км² .

Населення — 132 136 осіб (2022).

Кількість територіальних громад: 7.

Перелік ТГ Вишгородського району:

1. Вишгородська міська територіальна громада;
2. Димерська селищна територіальна громада;
3. Новопетрівська сільська територіальна громада;
4. Пірнівська сільська територіальна громада;
5. Іванківська сільська територіальна громада;
6. Поліська сільська територіальна громада;
7. Славутицька сільська територіальна громада;

Димерська селищна територіальна громада – територіальна громада в Україні, у Вишгородському районі Київської області. Адміністративний центр — смт Димер [10].

Площа громади — 95652,1213 га, населення — 21042 осіб (2023).

Димерська селищна територіальна громада утворена відповідно до Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 травня 2020 року № 600-р “Про затвердження перспективного плану формування територій громад Київської області” шляхом об'єднання Димерської селищної ради, Литвинівської, Абрамівської, Катюжанської, Богданівської, Сухолуцької, Толокунської, Любимівської, Ровівської, Вахівської, Рудне-Димерської,

Глібівської, Ясногородської, Демидівської та Козаровицької сільських рад Вишгородського району.

До складу громади входять 1 смт (Димер) і 33 села: Каменка, Рикунь, Литвинівка, Лісовичі, Миколаївка, Абрамівка, Дудки, Савенки, Катюжанка, Гута-Катюжанська, Богдани, Овдієва Нива, Пилява, Ритні, Рихта, Сухолуччя, Толокунь, Дмитрівка, Любимівка, Андріївка, Сичівка, Рови, Круги, Розтісне, Федорівка, Вахівка, Любидва, Рудня-Димерська, Володимирівка, Глібівка, Ясногородка, Демидів, Козаровичі [10].

Село Демидів - село в Україні, у Димерській селищній громаді Вишгородського району Київської області. Входить до складу Димерської селищної громади. Одне з найдавніших сіл України — засноване у 1026 році.

Село розташоване там, де річка Кізка вливається в річку Ірпінь поблизу Київського водосховища, за 35 км від Києва, на автошляхові «Київ — Мінськ» [11].

24 лютого 2022 року близько 05:00 ранку розпочалась повномасштабне вторгнення в Україну. Армія прорвала державний кордон на кількох напрямках, найважча ситуація була зі сторони Чорнобиля. Було біля 300 ворожої техніки, і всі вони пересувалися в сторону Києва. Ворог міг пройти до Києва двома шляхами, але через с. Демидів був найкоротший шлях. Вже 25 лютого 2022 року українські війська підірвали дамбу на в'їзді у Демидів, біля села Козаровичі, та міст через річку Ірпінь, щоб зупинити ворога. Протягом години військові принесли на дамбу кілька тонн вибухівки, підірвали її та унеможливили прохід ворога та перекидання понтонів через річку Ірпінь. Частина села було підтоплено, але це стало великим водним рубежем для них.

На даних територіях переважали пасовища та луки, а також були присадибні ділянки, які зазнали порушення. Очевидцем та постраждалим опинився мешканець села - Григорій Дзюба, який не очікував що підтоплення буде настільки, адже він добирався від хати до сараю на плоту [12].

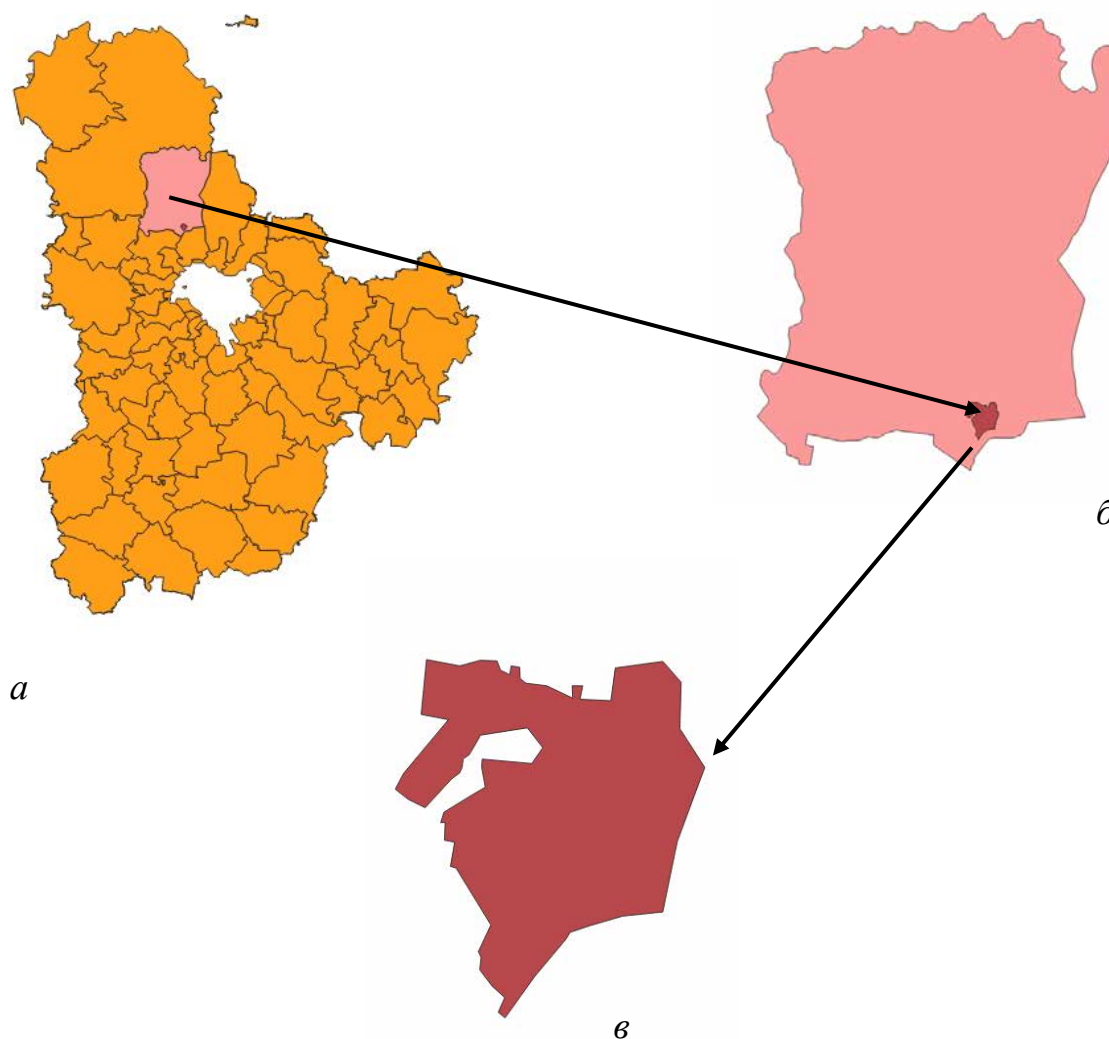


Рис. 1.1. – Територія дослідження: а – Київська область, б – Димерська територіальна громада, в – с. Демидів.

В даному розділі було описано про дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) як ключовий інструмент для моніторингу та аналізу земельних ресурсів, особливо у виявленні порушених ділянок. Також, було проведено огляд нормативно-правових актів та огляд досліджень. Наразі, війна в Україні значно посилила проблему деградації та забруднення земель, спричиняючи мільйонні збитки та потребуючи рекультивації. Приклад с. Демидів та Каховської ГЕС підкреслює, як ДЗЗ допомагає оцінити масштаби руйнувань та планувати відновлення, роблячи ці технології критично важливими для сталого розвитку країни.

РОЗДІЛ 2. ПІДБІР ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

2.1 . Підбір та отримання даних дистанційного зондування.

Штучний супутник Землі (ШСЗ) – це будь-який створений людиною об'єкт, запущений у космос за допомогою ракет. Ці космічні апарати оснащені високоточними приладами та чутливими камерами, а завдяки широкому охопленню території фільмування та покращеній роздільній здатності ШСЗ різних типів можуть збирати інформацію набагато швидше, ніж наземні датчики. Крім того, на відміну від наземних обсерваторій, на від з космосу не впливають такі атмосферні перешкоди, як хмари та пил. За допомогою штучних супутників вивчають не тільки явища на нашій планеті, а й у далекому Всесвіті [13].

Космічні апарати виконують різноманітні функції, такі як забезпечення зв'язку, наукові дослідження, прогнозування погоди чи спостереження за обраними регіонами. Їхнє призначення визначає розміри, тип орбіти та конструкцію, хоча всі супутники у космосі дотримуються однакових фізичних законів і математичних принципів [13].

Під час проведення будь-якого дослідження з використанням дистанційного зондування Землі треба детально визначитись із головним об'єктом дослідження, тобто чи фокус йде на рослинність, якість ґрунтів, водні об'єкти і т.д, адже кожен із них має ряд головних характеристик. Відповідно до своєї роботи для ефективного аналізу водних об'єктів та рослинного покриву за допомогою даних дистанційного зондування Землі, необхідно враховувати певні характеристики. Рівень попередньої обробки зображень, включаючи корекцію атмосферних та геометричних спотворень, є критично важливим для забезпечення точності та достовірності результатів. Просторове розрізнення визначає деталізацію зображення, дозволяючи розрізняти об'єкти різних розмірів, що особливо важливо для аналізу дрібних водних об'єктів або деталей рослинного покриву. Радіометричне розрізнення забезпечує чутливість до змін у відбитому випромінюванні, що дозволяє виявляти незначні відмінності у

властивостях води (наприклад, концентрація осаду) або стані рослинності (наприклад, стрес). Спектральне розрізнення визначає кількість та ширину спектральних діапазонів, що використовуються для аналізу, дозволяючи вивчати різні аспекти водних об'єктів (наприклад, прозорість) або рослинності (наприклад, вегетаційні індекси). Додатково, темпоральне розрізнення, тип сенсора та метеорологічні умови також відіграють важливу роль у забезпеченні якісних результатів дослідження, особливо при моніторингу динамічних процесів, таких як зміни рівня води або сезонні зміни рослинності.

Також, важливе значення при підборі супутника із яким будемо працювати відіграють роль: [14]

- Спектральне розрізнення
- Просторове розрізнення
- Темпоральне розрізнення

Супутники також мають класифікацію за призначенням: військове, зв'язку, метеорологічні, навігаційні, для дослідження Землі та Космосу. Наприклад, NOAA, METOP, GOES, ELEKTRO-L, INSAT та ін. – вони досліджують метеорологічні та кліматичні зміни. Для дослідження Землі, наприклад, оцінювати стани ґрунтів, рослинності, аналізувати зміни у землекористуванні, а також виявляти стихійні лиха, що наразі, є дуже важливим аспектом у нашій країні. Такими супутниками є: LANDSAT, SENTINEL та ін.

Доступ до високоякісних аерофотознімків та супутникових даних є завжди критично важливим для проведення геопросторового аналізу в різних галузях, включаючи журналістику даних, екологічний моніторинг, містобудування та наукові дослідження. Існує широкий спектр джерел, що надають як безкоштовний, так і комерційний доступ до зазначених даних.

Для оптимізації пошуку релевантних даних рекомендується використовувати спеціалізовані агрегатори та каталоги, такі як архіви ресурсів для створення карт від Спільноти професійних журналістів США, набір онлайн-інструментів для розслідувань від Bellingcat, а також огляди джерел

спутникових знімків від GISGeography, SkyWatch та EOS Data Analytics, які надають порівняльні аналізи та переліки програмного забезпечення для обробки даних дистанційного зондування.

Основні провайдери картографічних сервісів, зокрема Google Maps, Bing Maps та Yandex Maps, надають користувачам доступ до супутникових знімків, що можуть бути використані для первинного візуального аналізу території, а інтеграція з інструментами перегляду вулиць забезпечує додатковий контекст для досліджуваних об'єктів. Слід враховувати актуальність та роздільну здатність зображень, а також можливість доступу до архівних даних.

Державні супутникові програми, включаючи Landsat (USGS) та Sentinel-2 (ESA), надають безкоштовний доступ до багатоспектральних супутникових знімків з різною роздільною здатністю, що є цінним ресурсом для моніторингу масштабних змін. Доступ до даних здійснюється через спеціалізовані платформи, такі як LandsatLook, Earth Explorer, Copernicus Data Space Ecosystem та SentinelHub EO Browser. NASA EarthData та NOAA також пропонують великі бібліотеки супутникових даних та інструментів для їхньої обробки та візуалізації.

Для отримання зображень високої роздільної здатності та оперативної зйомки слід звертатися до комерційних провайдерів супутникових знімків, таких як Maxar Technologies, Airbus, Planet Labs, Capella Space та BlackSky, які пропонують знімки з роздільною здатністю до субметрової. Існують також агрегатори комерційних даних, що об'єднують пропозиції різних постачальників.

Ряд некомерційних організацій, таких як Центр інформаційної стійкості, Global Fishing Watch, Global Forest Watch та Radiant Earth Foundation, також надають підтримку та доступ до геопросторових даних для аналітичних цілей, часто з фокусом на соціально значущих та екологічних питаннях.

Для ефективної роботи з супутниковими знімками та даними дистанційного зондування користувачам може знадобитися спеціалізоване програмне забезпечення Географічної інформаційної системи (GIS), таке як QGIS, а також знання мов програмування R та Python з відповідними

бібліотеками. Google Earth Engine є потужним хмарним середовищем для обробки великих обсягів геопросторових даних. Крім того, існує велика кількість навчальних матеріалів та посібників, що полегшують освоєння інструментів та методів аналізу аерофотознімків та супутникових даних [15].

В даній роботі я використовувала Державну супутникову програму Sentinel Hub EO Browser. По-перше, він є безкоштовною та дуже якісною програмою, яка пропонує безліч композицій та показує готові індекси відповідно до роботи.

Sentinel Hub — це платформа для обробки петабайтів супутникових даних. Вона відкриває нові можливості для машинного навчання та допомагає сотням розробників додатків по всьому світу. Sentinel Hub забезпечує простий доступ до зображень з Sentinel, Landsat та інших супутників спостереження Землі для перегляду, візуалізації та аналізу. Ви можете масштабувати свою систему глобально за допомогою інтуїтивно зрозумілого і зручного інтерфейсу, без будь-яких труднощів [16].

Водночас, EO Browser дозволяє переглядати та порівнювати зображення у повній роздільній здатності з усіх доступних колекцій даних. Нам просто потрібно вибрати область, що вас цікавить, задати бажаний період часу та рівень хмарності, а потім переглянути результати безпосередньо у браузері. Ми можете спробувати різні варіанти візуалізації або створити власний, завантажити зображення високої роздільної здатності чи навіть створити таймлапс.

Серед супутників, які застосовуються для дослідження Землі, виділяється Sentinel-2, що надає дані високого просторового і спектрального розрізнення, зокрема для аналізу рослинного покриву та водних об'єктів. Завдяки платформі EOBrowser можна отримувати й аналізувати дані із Sentinel-2, що полегшує доступ до важливих інформаційних ресурсів для моніторингу землекористування, стану ґрунтів і стихійних явищ.

Таблиця 2.1.

Загальне порівняння супутників LANDSAT та SENTINEL-2

<i>Характеристика</i>	<i>Landsat</i>	<i>Sentinel-2</i>
<i>Програма</i>	Геологічна служба США	Європейське космічне агентство програма Copernicus
<i>Запис даних</i>	Довготривалий (50+ років), безперервний.	Відносно недавній, але зростає.
<i>Просторова роздільна здатність</i>	30 метрів (видимий, NIR, SWIR), 100 м тепловий.	10, 20 і 60 метрів (варіюється залежно від діапазону).
<i>Спектральні діапазони</i>	Видимий, NIR, SWIR, тепловий інфрачервоний.	Видимий, NIR, SWIR, червоний край.
<i>Часова роздільна здатність</i>	16 днів	10 днів (5 днів з 2 супутниками).
<i>Теплові діапазони</i>	Так (Landsat 8/9 TIRS)	Ні
<i>Діапазони червоного краю</i>	Ні	Так
<i>Ширина смуги</i>	185 км	290 км
<i>Радіометрична роздільна здатність</i>	12-біт	12-біт
<i>Геометрична точність</i>	Схожа геометрична точність.	Схожа геометрична точність.

<i>Доступність даних</i>	Вільно доступні з USGS EROS	Вільно доступні з ESA Copernicus Open Access Hub
<i>Ключові застосування</i>	Зміни земного покриву, сільське господарство, лісове господарство, водні ресурси, довгострокові кліматичні дослідження, тепловий моніторинг.	Детальне картографування земного покриву, моніторинг рослинності (особливо з діапазонами червоного краю), сільське господарство, управління надзвичайними ситуаціями, прибережний моніторинг.
<i>Переваги</i>	Довгий історичний архів, послідовне калібрування, теплові дані, цінні для кліматичних досліджень.	Вища просторова роздільна здатність, частіші повторні відвідування, діапазони червоного краю для покращеного аналізу рослинності, ширша смуга.

На досліджуваній території я використовували дані зі супутника Sentinel-2, та обирала два різні періоди без хмарності. Було зроблено два знімки, але у чотирьох композиціях:

- 15.08.2021 – «Правдиві» та «Фальсифіковані» композиції, NDWI та NDVI;
- 17.08.2024 - «Правдиві» та «Фальсифіковані» композиції, NDWI та NDVI.

В даній роботі буде йти мова про виявлення порушених земель під час підриву дамби на початку війни та які наслідки ми отримали. Буде доцільно використати NDWI та NDVI для порівняння та аналізування земель.

2.2. Визначення дешифрувальних ознак

Під час виконання даного дослідження був застосований метод автоматизованого дешифрування, базуючись на яскравості, геометричні та комплексні.

Ознаки яскравості вважаються основними та єдиними. Вони включають характеристики, пов'язані зі світловими параметрами зображення. Вони дозволяють аналізувати інтенсивність світла, контраст та кольори, щоб визначити межі об'єктів, виявити джерела освітлення чи розподіл тіней. Наприклад, середня яскравість може свідчити про загальний рівень освітленості певної області, тоді як аналіз градієнтів яскравості допомагає виявити краю об'єктів чи переходи між різними зонами зображення.

Геометричні ознаки спрямовані на вивчення форм, розмірів та просторових розташувань об'єктів. Вони допомагають описати структуру зображення за допомогою таких параметрів, як довжина, ширина, співвідношення сторін чи форма об'єкта. Геометричний аналіз дозволяє розпізнати контури, кривини та розташування об'єктів один відносно одного. Наприклад, форми круглих чи квадратних об'єктів легко розрізнити завдяки подібним параметрам.

Комплексні ознаки об'єднують яскравість та геометричні характеристики, додаючи аналіз текстур, патернів та частотних компонентів. Вони дозволяють отримати більш глибоку інформацію про об'єкти, зокрема розпізнати типи поверхонь або визначити приховані закономірності, які не є очевидними під час візуального аналізу. Наприклад, текстурси можуть ідентифікувати шорсткі чи гладкі поверхні, а частотний аналіз, такий як хвильове перетворення, розпізнає повторювані візерунки чи деталі у зображенні.

Під час виконання даної роботи, за дешифрувальними ознаками було досліджено, що за окремими спектральними каналами або композиціями можна цілком визначити де затоплені землі, а де є рослинність. Але якщо говорити загалом, то ми не можемо із точністю сказати, яка саме рослинність та у якому вона стані, так само із станом затоплених земель, адже є різні типи. Тому головними композиціями у нас будуть із коефіцієнтами NDWI та NDVI.



Рис. 2.1. – Кольорова композиція «фальсифіковані кольори»: а – знімок після 25 лютого 2022 року (17.08.2024); б – до початку повномасштабного вторгнення Росії в Україну (15.08.2021).

2.3. Вибір еталонних ділянок

Еталонна ділянка дистанційного зондування Землі – це невелика, та перш за все, добре вивчена територія для певного дослідження. Вона використовується для калібрування, валідації та інтерпретації даних, отриманих за допомогою дистанційного зондування. Така ділянка слугує «еталоном» для інших ділянок, тобто для порівняння її із дослідженими за допомогою ДЗЗ.

Репрезентативність – основна вимога щодо відомостей еталонних вибірок [17]. Тобто пікселі мають відповідати відповідному класу на знімку, або іншими словами, відомості повинні відображати реальні умови та характеристики

території, для якої вони використовуються. Щоб вибірка дійсно відображала реальні характеристики об'єктів на землі, вона має відповідати кільком критеріям:

1. Однорідність гістограми розподілу яскравості є важливим показником. Чим ближче розподіл значень до нормального, тим краще, адже алгоритми обробки даних часто базуються на припущенні нормального розподілу. Це гарантує, що вибірка не містить аномальних значень, які можуть спотворити результати аналізу.

2. Мінімальність дисперсії свідчить про однорідність вибірки. Низька дисперсія означає, що значення яскравості в межах вибірки близькі одне до одного, що підтверджує її внутрішню узгодженість

3. Невеликі значення відхилень від середнього є необхідними для збереження показовості вибірки. Великі відхилення можуть свідчити про наявність викидів або неоднорідностей, що знижують її репрезентативність.

4. Роздільність вибірок у спектральному просторі є критично важливою. Якщо спектральні характеристики різних класів об'єктів перетинаються, це призводить до їхнього змішування та ускладнює точну класифікацію. Чітке розділення вибірок гарантує, що кожен клас об'єктів має унікальні спектральні характеристики, що дозволяє їх надійно розрізняти [17].

Для вибору еталонів використовують різні способи:

– Перший метод полягає у використанні набору сусідніх пікселів з близькими спектральними характеристиками. Цей підхід базується на тому, що об'єкти з подібними властивостями відображають сонячне випромінювання схожим чином. Аналізуючи спектральні сигнатури сусідніх пікселів, можна виділити однорідні ділянки, які відповідають певним типам земної поверхні.

– Другий метод – визначення області зображення – ідентифікація пікселів у деякій області. Цей метод передбачає виділення конкретної області на знімку, яка відповідає досліджуваному об'єкту. Це може бути зроблено вручну або за допомогою автоматизованих алгоритмів.

– Третій метод – використання класу з тематичного растрового шару в ГІС, яка відповідає області знімка. У геоінформаційних системах (ГІС) тематичні растрові шари містять інформацію про різні характеристики земної поверхні, такі як типи рослинності, ґрунти або геологічні формації. Використовуючи ці шари, можна швидко виділити ділянки на знімку, які відповідають певним класам.

– Четвертий метод – використання векторного шару, накладеного на знімок. Векторні шари містять інформацію про просторові об'єкти у вигляді точок, ліній або полігонів. Накладаючи векторний шар на знімок, можна виділити ділянки, які відповідають певним об'єктам, таким як поля, ліси або водойми. [17]

2.4 . Спектральні індекси даних дистанційного зондування Землі.

Спектральні індекси у дистанційному зондуванні Землі — це один із способів обробки супутникових знімків, який відомий як мультиспектральне перетворення. Цей метод передбачає перетворення значень яскравості, отриманих із супутникового датчика, у показники, які мають екологічне значення. Завдяки особливостям багатоспектральних даних супутників, вони дозволяють оцінити стан навколишнього середовища. Спектральний індекс визначають, як «синтетичну, цифрову змінну, що характеризує інтенсивність або розширення надто складного природного явища, що необхідно розбити на кількість параметрів, якими можна керувати» [18].

Існує безліч індексів, але якщо підкреслювати головні у використанні агросектору, то це є: NDVI, NDWI, SAVI, OSAVI, ARVI, EVI, VARI, LAI, NBR, SIPI, GCI, NDSI, ISTACK. Звісно, це все залежить від цілей клієнта/науковця.

Один з найбільш популярних індексів вважається вегетаційний індекс нормалізованої різниці (англ. Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) [19].

Одним з ключових напрямків є комплексна оцінка біоресурсів регіону. Розрахунок NDVI на основі знімків низької та середньої роздільної здатності забезпечує ефективний підхід до комплексного аналізу територій, дозволяючи отримувати загальне уявлення про розподіл та стан рослинності в межах великих регіонів.

У лісовому господарстві NDVI використовується для оцінки продуктивності лісів. Існує прямий зв'язок між значеннями індексу та продуктивністю лісових насаджень, що дозволяє застосовувати NDVI для вирішення різноманітних лісогосподарських завдань. Широке охоплення знімків MODIS дає можливість проводити порівняльну оцінку лісогосподарських угідь на рівні областей та оптимізувати планування відповідних заходів. Застосування NDVI дозволяє виділяти лісові ділянки з найбільш сприятливими еколого-кліматичними умовами для зростання хвойних порід.

Легкість та швидкість розрахунку NDVI роблять його незамінним інструментом для картографування наслідків лісових пожеж, аналізу якості відновлення лісів та моніторингу лісових рубок. Висока контрастність меж, що отримуються при використанні NDVI, дозволяє точно визначати площі ураження пожежами та вирубок. Зміна показників NDVI з часом дає можливість оцінювати швидкість і повноту відновлення лісових екосистем.

NDVI також ефективно застосовується для моніторингу опустелювання та процесів засолення ґрунтів. Зображення, побудовані на основі NDVI, наочно демонструють процеси деградації земель. Аналіз послідовних знімків дозволяє відстежувати динаміку скорочення рослинного покриву та збільшення площ засолених ґрунтів.

У контексті техногенних впливів NDVI використовується для картографування та моніторингу нафтових родовищ, картування аварій та оцінки їх наслідків. Індекс дозволяє ідентифікувати пригнічену рослинність, продуктивність якої значно відрізняється від здорової. Це знаходить застосування в моніторингу різноманітних стихійних лих, техногенних аварій та довготривалих негативних процесів.

Зокрема, розрахунок NDVI застосовується для оцінки наслідків впливу аварій нафтопроводів на зони рослинності, дозволяючи виділяти території висохлої та загиблої лісової і болотної рослинності внаслідок розливу нафти. Аналогічно, вегетаційний індекс дозволяє оцінювати та картографувати зони ураження рослинності аерозольними хімічними забрудненнями, виявляючи зони мертвого та різних стадій пригнобленого лісу внаслідок промислових викидів.

У проектах, пов'язаних з відновленням земель, NDVI використовується для аналізу ефективності рекультивації на місці відкритого видобутку корисних копалин, надаючи кількісну оцінку успішності відновлення лісових насаджень на оголених ґрунтах. Крім того, NDVI є цінним інструментом для оцінки та моніторингу зелених зон міст, дозволяючи аналізувати зміни площі та характеристик деревних насаджень у великих населених пунктах [20].

$$\text{Формула: } NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Значення NDVI варіюють від -1 до 1. Густа та здорова рослинність демонструє вищі значення, а ділянки без рослинного покриву характеризуються низькими значеннями NDVI.

Зелений нормалізований диференційний вегетаційний індекс (GNDVI). Іншими словами це модифікація звичайного і широкозастосованого індексу NDVI. Різниця їхня полягає в тому, що GNDVI вимірює вміст хлорофілу у рослинах точніше, ніж NDVI. Таким чином, використання даного індексу дуже добре застосовувати для виявлення рослин, що зів'яли або старіють, за відсутності крайнього червоного каналу; для моніторингу вегетації з густим покривом чи стадії дозрівання культур [21].

$$\text{Формула: } GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$$

Індекс SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) був розроблений дослідником Альфредо Уете для зменшення впливу ґрунтової яскравості на оцінку рослинного покриву. На відміну від NDVI, він включає спеціальний корекційний коефіцієнт L, який враховує властивості ґрунту — такі як вологість, колір і регіональні відмінності. Це дозволяє точніше вимірювати рослинність у районах із розрідженою рослинністю або відкритим ґрунтом.

Його доцільно використовувати для аналізу культур на ранніх стадіях розвитку; для моніторингу посушливої місцевості з мізерною вегетацією (менше 15% загальної площі) та відкритих просторів, де поверхня ґрунту не захищена рослинністю [21].

$$\text{Формула: } SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) * (1 + L)$$

Якщо говорити більш детально, то у вегетаційному індексі SAVI коефіцієнт корекції ґрунту L не має фіксованого значення — він варіюється в межах від -1 до $+1$ і залежить від густоти саме рослинного покриву. Якщо рослинність щільна, L приймає значення 0 , і в цьому випадку SAVI збігається з NDVI. Для територій із малим вмістом зеленої маси L встановлюють на рівні 1 . Найчастіше для універсальності використовується значення $0,5$ — як оптимальне для більшості умов та типів ґрунту.

OSAVI є вдосконаленою версією індексу SAVI. Як і SAVI, він базується на аналізі відбиття рослинності в ближньому інфрачервоному та червоному діапазонах спектра. Основною відмінністю є використання фіксованого коефіцієнта корекції — $0,16$, який компенсує вплив ґрунту при оцінці вегетаційного покриву.

Дуже важливий момент, що в умовах слабого розвитку рослинності фіксований поправний коефіцієнт в індексі OSAVI забезпечує точніше врахування змін у ґрунтовому фоні порівняно з SAVI. Крім того, OSAVI демонструє вищу інформативність на ділянках, де щільність рослинного покриву перевищує 50%, що робить його ефективним інструментом для моніторингу середньої та густої рослинності [21].

$$\text{Формула: } OSAVI = (NIR - RED) / (NIR + RED + 0.16)$$

Даний індекс доцільно використовувати для моніторингу ділянок зі слабким вегетаційним покривом, з ґрунтом, що проглядається крізь рослинність.

Індекс ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index) був розроблений Йорамом Кауфманом і Дідьє Танре як варіант NDVI, стійкий до атмосферного впливу, зокрема аерозолів. Його особливість полягає в тому, що він враховує

відбиття в синій частині спектра для корекції атмосферного розсіювання, а значення червоного каналу у формулі подвоюється. Завдяки цьому ARVI дозволяє отримувати точніші результати в умовах помутніння атмосфери або димки, що часто ускладнює інтерпретацію даних з супутників.

Якщо порівнювати його із іншими вегетаційними індексами, то ARVI менш чутливий до впливу рельєфу місцевості. Завдяки цій особливості він добре підходить для спостереження за рослинністю у складних топографічних умовах, зокрема в тропічних гірських районах. Це досить актуально для регіонів, де застосовується підсічно-вогневе землеробство, яке залишає по собі шари попелу, здатні впливати на якість дистанційного зондування [21].

$$\text{Формула: } ARVI = (NIR - (2 * RED) + BLUE) / (NIR + (2 * RED) + BLUE)$$

Його доцільно використовувати для моніторингу територій із високим вмістом атмосферних аерозолів — таких як дощ, туман, пил, дим або забруднення повітря — доцільно використовувати індекси, стійкі до впливу атмосфери.

Індекс EVI (Enhanced Vegetation Index), розроблений Х. Ц. Лю та А. Уете, був створений як альтернатива NDVI для більш точного аналізу рослинності, особливо в умовах густого зеленого покриву та атмосферних перешкод. Він включає додаткові коефіцієнти: C1 і C2 — для компенсації атмосферного розсіювання, а також L — для врахування ґрунтового фону. Значення індексу варіюється від -1 до +1, де здоровій рослинності відповідають значення від приблизно 0,2 до 0,8.

GIS-фахівці можуть зіткнутися з труднощами у виборі відповідних параметрів для розрахунку EVI за даними з різних супутників. Наприклад, датчик MODIS (який і був базою для створення індексу) використовує стандартні значення C1=6, C2=7.5 і L=1. Щоб уникнути складнощів при роботі з Sentinel-2 або Landsat-8, рекомендується використовувати онлайн-сервіси, такі як EOSDA Crop Monitoring, де можна легко отримати значення EVI та завантажити результати аналізу [21].

$$\text{Формула: } EVI = 2.5 * ((NIR - RED) / ((NIR) + (C1 * RED) - (C2 * BLUE) + L))$$

Даний індекс зазвичай застосовують для дослідження рослинного покриву в регіонах з високою концентрацією хлорофілу, таких як тропічні дощові ліси. Найкращі результати індекс дає на територіях із мінімальними топографічними варіаціями, тобто в рівнинних зонах, де рельєф не спотворює супутникові дані.

Індекс VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) ідеально підходить для обробки зображень у форматі RGB, оскільки охоплює весь видимий спектр — червоний, зелений та синій канали. Його основна функція полягає у виділенні рослинного покриву в умовах змінного освітлення та впливу атмосфери, таких як серпанок або пил. Завдяки низькій атмосферній чутливості, похибка при оцінці рослинності за допомогою VARI не перевищує 10%, навіть при змінній товщині повітряного шару. Індекс ефективно використовується із супутниковими сенсорами Sentinel-2, Landsat-8, GeoEye-1, QuickBird, Pleiades-1 та IKONOS [21].

$$\text{Формула: } VARI = (GREEN - RED) / (GREEN + RED - BLUE)$$

Доцільно використовувати для оцінки стану рослинності, коли потрібна мінімальна чутливість до атмосферних ефектів.

Вегетаційний індекс LAI (Leaf Area Index) застосовується для оцінки площі листя на території та відображає співвідношення між односторонньою поверхнею листя і площею ґрунту, який вони займають. Цей індекс є важливим інструментом для моніторингу стану сільськогосподарських культур, лісів та кліматичних змін. LAI розроблений для вдосконалення NDVI, враховуючи топографічні фактори і коригуючи спектральні зони з урахуванням атмосферних впливів. Значення LAI до 3,5 вказують на високу вегетацію, але погода може вплинути на точність вимірів [21].

$$\text{Формула: } LAI = \text{площа листя } (M2) / \text{площа землі } (M2)$$

Доцільно використовувати для аналізу стану культур у якості вступного параметра для моделі прогнозування продуктивності.

Індекс NBR (Normalized Burn Ratio) використовується для виявлення територій, які зазнали пошкоджень від пожеж. Він заснований на різниці відбиття в ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному

спектрі. Здорові рослини мають високу відбивну здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні, тоді як згорілі ділянки добре відображаються в короткохвильовому інфрачервоному спектрі. Індекс NBR застосовується для аналізу екстремальних погодних умов, що спричиняють лісові пожежі. Його розрахунок здійснюється на основі знімків супутників Landsat або MODIS. Значення варіюються від +1 до -1 [21].

$$\text{Формула: } NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

NBR зазвичай застосовують у сільському господарстві та лісівництві для виявлення пожеж, аналізу сили вогню, а також моніторингу вегетації, що вціліла внаслідок катастрофи.

Вегетаційний індекс SIPI використовується для аналізу рослинності з різною структурою пологу. Він розраховує співвідношення каротиноїдів до хлорофілу, причому високі значення індексу вказують на стрес рослин. Зокрема, підвищений рівень каротиноїдів і знижений вміст хлорофілу можуть свідчити про хвороби рослин, які призводять до зменшення кількості хлорофілу в їхньому покриві [21].

$$\text{Формула: } SIPI = (NIR - BLUE) / (NIR - RED)$$

Доцільно використовувати для моніторингу стану рослин на території з великою варіабельністю вегетаційної структури або в поєднанні з LAI для виявлення ранніх ознак захворювань сільськогосподарських культур та інших факторів стресу.

Вегетаційний індекс GCI використовується для оцінки рівня хлорофілу в листі рослин різних видів, що відображає їх фізіологічний стан. Зниження значень індексу вказує на стрес рослин, тому GCI є корисним інструментом для моніторингу їхнього здоров'я. Цей індекс дає більш точні результати щодо вмісту хлорофілу при використанні супутникових сенсорів, які охоплюють широкий спектр ближньої інфрачервоної та зеленої частин спектру [21].

$$\text{Формула: } GCI = NIR / GREEN - 1$$

Доцільно використовувати для моніторингу впливу сезонності на здоров'я посівів, екологічних стресів або пестицидів.

Вегетаційний індекс NDSI використовується для виявлення снігового покриву, комбінуючи канали зеленого діапазону видимого спектру (VIS) та короткохвильового інфрачервоного (SWIR). Сніг має високу відбивну здатність у SWIR і низьку в VIS, що дозволяє ефективно розрізнити його від хмар, які також добре відбиваються в цих діапазонах. Співвідношення відбиття в цих каналах дозволяє точно визначати наявність снігу, що робить NDSI більш точним інструментом порівняно з фракційним сніговим покривом (FSC) [21].

$$\text{Формула: } NDSI = (GREEN - SWIR1) / (GREEN + SWIR1)$$

Звідки випливає, що його доцільно використовувати для картування снігового покриву; щоб відрізнити сніг від хмар.

Також застосування набору вегетаційних індексів ISTACK. Він є комбінацією вегетаційних індексів NDVI, NDWI та NDSI. Перш за все, набір вегетаційних індексів автоматично класифікує та аналізує типи ландшафтів, дозволяючи проводити кількісний аналіз зображень на основі значень вегетаційних показників. Завдяки поєднанню різних спектральних каналів, цей аналіз має великий потенціал. Однак є й недолік: сніг, хмари, лід та водні об'єкти можуть виглядати схоже, що ускладнює їх точне розрізнення в деяких випадках.

Зазвичай, певний тип ландшафту відповідає умовний колір, до прикладу:

- зелений: рослинність;
- синій: земля, гори, ґрунт із відсутністю покриву;
- бузковий: сніг, хмари, лід, водні об'єкти.

Звідси маємо, що формула охоплює три індекси: NDVI, NDWI та NDSI, але водночас все залежить від супутника.

Його доцільно використовувати для автоматичної диференціації типів ландшафту за допомогою вегетаційних індексів NDVI, NDWI та NDSI, щоб створити стек зображень для супутників Landsat-4,5,7, Sentinel-2 та MODIS. [20]

Ще одним із важливих індексів є модифікований нормалізований різницевий водний індекс (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) - це варіант індексу NDVI, який використовується для виявлення водних об'єктів

у супутникових або аерокосмічних зображеннях. Він використовується для тих же цілей, що нормалізований різницевий водний індекс (NDWI), але він зменшує характеристики забудованих територій, які часто корелюють із відкритою водою в інших індексах. [22]

Він є ефективним індикатором вмісту вологи, проте його часто помилково ототожнюють з індексом NDMI (також відомим як NDWI GAO), хоча вони є різними індексами з унікальними формулами та областями застосування. NDMI використовує комбінацію ближнього (NIR) та короткохвильового інфрачервоного (SWIR) діапазонів для акцентування вмісту вологи саме в листі рослин. Натомість, NDWI обчислюється на основі комбінації видимого зеленого (GREEN) та ближнього інфрачервоного (NIR) діапазонів, що робить його придатним для виявлення навіть незначних змін у водних об'єктах [22].

$$\text{Формула: } NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

Індекс NDWI, запропонований Макфітерсом у 1996 році, сьогодні широко використовується для виявлення та моніторингу найменших флуктуацій у водних ресурсах. Завдяки використанню спектральних діапазонів NIR та GREEN, NDWI здатний підкреслити наявність водних об'єктів на супутникових зображеннях. Однак, важливою особливістю цього індексу є його чутливість до штучних споруд, зокрема будівель, що може призводити до завищеної оцінки площі водних об'єктів.

Таким чином для для точного виявлення водних об'єктів, чіткого окреслення їхніх контурів на картографічних матеріалах та відстеження динаміки їхніх змін ефективно застосовується нормалізований диференційний водний індекс (NDWI). Цей індекс використовує фундаментальну властивість води – її низьку відбивну здатність у інфрачервоному діапазоні, що лежить за межами видимого спектру. Завдяки цій характеристиці, NDWI успішно ідентифікує водойми на картах та дозволяє здійснювати моніторинг рівня каламутності води.

Значення цього індексу коливаються від -1 до 1. Вода має значення більше 0 [23].

У даному розділі було розглянуто процес підбору та отримання даних дистанційного зондування Землі з метою аналізу водних об'єктів і рослинного покриву. Особливу увагу приділила характеристикам супутникових знімків (спектральне, просторове, радіометричне й темпоральне розрізнення), а також використанню платформ Sentinel Hub EO Browser для роботи з даними супутника Sentinel-2. Проведено аналіз території, постраждалої внаслідок підриву дамби, із застосуванням індексів NDVI та NDWI. Описано методи автоматизованого дешифрування та вибору еталонних ділянок, а також розглянуто найпоширеніші спектральні індекси, що використовуються для оцінки стану рослинності, ґрунтів, водних об'єктів та наслідків техногенних катастроф. Таким чином, отримані результати свідчать про високу ефективність супутникових знімків для екологічного моніторингу й оцінки антропогенних змін на ландшафтах.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНА РЕАЛІЗАЦІЯ КАРТОГРАФУВАННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

3.1. Композиції тематичних карт

Супутникові сенсори здатні виявляти електромагнітне випромінювання в тих діапазонах, які людина не бачить неозброєним оком. Кожен спектральний канал охоплює певний діапазон хвиль і дозволяє виявити конкретні властивості земної поверхні. Якщо поєднати канали видимого світла з інфрачервоними, можна дізнатися більше про приховані процеси. Наприклад, за допомогою середнього інфрачервоного діапазону можна оцінити вологість ґрунту та рослин, а ближній інфрачервоний дає змогу визначити, скільки хлорофілу в рослинах, і зрозуміти, в якому вони стані — здорові чи ослаблені.

Тому спочатку відтворимо дві найбільш поширених композиції «Правдиві» та «Фальсифіковані» кольори. Композиція «Правдиві кольори» буде відображати справжні кольори, тобто дійсність, якими вона насправді є, а фальсифіковані – це вже канали будуть співставлені не до їх відповідності у каналах, що у результаті ми отримаємо різні кольори для різних поверхностей.



Рис. 3.1. – Кольорова композиція «правдиві кольори» – до початку повномасштабного вторгнення Росії в Україну (15.08.2021).

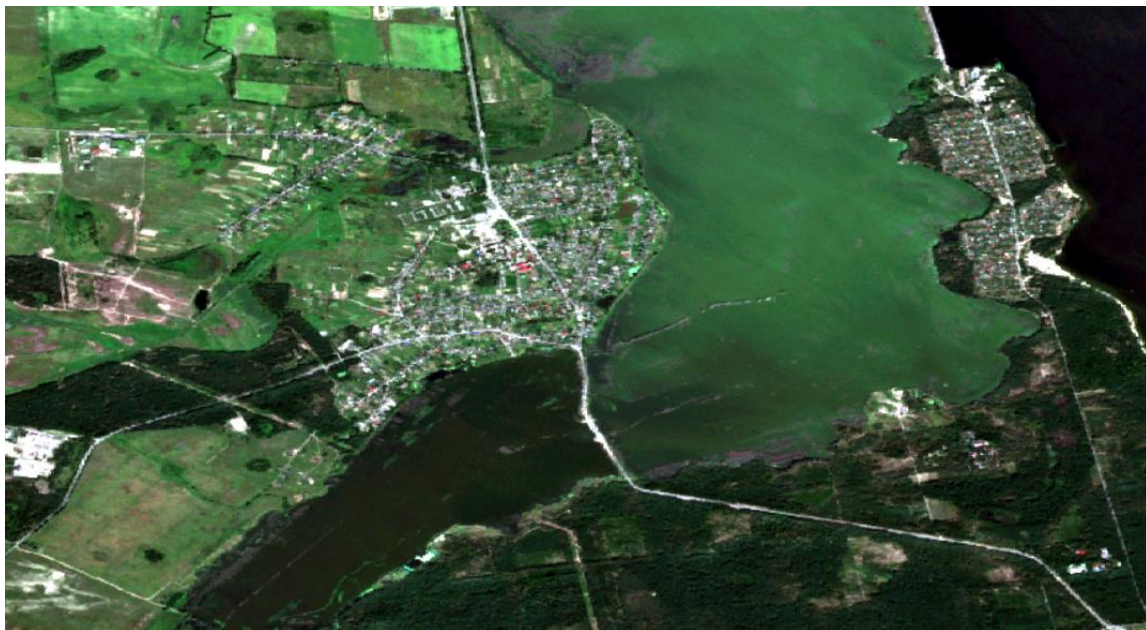


Рис. 3.2. – Кольорова композиція «правдиві кольори»– знімок після 25 лютого 2022 року (17.08.2024).

У даній композиції було проставлено такі спектральні канали:

- Голубий канал – 02 (голубий колір);
- Зелений канал – 03 (зелений колір);
- Червоний колір – 04 (червоний колір).

Таким чином, відповідність каналу кольору буде дорівнювати дійсності.

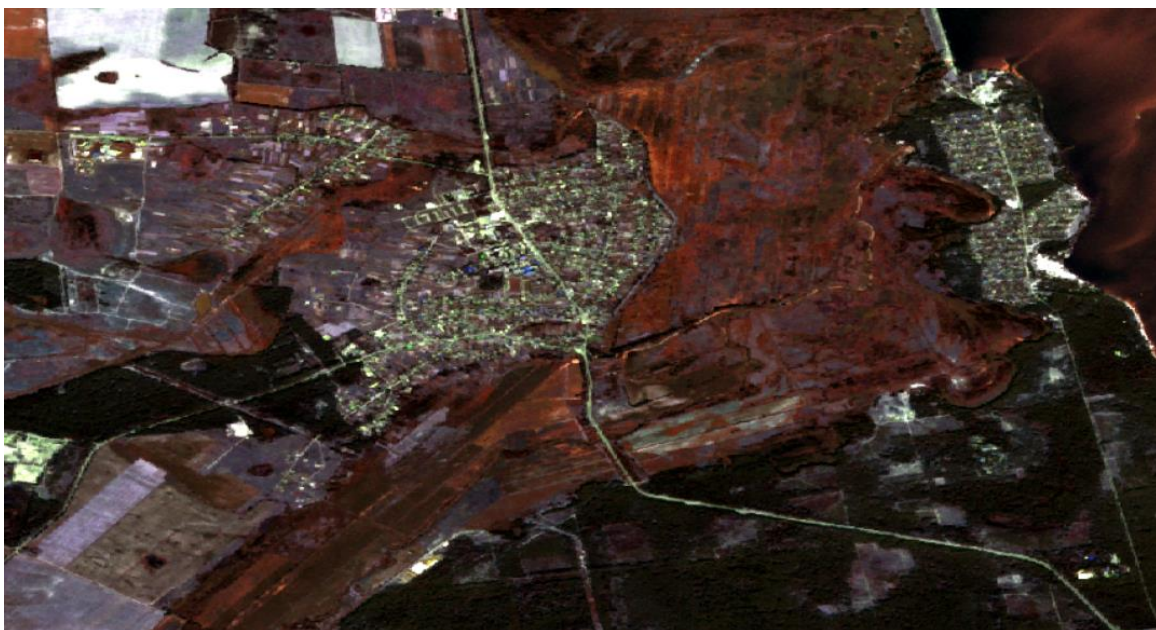


Рис.3.3. – Кольорова композиція «фальсифіковані кольори» – до початку повномасштабного вторгнення Росії в Україну (15.08.2021).

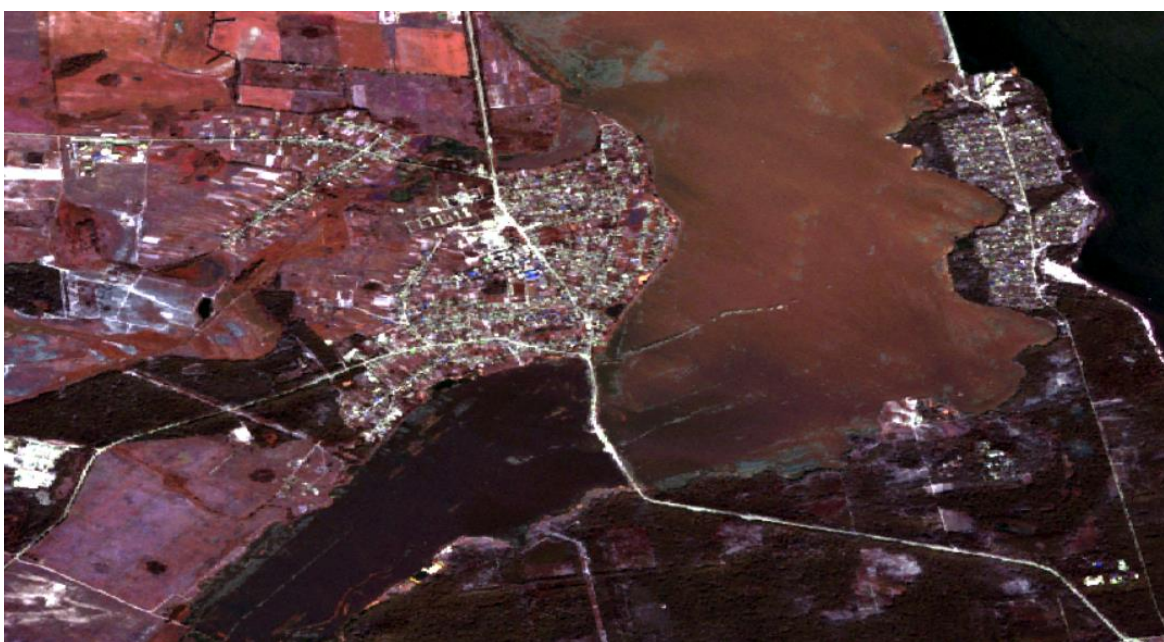


Рис. 3.4. – Кольорова композиція «фальсифіковані кольори»– знімок після 25 лютого 2022 року (17.08.2024).

У даній композиції було проставлено такі спектральні канали:

- Голубий канал – 04 (червоний колір);
- Зелений канал – 02 (голубий колір);
- Червоний колір – 03 (зелений колір).

У результаті отримуємо, що вода відображається ближче до червоного кольору, рослинність ближче темно-бордового, а от забудова світлим.

Для аналізу рослинного та водного покриву широко застосовуються спектральні індекси, серед яких особливе місце займають NDVI (нормалізований відносний індекс рослинності) та NDWI (нормалізований відносний індекс води). Ці індекси, що обчислюються на основі відбиття електромагнітного випромінювання від земної поверхні в різних спектральних діапазонах, дозволяють отримувати цінну інформацію про стан та динаміку рослинності та водних ресурсів.

Вибір саме індексів NDWI та NDVI з-поміж інших зумовлений їхньою високою спеціалізацією та ефективністю у вивченні водних та рослинних об'єктів. Їхня простота обчислення, доступність даних та комплементарність роблять NDWI та NDVI оптимальним вибором для широкого кола досліджень.

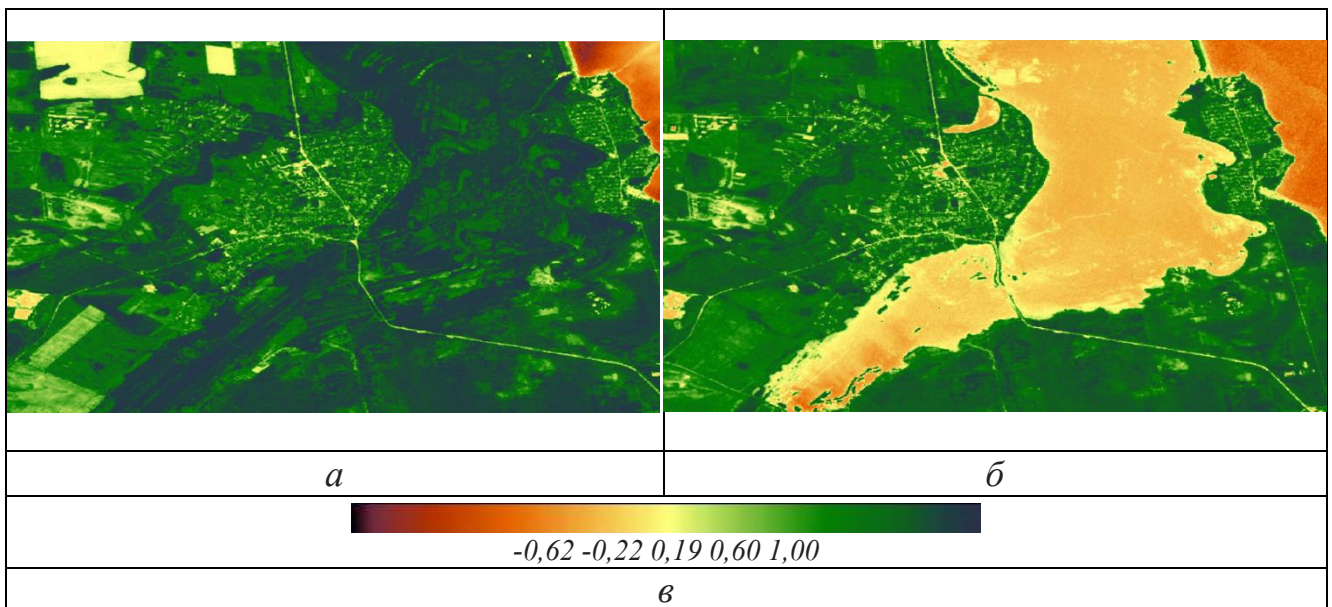


Рис. 3.5. – Значення NDVI в різні роки: а – 15.08.2021; б – 17.08.2024; в – умовні позначення

За рис.7 а та б можна побачити, що значна частина пасовищ та лук була втрачена (затоплена), адже коефіцієнти є від'ємними та мають жовтий колір. Водночас, на підтопленій території, є також і додатні коефіцієнти, через те, що там росли дерева. Наразі, вони ще стоять, і їх ще видно, тому на знімку деякі

площі враховуються із «кращою ситуацією», але насправді вся територія є затоплена. Що стосується рослинності то вона є здоровою, адже переважає коефіцієнт від 0,5-0,7.

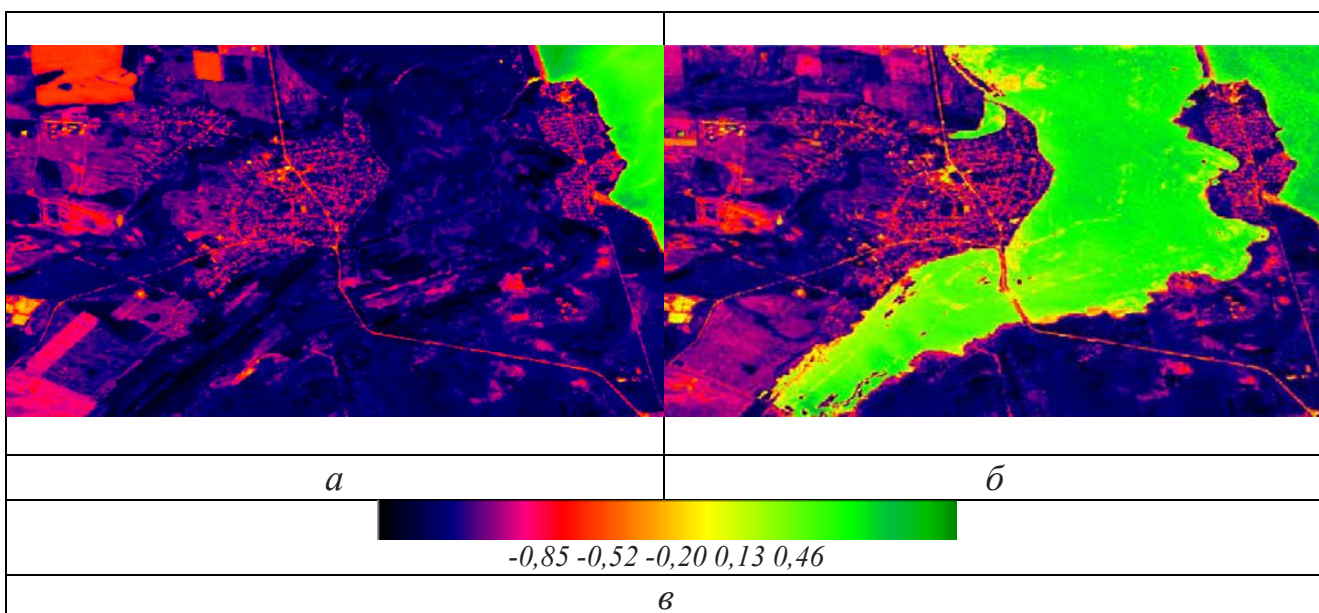


Рис. 3.6. – Значення NDWI в різні роки: а – 15.08.2021; б – 17.08.2024; в – умовні позначення

На рис. 8 а та б чітко показано територію, яка була затоплена під час підриву дамби, адже коефіцієнти набувають додатних значень, і переважають у межах від 0,3 до 0,26. Таким чином, територія, яка була під пасовищами та луками була втрачена. Також у південній частині села Демидова (центральна частина) можна спостерігати підтоплення присадибних ділянок. Попри цього, й наразі залишаються ще кілька вулиць, які є підтопленими. Города, колодязі, різноманітні дерева гниють, а у будинках залишається постійна сирість та цвіль на стінах та підлозі.





Водночас аналогічну ситуацію можна спостерігати і в с. Козаровичі. Воно знаходиться поблизу Київського водосховища. Південно-західна частина, присадибні ділянки, були підтоплені, що унеможливили їх використання за цільовим призначенням.

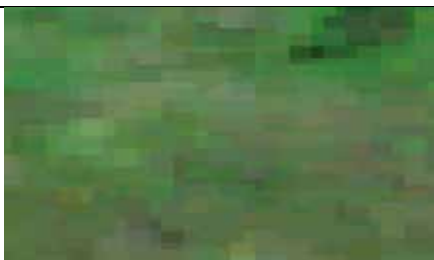


Таким чином, індекси необхідно підбирати для відображення в контрасті різних характеристик земної поверхні, адже відсутність рослинності в літній період не завжди буде вказувати на затоплення території [24].

Відповідно до наших композицій охарактеризуємо типи покриттів відповідно до наших об'єктів, які є на знімку використовуючи саму першу (таблиці 3.1.-3.4.).

Таблиця 3.1.


Типи покриттів по правдивим кольорам

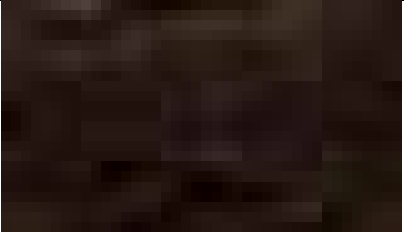

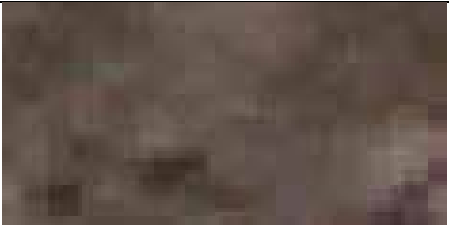
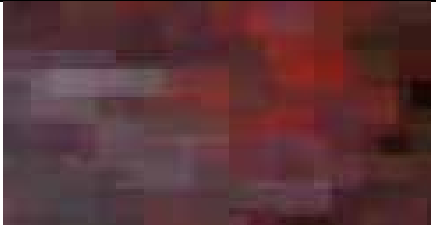


Код	Назва покриття	Опис	Вигляд
1	2	3	4
1	Водні об'єкти	Колір: чорний (у деяких випадках і із зеленим (через наявність рослин у воді)) Текстура: однорідна і щільна	
2	Ліс	Колір: темнозелений Текстура: неоднорідна, випукла	
3	Дорога	Колір: білий або світлосірий Текстура: неоднорідна, щільна, але іноді можуть бути зазори	
4	Рілля	Колір: світлокоричневий і приглушений зелений Текстура: неоднорідна і щільна	

5	Пасовище	Колір: світлокоричневий і салатовий Текстура: неоднорідна і щільна	
6	Сінокіс	Колір: різні відтінки зеленого Текстура: майже однорідна і щільна	
7	Забудова	Колір: різні відтінки, але переважає в основному сірий та білий. Також присутні червоні та сині кольори(дахи) Текстура: неоднорідна і не щільна	

Таблиця 3.2.

Типи покриттів по фальсифікованим кольорам



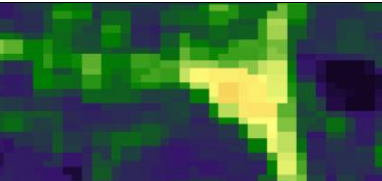


Код	Назва покриття	Опис	Вигляд
1	2	3	4
1	Водні об'єкти	Колір: чорний (у випадках представлено із червоним (наявність рослин у воді)) Текстура: однорідна і щільна	

2	Ліс	Колір: темнобордовий Текстура: неоднорідна, випукла	
3	Дорога	Колір: світлобежевий або білий Текстура: неоднорідна, щільна, але іноді можуть бути зазори	
4	Рілля	Колір: темнокоричневий і приглушений бордовий Текстура: неоднорідна і щільна	
5	Пасовище	Колір: темнобордовий і червоний Текстура: неоднорідна і щільна	
6	Сінокіс	Колір: різні відтінки червоного та помаранчевого Текстура: майже однорідна і щільна	
7	Забудова	Колір: різні відтінки, але переважає в основному світлобежевий та приглушено жовтий.	

		Також присутні сині та салаткові кольори(дахи) Текстура: неоднорідна і не щільна	
--	--	---	--

Таблиця 3.3.

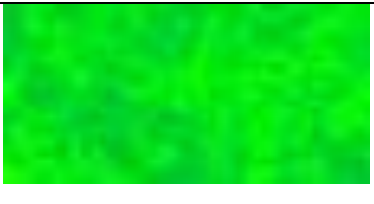
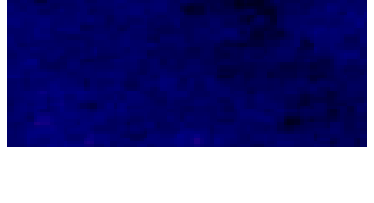
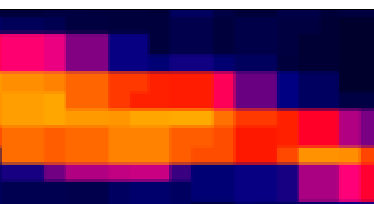
Типи покриттів по NDVI

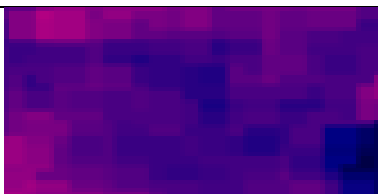
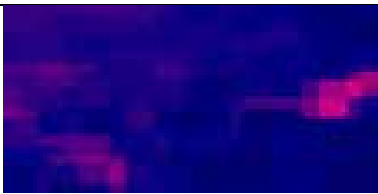
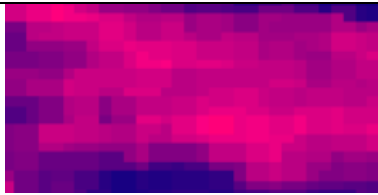
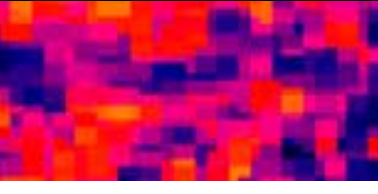
Код	Назва покриття	Опис	Вигляд
1	2	3	4
1	Водні об'єкти	Колір: жовтопомаранчевий Текстура: неоднорідна і щільна	
2	Ліс	Колір: темнозелений Текстура: неоднорідна, місцями випукла	
3	Дорога	Колір: світложовтий та салатковий Текстура: неоднорідна, щільна, але іноді можуть бути зазори	
4	Рілля	Колір: зелений Текстура: неоднорідна і щільна	
5	Пасовище	Колір: темносиній із відтінком зеленого Текстура: неоднорідна і нещільна	

6	Сінокіс	Колір: темносиній Текстура: майже однорідна і щільна	
7	Забудова	Колір: різні відтінки, але переважає в основному світлосалатовий та світложовтий. Текстура: неоднорідна і не щільна	

Таблиця 3.4.

Типи покриттів по NDWI

Код	Назва покриття	Опис	Вигляд
1	2	3	4
1	Водні об'єкти	Колір: світлосалатовий Текстура: неоднорідна і щільна	
2	Ліс	Колір: темносиній із вкрапленнями чорного Текстура: неоднорідна і не щільна	
3	Дорога	Колір: світлопомаранчевий Текстура: неоднорідна, щільна, але іноді можуть бути зазори	

4	Рілля	Колір: синій із фіолетовим Текстура: неоднорідна і щільна	
5	Пасовище	Колір: темносиній із рожевим Текстура: неоднорідна і нещільна	
6	Сінокіс	Колір: рожевий переважає із синім Текстура: майже однорідна і щільна	
7	Забудова	Колір: різні відтінки, але переважає в основному яскропомаранчевий та рожевий. Текстура: неоднорідна і не щільна	

Відповідно по аналізу покриттів за таблицями 3.1. – 3.4. можна зробити висновок, що по композиціям змінюється лише колір, а текстура залишається однією і тією ж самою.

3.2. Керована класифікація

Перш за все, керована класифікація – це коли здійснюється детальний аналіз пікселів, що знаходяться в межах кожного еталонного полігона, з метою формування спектральних сигнатур, які є унікальними для кожного типу земного покриття. Отримані спектральні характеристики слугують еталоном, за яким система здійснює класифікацію всього зображення. Кожен піксель на зображенні порівнюється зі створеними сигнатурами, і на основі цього порівняння йому

присвоюється відповідний клас покриття. Такий підхід забезпечує високу точність розпізнавання об'єктів завдяки попередньому навчальному етапу, що враховує реальні спектральні властивості різних поверхонь.

Алгоритмів існує безліч для класифікацій, але я взяла більш найпоширеніші «Hard Classifiers». Я обрала для порівняння три методи, які будуть відображати різні результати, але із важливою інформацією, щоб в подальшому провести більш чіткий аналіз: [25]

- Метод за паралелепіпедом;
- Метод за найближчим К сусідом;
- Метод за максимальної подібності.

Класифікація за методом паралелепіпеда - це алгоритм, який враховує діапазон значень для кожного каналу, формуючи багатовимірний паралелепіпед, що визначає клас земельного покриття. Піксель відноситься до класу, якщо його значення знаходяться всередині паралелепіпеда. Одним з основних обмежень є те, що пікселі, сигнатури яких знаходяться в областях перекриття двох або більше паралелепіпедів, не можуть бути класифіковані [26].



Класифікація за методом найближчого К сусіда - даний метод використовується для класифікації пікселів зображення на основі їх спектральних характеристик. Процес починається з вибору певної кількості (К) найближчих сусідів, тобто точок у просторі ознак, що є найбільш схожими до даної точки (пікселя), яку треба класифікувати. Для визначення "близькості" часто використовується евклідова відстань або інші метрики. Потім класи даних сусідніх точок аналізуються, і новій точці присвоюється той клас, який має більшість серед її сусідів. Цей метод є простим у реалізації, але його ефективність може залежати від вибору параметра К і від нормалізації даних. Він також добре працює з чітко розділеними класами, але може бути менш точним у випадку з перекриттям класів [27].

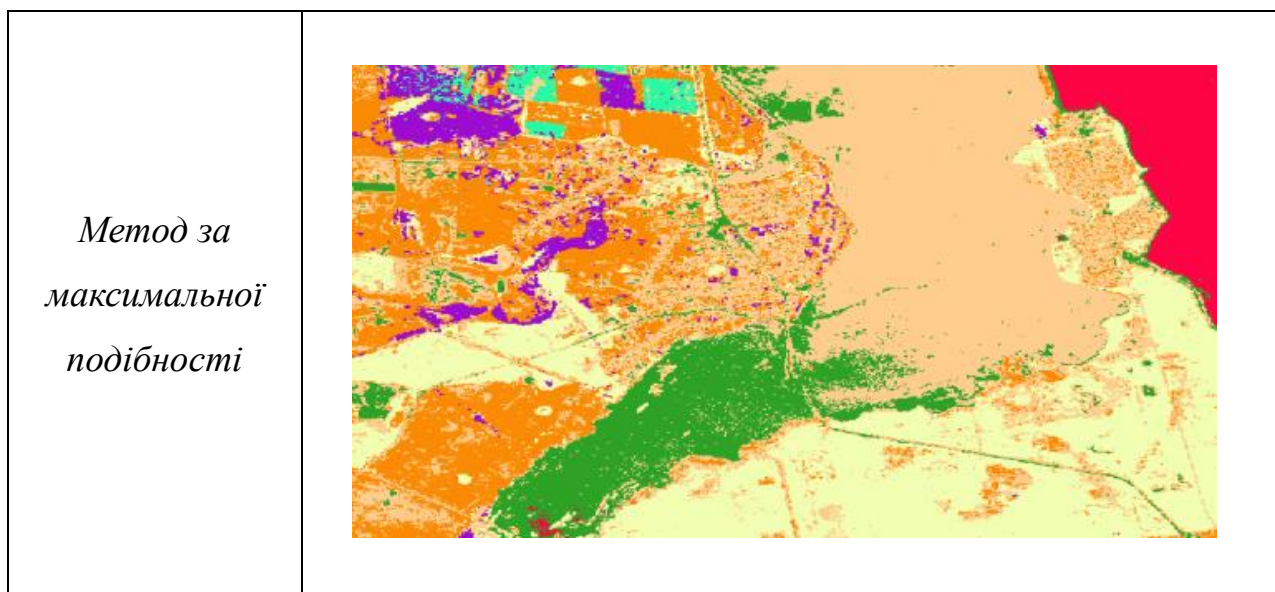
Класифікація за методом максимальної подібності - метод базується на припущенні, що кожен клас пікселів у зображенні має певний розподіл

ймовірностей, зазвичай нормальний. Він оцінює ймовірність того, що певний піксель належить до кожного з можливих класів, враховуючи його спектральні характеристики та статистичні параметри кожного класу. Потім піксель присвоюється тому класу, для якого ця ймовірність є максимальною. Такий метод є дуже точним, якщо розподіли класів добре визначені, але він може бути чутливим до відхилень від нормальності в даних або до неправильної оцінки статистичних параметрів [28].

Таблиця 3.5.

Результати класифікації порушених земель станом на 17.08.2024

<p><i>Метод за паралелепіпедом</i></p>	
<p><i>Метод за найближчим K сусідом</i></p>	



вода
 ліс
 дорога
 рілля
 пасовище
 сінокіс
 забудова

Метод за паралелепіедом. Дуже добре розпізнаються землі за рослинністю, такі як рілля, сінокіс та пасовища. Що стосується затоплених земель, то вони є чорним кольором. Це означає, що даний метод не може чітко віднести їх до якогось класу, через його спектральні канали. Це свідчить про те, що на цій території не лише вода, а й дерева, стовпи (ЛЕП) і інше. Через таку «плутанину» даному методу важко знайти [29].

Метод максимальної правдоподібності. Класифікація за даним методом не дала потрібного результату. Всі угіддя, класи розпізнаються випадково, крім окремих випадкових пікселів. За ним дуже добре розпізналось Київське водосховище.

Метод за найближчим К сусідом. Цей метод дав найкращі результати, порівнюючи із двома минулими, адже затоплені землі, віднесли до найближчих класів. Можна помітити, що майже всі угіддя та інфраструктура розпізналась. Таким чином, при визначенні порушених земель ДЗЗ найкраще використовувати метод за найближчим К сусідом [29].

3.3. Некерована класифікація

Некерована класифікація (англ. *unsupervised classification*), або класифікація без навчання, передбачає поділ пікселів зображення на відносно

однорідні групи виключно на основі подібності їхніх спектральних характеристик. Такий підхід застосовується у випадках, коли відсутні еталонні дані щодо наземних об'єктів, тобто коли немає попередньої інформації про їх спектральні особливості через нестачу наземних спостережень або нечіткість ландшафтних ознак на знімку. У подібних ситуаціях головним завданням аналітика стає обґрунтування доцільної кількості класифікаційних груп та встановлення їх відповідності реальним наземним об'єктам [30].

Дана класифікація не надає точних результатів.

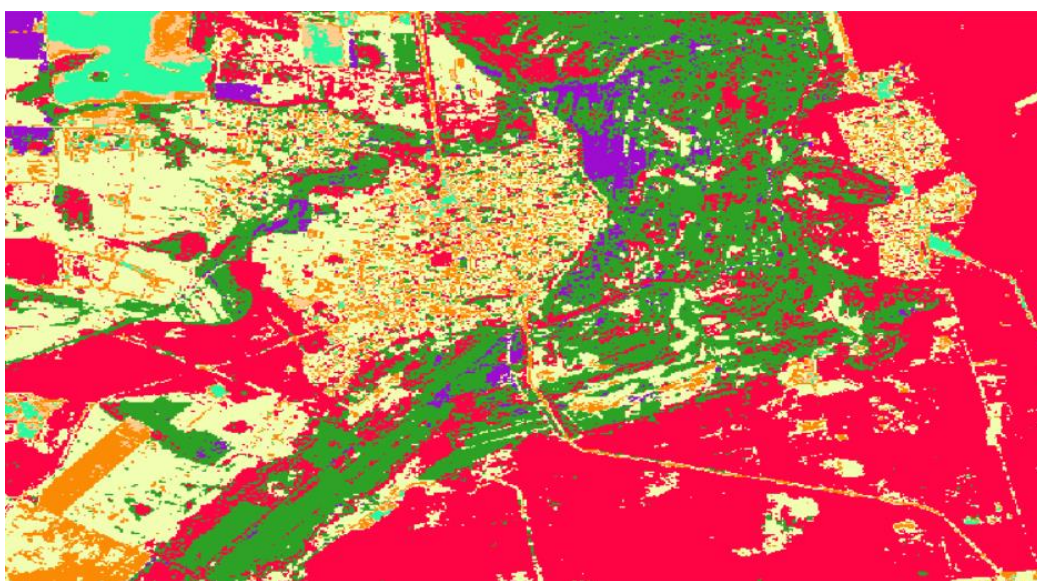


Рис. 3.7. – Некерована класифікація – 17.08.2024

вода
 рілля
 пасовище
 дорога
 ділянки без рослинного покриву
 сінокіс
 пісок
 вода

На рис. 9 всі угіддя відображаються неточно і неправильно. Це обумовлено тим, що немає чіткості по спектральному каналу, і біля одного пікселя знаходяться безліч різних. Тому через неоднорідність виникає така класифікація нечітка.

3.4. Практичні рекомендації

Такі наслідки є досить тяжкими не тільки для власників земельних ділянок, а й для ОТГ. Ця тема є досить актуальною, і наразі, дуже ваговою. Мешканці

с. Демидів намагаються власноруч уникнути втрат використовуючи зміцнення, щоб вода не піднялась. Вони використовують насипні загородження та укріплення мішками з піском.

Даний процес є дуже затратним, щоб повернути так, як було до підтоплення, але це можливо. Перш за все, це має бути залучення різноманітних міжнародних організацій щодо поліпшення ситуації. Це має бути не лише інженерно-технічні заходи, а й довгострокові та екологічні заходи.

Окрім залучення міжнародних організацій, важливу роль відіграє підтримка державних структур та громадських ініціатив. Місцева влада та об'єднані територіальні громади (ОТГ) повинні розробити комплексний план відновлення, який включатиме як термінові заходи для ліквідації наслідків підтоплення, так і довгострокові стратегії для запобігання подібним ситуаціям у майбутньому.

Насамперед необхідна фінансова та гуманітарна підтримка, зокрема надання матеріальної допомоги постраждалим мешканцям для відновлення їхніх домівок та господарств, організація волонтерських ініціатив і громадських проєктів, а також залучення грантів та міжнародного фінансування для проведення масштабних відновлювальних робіт.

Критично важливим є відновлення та зміцнення гідротехнічних споруд, зокрема будівництво нових дамб, укріплення вже існуючих, відновлення дренажних систем та встановлення сучасних водовідвідних технологій, які допоможуть контролювати рівень води у критичних точках.

Не менш значущими є екологічні заходи, зокрема розширення природних водопоглинальних зон, використання біоінженерних технологій для зміцнення берегів, а також запровадження ефективних сільськогосподарських практик, що зменшать ерозію ґрунтів та підвищать їхню водопоглинаючу здатність.

Використання індексів в дистанційному зондуванні як показник якості земель

Отже, за результатами проведеної обробки даних Sentinel-2 можна стверджувати, що визначення порушених земель з використанням методу за

найближчим К сусідом дає найкращі результати. Також при застосуванні індексу NDWI можна визначити затоплені території. При використанні некерованої класифікації вся територія розпізнається неправильно – тому при їх використанні для визначення порушених земель внаслідок затоплення необхідно дообстежувати територію наземними методами.

ВИСНОВКИ

В даній роботі використано індекси NDVI та NDWI щодо визначення порушених земель під час війни за даними супутника Sentinel-2. Адже NDVI дозволяє аналізувати рослинний покрив і визначати ступінь деградації земель, тоді як NDWI використовується для оцінки вологості ґрунту та змін у водному балансі території. Наразі, це є досить актуально під час умови сьогодення. Адже перебуваючи у безпечному місці, ми можемо проаналізувати та оцінити збитки в деяких випадках.

Перш за все, застосування методів дистанційного зондування є важливим інструментом для моніторингу стану земель, особливо в умовах воєнних дій. Використання різноманітних супутникових даних дозволяє оперативно отримувати актуальну інформацію про зміни у рослинному покриві, рівні вологості ґрунтів та загальний екологічний стан територій.

Індекси NDVI та NDWI відіграють ключову роль у визначенні порушених земель, оскільки вони дозволяють оцінювати рівень деградації рослинності та зміну водного балансу. Їхнє використання допомагає не лише виявити масштаби пошкоджень, а й здійснювати просторовий аналіз впливу воєнних дій на аграрні та природні екосистеми. Така важливість була продемонстрована на прикладі підриву Київського водосховища.

Загалом, отримані дані можуть бути використані для планування відновлювальних заходів, ефективного управління земельними ресурсами та оцінки екологічних ризиків. Комплексний підхід до аналізу супутникових знімків забезпечує можливість своєчасного реагування на негативні зміни та сприяє збереженню природного потенціалу земель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Remote Sensing. *NASA Earthdata*. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/remote-sensing>
2. А. Н. Некос, Г. Г. Щукін, В. Ю. Некос. Дистанційні методи досліджень в екології. Навчальний посібник. – ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. С. 226
3. Mahmoud Mohamed El-Sayed Gad, Mostafa H.A. Mohamed, and Mervat Refaat Mohamed Soil salinity mapping using remote sensing and GIS // *Geomatica*. 2021.
4. D.S. Rathore, Sc F. Remote sensing and GIS applications in crop mapping
5. Про охорону земель: Закон України від 08.11.2024 № 962-IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>
6. Земельний Кодекс України від 01.01.2025 № 3993-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
7. Земельний Кодекс України від 01.01.2025 № 3993-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
8. Підрив Каховської ГЕС. (2023, 6 червня). *Вікіпедія*. https://uk.wikipedia.org/wiki/Підрив_Каховської_ГЕС
9. Дослідження руйнування Каховської греблі та його наслідки для екосистеми, аграріїв, цивільного життя та міжнародного правосуддя. (2024, 6 червня). *TRUTH HOUNDS*. <https://truth-hounds.org/cases/zatopleno-vijnoyu-doslidzhennya-rujnuvannya-kahovskoyi-grebli-ta-jogo-naslidky-dlya-ekosystemy-agrariyiv-cyvilnogo-zhyttya-ta-mizhnarodnogo-pravosuddya/>
10. ТЕХНІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ З НОРМАТИВНОЇ ГРОШОВОЇ ОЦІНКИ ЗЕМЕЛЬ Димерської селищної територіальної громади Вишгородського району Київської області, (2023) *Товариство із обмеженою відповідальністю «ЛЕНД. КОМ»*
11. Демидів (Вишгородський район). (2007, 7 вересня). *Вікіпедія*. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Демидів_\(Вишгородський_район\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Демидів_(Вишгородський_район))

12. Демидів: як живе село, яке стало водним рубежем для ворога. (2023, 5 квітня). *Ukrinform*. <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3691926-demidiv-ak-zive-selo-ake-stalo-vodnim-rubezem-dla-voroga.html>
13. Штучні Супутники Землі: Їх Типи Та Застосування. *EOS DATA ANALYTICS*. <https://eos.com/uk/blog/shtuchni-suputnyky-zemli/>
14. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроєкологічний супутниковий моніторинг. – К.: Аграр. наука, 2019. – 204 с.
15. Ресурси для пошуку та використання супутникових зображень. (2023, 23 жовтня). *GLOBAL INVESTIGATIVE JOURNALISM NETWORK*. <https://gijn.org/ua/resurs-ua/resursi-dla-posuku-ta-vikoristanna-suputnikovih-zobrazen/>
16. About. *Sentinel Hub*. <https://www.sentinel-hub.com/about/>
17. Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій / Т. М. Курач – К., 2021 – 50 с. ст. 47
18. Ступень Р. М., Рижок З. Р., Ступень О. І., Застосування даних супутникового моніторингу для оцінки урожайності сільськогосподарських культур, (с. 252–257), Видавництво Львівського національного університету природокористування.
19. Didan, K.; Barreto Munoz, A.; Solano, R. & Huete, A. 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide. Collection 6, NASA
20. Стародуб Ю. П, Рак Т.Є., Урсуляк П. П., Спектральні індекси даних дистанційного зондування Землі в проектах вивчення екогеофізичного стану навколишнього природного середовища, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.
21. Вегетаційні індекси як розумні рішення для агробізнесу. (2024, 9 квітня). *EOS DATA ANALYTICS*. <https://eos.com/uk/blog/vehetatsiini-indeksy/>
22. Mastering Water Detection: MNDWI vs NDWI for Accurate Open Water Feature Delineation. *Farmonaut*. <https://farmonaut.com/remote-sensing/mastering-water-detection-mndwi-vs-ndwi-for-accurate-open-water-feature-delineation/>

23. NDWI: Нормалізований Диференційний Індекс Вологості. (2023, 9 листопада). EOS DATA ANALYTICS. <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndwi/>
24. Лещенко В.Ю., Застосування методів дистанційного зондування для моніторингу стану земель, Національний університет біоресурсів і природокористування України, 6-7 березня 2025 – 208 с. (188)
25. Remote Sensing and GIS .
https://mlsu.ac.in/econtents/452_Digital%20Image%20Classification%20Technique.pdf
26. Richards, J. A. and Jia, X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin, Germany: Springer.
27. Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій / Т. М. Курач – К., 2021 – 50 с.
28. Maximum Likelihood. NV5.
<https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/MaximumLikelihood.html>
29. Лещенко В.Ю., Картографування даних дистанційного зондування для моніторингу стану земель, Львівський національний університет імені Івана Франка Фізичний факультет, 2025 – 191 с. (113)
30. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма та ін. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с. (200-201)