

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

**ПОГОДЖЕНО**

**Декан факультету**

землевпорядкування

к.е.н. доц. Олександр ШЕВЧЕНКО

“    ”    \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

геоінформатики і аерокосмічних  
досліджень Землі

к.т.н. доц. Антоніна МОСКАЛЕНКО

“    ”    \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему:**

**«Моніторинг зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського  
водосховища»**

Спеціальність - 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – Геодезія та землеустрій

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

доктор економічних наук, професор

\_\_\_\_\_

(підпис)

Андрій МАРТИН

**Керівник магістерської**

**кваліфікаційної роботи**

кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Антоніна МОСКАЛЕНКО

**Виконав**

\_\_\_\_\_

(підпис)

Євген КОЛОТІЙ

**2025**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри  
геоінформатики і аерокосмічних  
досліджень Землі

\_\_\_\_\_ к.т.н. доц. Антоніна МОСКАЛЕНКО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту  
Колотію Євгену Євгеновичу

Спеціальність 193. Геодезія та землеустрій

Тема випускної магістерської роботи: «Моніторинг зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища» затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024р. № 2062 «С»

Термін подання слухачем завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до попереднього захисту

Вихідні дані до виконання роботи: геопросторові дані з відкритих джерел (OpenStreetMaps, Sentinel-2, SRTM), а також описові дані на територію Милівської громади Херсонської області.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналітичний огляд стану вивчення питання моніторингу агроландшафтів
2. Розробка моделей моніторингу стану агроландшафту
3. Реалізація розроблених моделей моніторингу стану агроландшафту

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ Антоніна МОСКАЛЕНКО  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв  
до виконання**

\_\_\_\_\_ Євген КОЛОТІЙ  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Моніторинг агроландшафтів тісно пов'язаний із використанням геоінформаційних систем (ГІС) та технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Це процес побудови моделі стану агроландшшафтів і визначення просторово-часових змін під впливом природних і антропогенних факторів із застосуванням програмних засобів ArcGIS, QGIS та TerrSet liberaGIS.

Перший розділ містить аналітичний огляд стану вивчення питання моніторингу агроландшафтів, аналіз сучасних методів спостереження, визначення ролі ГІС та ДЗЗ у системі моніторингу земель, а також класифікацію основних видів завдань та користувачів моніторингу. Розглянуто наукові підходи українських авторів до оцінки стану агроландшафтів, екологічної стабільності територій і метопів аналізу деградаційних процесів.

Другий розділ присвячено розробленню моделей зміни моніторингу стану агроландшафтів щодо впливу Каховського водосховища. У ньому подано узагальнену модель моніторингу, модель послідовності здійснення моніторингу, модель накопичення даних та логічну схему бази даних. Визначено підбір супутникових знімків Sentinel-2, а також розглянуто вегетаційний індекс NDVI та водний індекс NDWI для здійснення тематичної обробки, які дозволяють визначити щільність рослинного покриву, деградації земель та рівень водних об'єктів.

У третьому розділі охарактеризовано об'єкт дослідження – агроландшафти Милівської сільської територіальної громади Бериславського району Херсонської області, проведено моніторинг зміни стану агроландшафтів зв багатоспектральними супутниковими знімками. Створено тематичні карти вегетаційного індексу NDVI, водного індексу NDWI та методів класифікації за 5 червня 2023 року, 20 червня 2023 року та за 28 серпня 2025 року. Здійснено аналіз сезонних змін у межах прибережних зон Каховського водосховища до та після руйнації дамби у 2023 році. Отримані результати дозволили виявити зони деградації, ерозійної небезпеки та визначити напрямки еколого-економічного відновлення територій.

Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел літератури.

Магістерська робота налічує в собі 79 сторінок, 33 рисунки, 1 таблиця, 37 літературних джерел.

Ключові слова: агроландшафт, моніторинг, Каховське водосховище, ГІС, ДЗЗ, NDVI, NDWI.

## Зміст

РЕФЕРАТ .....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ АГРОЛАНДШАФТІВ.....	10
1.1. Стан моніторингу агроландшафтів .....	10
1.2. Використання ГІС та ДЗЗ в оцінці стану агроландшафтів .....	15
1.3. Класифікація видів завдань та користувачів моніторингу стану агроландшафту .....	21
Висновки.....	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АГРОЛАНДШАФТІВ.....	25
2.1. Узагальнена модель моніторингу стану агроландшафтів .....	25
2.2. Модель послідовності здійснення моніторингу стану агроландшафтів ...	28
2.3. Модель накопичення даних моніторингу стану агроландшафтів .....	30
2.4. Підбір даних дистанційного зондування Землі .....	33
2.5. Тематична обробка даних дистанційного зондування Землі .....	35
2.6. Функціональна модель послідовності обробки даних ДЗЗ.....	39
Висновки.....	40
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АГРОЛАНДШАФТУ .....	42
3.1. Характеристика агроландшафту Милівської сільської територіальної громади .....	42
3.2. Моніторинг стану агроландшафтів .....	47
ВИСНОВОК .....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	74

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасних умовах, коли вплив антропогенних та природних чинників на агроландшафти зростає, питання їхнього моніторингу набуває особливої актуальності. Моніторинг змін стану агроландшафтів Каховського водосховища є важливим у зв'язку з екологічними та соціально-економічними наслідками руйнування греблі Каховської ГЕС у 2023 році.

Ця подія спричинила значні зміни у гідрологічному режимі, що призвело до деградації ґрунтів, порушення структури агроландшафтів, втрати продуктивності сільськогосподарських угідь та посилення ризиків ерозії й опустелювання. У таких умовах виникає необхідність впровадження сучасних систем моніторингу, що базуються на використанні геоінформаційних систем (ГІС) та технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Ці технології надають можливість оперативно оцінювати стан агроландшафтів, виявляти тенденції їх змін та формувати рекомендації для ефективного управління земельними ресурсами. Дослідження є актуальним з огляду на необхідність екологічної реабілітації територій, підвищення їх продуктивності та забезпечення сталого розвитку в умовах післявоєнної відбудови України.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням дослідження агроландшафтів присвячені праці таких вчених: Колодницька Р.В., Рибалко Ю.В. та Бабка Р.В. [7, 9] та інші. Питаннями застосування ГІС та ДЗЗ для моніторингу змін займалися Казаченко Л.М., Васільєв Д.П. та Ільєнко Т.В. [13, 17] та інші. Однак тема моніторингу зміни стану агроландшафту щодо впливу водосховища ще не є повністю вивченою та потребує всебічного аналізу та вдосконалення.

**Мета і завдання.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка моделей системи моніторингу змін стану агроландшафтів у зоні впливу Каховського водосховища.

Для досягнення мети роботи були поставлені наступні завдання:

1. Провести аналіз сучасних досліджень щодо визначення стану агроландшафтів .

2. Розробити моделі моніторингу змін агроландшафтів із застосуванням ГІС та ДЗЗ оцінки змін стану агроландшафтів.

3. Дослідити реалізацію розроблених моделей моніторингу стану агроландшафту на прикладі Милівської сільської територіальної громади.

**Об'єкт дослідження:** агроландшафт Милівської сільської територіальної громади.

**Предмет дослідження:** моніторинг змін стану агроландшафту.

**Методи дослідження:**

1. Технології ГІС та ДЗЗ – просторовий аналіз динаміки агроландшафтів, використання супутникових знімків для відстеження динаміки змін агроландшафтів та визначення ключових екологічних показників.

2. Картографічний метод – створення тематичної карти, що відображає просторові зміни в агроландшафтах з урахуванням впливу Каховського водосховища.

3. Моніторинг агроландшафтів – регулярний моніторинг за допомогою сучасних методів збору даних для виявлення змін рослинного покриву та водного режиму територій.

4. Оцінка екологічного стану – аналіз екологічного стану агроландшафтів, включаючи оцінку деградації ґрунтів, засолення, ерозійні процеси та зміни в гідрологічному режимі, що спричинені Каховським водосховищем.

5. Аналіз багатоспектральних зображень – використання багатоспектральних супутникових даних для виявлення змін у рослинності, ґрунтах та водних ресурсах, а також для визначення екологічного стану агроландшафтів.

**Інформаційною основою магістерської кваліфікаційної роботи** є дані адміністративно-територіального устрою України (передані НДІГК для освітньої мети); законодавство України; дані з відкритих джерел (Open Street Maps, Sentinel-2, SRTM).

**Результат дослідження.** У роботі проаналізовано стан вивчення питання моніторингу агроландшафтів та проведено дослідження зміни стану

агроландшафту внаслідок руйнації Каховського водосховища. Було створено картографічну основу для підтримки прийняття рішень щодо охорони земель.

За результатами проведеного дослідження було підготовлено тези: Колотій Є. Є., Москаленко А. А. Моделювання алгоритму визначення зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища. Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток: зб. матеріалів міжнар. наук. конф. Київ: НУБіП України, 2024. С. 373-374. - Режим доступу: <https://old.nubip.edu.ua/node/154260>

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ АГРОЛАНДШАФТІВ

## 1.1. Стан моніторингу агроландшафтів

Моніторинг агроландшафтів є важливим інструментом, що забезпечує ефективне управління земельними ресурсами та сприяє збереженню екологічної безпеки. Однією з ключових складових цього процесу є систематичний збір, аналіз та оцінка змін, що відбуваються в агроландшафтах під впливом природних і антропогенних факторів. Завдяки сучасним методам спостереження, включаючи наземні обстеження та аналітичні підходи можна визначити зміни у структурі, продуктивності та екологічному стані земель, що дозволяє своєчасно приймати ефективні управлінські рішення.

За визначенням Каленської О.А. та Сакаль О.В.: *«Агроландшафт – це комплексне поняття, що враховує взаємодію природного і антропогенного ландшафту»* [1].

Агроландшафти виникають у процесі взаємодії природних потенціальних комплексів із землеробською системою, що включає інфраструктурні об'єкти та заходи для захисту ґрунтів від ерозії. До таких заходів належать лісосмуги, гідротехнічні споруди різних типів, межі полів і сівозмін, польові дороги та елементи гідрографічної мережі [2].

До екологічно стабільних факторів агроландшафтів належать (рис. 1.1) [3]:

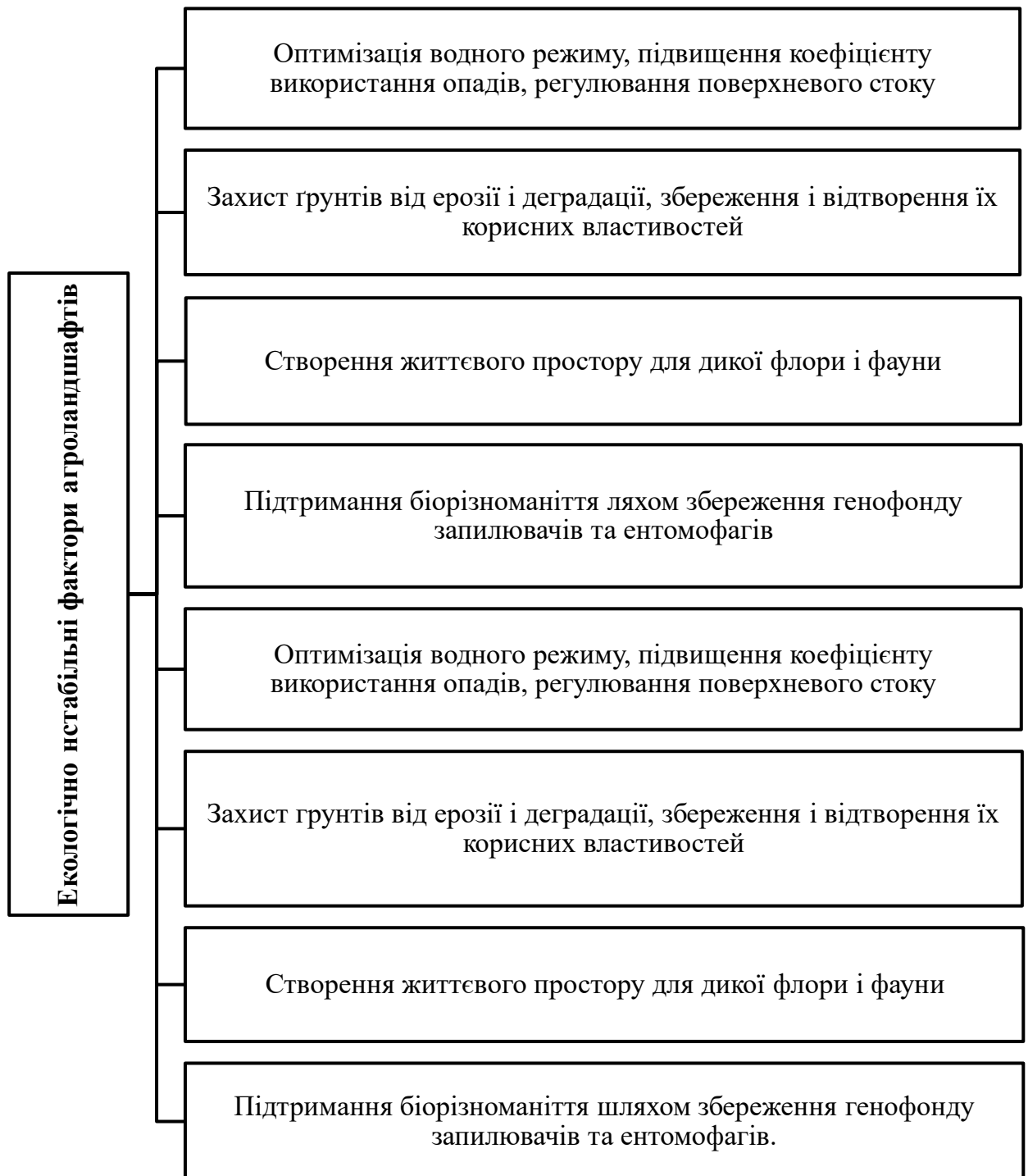


Рис. 1.1 Фактори які сприяють екологічній стабільності агроландшафтів

До екологічно нестабільних факторів відносять (див. рис. 1.2) [3]:

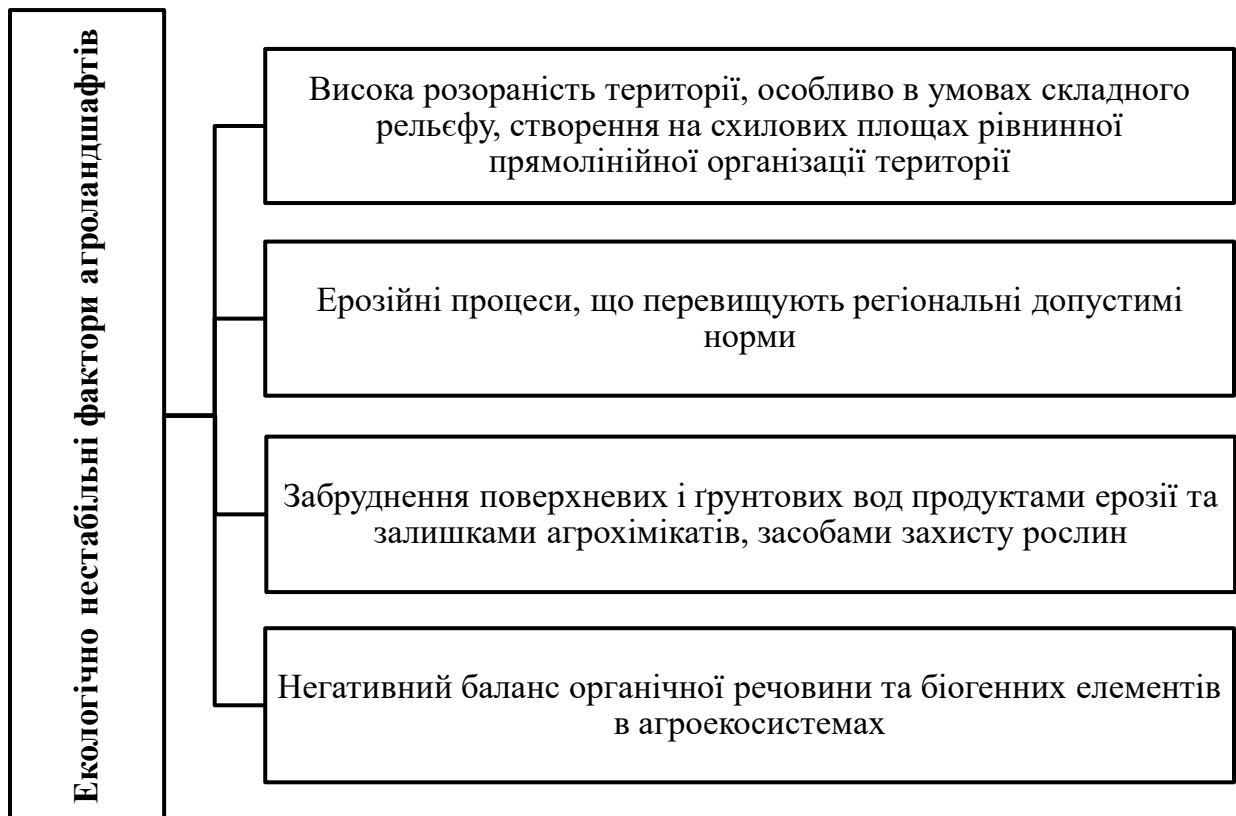


Рис. 1.2. Фактори які сприяють екологічній нестабільності агроландшафтів

За визначенням з сайту «Центр екологічного моніторингу»: *«Моніторинг – це систематичний процес збору, аналізу та оцінки даних про стан навколишнього середовища з метою виявлення змін, які можуть вплинути на екосистеми, здоров'я людей та економіку. Цей процес є важливим інструментом для управління природними ресурсами, запобігання екологічним катастрофам та забезпечення сталого розвитку»* [4].

Основні завдання моніторингу включають (див. рис. 1.3) [5]

В працях Мудрак О.В. та Мудрак Г.В. обґрунтували необхідність комплексного екологічного моніторингу агроландшафтів через екологічно необґрунтоване землекористування, деградацію ґрунтів та порушення збалансованості агроландшафтів. Розробили науково-обґрунтовану методіку вдосконалення моніторингу, визначили його етапи, специфіку та ключові параметри. Довели необхідність впровадження комплексної системи

екологічного моніторингу на державному рівні та створення регіональних інформаційно-консультаційних центрів з агроекологічних питань [6].



Рис. 1.3. Основні завдання моніторингу

Колодницька Р.В. проаналізувала основні методи дослідження сучасного стану антропогенних територіальних систем, що застосовуються під час аналізу і моніторингу агроландшафтів у межах заповідних територій, що дозволяє розглядати, як антропогенно-викликану мінливість таких компонентів територіальних систем, як фітоценози і ґрунти, так і реакцію самих ландшафтних утворень на ці впливи [7].

Білявський Г.О. та Верестун Н.О. проаналізували поняття екологічного та агроекологічного моніторингу на основі опрацьованих інформаційних джерел. Запропонували комплекс заходів для вдосконалення методики організації та проведення агроекологічного моніторингу з метою забезпечення збалансованого розвитку агросфери Вінниччини. Оцінили актуальні підходи до моніторингу стану агроландшафтів та обґрунтували необхідність їх удосконалення для ефективного управління природними ресурсами регіону [8].

Рибалко Ю.В. та Бабка Р.В. розглянули проблему комплексного розвитку сільських територій за показниками екологічної стабільності агроландшафтів та антропогенного навантаження. Провели детальний аналіз земельного фонду Чернігівської області, розрахували коефіцієнт антропогенного навантаження, рівень розораності та коефіцієнт екологічної стабільності, що дозволило оцінити раціональність структури землекористування. Оцінили екологічний стан земель і визначили напрями оптимізації угідь для забезпечення сталого розвитку агроландшафтів [9].

Давидюк Г.В., Шкарівська І.В., Клименко І.І., Довбаш Н.І. та Повидало М.В. провели еколого-агрохімічну оцінку агроландшафтів Львівської області та дослідили вплив антропогенного навантаження на стан природних вод і ґрунтів у сільських населених пунктах. Визначили якість природних вод (відкриті водойми, криниці, водогони) та фізико-хімічні й агрохімічні показники ґрунтів (поля, перелоги, присадибні ділянки). Встановили, що якість вод не завжди відповідала нормативним вимогам за вмістом азотних сполук. Оцінили різний рівень антропогенного навантаження на різні типи угідь, виявивши, що присадибні ділянки мають вищу родючість, але також підвищений вміст рухомих форм важких металів, що у низці випадків перевищує ГДК. Висвітлили необхідність подальшого моніторингу агроландшафтів і підвищення рівня інформаційно-просвітницьких заходів для запобігання екологічним ризикам у введенні присадибного господарства [10].

Отже, моніторинг агроландшафтів є невід'ємною складовою раціонального використання земельних ресурсів, що сприяє їхній екологічній та

економічній стабільності. Систематичний аналіз змін, зумовлених природними та антропогенними чинниками, дозволяє своєчасно виявляти негативні тенденції та розробляти заходи для їхнього усунення. Використання сучасних методів спостереження забезпечує високу точність оцінки стану агроландшафтів, що є ключовим фактором для прийняття обґрунтованих рішень у сфері земельного управління.

## **1.2. Використання ГІС та ДЗЗ в оцінці стану агроландшафтів**

Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є невід'ємними інструментами для моніторингу стану агроландшафтів, особливо в умовах змін, пов'язаних з впливом природних та антропогенних факторів. Застосування цих технологій дозволяє отримати точні, своєчасні та об'єктивні дані для оцінки екологічного стану територій, ефективного управління природними ресурсами та планування аграрної діяльності.

В праці Власова О.В. проаналізовано стан чинного еколого-меліоративного моніторингу та доведено необхідність удосконалення його теоретичних і методичних основ завдяки використанню даних дистанційного зондування Землі, а також розробили теоретичні основи взаємозамінності супутникової та наземної інформації, що базуються на урахуванні просторово-часової мінливості та умов функціонування агроландшафтів і спрямовані на досягнення оптимального ступеня упорядкування інформації [11].

Ліщенко Л.П., Пазинич Н.В. і Філіпович В.Є. використали сучасні мультиспектральні супутникові дані високої просторової розрізненості для ідентифікації та уточнення місцеположення зсувів у місті Києві. Вони встановили чинники активізації зсувних процесів у режимі моніторингу та здійснили прогноз можливої активізації зсувів. А також створили геоінформаційну систему Придніпровської зсувної зони міста Києва [12].

Казаченко Л.М. дослідив застосування ГІС-технологій і дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для виявлення та моніторингу зсувних процесів ґрунту в населених пунктах. Продемонстрував, що використання космічної інформації

дозволяє ідентифікувати зони деградації ґрунтового покриву, а накладання отриманих даних на цифрові карти сприяє точнішому аналізу та прогнозуванню таких явищ. Дане дослідження підкреслює важливість регулярного моніторингу та своєчасного реагування на загрози, що допомагає запобігати негативним наслідкам і приймати ефективні управлінські рішення [13].

Шевчук С.М., Прокопенко Н.І. та Рожі Т.А. проаналізували використання геодезичних даних у плануванні та моніторингу агроландшафтів для оптимізації землекористування та охорони природи. Використали супутникові знімки високої роздільної здатності (WorldView-4) для оцінки просторової структури агроландшафтів, їх стану та рівня та рівня деградації. Визначили, що деградація ріллі спричинена переважно зливом родючого шару. Обґрунтували доцільність інтеграції геодезичних даних у ГІС для впровадження адаптивно-ландшафтного землеустрою, що сприяє контролю антропогенного впливу та збереженню екологічної стійкості сільськогосподарських територій [14].

Слободяник М.П. проаналізував особливості застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) для моніторингу лісових ресурсів. Він охарактеризував сильні та слабкі сторони використання цих технологій державними органами під час прийняття рішень у сфері охорони та захисті лісів [15].

Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л., Адамчук-Чала Н.І. та Білокінь О.А. проаналізували розвиток дистанційного агроекологічного моніторингу та ефективність супутникових даних у сільському господарстві. Оцінили програму «Агрокосмос» та її роль у моніторингу агроландшафтів, змін клімату, стану посівів і деградації ґрунтів. Визначили необхідність удосконалення класифікації агроландшафтів та методів обробки супутникових знімків для підвищення точності оцінки. Обґрунтували діяльність створення мережі підсупутникових аграрних полігонів та міжвідомчого інформаційно-аналітичного центру «Агрокосмос» для координації наукових досліджень і впровадження супутникового моніторингу в управлінні аграрним виробництвом [16].

Васільєв Д.П. та Ільєнко Т.В. проаналізували використання дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки процесів опустелювання й деградації земель в агроєкосистемах. Використали супутникові знімки, математичні моделі та геоінформаційні системи для визначення територій, схильних до деградації, та оцінки стану агроландшафтів. Визначили, що інтегрований підхід із залученням ДЗЗ, ПС та математичного моделювання підвищує точність оцінки деградаційних процесів. Обґрунтували необхідність адаптації моделей до регіональних умов і розробки прогнозних методик для своєчасного виявлення деградаційних процесів та збереження екологічної стійкості агроландшафтів [17].

Фурдичко О.І., Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Коковіхін С.В. і Солоха М.О. удосконалили систему дистанційного агроєкологічного моніторингу для прогнозування впливу потепління клімату на врожайність зернових культур. Використали супутникові дані NOAA STAR NESDIS та індекс NDVI для оцінки стану рослинності, а також безпілотні літальні апарати для аналізу ерозійної деградації агроландшафтів. Визначили ефективність технологій ДЗЗ/ГІС для моніторингу вологозабезпечення, посушливих явищ і прогнозування продуктивності зернових культур. Обґрунтували доцільність застосування БПЛА для визначення ерозійної деградації ґрунтів і запропонували відповідну методику, апробовану на території Богодухівського району Харківської області [18].

Горбатенко А. проаналізував стандарти та закони, що регулюють розроблення та використання геоінформаційних систем в агросфері, а також державні програми, в яких було б доцільним використання можливостей геоінформаційних технологій. Запропоновано покроковість створення спеціалізованої геоінформаційної системи для оцінки та моделювання екологічних процесів агроландшафтів [19].

Зацерковний В. І., Гур'єв В. І. та Кривоберець С. В. розглянули підхід щодо необхідності застосування технологій дистанційного зондування для

ефективного агроекологічного моніторингу земельних ресурсів і показані діапазони знімання, що можуть застосовуватись у його процесі [20].

Мудрак О.В., Ганчук М.М., Скиба В.П., Циганов та Ганчук К.О. провели дослідження екологічного моніторингу посух, використовуючи сучасні технології дистанційного зондування, супутникові знімки, геоінформаційні системи (ГІС) та математичне моделювання. Оцінили ризики посухи, її вплив на сільське господарство, водні ресурси та екосистеми, а також розробили підходи для адаптації до змін клімату. Застосували супутникові індекси NDVI та NDWI для аналізу вегетаційного покриву і рівня вологості ґрунту, виявили, що в середині вегетаційного періоду 2024 року 15% досліджуваних територій мали NDVI нижче 0,2, що свідчить про проблеми з розвитком рослинності, а значні площі демонстрували критичний рівень вологості (NDWI – 0,2). Результати роботи показують, що в Запорізькій області через глобальні зміни клімату та воєнні дії активізувалися процеси посухи, що потребує впровадження ефективних заходів управління водними ресурсами та землекористуванням [21].

Овчаренко А.Ю. та Залюбовська О.В. дослідили ландшафтні зміни НПП «Слобожанський» у заболочених районах, застосували космічні знімки та ПС-технології. Вони порівняли традиційні та сучасні методи моніторингу, удосконалили ландшафтну зйомку та обґрунтували вибір супутникових знімків. Для детального аналізу використовували PlanetScore (3 м), а для ширших територій Landsat 8 (10-30 м). Розроблено інструменти для обробки геоданих у SAGA, ArcGIS, QGIS. Дане дослідження підтвердило ефективність напівавтоматичної класифікації для дешифрування знімків, а запропонована методика є перспективною для моніторингу водно-болотних угідь [22].

Зацерковний В. І., Трофименко П. І. та Сивик Д. О., Бабич О. А. розглянули застосування, інтеграцію технологій ПС та ДЗЗ в агроекологічному моніторингу [23].

Зацерковний В. І., Оберемок Н. В. та Кун Ю. В. дослідили можливості застосування ГІС і комп'ютерних технологій для аналізу ландшафтної структури та оцінки антропогенних змін. Розглянули методи обробки даних для

ландшафтного картографування, визначили основні завдання геоінформаційно-картографічного забезпечення моніторингу та сформулювали принципи картографування динаміки змін ландшафтів. Представлено функціональну схему ГІС для геоекологічного моніторингу та методику геоекологічної оцінки територій. Дослідження підтвердило, що використання сучасних ПС-технологій поглиблює регіональні та прикладні ландшафтні дослідження [24].

Тараріко О.Г. Ільєнко Т.В. та Кучма Т.Л. розглянули використання ГІС/ДЗЗ-технологій для аналізу динаміки змін клімату по регіонах, його впливу на рослинність та ризики ерозійної деградації агроландшафтів [25].

Швиденко І.К. дослідила процес розвитку та поширення верхівкового короїда в лісових масивах Овруцького лісового господарства. Детально проаналізувала методи виявлення та моніторингу кризових явищ, зокрема поширення верхівкового короїда за допомогою даних дистанційного зондування. Оцінив ефективність застосування супутникових технологій та аерофотознімання для виявлення осередків ураження. Визначила необхідність удосконалення алгоритмів аналізу супутникових знімків та інтеграції багатоспектральних даних для підвищення точності оцінки лісопатологічного стану насаджень. Обґрунтувала доцільність розробки єдиної системи моніторингу поширення верхівкового короїда та заходів із запобігання його подальшому розповсюдженню [26].

Мельник О. та Денисюк В. проаналізували зміни водно-болотних ландшафтів басейну річки Стохід на Волині та їх вплив на сталий розвиток регіону й природний баланс із використанням ГІС та дистанційного зондування. Оцінили структуру та розподіл ландшафтів за допомогою геопросторових даних для точного картографування території. Висвітлили екологічні аспекти та визначили найефективніші стратегії збереження та управління природними ресурсами. Дослідили динаміку змін водно-болотних угідь і розробили рекомендації щодо їхнього раціонального використання. Провели контрольовану класифікацію даних у сервісі Earth Engine, де класифікатор SmileCART продемонстрував найвищу точність (99,50%) [27].

Машков О.А., Фролов В.Ф., Жукаускас С.В. і Нігородова С.А. розглянули особливості системного використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу еколого-технічного стану водно-технологічних систем. Запропонували технологію проведення моніторингу поверхневих вод за даними дистанційного зондування Землі та дослідили комплексний вплив забруднюючих речовин на екологічний стан водних екосистем із використанням аерокосмічних технологій [28].

Зацерковний В., Савков П., Пампуха І. та Васецька К. розглянули проблеми лісової галузі України, акцентуючи увагу на масштабних лісових пожежах як основному чиннику зменшення площ лісів. Проаналізували ефективність профілактичних і попереджувальних заходів та визначили необхідність удосконалення моніторингу параметрів пожеж, зокрема їхньої площі, периметру, радіаційної потужності, оцінки збитків і змін рослинності. Оцінили можливості дистанційного зондування для інвентаризації післяпожежного стану лісів, дослідження динамічних змін та оцінки запасів лісових ресурсів. Обґрунтували важливість супутникового моніторингу для своєчасного виявлення пожеж, контролю лісозаготівель, картографування лісових територій та оцінки їхньої лісистості, що сприяє раціональному використанню лісових ресурсів і мінімізації збитків [29].

Миколенко Л. дослідив методичні аспекти використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу зсувонебезпечних територій. Проаналізував особливості дешифрування супутникових знімків і виділив індикаційні ознаки зсувних ділянок на основі космічної зйомки. На прикладі Правобережжя м. Києва визначив основні характеристики зсувних процесів та оцінив ефективність супутникових технологій для їх виявлення і моніторингу [30].

Отже, застосування ПС та ДЗЗ у процесі оцінки стану агроландшафтів забезпечує комплексний підхід до аналізу екологічних змін, що сприяє ефективному моніторингу та управлінню земельними ресурсами. Використання цих технологій дозволяє підвищити точність оцінки стану агроекосистем,

своєчасно виявляти деградаційні процеси та розробляти оптимальні стратегії збереження й відновлення земельних угідь. Це особливо важливо в умовах сучасних викликів, пов'язаних із кліматичними змінами та антропогенним навантаженням на природне середовище.

### **1.3. Класифікація видів завдань та користувачів моніторингу стану агроландшафту**

Моніторинг стану агроландшафтів є багатокомпонентним процесом, що включає збір, аналіз та оцінку просторових і екологічних даних. У цьому процесі беруть участь різні категорії користувачів, які виконують специфічні функції, пов'язані з обробкою та використанням отриманої інформації. На основі аналізу основних етапів моніторингу можна виділити ключові категорії користувачів та їхні завдання (рис. 1.4).

До основних учасників процесу моніторингу агроландшафтів належать:

ГІС-спеціаліст виконує обробку просторових даних, отриманих із супутникових знімків та інших джерел. Відповідає за картографування змін, побудову моделей аналізу та прогнозування впливу факторів на агроландшафти.

Еколог здійснює оцінку екологічного стану агроландшафтів, аналізує рівень деградації земель, визначає фактори впливу на природне середовище та розробляє рекомендації щодо його покращення.

Сільське господарство є кінцевим користувачем інформації про стан агроландшафтів, використовує отримані дані для коригування агротехнічних заходів та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Міністерство захисту довкілля – центральний орган виконавчої влади, який відповідає за реалізацію державної політики у сфері охорони навколишнього середовища. Використовує дані моніторингу для контролю за екологічним станом земель та розробки природоохоронних заходів.

Місцева влада використовує результати моніторингу для розробки програм сталого розвитку регіонів, контролю за землекористуванням та впровадження екологічних ініціатив.

Екологічні організації здійснюють незалежний моніторинг стану довкілля, використовують результати досліджень для проведення екологічних акцій, розробки рекомендацій для державних установ та просування ідей сталого розвитку.

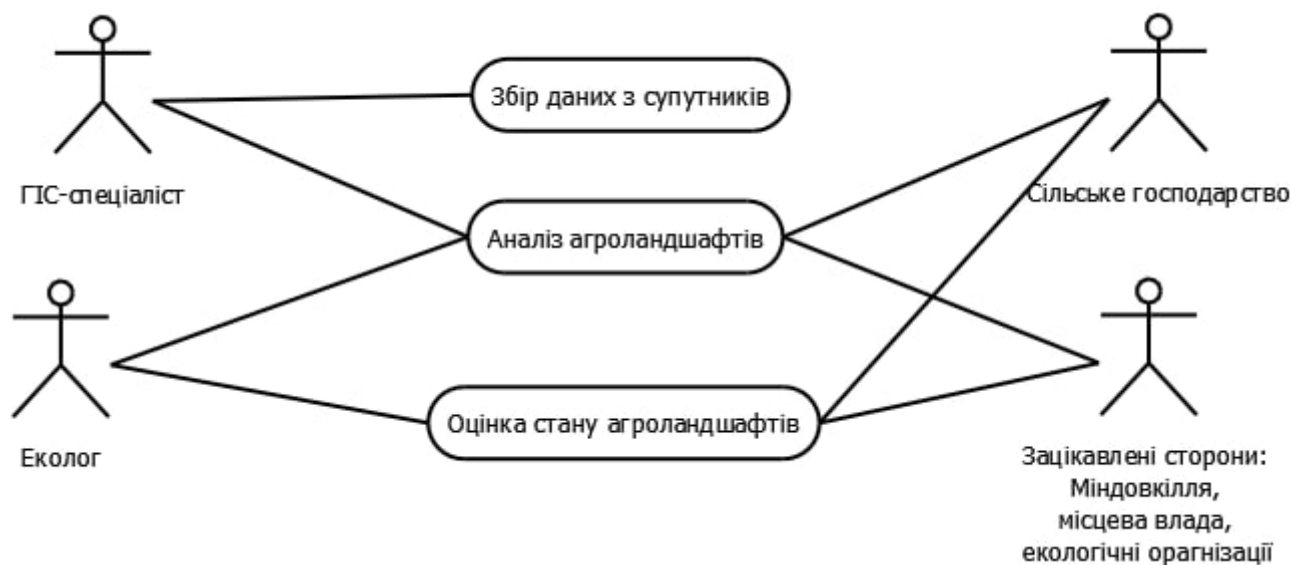


Рис.1.4. Діаграма класифікації видів завдань та користувачів моніторингу стану агроландшафту

Процес моніторингу агроландшафтів можна розділити на три основні завдання:

Збір даних із супутників включає отримання знімків із дистанційного зондування Землі, а також використання безпілотних літальних апаратів та наземних вимірювань. Цей етап є фундаментальним для подальшого аналізу.

Аналіз агроландшафтів – обробка отриманих даних за допомогою ПС-технологій, моделювання змін, визначення деградаційних процесів та їхніх причин.

Оцінка стану агроландшафтів – визначення рівня впливу антропогенних та природних факторів на екосистему, прогнозування можливих ризиків та розробка рекомендацій щодо збереження довкілля.

Запропонована класифікація дозволяє структурувати процес моніторингу агроландшафтів та чітко розподілити функції між його учасниками. Впровадження сучасних ПС-технологій, дистанційного зондування та

автоматизованого аналізу даних сприяє підвищенню ефективності оцінки екологічного стану агроландшафтів, що має вирішальне значення для сталого управління земельними ресурсами в умовах змін клімату та антропогенного впливу.

## **Висновки**

Дослідження сучасного моніторингу агроландшафту підтвердило його ключову роль у забезпеченні сталого землекористування, раціонального управління природними ресурсами та підвищення продуктивності сільськогосподарських територій. Аналіз методів моніторингу засвідчив, що найбільш ефективними є комплексні підходи, що включають дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційні системи (ГІС) та наземні спостереження.

Використання супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів та сенсорних технологій дозволяє отримувати високоточні дані про стан агроландшафтів, що сприяє вчасному виявленню змін та прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. Особливо важливу роль відіграє мультиспектральний та гіперспектральний аналіз, який дає змогу оцінювати якість ґрунтів, рівень вологості, вегетаційні процеси та потенційні ризики деградації земель.

Значний внесок у розвиток моніторингу агроландшафтів здійснюють сучасні цифрові технології, зокрема методи штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяють автоматизувати обробку великих масивів даних та підвищити точність прогнозування змін ландшафтів. Інтеграція різних джерел інформації сприяє створенню ефективних систем підтримки прийняття рішень у сфері аграрного виробництва та землеустрою.

Попри значні досягнення, існує низка викликів, зокрема необхідність удосконалення просторової та часової роздільної здатності даних, адаптації методик до регіональних особливостей та гармонізації нормативно-правової бази для ефективного управління земельними ресурсами. Подальші дослідження

у цій сфері мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів аналізу, інтеграцію великих даних та розвиток міжнародного співробітництва у сфері екологічного моніторингу.

Отже, сучасний моніторинг агроландшафту є важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку агросектору. Його впровадження сприяє збереженню природних ресурсів, адаптації до змін клімату та підвищенню ефективності землекористування, що в цілому забезпечує продовольчу безпеку та екологічну стійкість регіонів.

Для дослідження моніторингу зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища необхідно розв'язати такі завдання:

- 1) Розробити узагальнену модель моніторингу стану агроландшафтів
- 2) Розробити модель послідовності здійснення моніторингу стану агроландшафтів – функціональна модель
- 3) Розробити модель накопичення даних моніторингу у вигляді діаграми класів бази геопросторових даних
- 4) Розробити модель послідовності обробки даних ДЗЗ
- 5) Обрати дані ДЗЗ
- 6) Здійснити реалізацію розроблених моделей на прикладі Милівської територіальної громади

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АГРОЛАНДШАФТІВ

### 2.1. Узагальнена модель моніторингу стану агроландшафтів

У контексті трансформацій, спричинених як антропогенними, так і природними факторами, моніторинг агроландшафтів є надзвичайно важливою складовою сталого землекористування. Особливо актуальним – це питання є для територій, які зазнали значного екологічного, гідрологічного та соціального навантаження – агроландшафти, які розташовані у зоні впливу Каховського водосховища.

Узагальнена модель моніторингу стану агроландшафтів являє собою комплексну систему, що включає цілеспрямовану організацію збору, обробки, аналізу та інтерпретації просторових і атрибутивних даних про зміни в агроландшафтах з метою оцінювання рівня деградації, ризиків та потенціалу сталого розвитку.

Основними завданнями такої моделі є:

- виявлення змін у структурі та функціонуванні агроландшафтів;
- просторово-часовий аналіз змін, пов'язаних із впливом Каховського водосховища;
- визначення факторів, що впливають на дестабілізацію екосистем агроландшафту;
- підтримка прийняття управлінських рішень щодо збереження й відновлення сільськогосподарських територій;
- прогнозування майбутніх змін на основі трендів та сценаріїв розвитку.

Структуру узагальненої моделі моніторингу можна представити як ієрархічну систему (рис. 2.1), взаємопов'язаних блоків:

1. Блок вхідних даних забезпечує збір інформації з різних джерел:

- супутникові знімки Sentinel-2;
- картографічні матеріали;
- дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

2. Блок попередньої обробки:

- геоприв'язка та корекція знімків;
- нормалізація показників NDVI;
- створення багатошарової бази ГІС-даних.

### 3. Аналітичний блок:

- класифікація типів землекористування;
- аналіз просторових змін;
- оцінка деградаційних процесів;
- система моделювання ризиків на експертної моделі;
- оцінка впливу водосховища на прилеглі території через гідрологічні.

### 4. Блок візуалізації та інтерпретації результатів:

- створення картографічних матеріалів;
- геоінформаційна платформа моніторингу.

### 5. Блок підтримки прийняття рішень:

- формування рекомендацій для органів місцевого самоврядування;
- сценарне планування використання земель;
- інтеграція з державними кадастровими системами.

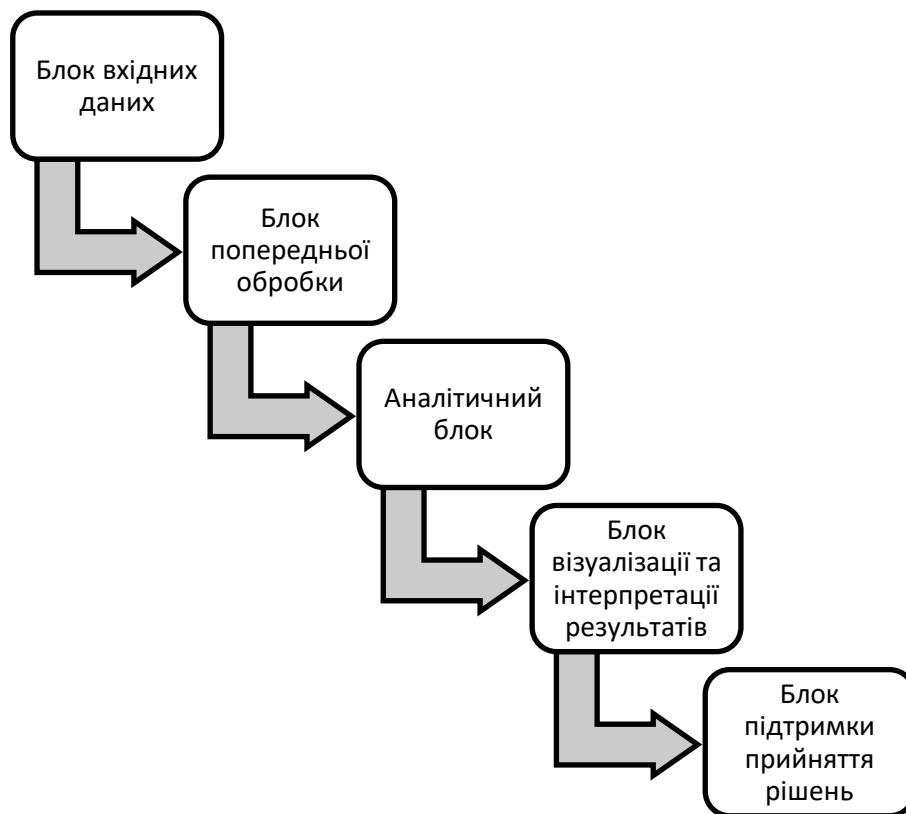


Рис. 2.1. Узагальнена модель моніторингу стану агроландшафтів

Особливості моделі в умовах Каховського водосховища. Каховське водосховище тривалий час виконувало роль ключового регулятора виконувало роль ключового регулятора гідрологічного режиму регіону. З огляду на його руйнування у 2023 році та зміну умов зволоження і підтоплення, модель моніторингу повинна враховувати:

- різку зміну рівня ґрунтових вод, що впливає на родючість і структуру ґрунтів;
- переформування берегової лінії та утворення нових ерозійно небезпечних зон;
- відновлення або зникнення водно-болотних угідь, що впливає на мікроклімат та біорізноманіття;
- активацію процесів засолення на ділянках, де спостерігалось зниження рівня води;
- вторинне забруднення територій через підняття важких металів і хімікатів із ґрунтів після осушення дна.

Інструментальне забезпечення. Для реалізації узагальненої моделі моніторингу доцільно використовувати:

- ГІС-платформи: ArcMap та QGIS;
- інструменти обробки ДЗЗ: TerrSet liberaGIS;
- хмарні сервіси для обробки великих масивів даних;
- відкриті дані Copernicus.

Узагальнена модель моніторингу агроландшафтів у зоні впливу Каховського водосховища повинна мати гнучку, багаторівневу структуру з інтеграцією даних із різних джерел. Її реалізація сприятиме глибшому розумінню стану агроєкосистем, своєчасному реагуванню на ризики, а також формуванню стратегії відновлення продуктивності та сталого землекористування на постраждалих територіях.

## 2.2. Модель послідовності здійснення моніторингу стану агроландшафтів

Для ефективного аналізу змін стану агроландшафту під впливом Каховського водосховища було розроблено модель послідовності дій – функціональна модель [37], яка охоплює весь цикл моніторингу – від збору даних до створення тематичних карт. Дана модель є ключовим елементом системи моніторингу і базується на поєднанні геоінформаційних технологій, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та аналітичних методів (рис. 2.2).

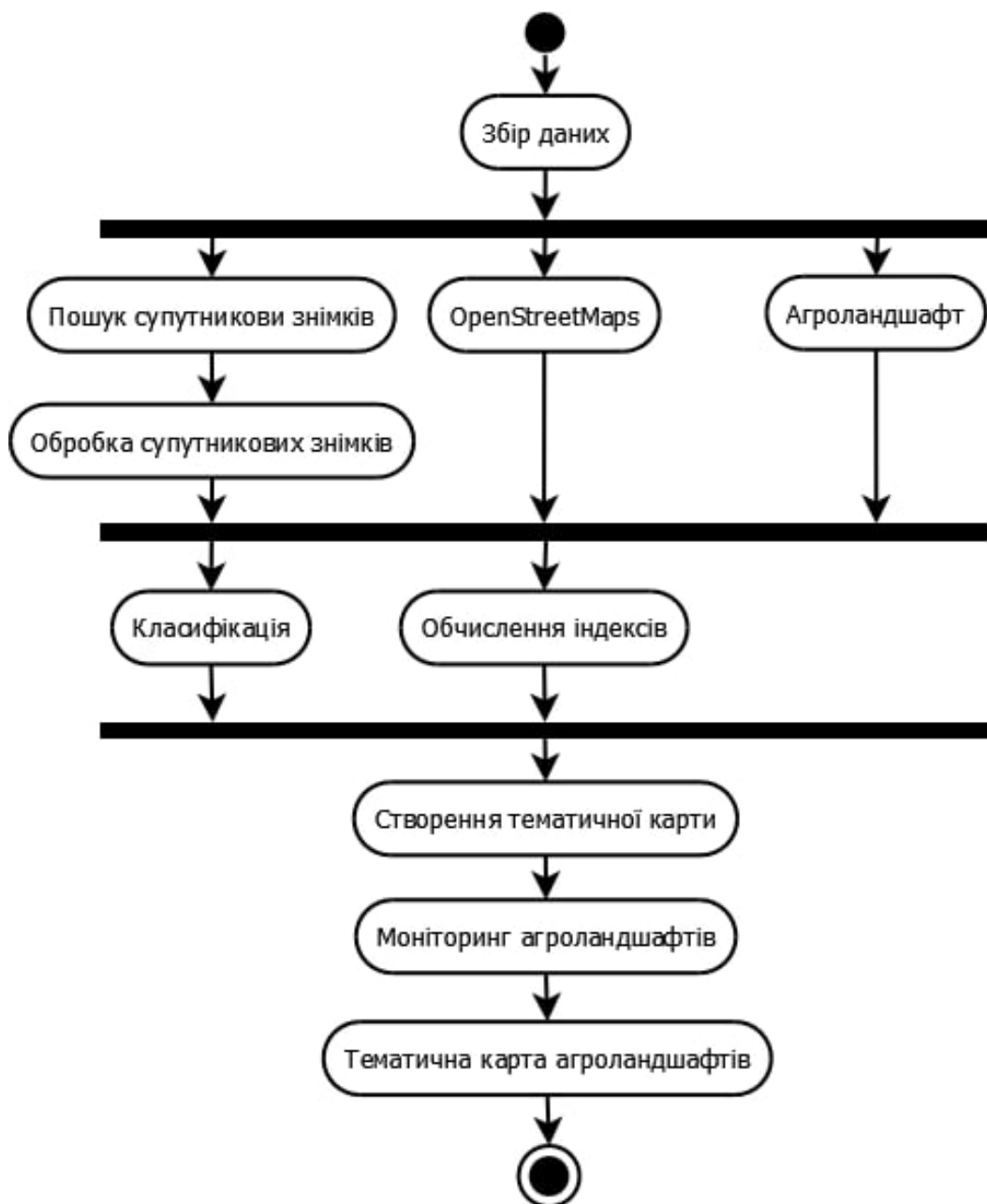


Рис. 2.2 Діаграма послідовності здійснення моніторингу стану агроландшафтів

Початковим етапом є збір даних, що включає три основні джерела: - супутникові знімки;

- дані з OpenStreetMap;
- інформація про агроландшафт.

Кожне з джерел виконує свою функцію. Супутникові знімки забезпечують регулярне оновлення просторових даних. OpenStreetMap допоміжні картографічні дані, а агроландшафтна інформація контекст для аналізу просторових змін у землекористуванні.

Після збору виконується обробка супутникових знімків, яка передбачає:

- корекцію геометричних та радіометричних викривлень;
- нормалізацію;
- вирізання ділянки дослідження;
- розрахунок спектральних індексів.

Паралельно використовуються дані OpenStreetMap для уточнення меж земель, а також здійснюється розподіл агроландшафтів за типами та характеристиками.

Наступним кроком є класифікація. Класифікація здійснюється на основі навчальної вибірки, де відомі типи землекористування, використовується для точного виявлення полів, посадок, луків тощо.

Обчислення індексів оцінює стан поверхні землі за супутниковими знімками, що дозволяє аналізувати рослинність та водні об'єкти. Вегетаційний індекс NDVI визначає щільність та стан рослинного покриву, виявляє ділянки деградації або відновлення рослинності. Водний індекс NDWI використовується для визначення меж водних об'єктів, затоплених територій та зневоднених ділянок. Поєднання вегетаційних і водних індексів забезпечує комплексну оцінку стану агроландшафтів, дозволяючи виявити взаємозв'язки між рослинним покривом і водним режимом територій.

Результати класифікації та аналізу індексів використовуються для створення тематичних карт, на яких відображаються:

- просторовий розподіл типів агроландшафтів;

- стан вегетації та водної поверхні;
- динаміка змін за обраний період.

Такі карти слугують основою для подальших аналітичних висновків та прийняття управлінських рішень у сфері охорони земель і сільського господарства.

Наступним етапом є моніторинг агроландшафтів, що базується на порівнянні тематичних карт за різні роки. Це дозволяє:

- виявити зони, де відбулися значні зміни;
- оцінити вплив водосховища на стан ґрунтів та рослинного покриву;
- спрогнозувати подальші зміни.

У контексті Каховського водосховища особливо важливим спостереження за зонами, які зазнали підтоплення, осушення або зміни рівня ґрунтових вод після знищення греблі.

Заключним етапом є створення тематичної карти агроландшафтів, яка інтегрує всі результати аналізу. Вона є не лише ілюстрацією стану території, але й аналітичним інструментом для:

- оцінки деградації агроландшафтів;
- планування заходів з відновлення продуктивності земель;
- розробки політики у сфері землеустрою та екологічного менеджменту.

Розроблена модель моніторингу агроландшафтів забезпечує поетапний підхід до збору, обробки та аналізу просторових даних. Її застосування дозволяє ефективно виявляти зміни у стані агроландшафтів під впливом Каховського водосховища та створювати тематичні карти для подальшого планування відновлювальних заходів.

### **2.3. Модель накопичення даних моніторингу стану агроландшафтів**

Для реалізації ефективної системи моніторингу агроландшафтів у зоні впливу Каховського водосховища необхідно не лише налагодити процес збору й аналізу даних, але й забезпечити їх довготривале зберігання, систематизацію та доступність для подальшої обробки. У цьому контексті була розроблена модель

накопичення даних моніторингу, представлена у вигляді діаграми класів бази геопросторових даних. Вона охоплює основні об'єкти моніторингу, зв'язки між ними та атрибутивний склад, необхідний для зберігання ключових характеристик агроландшафтів (рис. 2.3).

Основні класи об'єктів моделі:

Клас Агроландшафт (див. рис 2.3) включає такі атрибути: назва агроландшафту (текстовий); площа (числовий); тип ґрунтів (текстовий); рівень деградації (числовий); шейп-файл (геометрія).

Агроландшафт пов'язаний із класами: Громада, Район та Область (див. рис 2.3), що дозволяють здійснювати територіальну прив'язку результатів моніторингу. Кожен з класів мають такі атрибути: назва (текстовий), площа (числовий), місце розташування (текстовий) та шейп-файл (геометрія).

Клас Водосховище (див. рис 2.3) включає атрибути: назва водосховища (текстовий); рівень води (числовий); площа затоплення (числовий); шейп-файл (геометрія). Наявність цього класу є критично важливим, оскільки зміна параметрів водосховища має безпосередній вплив на стан навколишніх агроландшафтів.

Клас Супутникові знімки (див. рис 2.3) містять атрибути: джерело знімків (текстовий) та роздільна здатність (числовий).

Для обробки знімків застосовується Клас Класифікація (див. рис 2.3). Класів має атрибути: метод класифікації (текстовий) та кількість кластерів (числовий). Клас пов'язаний з супутниковими знімками як джерело інформації, що забезпечує гнучкість у виборі підходу до аналізу.

Клас Тематична карта (див. рис 2.3) є результатом класифікаційних процедур і містить атрибути: шар даних (текстовий); тип класифікацій (текстовий). Тематична карта безпосередньо пов'язана з результатами класифікації та відображає просторовий розподіл стану агроландшафтів.

Клас Зміна стану агроландшафту (див. рис 2.3) включає: рівень ерозії ґрунтів (числовий); стан рослинності (текстовий); втрата урожайності

(числовий). Ці характеристики мають числовий та текстовий формати, що дозволяють виконувати кількісний аналіз змін на рівні окремих ділянок.

Клас Моніторинг (див. рис 2.3) містить атрибути: частота збору даних (текстовий) та методи моніторингу (текстовий).

Клас Часові періоди (див. рис 2.3) включає атрибути: дата початку моніторингу (дата) та дата завершення моніторингу (дата). Це дозволяє здійснювати порівняльний аналіз результатів за різні роки чи сезони, що є необхідним для побудови динаміки змін.

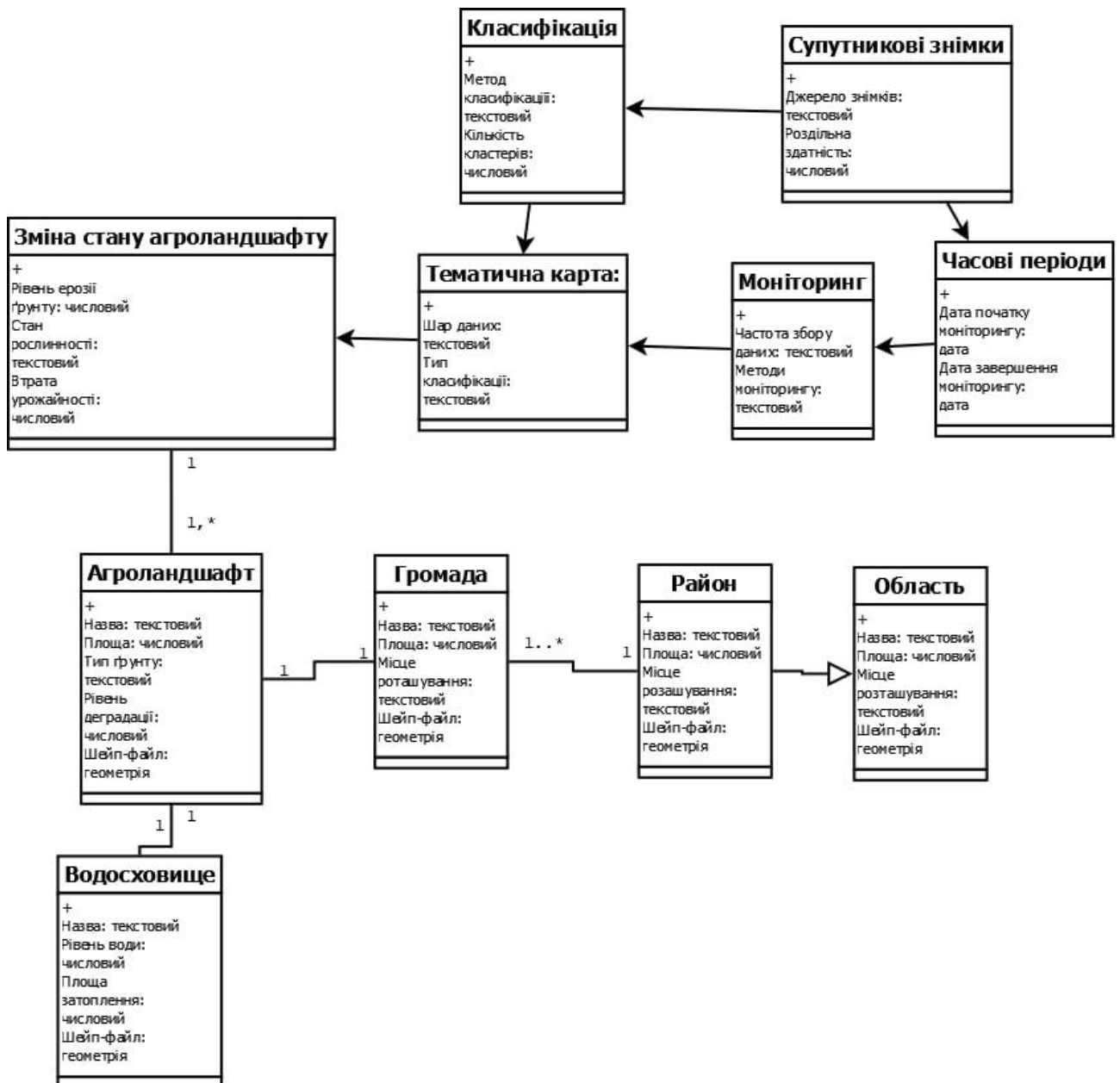


Рис. 2.3 Діаграма накопичення даних моніторингу стану агроландшафтів

Розроблена модель накопичення даних є основою для побудови єдиної системи моніторингу агроландшафтів. Вона охоплює повний цикл – від збору супутникових даних до формування тематичних карт і оцінки змін. Структурованість та зв'язність усіх елементів забезпечують можливість масштабування, інтеграції з геоінформаційними системами та проведення просторово-часового аналізу для прийняття рішень у сфері сталого землекористування.

#### **2.4. Підбір даних дистанційного зондування Землі**

Для проведення моніторингу агроландшафтів в зоні впливу Каховського водосховища є використання супутникових знімків середньої просторової розрізненості, оскільки цей рівень деталізації забезпечує оптимальне співвідношення між обсягом охоплення території та можливістю виявлення просторових змін у стані сільськогосподарських угідь. Використання супутникових знімків високої роздільної здатності є надмірним та економічно необґрунтованим, бо вони призначені для локальних детальних досліджень та потребують значних обчислювальних ресурсів. Натомість супутникові знімки низької роздільної здатності не дозволяють здійснювати якісну оцінку агроландшафтів, оскільки не відображають просторової неоднорідності сільськогосподарських земель та не дають можливості аналізувати дрібномасштабні зміни. Тому середня просторова розрізненість є найбільш раціональною для виконання поставлених завдань, адже дозволяє поєднувати необхідну деталізацію з охопленням значних площ. Для цього обрано безкоштовні супутникові знімки, які спеціалізуються на оцінці природних ресурсів і придатні для моніторингу земель, виявлення змін рослинного покриву, аналізу водного режиму та контролю стану агроландшафтів у довгостроковій перспективі.

Аналіз параметрів знімків здійснено в таблиці 2.1.

## Порівняльна характеристика даних дистанційного зондування Землі

Параметри	Sentinel-2	Landsat-9	SPOT-5
Просторове розрізнення	10 м	30 м	5 м
Спектральне розрізнення	Наявні спектральні канали видимого діапазону та інфрачервоного	Наявні спектральні канали видимого діапазону та інфрачервоного	Наявні спектральні канали видимого діапазону та інфрачервоного
Темпоральне розрізнення	10 днів	16 днів	2-3 дні
Радіометричне розрізнення	12 біт	14 біт	8 біт
Вартість	Безкоштовно	Безкоштовно	\$3,275

З таблиці видно, що для моніторингу змін агроландшафтів, зокрема в районі впливу Каховського водосховища, найкращими є знімки з супутника Sentinel-2. Дані Sentinel-2 мають високе просторове розрізнення, що дозволяє чітко визначати навіть невеликі ділянки, такі як поля та лісові масиви. Окрім того, їх спектральні характеристики дають змогу працювати з різними каналами, зокрема видимими та інфрачервоними, що допомагає виявляти зміни, пов'язані з коливанням рівня води у водосховищі.

Темпоральне розрізнення також є важливим, оскільки зміни на агроландшафтах часто відбуваються поступово. Тому, для їх ефективного моніторингу достатньо отримувати знімки з періодичністю від кількох днів до кількох тижнів. Це дозволяє відстежувати зміни, які не відбуваються дуже швидко, наприклад, через повені чи осушення земель.

Враховуючи ці аспекти для аналізу змін агроландшафтів, що перебувають під впливом Каховського водосховища, найбільш підходящими є космічні знімки Sentinel-2, оскільки вони забезпечують високий рівень просторового та спектрального розрізнення для детального вивчення агроландшафту.

## 2.5. Тематична обробка даних дистанційного зондування Землі

Сучасні методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є надзвичайно ефективними інструментами для аналізу просторових і часових змін у структурі та функціонуванні агроландшафтів. У контексті моніторингу змін стану агроландшафтів в зоні впливу Каховського водосховища, особливо важливою є тематична обробка супутникових зображень із застосуванням вегетаційного індексу NDVI та водного індексу NDWI. Обидва індекси дозволяють отримати узагальнену інформацію про стан рослинності, рівень зволоження ґрунтів і наявність відкритих водних об'єктів у межах досліджуваної території.

NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) – це простий показник, який оцінює кількість фотосинтетично активної біомаси, зазвичай його називають «вегетаційним індексом», Це один із найпоширеніших індексів, що використовується для кількісної оцінки рослинного покриву в різних дослідженнях [31].

Вегетаційний індекс NDVI визначають як співвідношення між різницею та сумою відбитого світла в червоному (видимому) та ближньому інфрачервоному діапазонах. Його обчислюють за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} ,$$

де *NIR* – відбиття у ближній інфрачервоній області спектра, а *RED* – відбиття у червоній області спектра [32].

Обчислення NDVI ґрунтується на двох найбільш характерних зонах спектральної кривої, притаманних судинним рослинам. У червоному діапазоні спектра (0,4-0,7 мкм) спостерігається найактивніше поглинання сонячного світла хлорофілом, тоді як у ближньому інфрачервоному діапазоні (0,7-1,0 мкм)

фіксується найінтенсивніше відбиття, зумовлене структурою листкових клітин [32].

Варто зазначити, що висока фотосинтетична активність свідчить про щільну рослинність. У таких випадках рослини менше відбивають світло в червоному діапазоні спектра, натомість сильніше – в інфрачервоному. Індекс NDVI дає змогу точно ідентифікувати, аналізувати та відокремлювати рослинне покриття від інших об'єктів у навколишньому середовищі. У формулі застосовується нормалізована різниця між відбитим випромінюванням у видимій та інфрачервоній частинах спектра, що допомагає зменшити вплив різного освітлення знімків і впливу атмосфери на поглинання радіації. Природні об'єкти, які не мають рослинного покриву, зазвичай мають постійне значення NDVI, що дозволяє використовувати цей індекс для їх розпізнавання.

NDVI є відносним показником і може набувати значень від 1 до 1 або бути представленим у відсотковій формі в межах від 0 до 200 (-100...+100). Об'єкти, не пов'язані з рослинністю, характеризуються стабільними значеннями індексу [32].

Залежно від типу об'єктів на поверхні Землі, значення NDVI можуть змінюватися наступним чином:

- 1) негативні значення характерні для водойм;
- 2) позитивні, але близькі до нуля значення притаманні відкритому ґрунту або сухій рослинності;
- 3) найвищі значення свідчать про наявність активно зростаючої (вегетуючої) рослинності;
- 4) середні значення відповідають різним ступеням розвитку рослинного покриву [32].

Індекси NDVI зростають у міру збільшення зеленої маси та знижуються під час її висихання або зменшення. Для розрахунку цього індексу зазвичай використовують серії супутникових знімків, зроблених у різні моменти часу з певною регулярністю. Це дозволяє відстежувати динаміку змін межі характеристик різних типів рослинності. Завдяки таким різночасовим даним

можна аналізувати зміни рослинного покриву на місячному, сезонному та річному рівнях, а також робити прогнози щодо подальшого розвитку ситуації [32].

Варто також зазначити, що NDVI активно використовується сільському господарстві для вирішення ряду практичних задач, таких як:

- 1) створення карт рослинного покриву;
- 2) оцінювання врожайності та продуктивності агроecosystem;
- 3) відстеження росту та розвитку сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду;
- 4) спостереження за посушливими явищами;
- 5) контроль етапів вегетації;
- 6) визначення вологості ґрунтів.

Основна перевага NDVI полягає в простоті розрахунків і відсутності необхідності у додаткових даних – достатньо лише супутникових знімків і параметрів зйомки. Крім того, цей індекс можна обчислювати на основі будь-яких аерокосмічних зображень, що містять спектральні канали в червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах [32].

Окрім сільського господарства, вегетаційний індекс NDVI широко використовується для вирішення різноманітних задач, пов'язаних з природно-ресурсним управлінням та екологічним моніторингом. Існує чітка залежність між значенням NDVI та рівнем біопродуктивності в різних екосистемах, таких як тундра, лісотундра, степи, пустелі, сільськогосподарські угіддя, хвойно-широколистяні та листяні ліси. Для кожного типу природного середовища характерне своє значення NDVI: найнижчі значення ( $NDVI < 0,2$ ) фіксуються у тундрі та пустелях, а найвищі ( $NDVI \geq 0,8$ ) – у густих лісах. Ця особливість індексу активно використовується при створенні регіональних карт, класифікації ландшафтів, оцінюванні природних ресурсів та площ біосистем. Проте для точного визначення екологічних і кліматичних особливостей рослинного покриву доцільно використовувати NDVI на основі серій знімків, зроблених у різні сезони року [32].

NDWI (нормалізований диференційований водний індекс) застосовується для виявлення відкритих водних об'єктів та їх відокремлення на супутниковому зображенні серед інших елементів, таких як ґрунт і рослинність [33].

Індекс NDWI ефективно оцінює вміст води, розраховуючись на основі комбінації зеленого (GREEN) та ближнього інфрачервоного (NIR) спектрів, що дозволяє виявляти навіть незначні зміни в кількості води в водоймах [33].

Завдяки використанню спектральних діапазонів ближнього інфрачервоного (NIR) та зеленого (GREEN), NDWI дозволяє підсилити видимість водних об'єктів на супутникових зображеннях [33].

Для того, щоб визначити водний індекс NDWI, обчислюється за такою формулою:

$$NDWI = \frac{I_G - I_{NIR}}{I_G + I_{NIR}},$$

де  $I_{NIR}$  – це відбивна інфрачервона область спектра в діапазоні 760-900 нм.  $I_G$  – видима зелена область спектра, що охоплює діапазон 530-590 нм [33].

Вибір цих довжин хвиль обґрунтований тим, що водні об'єкти мають максимальні відбивні характеристики у зеленій області спектра та мінімальні – у ближньому інфрачервоному, де рослинність і ґрунт відображають найбільше. Завдяки цьому водні об'єкти отримують позитивні значення, а ґрунт та наземна рослинність – нульові або негативні [33].

Загалом, тематична обробка даних ДЗЗ із використанням індексів NDVI та NDWI демонструє свою високу ефективність у вирішенні завдань моніторингу змін агроландшафтів під впливом трансформації гідрологічного режиму. У ході дослідження, можуть бути використані не лише для оцінки поточного стану рослинного покриву, але й для планування заходів з адаптації аграрного виробництва до нових природно-кліматичних умов, що виникли у зв'язку з підривом Каховського водосховища.

## 2.6. Функціональна модель послідовності обробки даних ДЗЗ

У ході виконання моніторингу зміни стану агроландшафтів в зоні впливу Каховського водосховища важливим етапом є створення моделі послідовності обробки даних ДЗЗ (рис. 2.4). Дана модель дозволяє забезпечити системність, узгодженість і наукову обґрунтованість всіх дій, які пов'язані із отриманням, обробкою та аналізом супутникової інформації. Послідовна організація етапів дає змогу підвищити достовірність результатів і забезпечити комплексне відображення динаміки агроландшафтних процесів у зоні впливу Каховського водосховища.

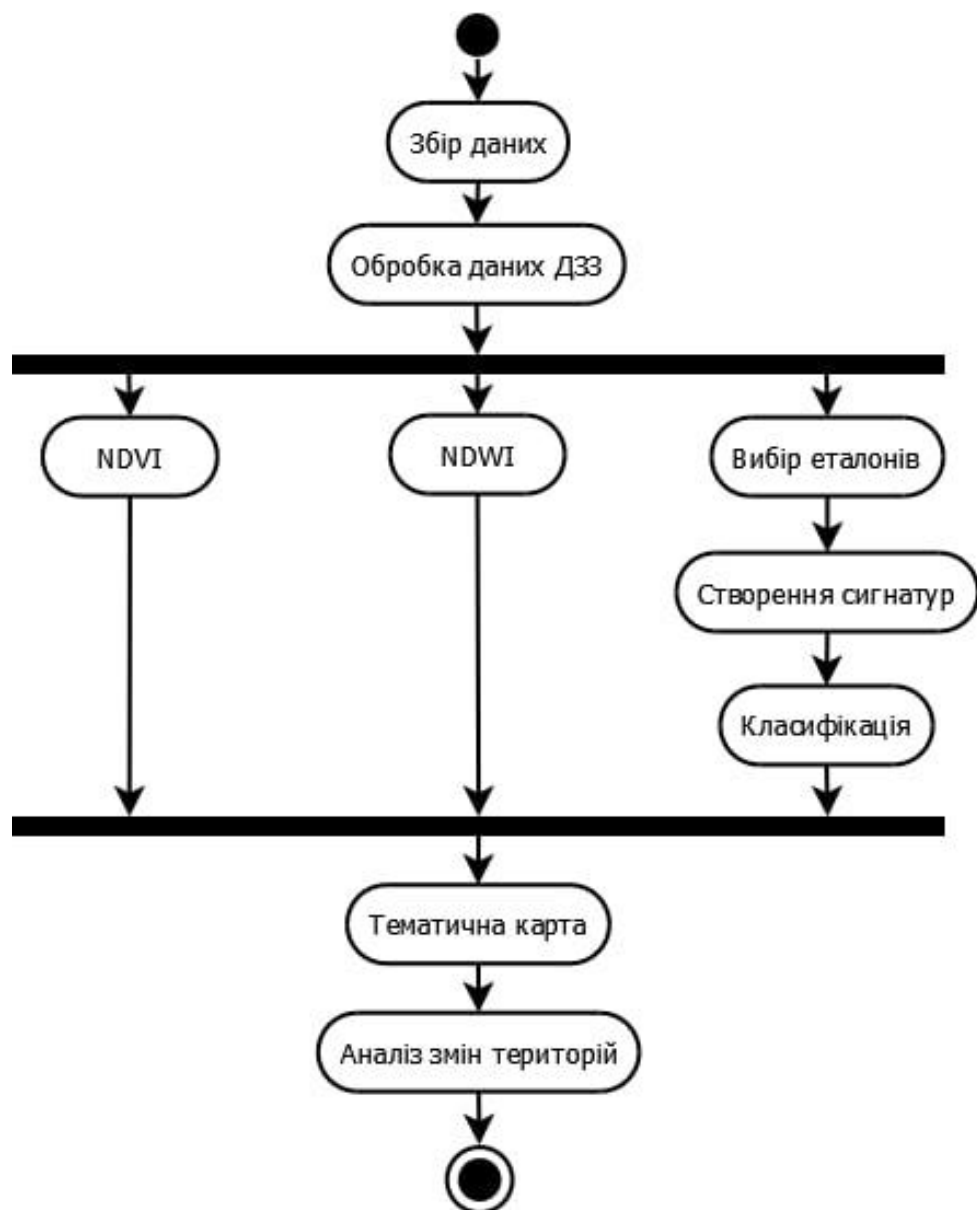


Рис. 2.4 Функціональна модель послідовності обробки даних ДЗЗ

Першим етапом є збір даних. У цьому етапі здійснюється завантаження супутникових знімків Sentinel-2 із сайту Copernicus Browser. Вибір супутникових знімків проводиться за критеріями просторової роздільної здатності, мінімальної хмарності та часової відповідності періодам до та після підриву Каховського водосховища. Це забезпечує можливість просторово-часового порівняння і виявлення тенденцій трансформації агроландшафтів.

Другим етапом є обробка даних ДЗЗ, яка включає обрізання супутникових знімків до меж досліджуваної території, а також виконання керованої класифікації. Для виявлення стану рослинного покриву та рівня води обчислюються спектральні індекси NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) та NDWI (нормалізований диференційований водний індекс). Отримані значення дають змогу оцінити втрату вологи та зміни у продуктивності агроландшафтів. Також виконується класифікація.

На третьому етапі створюється тематична карта, в якій показується зміни агроландшафту в зоні впливу Каховського водосховища.

Заключним етапом моделі є аналіз змін території, який здійснюється шляхом порівняння тематичних карт за різні періоди. На основі цих даних формується аналітична оцінка стану агроландшафтів та робляться висновки щодо просторово-часових закономірностей трансформацій, спричинених гідрологічними змінами Каховського водосховища.

Модель послідовності обробки даних ДЗЗ є комплексним підходом до моніторингу стану агроландшафтів, що поєднує сучасні технології ДЗЗ та ГІС. Її реалізація дозволяє отримати достовірну інформацію про динаміку земельного покриву та обґрунтувати рекомендації щодо раціонального землекористування в регіоні дослідження.

## **Висновки**

У результаті проведеного дослідження розроблено комплекс моделей, що формують методологічну та технологічну основу для здійснення системного моніторингу зміни стану агроландшафту в зоні впливу Каховського

водосховища. Узагальнена модель моніторингу забезпечує багаторівневу інтеграцію даних ДЗЗ, ГІС та аналітичних методів, спрямованих на виявлення, оцінку та прогнозування змін у структурі та функціонуванні агроєкосистеми.

Модель послідовності здійснення моніторингу описує повний цикл обробки інформації – від збору та попередньої обробки супутникових даних до створення тематичних карт і просторового аналізу динаміки змін. Вона дає змогу оперативно виявляти зони деградації, ерозійної небезпеки та зміни стану рослинності, що є критично важливим у контексті трансформацій, спричинених підривом Каховського водосховища у 2023 році.

Модель накопичення даних моніторингу, реалізована у вигляді діаграми класів бази геопросторових даних, забезпечує структуроване зберігання, систематизацію й оновлення інформації про агроландшафти, їх просторові характеристики, класифікаційні результати та динаміку змін. Це створює передумови для побудови єдиної бази даних моніторингу, що може бути інтегрована з державними кадастровими та екологічними системами.

Підбір оптимальних джерел дистанційного зондування Землі дозволив досягти необхідного балансу між просторовою деталізацією, періодичністю оновлення даних і обсягом територіального охоплення. Використання індексів NDVI та NDWI у процесі математичної обробки супутникових знімків дало змогу кількісно оцінити рівень вегетаційної активності, зволоження та деградації земель.

Розроблені моделі формують цілісну систему моніторингу зміни стану агроландшафтів, що забезпечує: підвищення точності просторово-часового аналізу, можливість довготривалого спостереження за трансформаціями ландшафтів, інтеграцію результатів у систему прийняття управлінських рішень, науково обґрунтоване планування відновлення та сталого землекористування постраждалих територій. Отже, запропонована модель системи є фундаментом для створення сучасної геоінформаційно-аналітичної платформи агроландшафтів, яка здатна забезпечити ефективне управління земельними ресурсами та екологічну безпеку регіону.

## РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АГРОЛАНДШАФТУ

### 3.1. Характеристика агроландшафту Милівської сільської територіальної громади

Для здійснення дослідження моніторингу зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища обрано територію Милівської сільської територіальної громади.

Милівська сільська територіальна громада – об'єднана територіальна громада в Бериславському районі Херсонської області (див. рис. 3.1). Вона була утворено у 2019 році шляхом об'єднання Качкарівської сільської ради та Милівської сільської ради. У 2020 році відбулося дооб'єднання та утворена Милівська сільська територіальна громада шляхом приєднання Новокаїрської сільської ради, Новокам'янської сільської ради та Дудчанської сільської ради. Адміністративний центр – село Милове. Площа – 49,094 тис. га. Населення – 6904 особи. До складу громади входять 10 сіл: Дудчани, Качкарівка, Милове, Нова Кам'янка, Новогригорівка, Новокаїри, Республіканець, Саблуківка, Суханове та Червоний Яр [34].

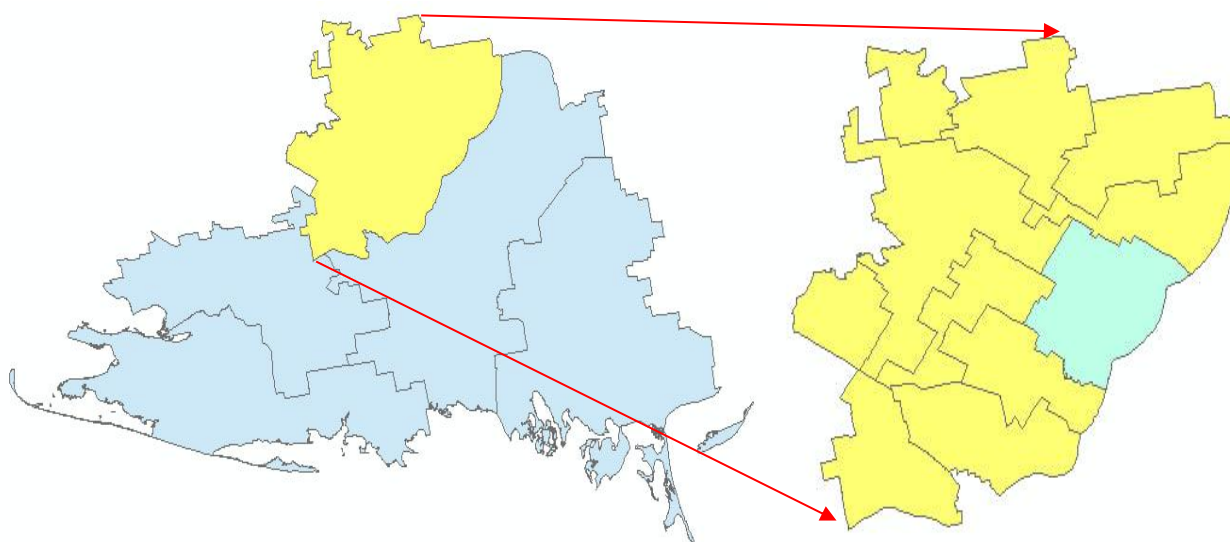


Рис. 3.1 Схема розташування Милівської сільської територіальної громади

Громада розташована в Середньостеповій підзоні Причорноморського середньостепового краю в Бузько-Дніпровській низовинній області. Для цієї

території характерні середньостепові типчакowo-ковилові рівнини з вираженим антропогенним освоєнням, сформовані на неогенових відкладах. Тут поширені лесові низовини, порізані степовими балками (роздолами), з чорноземами південними малогумусними, які раніше були вкриті типчакowo-ковиловою рослинністю, а також подові луки. Наявні виходи вапняків [35].

Клімат Милівської сільської територіальної громади – помірно-континентальний. Протягом року температура зазвичай змінюється від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $29^{\circ}\text{C}$ , зрідка буває нижче  $-15^{\circ}\text{C}$  або вище  $34^{\circ}\text{C}$ . Теплий період триває близько 3,5 місяця – з 22 травня до 7 вересня, коли середньодобова максимальна температура перевищує  $23^{\circ}\text{C}$ . Найспекотнішим місяцем є липень: середня максимальна температура сягає  $28^{\circ}\text{C}$ , а мінімальна –  $17^{\circ}\text{C}$ . Холодний сезон триває приблизно 3,8 місяця – 17 листопада до 12 березня, із середньодобовою максимальною температурою нижче  $6^{\circ}\text{C}$ . Найпрохолоднішим місяцем є січень, коли середня мінімальна температура становить  $-5^{\circ}\text{C}$ , а максимальна –  $1^{\circ}\text{C}$  [36].

Річна кількість опадів становить у середньому 400-500 мм. Найбільше їх випадає в червні – 48 мм, тоді як найменше у лютому – 14 мм. Найвологіший період триває близько двох місяців – з 11 травня до 10 липня, коли ймовірність опадів у будь-який день перевищує 18%. У червні зазвичай буває близько 6,8 опадів дощових днів. Натомість сухий сезон розтягується майже на десять місяців – з 10 липня по 11 травня. Найменше вологих днів спостерігається в жовтні – в середньому 4,2 дні з кількістю опадів не менше 1 мм [36].

Східна частина Милівської сільської територіальної громади знаходиться на правому березі річки Дніпра. Близько 80% річного стоку формується у верхів'ях басейну, де спостерігається значна кількість опадів та низьке випаровування. Гідрологічний режим річки характеризується вираженою весняною повінню, літньою меженню з окремими паводками, регулярним осіннім підняттям рівня води та зимовою межею. Після підриву росіянами Каховської ГЕС, річка Дніпро повернулася в своє природне русло, яке тепер проходить удовж високого правого берега. На лівому березі річки Дніпра триває відновлення заплавної екосистем. Інші природні водойми в межах громади

розташовані вкрай нерівномірно. На межі з Новорайською селищною територіальною громадою протікає річка Кам'янка, русло якої набуло природного вигляду, оскільки зазвичай пересихає [36].

На території Милівської сільської територіальної громади наявні землі лісового фонду, які складають 2480,0966 га. Вони зосереджені переважно в балках, що впадають у Дніпро. На сільськогосподарських угіддях створені та діють захисні лісосмуги. Ліси та лісосмуги відіграють важливу роль у протидії ерозійним процесам, слугують природним бар'єром від поверхневого змиву у водні об'єкти та мають значення для збереження біорізноманіття [36].

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами південними малогумусними важкосуглинковими. Вони сформувалися на лесових відкладах під різнотравноковилово-типчakovими степами в умовах недостатнього зволоження та глибокого рівня залягання ґрунтових вод. Ці ґрунти займають вододіл, схили та лесові тераси річки. Вміст гумусу в них досягає 3-4%, в перехідному горизонті спостерігається незначене ущільнення. Чорноземи відзначаються великою ємкістю вбирання, значною насиченістю кальцієм та магнієм, а також малим вмістом натрію. Це забезпечує нейтральну або слаболужну реакцію ґрунтового розчину. На схилах балок і вздовж заплавах зустрічаються чорноземи південні малогумусними змиті середньосуглинкові з меншою потужністю прогумусованого профілю [36]. Карту ґрунтів Милівської громади подано на рис. 3.2.

На знижених ділянках (поди та западини) поширені лучно-чорноземні осолоділі та лучно-чорноземні глейові солонцювато-осолоділі важкосуглинкові ґрунти. Надмірне зволоження, яке визначає гідроморфність ґрунтоутворення, відбувається переважно за рахунок делювіальних вод. Через водопроникність глинистої осолонцюваної ґрунтоутворюючої породи ці води застоюються на поверхні ґрунту, зумовлюючи оглеєння профілю ґрунту й ґрунтоутворюючої породи. Поєднання процесів з солонцюватістю оглеєння лучно-чорноземних ґрунтів негативно впливає на їх фізичні властивості [36].

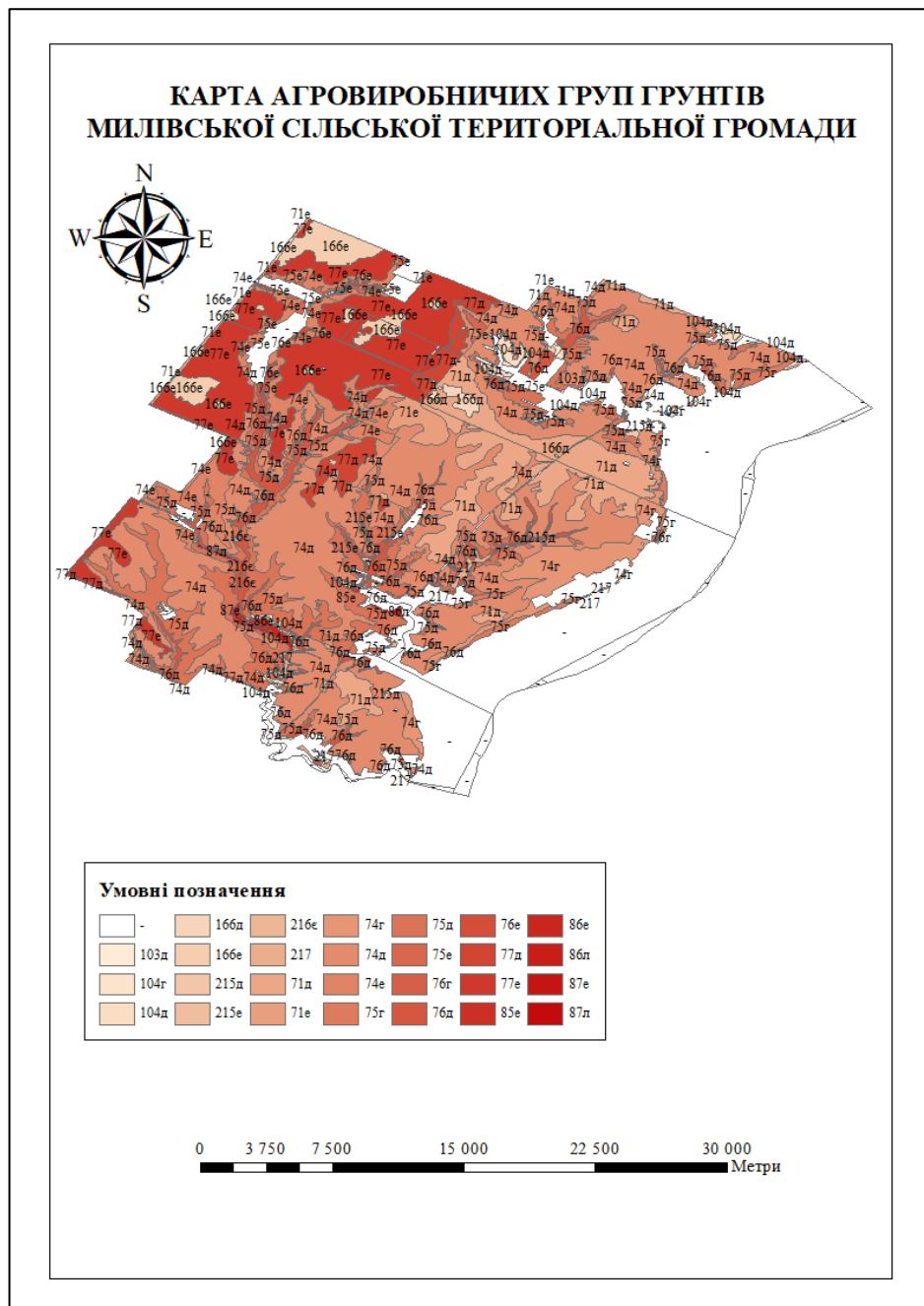


Рис. 3.2 Картографічне подання ґрунтового покриття Милівської сільської територіальної громади

Рельєф території Милівської сільської територіальної громади є вираженим і характеризується високою часткою еродованих земель. Водна та вітрова ерозії в різних співвідношеннях охоплює до 50% території. Серед основних проблем у використанні земельних ресурсів, які позначаються на екологічному стані земель і зумовлюють зниження їх продуктивності, є: катастрофічна розораність, сільськогосподарських угідь; дегуміфікація ґрунтів і

їх фізична деградація, виснаження земельних ресурсів; дефляція та водна ерозія ґрунтів; вторинне осолонцювання, погіршення агрофізичних і водно-фізичних властивостей ґрунтів [36]. Карту рельєфу Милівської громади розроблено за даними SRTM та подано на рис. 3.3.

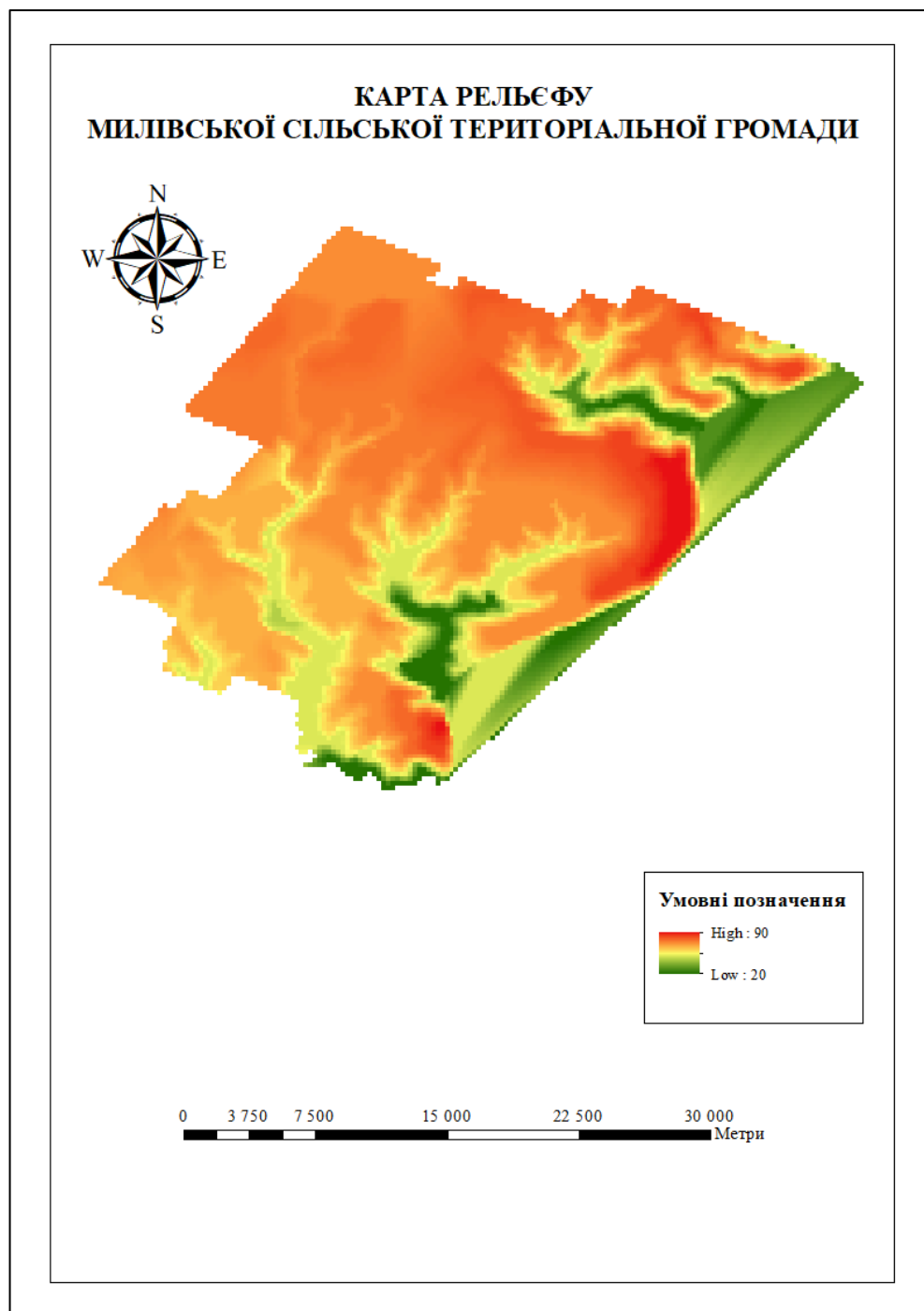


Рис. 3.3 Картографічне подання рельєфу Милівської сільської територіальної громади

### 3.2. Моніторинг стану агроландшафтів

Моніторинг стану агроландшафту у межах території Милівської сільської територіальної громади, що зазнає впливу Каховського водосховища, здійснювався на основі супутникових знімків Sentinel-2 із розрахунком вегетаційного індексу NDVI для оцінки стану рослинності та водного індексу NDWI для визначення змін у водних об'єктах. Ці індекси дозволяють виявити просторово-часові варіації у розвитку рослинного покриву та водних об'єктів, що є ключовими показниками екологічного стану агроландшафтів.

Супутниковий знімок від 5 червня 2023 року (рис. 3.4) демонструє фазу активної вегетації культур на території Милівської сільської територіальної громади. Значення NDVI у цей період варіюють у межах 0,45-0,75, що свідчить про активну фазу росту сільськогосподарських культур, особливо озимої пшениці та ячменю. Переважає зелений колір, який відповідає високим значенням NDVI і вказує на добрий стан рослинності. У лісових масивах спостерігається найвища щільність біомаси, тоді як у прибережних зонах водосховища – дещо нижчі значення через вплив вологи та нерівномірне освітлення.

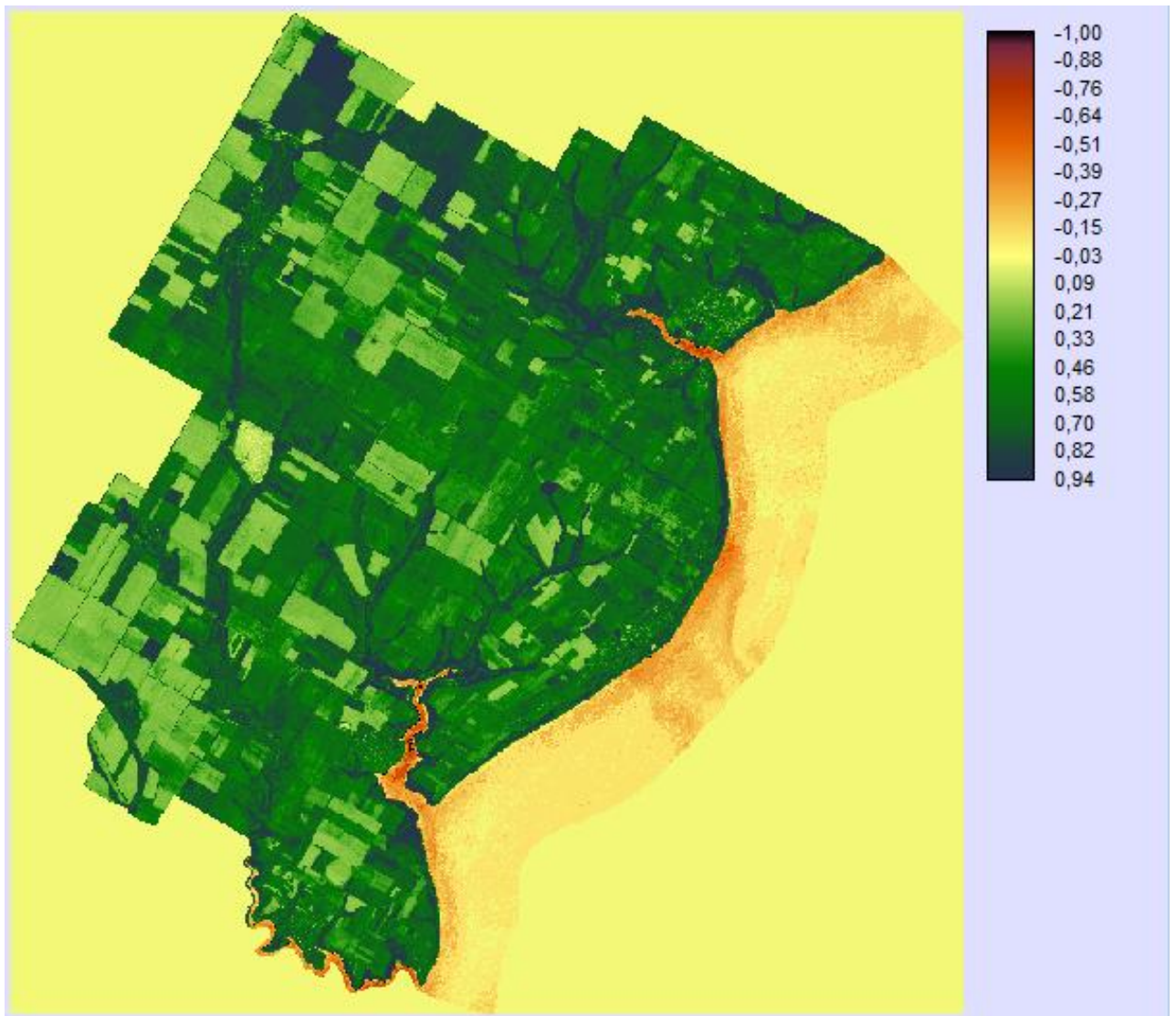


Рис. 3.4. Картографічне подання вегетаційного індексу NDVI станом на 5 червня 2023 року

Супутниковий знімок від 20 червня 2023 року (рис. 3.5) характеризується суттєвим підвищенням NDVI до 0,55-0,80, що свідчить про пік вегетації сільськогосподарських культур. Переважають насичені зелені та темно-зелені тони, які відображають високий рівень фотосинтетичної активності. Це свідчить про оптимальні агрометеорологічні умови в середині літа, коли більшість культур перебувають у фазі колосіння або наливу зерна.

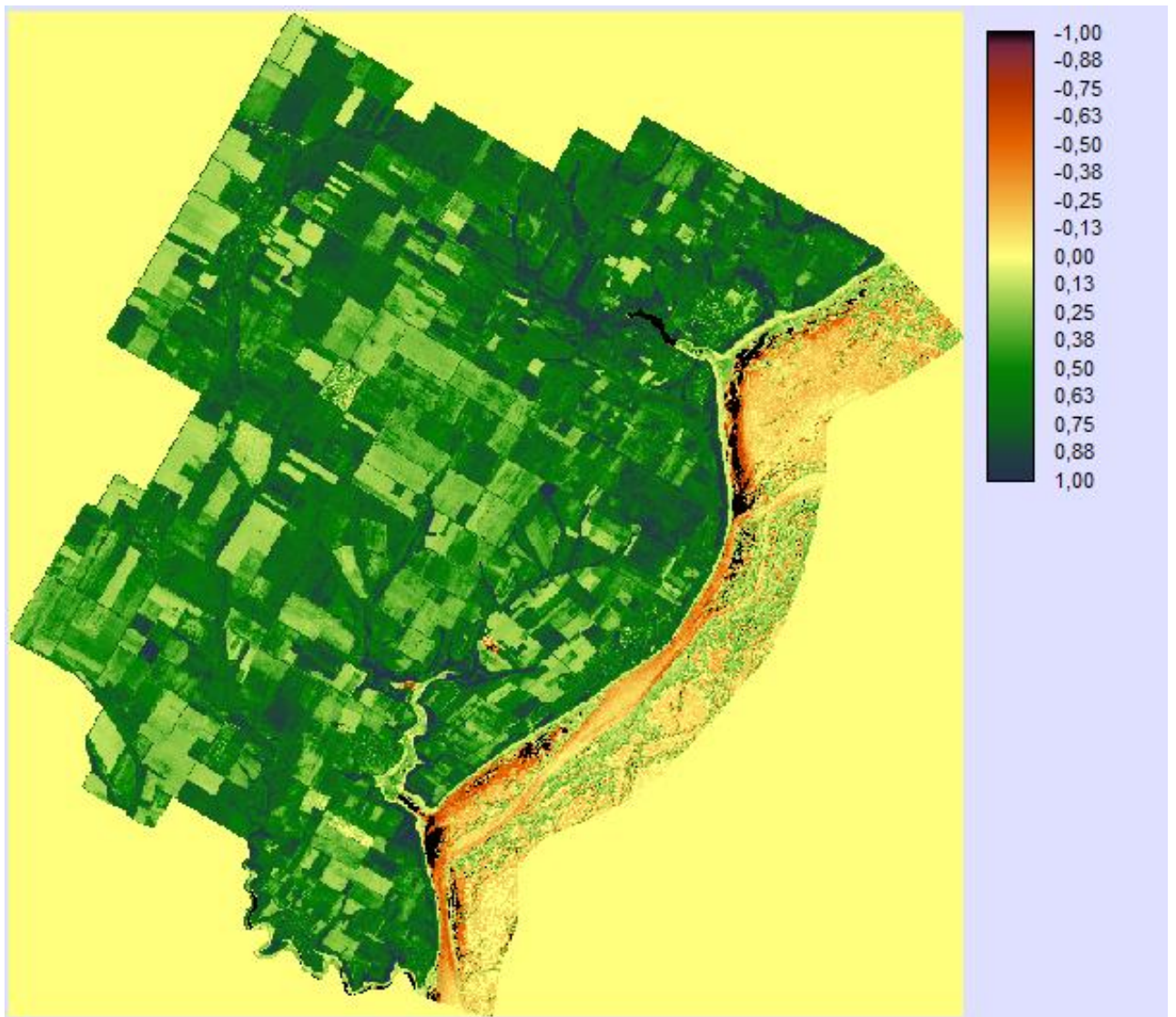


Рис. 3.5. Картографічне подання вегетаційного індексу NDVI станом на 20 червня 2023 року

Порівнюючи дані до та після руйнації дамби Каховського водосховища можна відмітити зміну вегетаційної активності рослинності, що подана на графіку (рис. 3.6). Значення NDVI для всіх типів угідь знизилися після руйнації дамби, особливо для ячменю та озимої пшениці, що свідчить про деградацію посівів і зменшення інтенсивності фотосинтезу. Лісові масиви зберегли відносно стабільні показники, проте загальна вегетаційна активність у регіоні зменшилася.

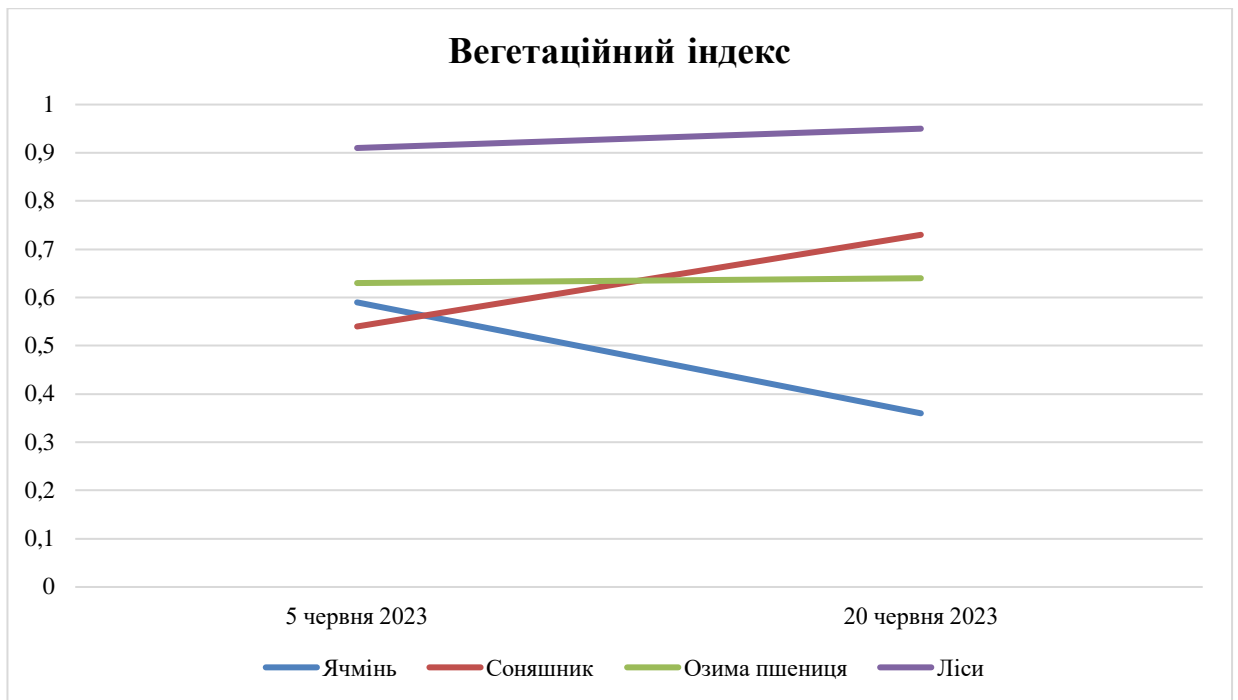


Рис. 3.6 Варіювання значень вегетаційного індексу

Для визначення зміни вегетаційного індексу NDVI обрано модуль “Image Differencing” з меню Change Detection, що надає можливість віднімання значень пікселів одного зображення від іншого. Добре застосовувати для виявлення змін яскравості або NDVI. Результат роботи модуля подано на рисунку 3.7. Позитивні значення вказують на збільшення вегетаційного індексу, а негативні – про його зниження. Значення близькі до 0 – на відсутність змін.

На аналізованій території рослинність мала приріст вегетаційного індексу NDVI та деякі ділянки з відсутністю змін.

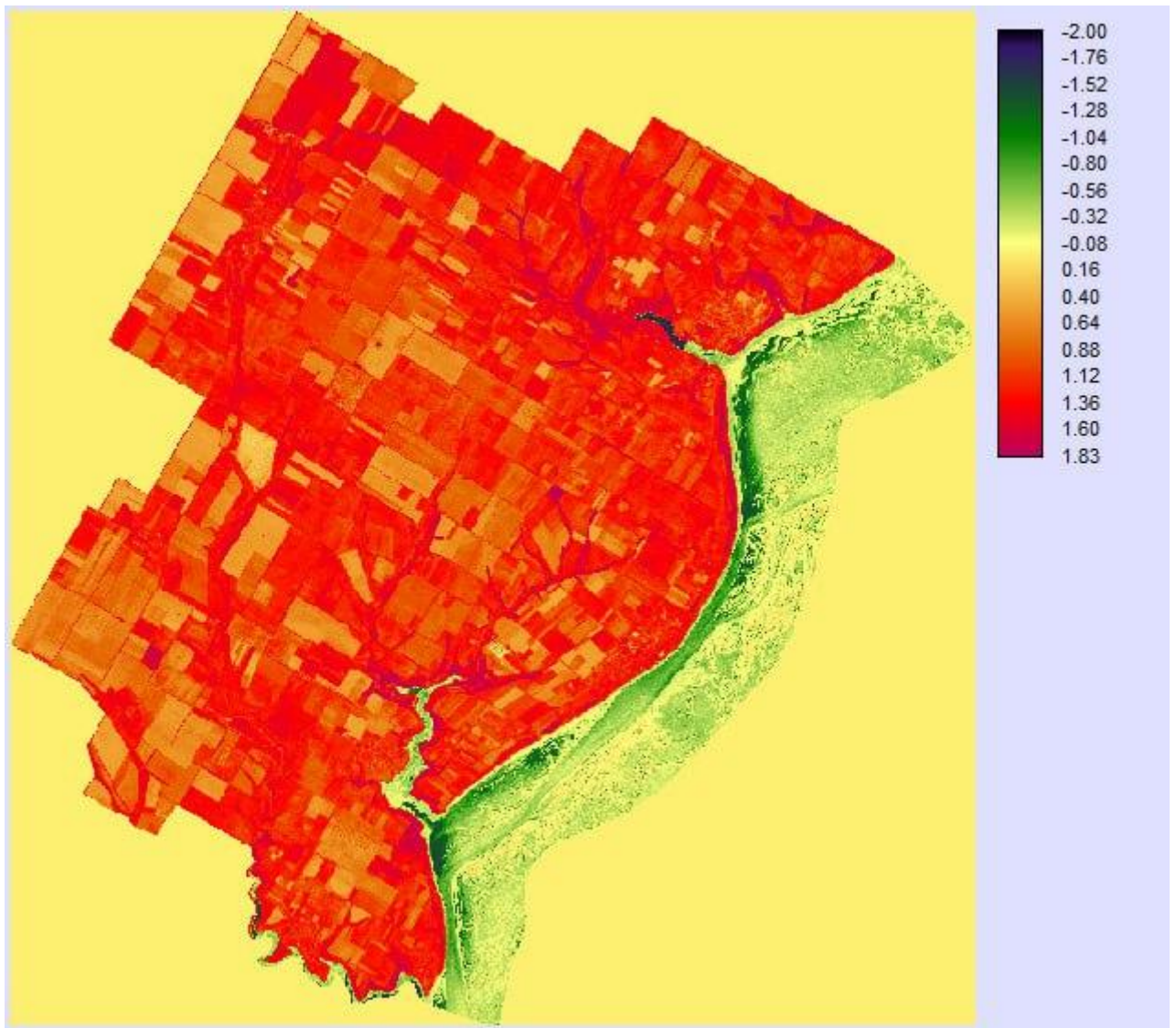


Рис. 3.7 Зміна значень вегетаційного індексу

Супутниковий знімок від 5 червня 2023 року (рис. 3.8) водна поверхня має високі значення NDWI у межах 0,40-0,60, що позначено темно-синіми відтінками. Це свідчить про достатню повноту водосховища після весняного паводкового періоду.

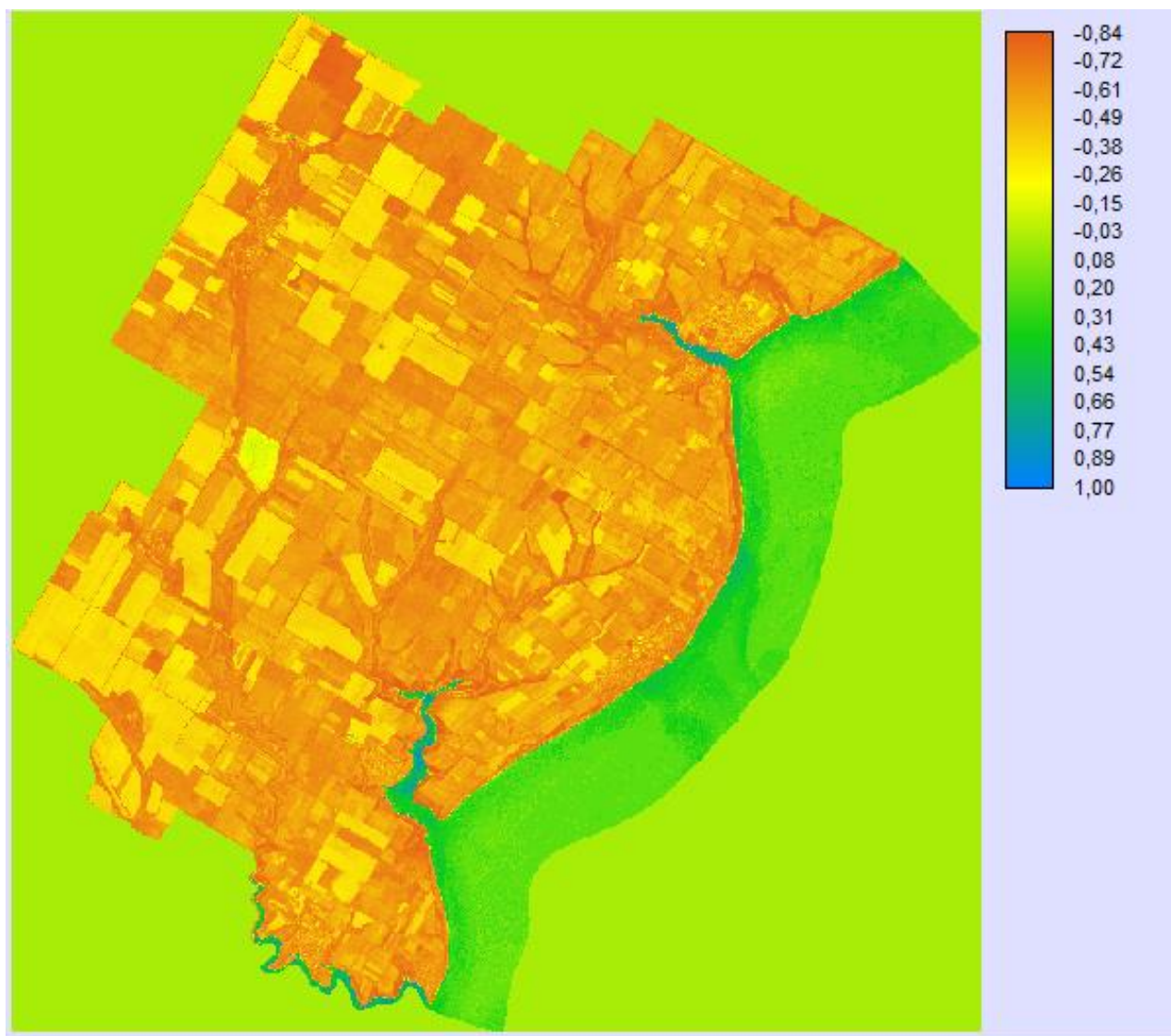


Рис. 3.8. Картографічне подання водного індексу NDWI станом на 5 червня 2023 року

Зображення станом на 20 червня 2023 року (рис. 3.9) NDWI зберігає стабільно високі показники – 0,45-0,65, що відображає стійкий водний баланс і відсутність значних змін рівня води. Домінуючим кольором карти є світло-блакитний який вказує на рівномірний розподіл водної поверхні з невеликими варіаціями у прибережних ділянках.

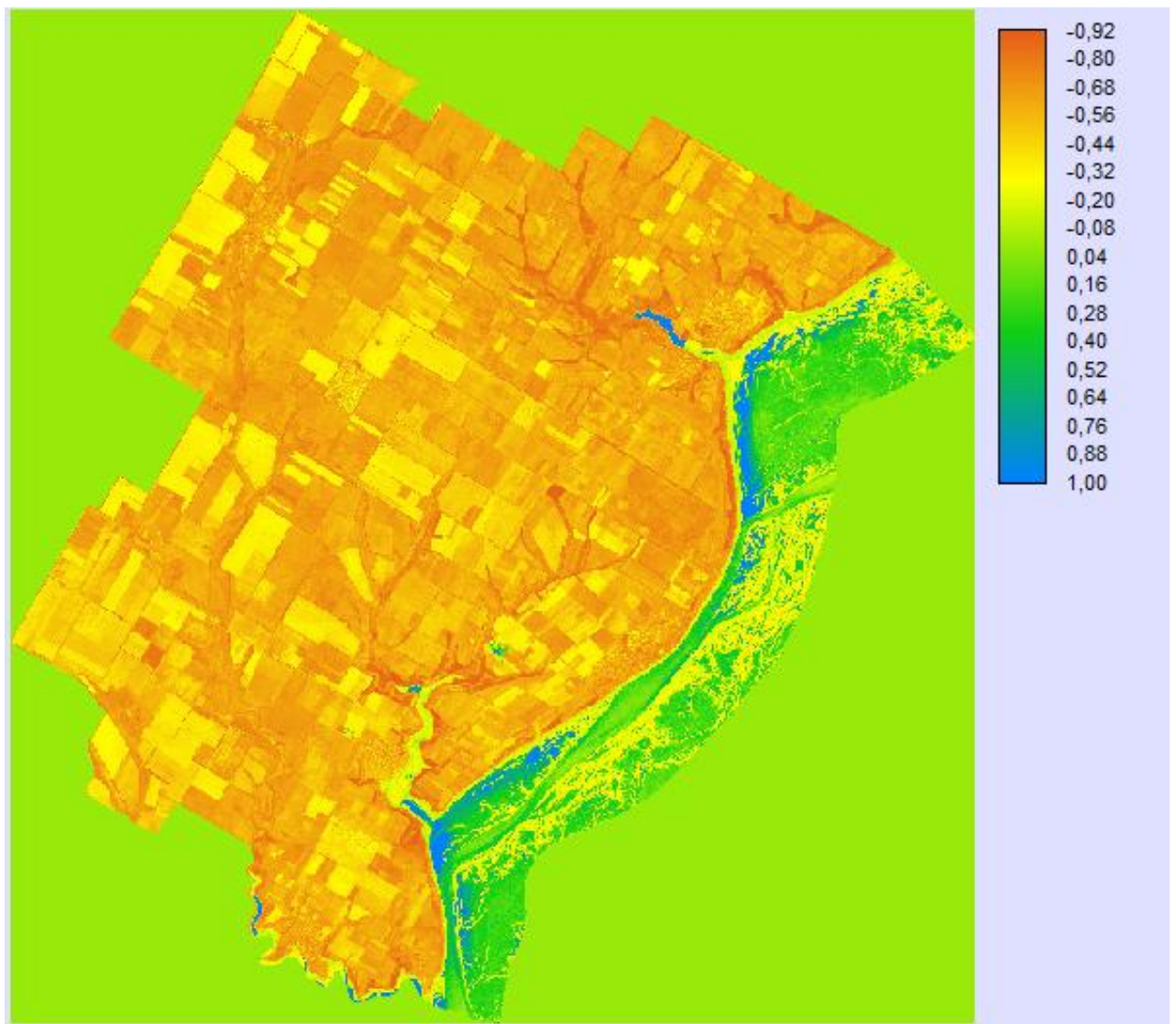


Рис. 3.9. Картографічне подання водного індексу NDWI станом на 20 червня 2023 року

Порівнюючи дані до та після руйнації дамби Каховського водосховища можна відмітити зміну водного балансу території, що подана на графіку (рис. 3.10). Після руйнування спостерігається зниження значень NDWI, особливо у водних об'єктах Дніпра та річки Кам'янки, що свідчить про скорочення водної поверхні та пересихання прибережних зон.

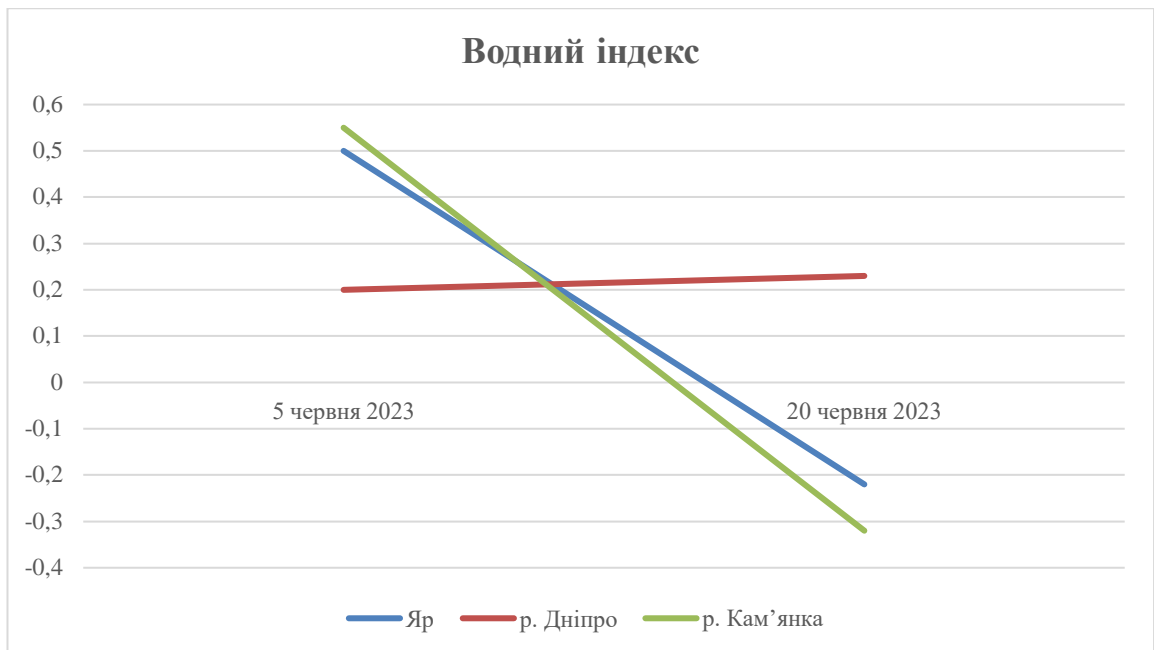


Рис. 3.10 Варіювання значень водного індексу

Для визначення зміни водного індексу NDWI обрано модуль “Image Differencing” з меню Change Detection, що надає можливість віднімання значень пікселів одного зображення від іншого. Добре застосовувати для виявлення змін яскравості або NDWI. Результат роботи модуля подано на рисунку 3.11. Позитивні значення вказують на збільшення водного індексу, а негативні – про його зниження. Значення близькі до 0 – на відсутність змін.

На аналізованій території водні об'єкти (русло Дніпра) мали пониження водного індексу NDWI та деякі ділянки з відсутністю змін. Приріст лише на ділянці, що показує нове русло річки.



Рис. 3.11 Зміна значень водного індексу

Через два роки після руйнації дамби на Каховській ГЕС здійснено оцінювання стану агроландшафту. На супутниковому знімку 28 серпня 2025 року (рис. 3.12) NDVI має нижчі показники для сільськогосподарських культур – 0,10-0,45, що вказують на завершення вегетаційного періоду та зменшення кількості зеленої біомаси. Ділянки, які вкриті трав'янистою рослинністю та чагарниками, мають вищі показники – 0,60-0,85, що підтверджує про наявність густої рослинності. Найбільше переважають значення NDVI у діапазоні 0,10-0,45, що відображає період зниження активності рослинності, яке є природним сезонним явищем наприкінці літа. А лісовкриті площі мають значення 0,60-0,85,

що свідчить про високу щільність рослинності та стабільний стан лісових екосистем у цей період.

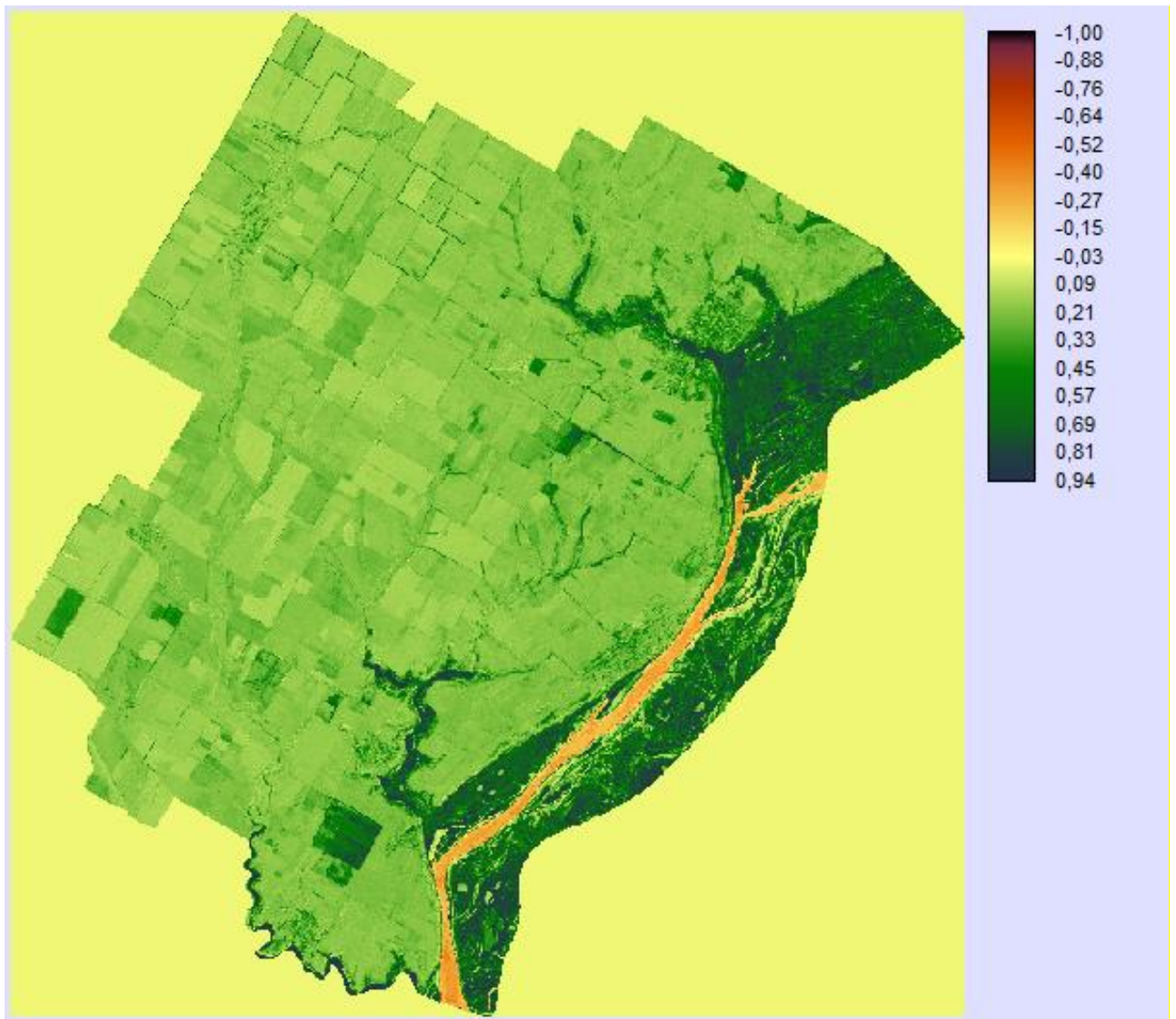


Рис. 3.12 . Картографічне подання вегетаційного індексу NDVI станом на 28 серпня 2025 року

Зображення від 28 серпня 2025 року (рис. 3.13) демонструє помітне скорочення площі водних об'єктів. NDWI для річки Дніпро має вищі показники – 0,35-0,70, що чітко відокремлює відкриту воду від прилеглих земель. Річка Кам'янка та дві притоки річки Дніпра показують дуже низькі показники – від -0,65 до -0,40, що свідчать про дуже низький рівень води. На зображенні найбільше переважають значення NDWI у діапазоні 0,35-0,70, що чітко виділяє водний об'єкт та визначає їхній просторовий контур.



Рис. 3.13. Картографічне подання водного індексу NDWI станом на 28 серпня 2025 року

Метод класифікації «Мінімальна спектральна відстань» (**MINDIST**) за 5 червня 2023 року (рис. 3.14) забезпечує базову якість розмежування основних класів земного покриття. На зображенні чітко виділяються водні поверхні та густі масиви рослинності, проте спостерігається часткове перекривання меж між сільськогосподарськими угіддями та природною рослинністю.

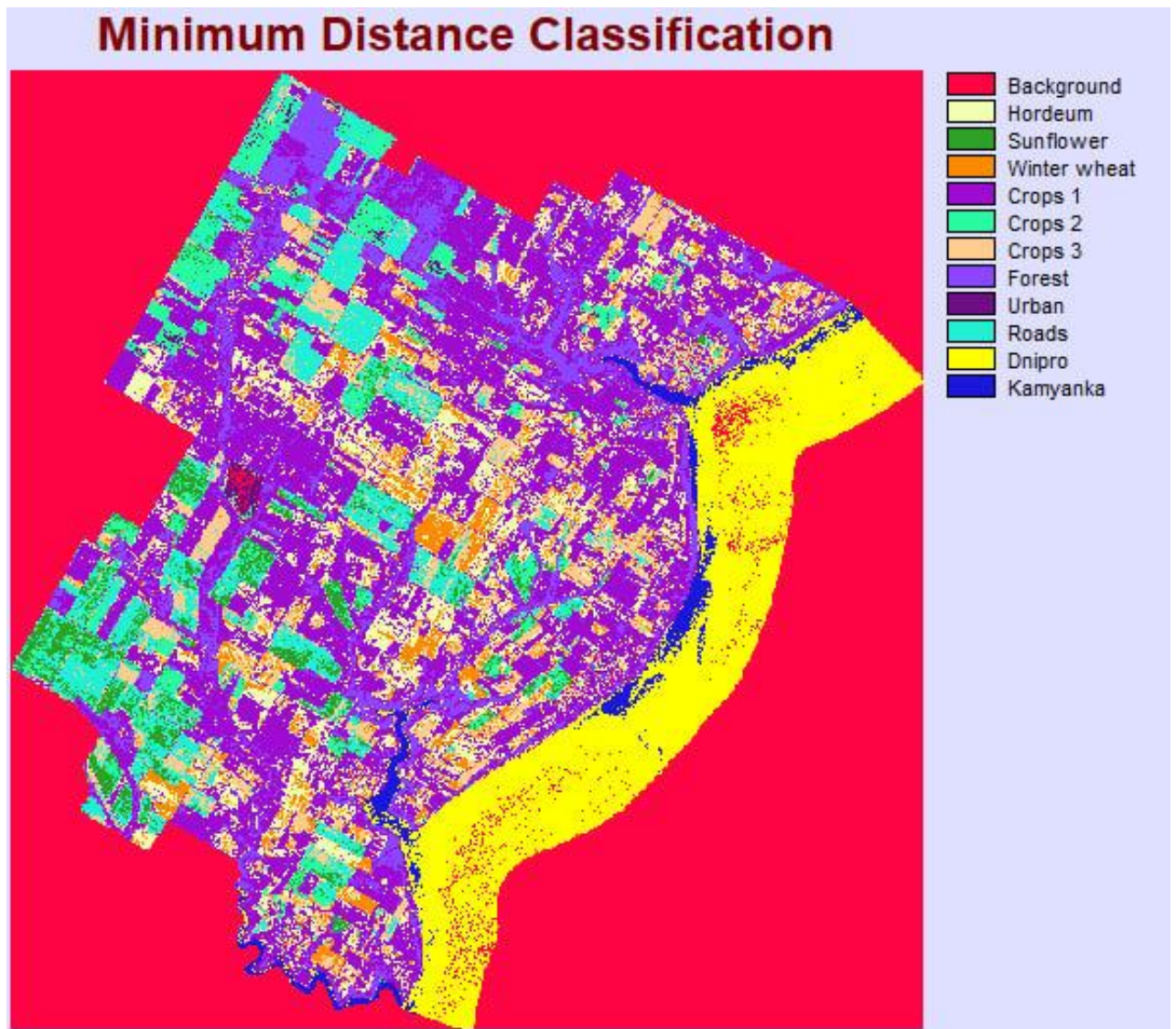


Рис. 3.14 Результат роботи методу класифікації «Мінімальна спектральна відстань» за 5 червня 2023 року

Метод класифікації «Максимальна правдоподібність» (**MAXLIKE**) за 5 червня 2023 року (див. рис. 3.15) продемонстрував найвищу точність серед усіх використаних алгоритмів – окремі ділянки орних земель, лісів та водних об'єктів з мінімальними помилками класифікації.

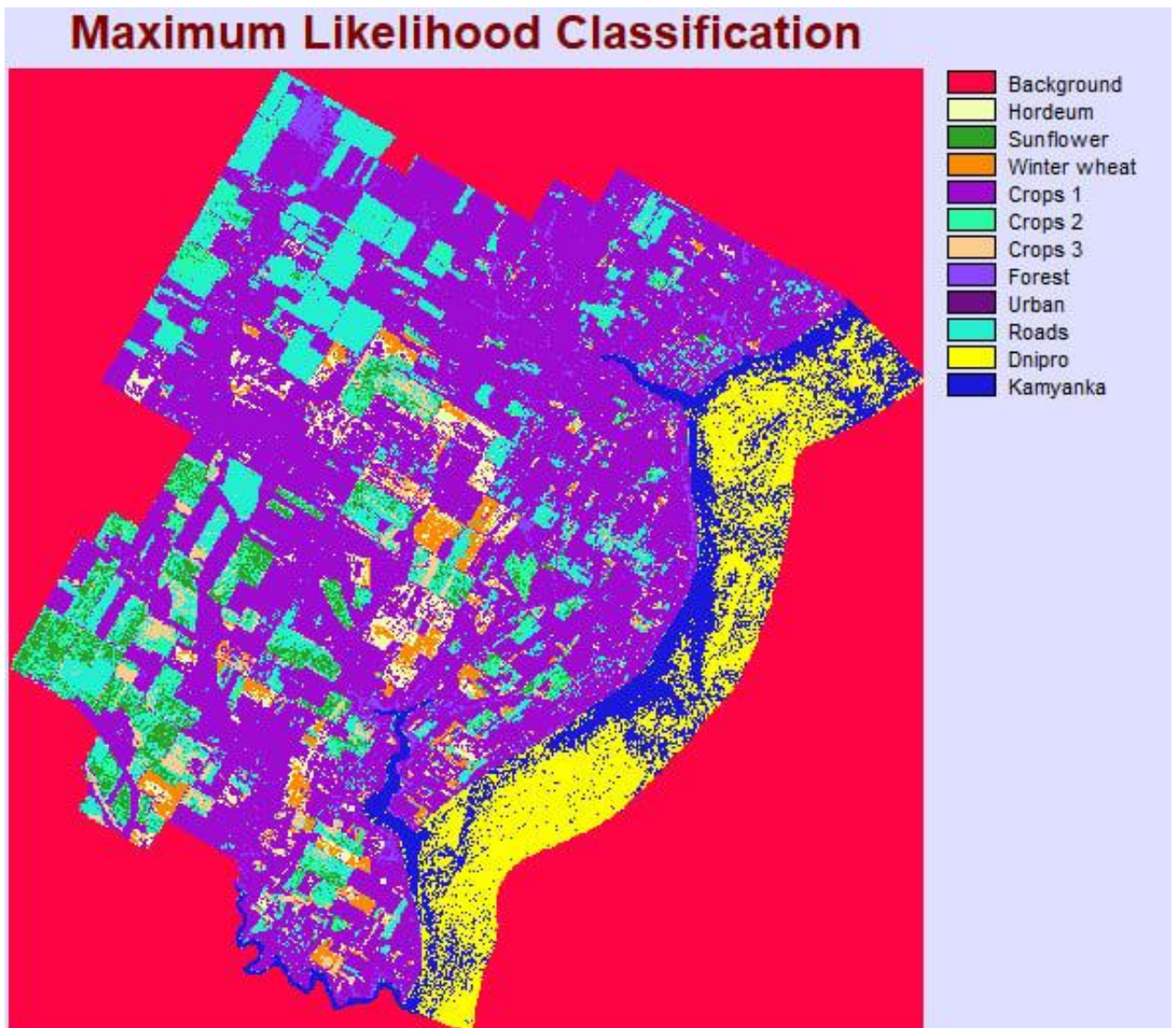


Рис. 3.15 Результат роботи методу класифікації «Максимальна правдоподібність» за 5 червня 2023 року

Метод класифікації «Паралелепіпедів» (**PIPED**) за 5 червня 2023 року (рис. 3.16) показав задовільні результати, проте через схожість спектральних характеристик між культурами частина території залишилася некласифікованою.

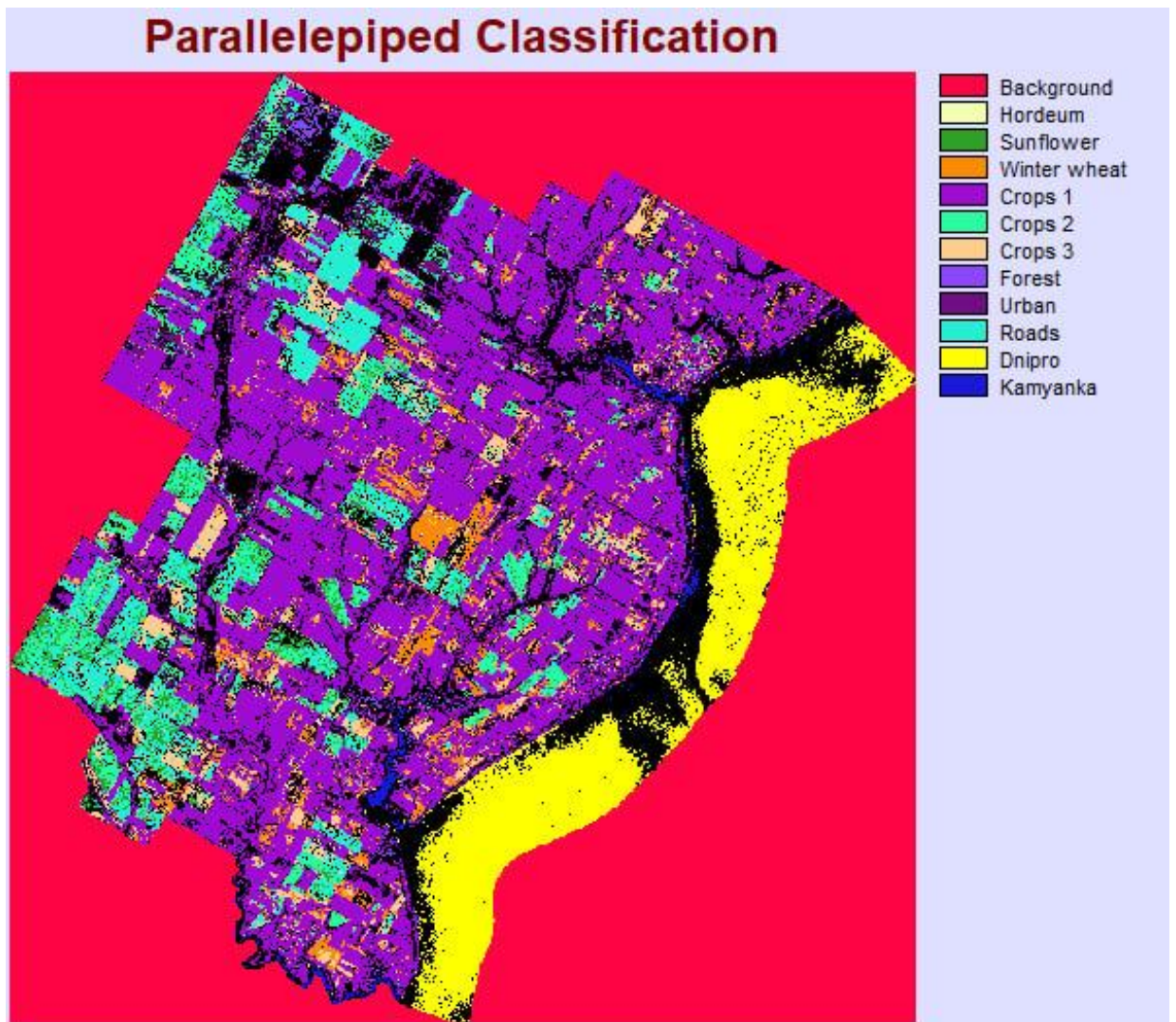


Рис. 3.16 Результат роботи методу класифікації «Паралелепіпедів» за 5 червня 2023 року

Метод класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» (**FISHER**) за 5 червня 2023 року (рис. 3.17) продемонстрував хорошу здатність до розмежування спектрально подібних класів і виявився ефективним для точного виділення лісових масивів серед сільськогосподарських угідь.

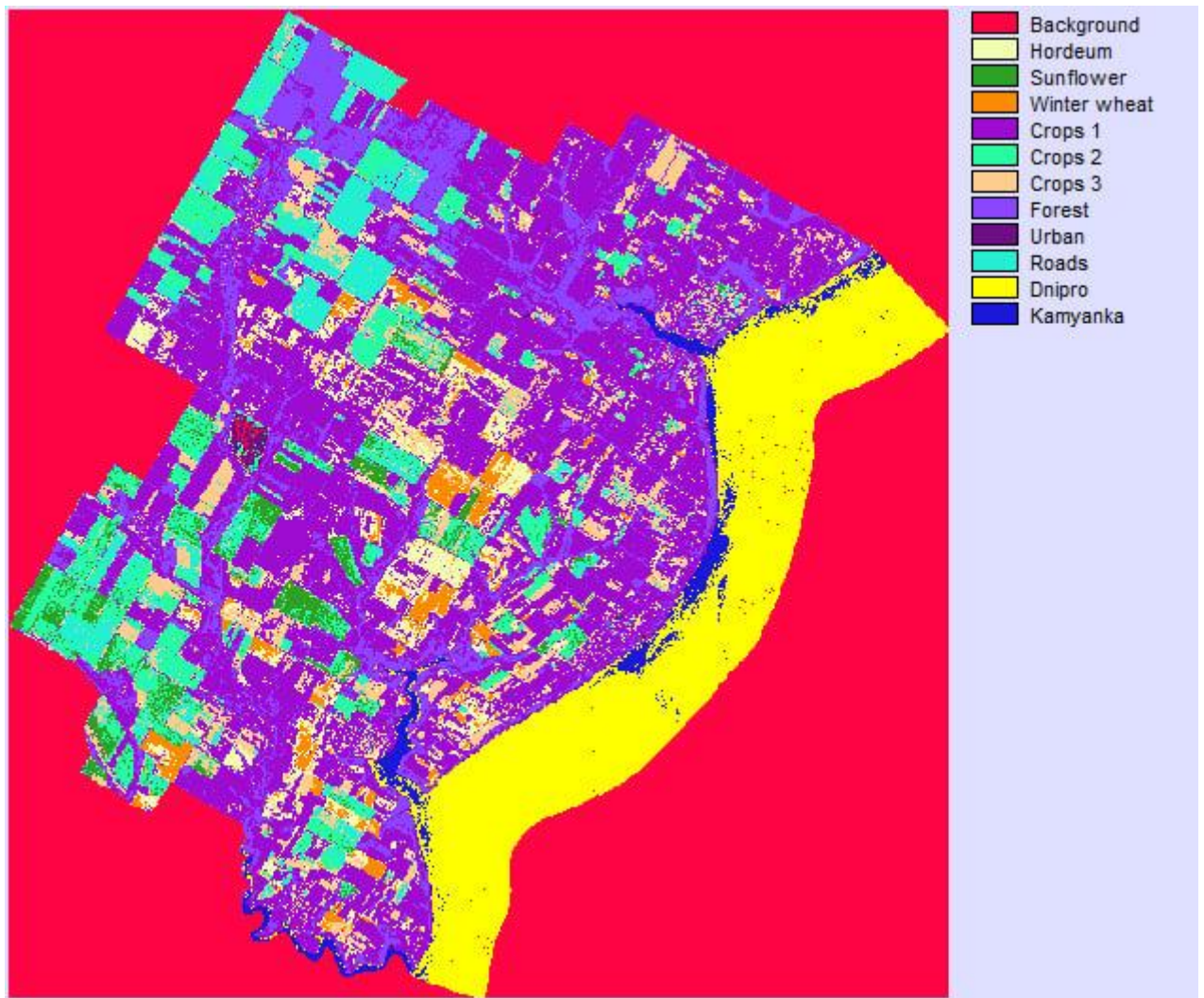


Рис. 3.17 Результат роботи методу класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» за 5 червня 2023 року

Метод класифікації «Мінімальна спектральна відстань» (**MINDIST**) за 20 червня 2023 року (рис. 3.18) показав стабільне розмежування сільськогосподарських культур і водних об'єктів. В деяких ділянках спостерігається часткове змішування меж.

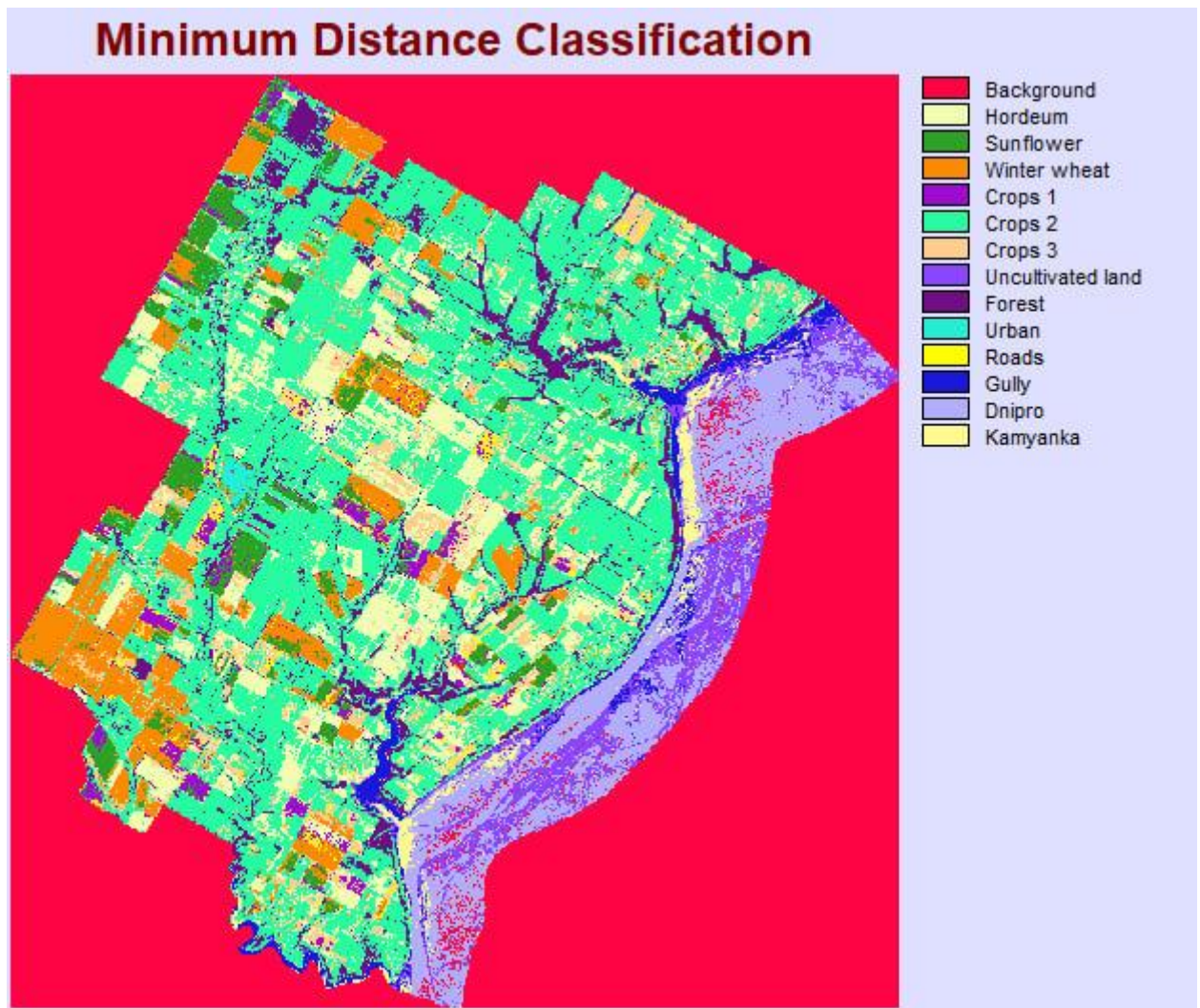


Рис. 3.18 Результат роботи методу класифікації «Мінімальна спектральна відстань» за 20 червня 2023 року

Метод класифікації «Максимальна правдоподібність» (**MAXLIKE**) за 20 червня 2023 року (рис. 3.19) виявив найвищу точність, дозволивши чітко ідентифікувати всі основні класи – орні землі, ліси та водні поверхні та прибережні зони.

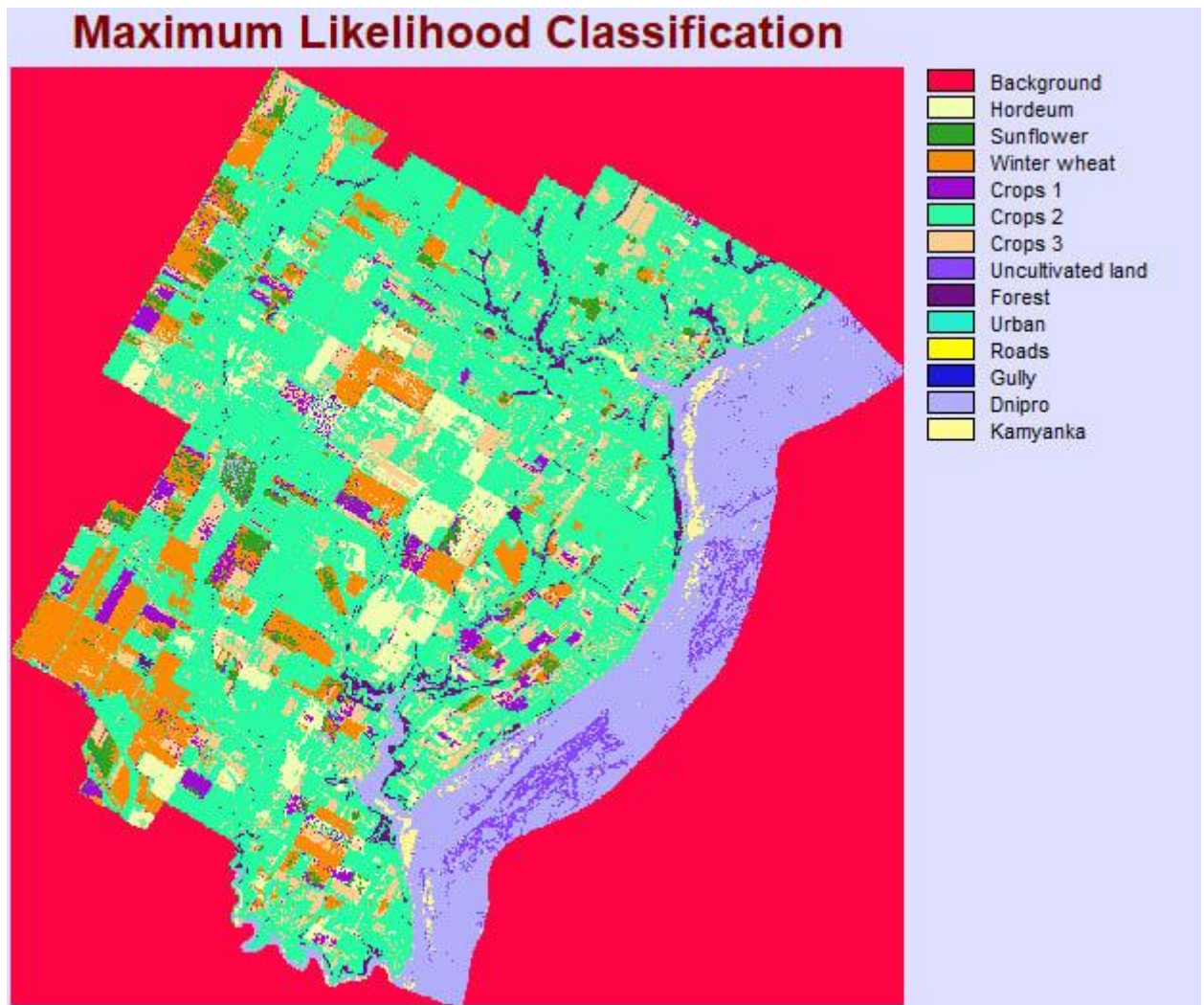


Рис. 3.19 Результат роботи методу класифікації «Максимальна правдоподібність» за 20 червня 2023 року

Метод класифікації «Паралелепіпедів» (**PIPED**) за 20 червня 2023 року (рис. 3.20) виявився менш точним, оскільки спектральна подібність між культурами у фазі активної вегетації призводила до часткових накладень.

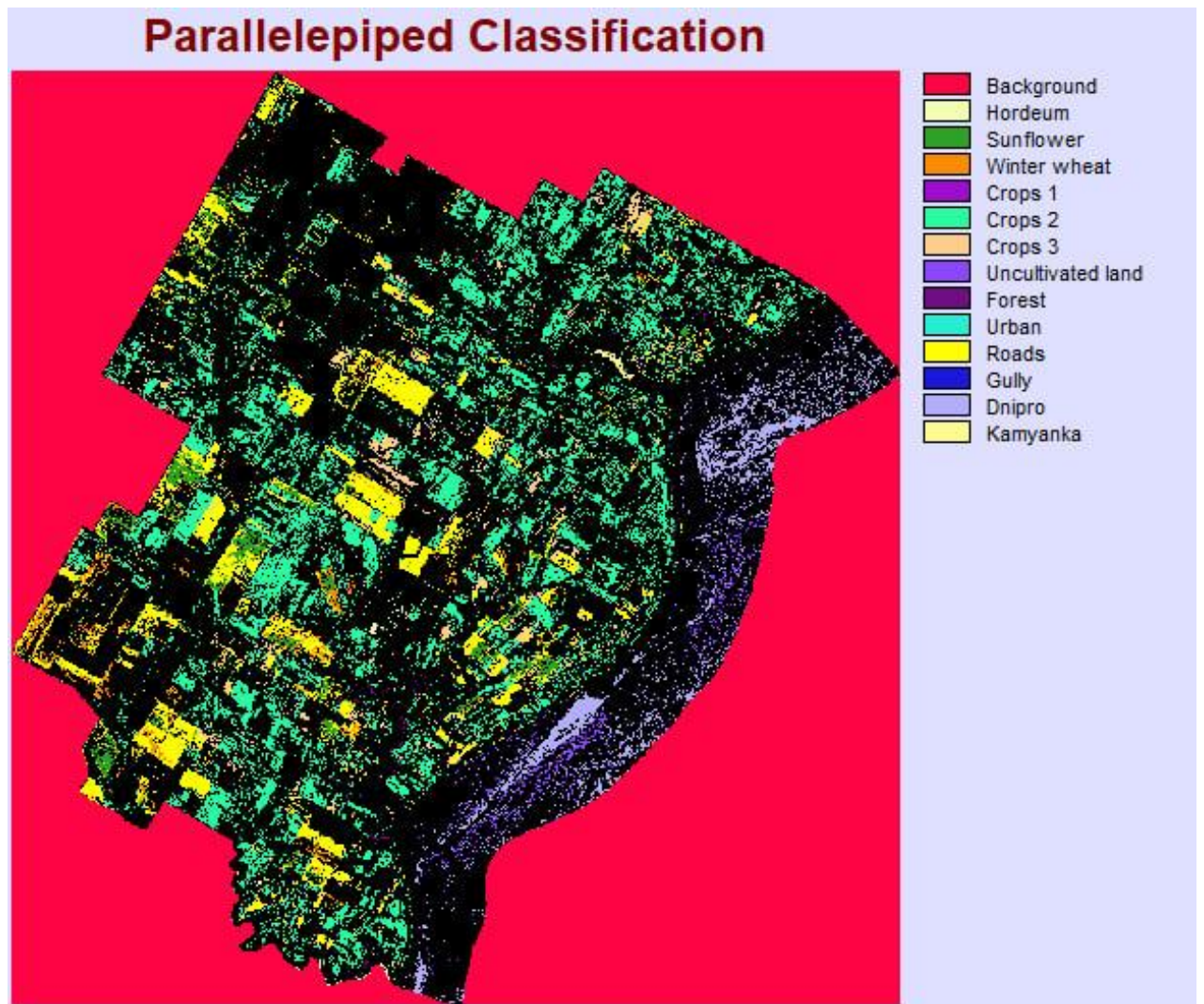


Рис. 3.20 Результат роботи методу класифікації «Паралелепіпедів» за 20 червня 2023 року

Метод класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» (**FISHER**) за 20 червня 2023 року (рис. 3.21) забезпечив ефективне розмежування меж сільськогосподарськими угіддями та природними територіями, чітко відображаючи структуру землекористування в межах досліджуваної території.



Рис. 3.21 Результат роботи методу класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» за 20 червня 2023 року

Метод класифікації «Мінімальна спектральна відстань» (**MINDIST**) за 28 серпня 2025 року (рис. 3.22) забезпечив базову якість розмежування типів земного покриву, хоча межі між земельними угіддями та природною рослинністю частково перекриваються.

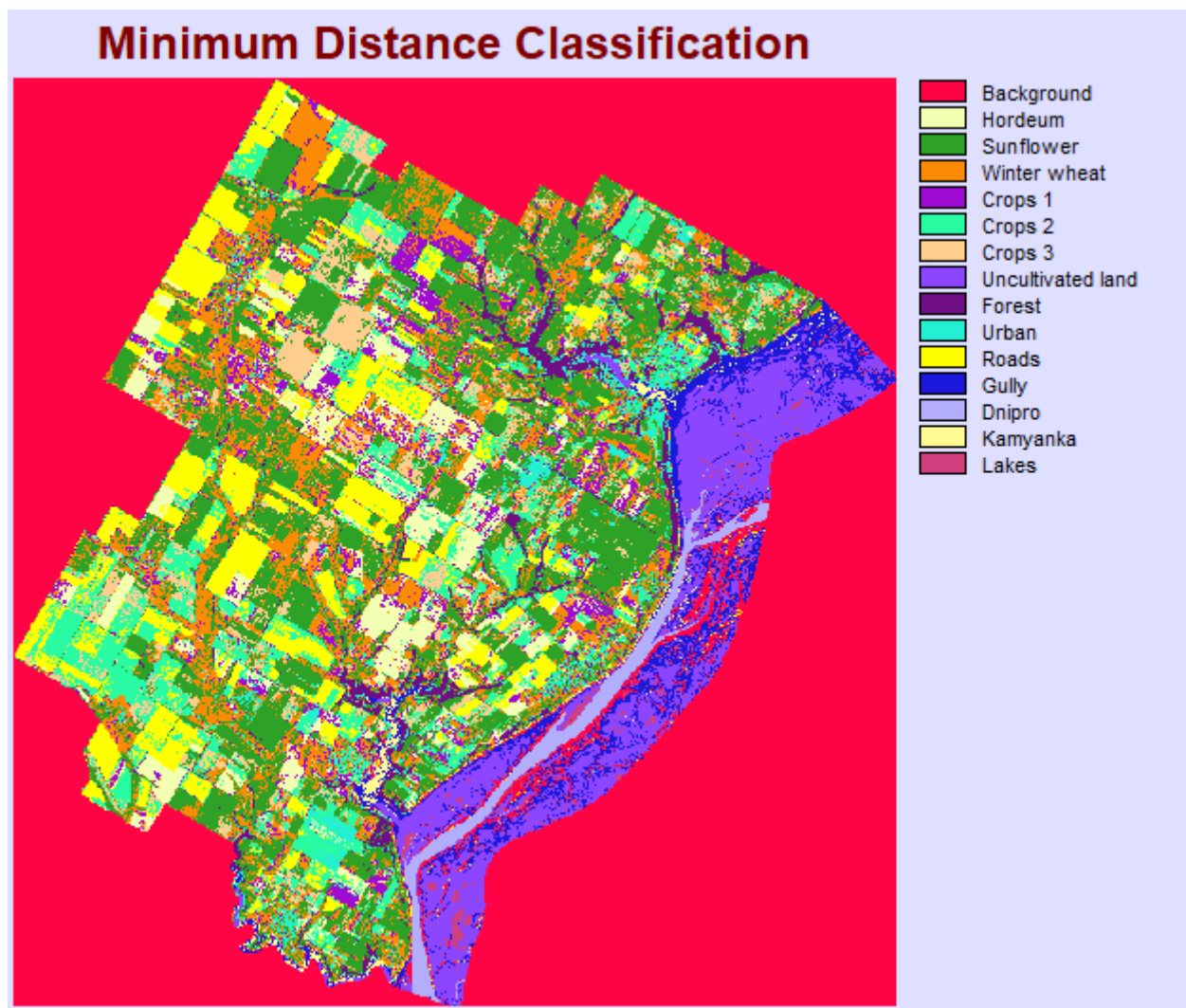


Рис. 3.22. Результат роботи методу класифікації «Мінімальна спектральна відстань» за 28 серпня 2025 року

Метод класифікації «Максимальна правдоподібність» (**MAXLIKE**) за 28 серпня 2025 року (рис. 3.23) продемонстрував найвищу точність, чітко виділивши сільськогосподарські культури, водні поверхні та лісові масиви.

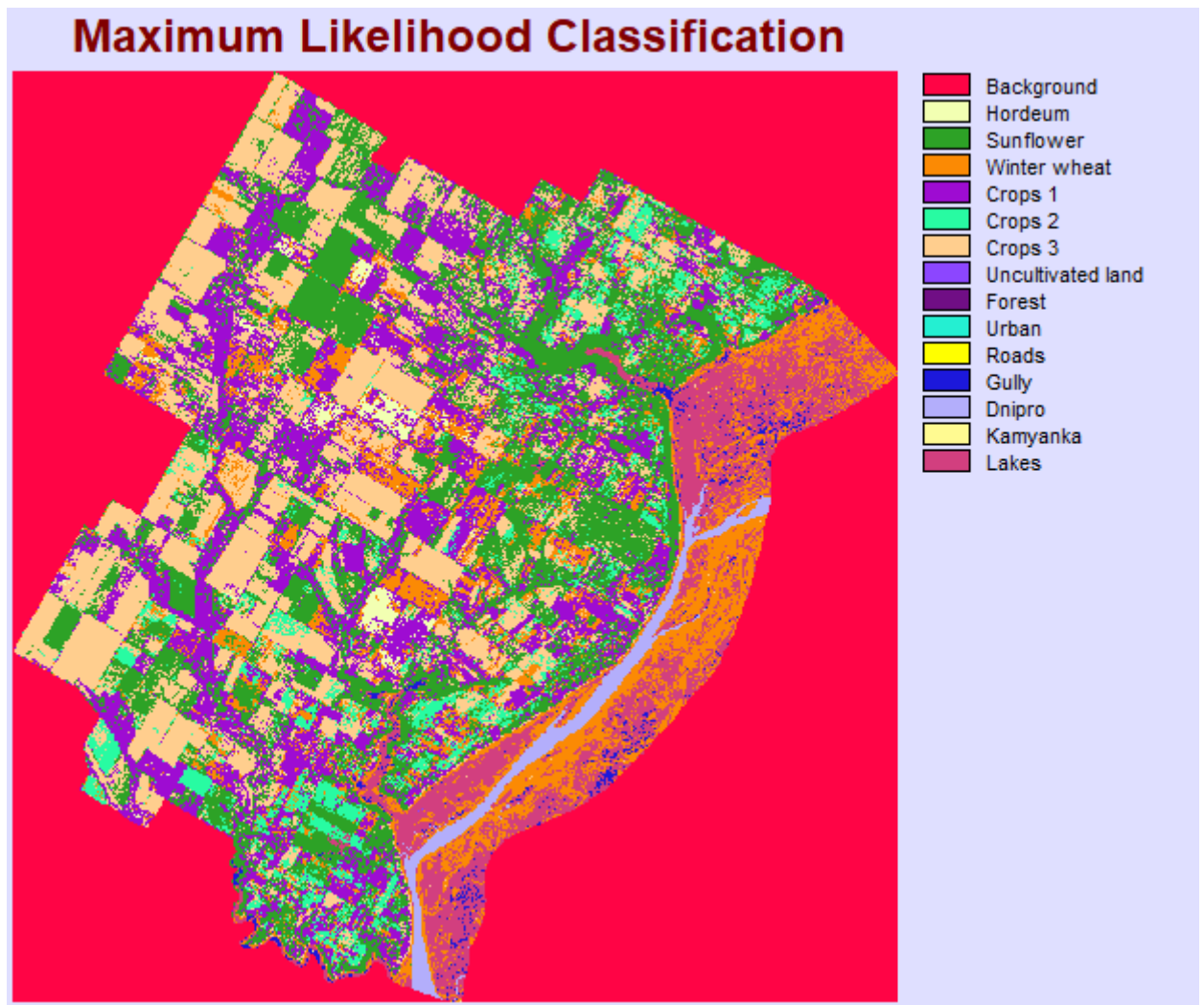


Рис. 3.23 Результат роботи методу класифікації «Максимальна правдоподібність» за 28 серпня 2025 року

Метод класифікації «Паралелепіпедів» (**PIPED**) за 28 серпня 2025 року (рис. 3.24) показав часткове змішування класів, особливо не перехідних ділянках із неоднорідною рослинністю.

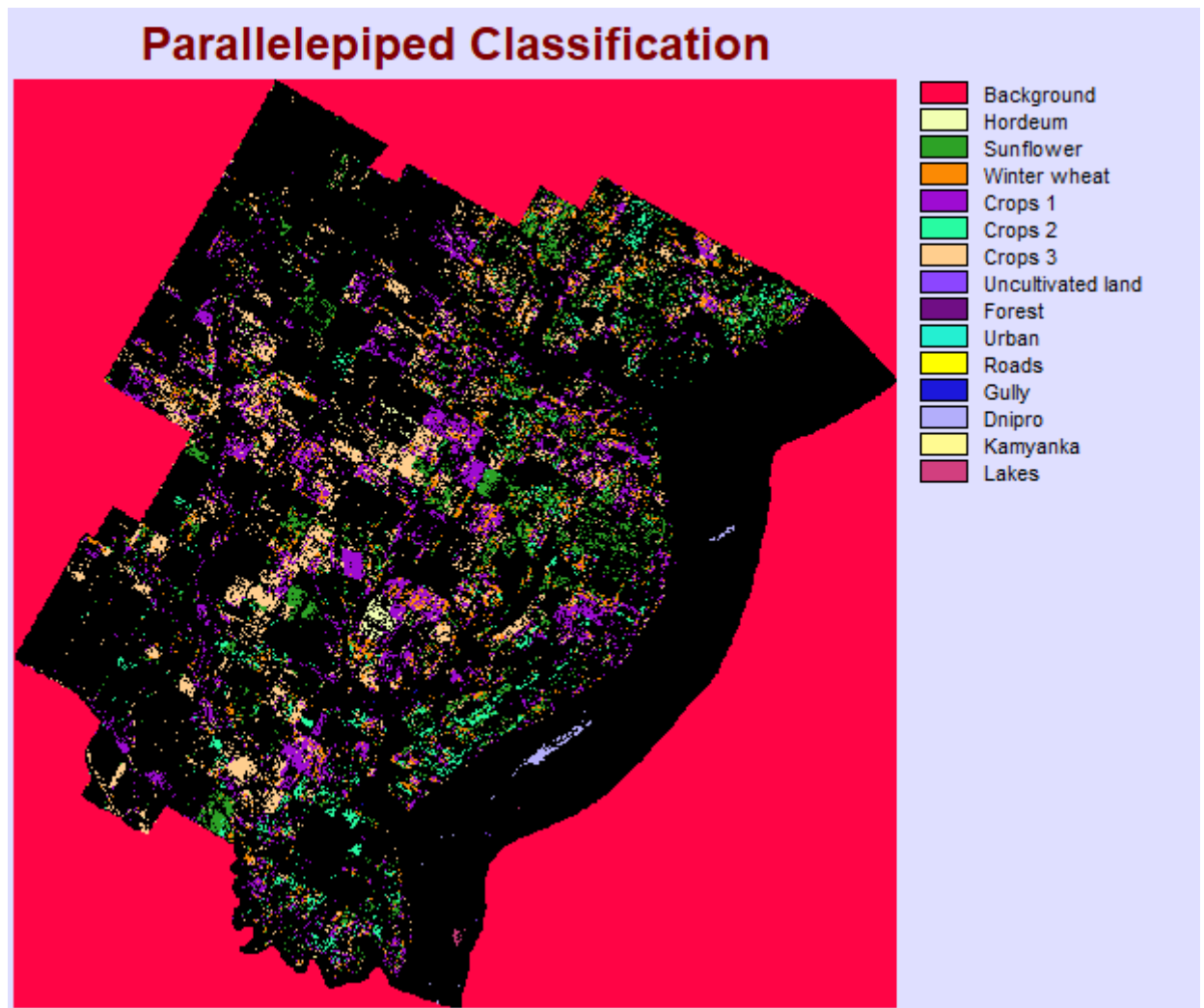


Рис. 3.24 Результат роботи методу класифікації «Паралелепіпедів» за 28 серпня 2025 року

Метод класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» (**FISHER**) за 28 серпня 2025 року (рис. 3.25) дозволив найкраще диференціювати спектрально схожі класи, що підвищило точність виділення меж між орними землями та лісовими ділянками.

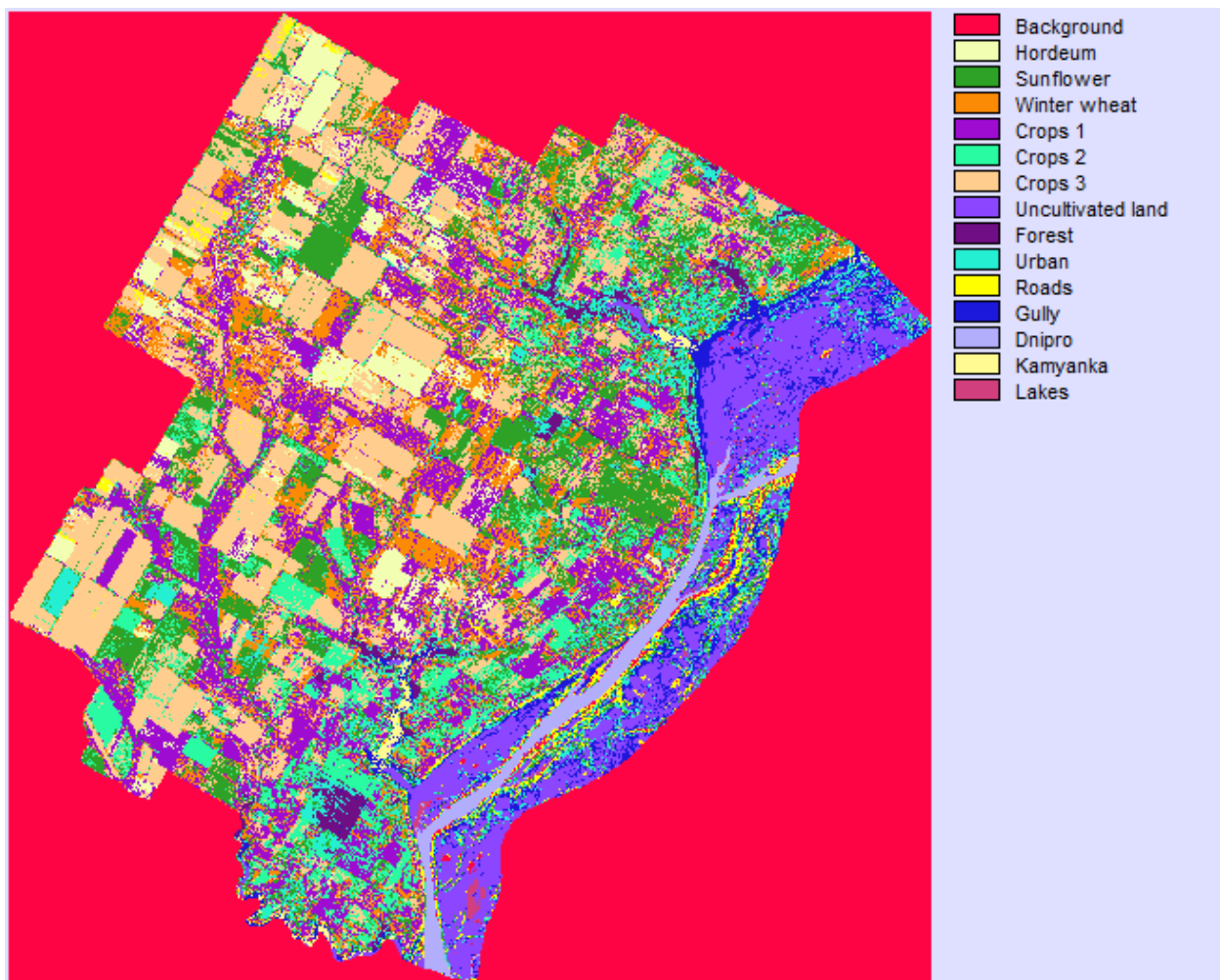


Рис. 3.25 Результат роботи методу класифікації «Аналізу лінійних дискримінант» за 28 серпня 2025 року

Проведений моніторинг підтвердив сезонні зміни стану агроландшафтів Милівської сільської територіальної громади, які зазнали впливу гідрологічних трансформацій після підриву Каховського водосховища. Встановлено зниження вегетаційної активності рослинності наприкінці літа, скорочення площ водних об'єктів і поступове зменшення вологості ґрунтів у прибережних зонах. Використання супутникових даних Sentinel-2, розрахунки NDVI і NDWI, а також методів класифікації забезпечило достовірну оцінку просторових і структурних агроландшафтів. Отримані результати дозволили виділити ключові елементи агроландшафтної структури і підтвердити ефективність дистанційного зондування для комплексного моніторингу стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища.

## **Висновки**

У ході реалізації моніторингу стану агроландшафтів Милівської сільської територіальної громади в зоні впливу Каховського водосховища було здійснено комплексний аналіз природних та антропогенних чинників формування сучасної структури землекористування, а також простежено просторово-часову динаміку стану рослинного покриву та водних об'єктів із використанням супутникових даних Sentinel-2. Результатами дослідження показали, що агроландшафти громади характеризується високим ступенем освоєності, значною часткою орних земель і помітним впливом ерозійних процесів. Проведені розрахунки індексів NDVI та NDWI дозволили оцінити зміни у вегетаційній активності та гідрологічному режимі території внаслідок трансформацій, спричинених руйнуванням Каховської ГЕС.

Встановлено, що у червні 2023 року спостерігалися високі значення NDVI (0,55-0,80), які свідчать про активну фазу розвитку сільськогосподарських культур і стабільний стан лісової рослинності. Водночас водний індекс NDWI має значення 0,40-0,65, що відображало повну водність річкових і заплавних систем. Проте вже у серпні 2025 року NDVI знизився до 0,25-0,45, що вказує на завершення вегетаційного періоду та зниження біопродуктивності агроecosystem. Значення NDWI також зменшилися (0,20-0,40), підтверджуючи деградаційні процеси у водних об'єктах і скорочення площ зволжених земель.

Аналіз графіків вегетаційного та водного індексів, а також варіювання відбитої яскравості в сигнатурах показав чітке розмежування між рослинними та водними об'єктами, що засвідчує ефективність використання спектральних характеристик для моніторингових спостережень. Застосування методів керованої класифікації забезпечило достовірне виділення основних класів земельного покриву – сільськогосподарських угідь, лісових насаджень, водних поверхонь і деградованих територій. Найбільш точні результати отримано за методом «Максимальна правдоподібність» (MAXLIKE), який забезпечив найкращу відповідність класифікованих даних реальним умовам території.

Отже, проведений моніторинг підтвердив значний вплив гідрологічних змін внаслідок руйнування Каховського водосховища на стан агроландшафтів Милівської сільської територіальної громади. Виявлено тенденцію до скорочення площ водних об'єктів, зниження вологозабезпеченості ґрунтів та зменшення біологічної продуктивності сільськогосподарських угідь. Отримані результати є основою для подальшого еколого-економічного аналізу, розроблення заходів із відновленням агроландшафтів та формування стратегії сталого використання земель у післявоєнний період.

## ВИСНОВОК

У даній роботі здійснено комплексне дослідження змін стану агроландшафтів щодо впливу Каховського водосховища, розроблено та реалізовано моделі моніторингу використанням технологій геоінформаційних систем (ГІС) і дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Здійснено аналіз публікації українських авторів у сфері дослідження агроландшафтів, а також у застосуванні ГІС та ДЗЗ для моніторингу змін.

Проведено аналіз змін стану агроландшафтів щодо впливу Каховського водосховища показав значні екологічні та просторові трансформації: зменшення продуктивності сільськогосподарських угідь, деградацію прибережних агроєкосистем та скорочення площ водних об'єктів. Аналіз індексів NDVI і NDWI підтвердили тенденцію до зниження біопродуктивності та рівня води у прибережній зоні Милівської сільської територіальної громади після підриву Каховського водосховища у 2023 році.

Розроблено моделі, які забезпечують методичну та технологічну основу дослідження:

1) Узагальнена модель моніторингу стану агроландшафтів визначає взаємозв'язок етапів збору, аналізу та інтерпретації даних ДЗЗ і ГІС для оцінки стану агроєкосистем.

2) Модель послідовності здійснення моніторингу стану агроландшафтів описує логіку виконання процесу від отримання супутникових знімків до створення тематичних карт та аналітичних висновків.

3) Модель накопичення даних моніторингу стану агроландшафтів передбачає структуру зберігання геопросторової інформації для подальшого аналізу змін у часі.

4) Модель послідовності обробки даних ДЗЗ поєднує обчислення індексів NDVI і NDWI, класифікацію зображень і створення тематичних карт для виявлення зміни рослинності та водних об'єктів.

Здійснено реалізацію розроблених моделей на прикладі Милівської сільської територіальної громади. На основі супутникових знімків Sentinel-2 за

різні роки побудовано тематичні карти вегетаційного індексу NDVI та водного індексу NDWI, виконано класифікацію території методами «Мінімальної спектральної відстані», «Максимальної правдоподібності», «Паралелепіпедів» та «Аналізу лінійних дискримінант». Отримані результати дозволили простежити сезонну динаміку рослинного покриву, виявити осередки деградації земель і підтвердити ефективність застосування розробленої моделі для комплексного просторово-часового моніторингу агроландшафтів.

Результати підтвердили, що поєднання ГІС та ДЗЗ є ефективним інструментом для аналізу змін стану агроландшафтів і прийняття управлінських рішень щодо їх відновлення. Перспективою подальших досліджень є використання створених моделей для побудови регіональних систем моніторингу досліджень, оцінки ризиків деградації та планування заходів еколого-економічної стабілізації у післявоєнний період.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каленська, О. А. Агроландшафти: поняття, суб'єкти і фактори трансформації [Електронний ресурс] / О. Каленська, О. Сакаль // Економіст. - 2015. - № 3. - С. 26-29. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ\\_2015\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2015_3_9)
2. Лагутенко О.Т. Агроекологія: Навчальний посібник. - К.: НПУ ім. М.П.Драгоманова,. 2012.-206 с. URL: <http://moodle.nati.org.ua/mod/url/view.php?id=26916>
3. Міняйло Н. В. Методи оцінки екологічного стану агроландшафтів – Міняйло Н. В., Біоресурси і природокористування Том 10, № 3-4 (2018) с.92- 97. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.03.011>
4. Моніторинг. Центр екологічного моніторингу. URL: <https://ecomonitoring.info/%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3/>
5. Kovtonyuk, D., Serdyuk, M., Kozachenko, O., Babich, O., & Zhuravska, N. (2023). DIRECTION OF DEVELOPMENT OF SYNERGY OF ECOLOGY AND INFORMATION SYSTEMS. Sworld-Ur Conference Proceedings, 1(usc21-01), 65–69. URL: <https://www.proconference.org/index.php/usc/article/view/usc21-01-030>
6. Мудрак О. В. Екологічний моніторинг агроландшафтів України як основа їх оптимізації та ефективного використання / О. В. Мудрак, Г. В. Мудрак // Сільське господарство та лісівництво. - 2019. - № 14. - С. 231–244. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=agf\\_2019\\_14\\_22](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=agf_2019_14_22)
7. Колодницька Р. В. Теоретичні основи використання методів дослідження антропогенних територіальних систем для аналізу і моніторингу агроландшафті в межах заповідних територій / Р. В. Колодницька // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Біологія, біотехнологія, екологія. - 2015. - Вип. 214. - С. 125-132. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

[bin/irbis\\_nbuvcgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=nvnau\\_biol\\_2015\\_214\\_20](http://bin/irbis_nbuvcgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnau_biol_2015_214_20)

8. Білявський Г.О. Агроекологічний моніторинг - основа забезпечення збалансованого розвитку агросфери Вінниччини / Г.О. Білявський, Н.О. Верестун // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки. - 2011. - Вип. 8 (48). - С. 93-99. URL: <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/3426.pdf>

9. Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка стабільності та антропогенного навантаження агроландшафтів Чернігівської області / Ю. В. Рибалко, Р. В. Бабка // Агроекологічний журнал. - 2018. - № 1. - С. 21-27. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog\\_2018\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2018_1_5)

10. Давидюк Г. В. Зміни екологічного стану агроландшафтів Львівської обл. під впливом антропогенного навантаження / Г. В. Давидюк, Л. І. Шкарівська, І. І. Клименко, Н. І. Довбаш, М. В. Повидало // Землеробство та рослинництво: теорія і практика. - 2024. - Вип. 3. - С. 36-46. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/zemroc\\_2024\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zemroc_2024_3_6)

[11. Власова О. В. Науково-методичні основи еколого-меліоративного моніторингу агроландшафтів за даними дистанційного зондування Землі. - С. 98-100. URL: <https://journals.uran.ua/bnusing/article/view/276623>

12. Ліщенко Л. П., Пазинич Н. В., Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів у Придніпровській зоні м. Київ. - С. 11-22. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/uk/article/UJRN-0000864082>

13. Казаченко Л. М. ГІС-технології при виявленні деградаційних процесів ґрунтового покриву лісостепової частини Харківської області [Електронний ресурс] / Л. М. Казаченко, Д. А. Казаченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2015. - Вип. 156. - С. 231-236. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2015\\_156\\_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_156_37)

14. С.М. Шевчук, Н.І. Прокопенко, Т.А. Рожі. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація

землекористування та охорони природи. Просторовий розвиток: Науковий збірник / Головн. ред. О. Шкуратов. К., КНУБА, 2024. Вип. 7. 650 (445-458с) с. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/380196599\\_ANALYSIS\\_OF\\_THE\\_USE\\_OF\\_GEODESIC\\_DATA\\_IN\\_THE\\_PLANNING\\_AND\\_MONITORING\\_OF\\_AGRICULTURAL\\_LANDSCAPES\\_OPTIMIZATION\\_OF\\_LAND\\_USE\\_AND\\_NATURE\\_PROTECTION](https://www.researchgate.net/publication/380196599_ANALYSIS_OF_THE_USE_OF_GEODESIC_DATA_IN_THE_PLANNING_AND_MONITORING_OF_AGRICULTURAL_LANDSCAPES_OPTIMIZATION_OF_LAND_USE_AND_NATURE_PROTECTION)

15. Слободяник М. П. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів / М. П. Слободяник // Вісник геодезії та картографії. - 2014. - № 1. - С. 27-31. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk\\_2014\\_1\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2014_1_8)

16. Тараріко О. Г. Формування науково-методичних засад супутникового агроекологічного моніторингу в Україні / О. Г. Тараріко, Т. В. Ільєнко, Т. Л. Кучма, Н. І. Адамчук-Чала, О. А. Білокінь // Агроекол. журн. - 2022. - № 2. - С. 6-21. URL: <https://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000808776>

17. Васільєв Д. П., Ільєнко Т. В. Моніторинг процесів опустелювання агроєкосистем за супутниковими даними: досвід та перспективи. - С. 82-93. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog\\_2024\\_3\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2024_3_10)

18. Науково-методичні засади дистанційного агроекологічного моніторингу та прогнозування / О. І. Фурдичко, О. Г. Тараріко, Т. В. Ільєнко, С. В. Коковіхін, М. О. Солоха // Вісник аграрної науки. — 2022. — № 4. — С. 64-71. URL: [https://agrovisnyk.com/index.php/agrovisnyk/article/view/2022\\_04\\_08](https://agrovisnyk.com/index.php/agrovisnyk/article/view/2022_04_08)

19. Горбатенко А. Нормативно-технічне регулювання використання геоінформаційних систем для агросфери (досвід НУБіП України) \* / А. Горбатенко // Техніка і технології АПК. - 2013. - № 1. - С. 27-30. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titapk\\_2013\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titapk_2013_1_11)

20. Зацерковний В. І. Обґрунтування вибору математичної основи системи управління процесом соціально-економічного розвитку регіону зі зворотнім зв'язком і СППР із застосуванням геоінформаційних технологій [Електронний ресурс. / В. І. Зацерковний // Науковий вісник Чернігівського державного

інституту економіки і управління. Серія 1 : Економіка. - 2012. - Вип. 2. - С. 16-32. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NvChdieu\\_2012\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NvChdieu_2012_2_4)

21. Екологічний моніторинг розвитку посушливих процесів у Запорізькій області / О. В. Мудрак, М. М. Ганчук, В. П. Скиба, І. В. Циганов, К. О. Ганчук // Збалансоване природокористування, 2024, №4. — с. 108-115. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/18469>

22. Овчаренко А. Ю. Індикативний ландшафтний моніторинг національних природних парків (на прикладі території НПП «Слобожанський») / А. Ю. Овчаренко, О. В. Залюбовська // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – Вип. 49.– С.190-205. URL: <https://scispace.com/pdf/indikativnii-landshaftnii-monitoring-natsionalnikh-18z8fgkrn4.pdf>

23. Зацерковний В. І., Інтеграція технологій ГІС та ДЗЗ для задач агроландшафтного, агроекологічного і функціонального картографування аграрних територій ./ В.І. Зацерковний, П.І. Трофименко, Д. О Сивик, О. А.Бабич // Вісн. Нац. ун-ту водного господарства та природокористуван-ня. – 2014. – Вип. 3(67). – С. 93–100. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp\\_tekhn\\_2014\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp_tekhn_2014_3_14)

24. Зацерковний В. І. Застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій у дослідженні ландшафтів / В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, Ю. В. Кун // Управління розвитком складних систем. - 2018. - Вип. 34. - С. 92-103. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss\\_2018\\_34\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2018_34_15)

25. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Сучасні методи оцінювання та прогнозування впливу змін клімату на ландшафти та продуктивність агроєкосистем з використанням ДЗЗ/ГІС. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції Перспективи розвитку геоінформаційних технологій в умовах змін клімату, 20 квітня 2023 року, м. Одеса [Текст. / [редкол.: Р. Вожегова та ін.] ; Нац. акад. аграр. наук України [та ін.]. - Одеса : Олді+, 2023. – с. 34-40. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2023/05/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8>

[%D0%BA-](#)

[%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D1](#)

[%96%D0%B2-](#)

[%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%](#)

[D1%86%D1%96%D1%97-20.04.2023-%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf](#)

26. Швиденко І.К. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу і оцінки стану лісових масивів. Землевпорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи: матеріали III Міжнародної науковопрактичної конференції (Біла Церква, 7–8 березня 2023 р.). Біла Церква: БНАУ, 2024. 111 с., с. 90-92. URL: [https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy\\_zemlevpor\\_galuz\\_7-8.03.2024.pdf](https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_zemlevpor_galuz_7-8.03.2024.pdf)

27. Денисюк В., Мельник О. Дистанційний моніторинг змін землекористувань у межах водозбору річки Стохід. Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. Луцьк, 2024. № 4(4). С. 138-150. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/25679>

28. Машков О.А., Фролов В.Ф., Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Системне застосування методів дистанційного моніторингу екологічного та технічного стану водних технооекосистем / Екологічні науки: науково-практичний журнал / К.: ДЕА, 2019.-№ 2(25), 2019, с. 28-39. URL: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/2-25-2019>

29. Зацерковний В. І. Застосування технологій ГІС і ДЗЗ в задачах моніторингу лісових ценозів / В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, К. П. Ягорлицька // Наукоємні технології. - 2017. - № 4. - С. 350-357. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt\\_2017\\_4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2017_4_15)

30. Миколенко, Л. Особливості методики застосування даних ДЗЗ в системах моніторингу зсувонебезпечних територій [Текст] / Л. Миколенко // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія. - К. : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2010. - Вип. 50. - С. 46-50. URL: <https://geology.bulletin.knu.ua/article/view/2236>

31. Путренко В.В., Пашинська Н.М. Регіональний моніторинг стану рослинності з використанням методів інтелектуального аналізу даних // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. - Том 30 37 (69) Ч. 1 № 4 2019. – С. 112 – 118. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit\\_2015\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit_2015_4_3)

32. Альперт С. І. Новітній підхід до застосування нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для класифікування аерокосмічних зображень за наявності неповних та неточних даних / С. І. Альперт // Мат. машини і системи. - 2022. - № 2. - С. 19-28. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000809006>

33. Федоровський О. Д., Хижняк А. В., Томченко О. В., Бондаренко А. Д. Порівняння різночасових і різнометодичних оцінок екологічного стану водного середовища (на прикладі річки Прип'ять за 1999 та 2022 рр.). - С. 34-40. 20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz\\_2023\\_10\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz_2023_10_3_8)

34. Офіційний сайт Милівської територіальної громади. URL: <https://miloverada.gov.ua/about>

35. Довкіллева складова в Плані відновлення Милівської сільської об'єднаної територіальної громад. Екологія-Право-Людина. URL: <https://epl.org.ua/eco-analytics/dovkillyeva-skladova-v-plani-vidnovlennya-mylyivskoyi-silskoyi-ob-yednanoyi-terytorialnoyi-gromady/>

36. Проєкт «Програма комплексного відновлення території Милівської сільської територіальної громади (її частини) Бериславського району Херсонської області». URL: <https://e-construction.gov.ua/files/restoration/2025-05-29/167e9961-3fa1-4930-862c-ea1bd1f54172.pdf>

37. Колотій Є. Є., Москаленко А. А. Моделювання алгоритму визначення зміни стану агроландшафту щодо впливу Каховського водосховища. Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток: зб. матеріалів міжнар. наук. конф. Київ: НУБіП України, 2024. С. 373-374. - Режим доступу: <https://old.nubip.edu.ua/node/154260>