

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра фізичної географії

На правах рукопису

КОВАЛЬ ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ

ЕВТРОФІКАЦІЯ КОРТЕЛІСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Спеціальність: 103 Науки про Землю

Освітня програма: Гідрологія

Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного ступеня «Бакалавр»

Науковий керівник:

Фесюк Василь Олександрович

доктор географічних наук, професор

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол №

засідання кафедри фізичної географії

від _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

проф. Фесюк В.О. _____

ЛУЦЬК – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ..	5
1.1. Поняття про евтрофікацію водойм.....	5
1.2. Схильність водойм різних типів до евтрофікації.....	7
1.3. Вплив зовнішніх чинників на масштаби та наслідки евтрофікаційних процесів.....	9
1.4. Методика дослідження евтрофікованості водних об'єктів.....	11
1.5. Вивченість питання у науковій літературі.....	14
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КОРТЕЛІСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА..	16
2.1. Природні умови території.....	16
2.2. Гідрологічні та гідротехнічні особливості водосховища.....	24
2.3. Сучасний стан водозбору.....	29
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ЕВТРОФІКОВАНOSTІ ВОДОЙМИ.....	33
3.1. Внутрішньорічна динаміка евтрофікованості	33
3.2. Особливості багаторічної динаміки евтрофікованості.....	40
РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКОВАНOSTІ КОРТЕЛІСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА	44
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. Необхідність зменшення евтрофікації Кортеліського водосховища, яке є водоймою-накопичувачем однойменної осушувальної системи, зумовлена важливістю цього водного об'єкта для екологічного балансу та водозабезпечення регіону. Дренажні стоки, вплив сільського господарства та зміна клімату здатні прискорити процеси евтрофікації, що спричинить погіршення якості води та втрати біорізноманіття. Тому розробка ефективних заходів контролю та зменшення евтрофікації є необхідною для збереження екосистеми водосховища та забезпечення сталого використання водних ресурсів.

Мета дослідження полягає у забезпеченні сталого використання водних ресурсів, сприятливого екологічного стану досліджуваної території завдяки розробці та реалізації заходів зменшення і попередження евтрофікації Кортеліського водосховища.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

- узагальнити теоретико-методологічні засади дослідження евтрофікації водойм;
- охарактеризувати особливості природних умов, гідрологічні та гідротехнічні особливості Кортеліського водосховища;
- проаналізувати сучасний стан евтрофікації водосховища, внутрішньорічну та багаторічну динаміку евтрофікаційних процесів;
- запропонувати заходи зменшення та попередження евтрофікованості Кортеліського водосховища.

Об'єкт дослідження – гідроекосистема Кортеліського водосховища.

Предмет дослідження – гідроекологічні особливості, сучасний стан евтрофікації Кортеліського водосховища та перспективи її зниження.

Методологічною базою дослідження є праці зарубіжних та вітчизняних вчених: В.М. Боголюбова, І.В. Юхимчука, М.С. Мальованого, М.В. Боярин,

І.М. Нетробчук, Я.О. Мольчака, В.О. Фесюка, Й.В. Гриба, М.О. Клименка, В.В. Сондака, Ф.В. Зузука, Л.К. Колошко, З.К. Карпюк, А.В. Яцика, А. Martin, G.D. Cooke, A. Raika, O.P. Pietilainen, S. Rekolainen, P. Kauppila, H. Pitkanen, J. Niemi, A. Raateland, J. Vuorenmaa та багатьох інших.

Інформаційною базою роботи є матеріали Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області (Паспорт Кортеліського водосховища), законодавчі та нормативні акти України, літературні джерела, картографічні онлайн-сервіси (OpenTopoMap, Google Map), супутникові знімки (Sentinel-2).

Методи дослідження. У роботі використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: огляд та аналіз літератури, робота з фондовими матеріалами, експедиційний, картографічний, дистанційного зондування Землі, описово-географічний, порівняльно-географічний, статистичний, ГІС-моделювання, гідроекологічного аналізу, експертних оцінок.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше проведено комплексну оцінку сучасного стану евтрофікації Кортеліського водосховища, чинників, що її зумовлюють;
- удосконалено методику дослідження евтрофікації водосховищ у межах осушувальних систем в умовах Волинського Полісся.

Практична цінність роботи. Результати дослідження можуть бути використані при розробці місцевих екологічних програм Ратнівської територіальної громади, проведенні екологічного моніторингу водних об'єктів території, реалізації природоохоронних заходів, підготовці освітніх програм екологічного спрямування, а також при викладанні освітніх компонентів гідроекологічної спрямованості у Волинському національному університеті імені Лесі Українки.

Апробація. За матеріалами кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді на науковій конференції [41].

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота має загальний обсяг 59 сторінок і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (51 позиція).

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Поняття про евтрофікацію водойм

Евтрофікація, або перенасичення поживними речовинами, є екологічною проблемою, актуальною для водно-болотних угідь, струмків, річок, озер і водосховищ у всьому світі. Ці водні об'єкти є частиною ландшафту та значно відрізняються за своєю природною родючістю (трофністю). Крім того, рівень надходження до них двох ключових поживних речовин для рослин – нітрогену і фосфору може бути значно збільшений внаслідок людської діяльності. Це спричиняє швидке, а іноді й екстремальне евтрофування раніше чистих вод. Аналогічно, природно продуктивні озера можуть бути додатково збагачені точковими і дисперсними джерелами поживних речовин, створеними людиною. Таке прискорене надходження поживних речовин у поверхневі води називається культурною евтрофікацією [3].

Евтрофікація може спричинити значний вплив на якість природних вод. Вона характеризується надмірним ростом рослин і водоростей через підвищену доступність одного або декількох лімітуючих чинників росту, необхідних для фотосинтезу (сонячне світло, вуглекислий газ і поживні речовини). Евтрофікація відбувається природним чином протягом століть, коли озера старіють і заповнюються відкладами (сапропелем). Однак людська діяльність прискорила швидкість і масштаби евтрофікації як через точкові скиди, так і через дисперсне надходження поживних речовин (нітроген і фосфор), у водні екосистеми (так звана «культурна» евтрофікація), що має значні наслідки для джерел питної води, рибальства і рекреаційних водойм. Наслідками евтрофікації є: цвітіння синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), забруднення питної води, погіршення рекреаційних можливостей і гіпоксія водойм (зменшення вмісту кисню) [34].

Проте найпомітнішим наслідком евтрофікації є утворення густого цвітіння шкідливого, із неприємним запахом фітопланктону, який знижує прозорість води та погіршує її якість. Цвітіння водоростей обмежує проникнення світла, зменшуючи ріст і спричиняючи відмирання рослин у прибережних зонах. Крім того, високі темпи фотосинтезу, пов'язані з евтрофікацією, можуть виснажувати розчинений неорганічний вуглець і підвищувати рН до екстремальних рівнів протягом дня. Коли ці згустки цвітіння водоростей врешті-решт гинуть, мікробний розклад ще сильніше зменшує вміст розчиненого кисню, створюючи гіпоксичну або аноксичну «мертву зону», в якій не вистачає кисню для підтримки більшості організмів. Мертві зони зустрічаються в багатьох прісноводних озерах та водосховищах влітку та викликають літні замори риби [7].

Деякі види цвітіння водоростей становлять додаткову загрозу, оскільки вони виробляють отруйні токсини (наприклад, мікроцистин і анатоксин-а). Отруєння домашніх та диких тварин і навіть людей внаслідок цвітіння токсичних ціанобактерій були задокументовані по всьому світу. Також ціанобактерії спричиняють появу деяких сполук з неприємним смаком (наприклад, метилісоборніал і геосмін), які містяться в комунальних системах подачі питної води (зокрема, системах міського водопроводу). Крім того, що ціанобактерії становлять значний ризик для здоров'я населення, лабораторні дослідження показали, що вони є неякісною їжею для більшості видів зоопланктону, що знижує ефективність передачі енергії у водних харчових ланцюгах і потенційно перешкоджає зоопланктону контролювати цвітіння водоростей [3].

Враховуючи значні масштаби погіршення якості води, пов'язані зі збагаченням поживними речовинами, евтрофікація становила і продовжує становити серйозну загрозу для джерел питної води, рибного господарства та рекреаційних водних об'єктів по цілому світу. Прогнозована зміна клімату та зростання чисельності населення можуть призвести до подальшого погіршення якості та кількості води, тому існує нагальна потреба в мінімізації

інтенсивності та частоти цвітіння водоростей і ціанобактерій. В науковій літературі з цією метою найчастіше рекомендують: відведення надлишкових поживних речовин, зміну співвідношення поживних речовин, фізичне перемішування, затінення водойм непрозорими плівками або барвниками на водній основі, застосування сильнодіючих альгіцидів (отруйні речовини, що знищують водорості) та гербіцидів. Загалом, ці стратегії виявилися неефективними, дорогими і/або непрактичними, особливо для великих, складних екосистем. Якість води часто можна покращити, зменшивши надходження нітрогену та фосфору у водні об'єкти, висхідний контроль за поживними речовинами здатен також суттєво поліпшити прозорість води. Однак зменшення кількості поживних речовин може бути складно (і дорого) контролювати, особливо в сільськогосподарських районах, де поживні речовини для водоростей надходять з дифузних джерел. Крім того, в озерах та водосховищах, де зовнішнє надходження поживних речовин зменшилося, внутрішнє надходження поживних речовин з донних відкладів може перешкоджати поліпшенню якості води [45].

Використання альгіцидів, таких як сульфат міді, також є ефективним для тимчасового скорочення водоростей та ціанобактерій. Але альгіциди є дорогими у застосуванні, не впливають на першопричину проблеми і загрожують людям, худобі та диким тваринам.

Іншою альтернативою для покращення якості води в багатих на поживні речовини озерах є біоманіпуляція – зміна трофічного ланцюга для відновлення здоров'я екосистеми. Для цього використовують планктоноїдні види риб. Найчастіше використовуються для цього у наших умовах білий амур і товстолобик. Вони ефективно поїдають водорості та очищують водойми [50].

1.2. Схильність водойм різних типів до евтрофікації

Процес евтрофікації є складним екологічним явищем, що по-різному впливає на водні екосистеми залежно від їхніх морфологічних, гідрологічних

та антропогенних характеристик. Кожен тип водойм має унікальну здатність акумулювати, трансформувати та виводити біогенні речовини, що визначає їх схильність до евтрофікаційних процесів.

Найбільш вразливими до евтрофікації є стоячі водойми, зокрема, озера, водосховища та ставки. Їх специфіка полягає в мінімальній швидкості водообміну. Це створює сприятливі умови для накопичення органічних речовин та біогенних елементів. У мілководних озерах процеси седиментації та трансформації відбуваються повільніше, що посилює ризик "цвітіння" води. Температурна стратифікація та обмежений рух водних мас додатково ускладнюють природне самоочищення, провокуючи масове розмноження ціанобактерій та формування киснево-дефіцитних зон [7].

Водосховища посідають проміжне положення в ієрархії схильності до евтрофікації. Будучи штучними екосистемами, вони демонструють високу чутливість до антропогенного впливу. Регульований стік, акумуляція осадових порід та уповільнення швидкості течії створюють передумови для концентрації біогенних елементів. Залежно від морфометричних параметрів, глибини, проточності та регіональних кліматичних умов, кожне водосховище має індивідуальну динаміку евтрофікаційних процесів [50].

Річкові екосистеми характеризуються найменшою схильністю до евтрофікації завдяки безперервному руху води. Проточність є природним механізмом винесення надлишку біогенних речовин, що перешкоджає їх нагромадженню. Однак рівень схильності суттєво різниться: швидкі гірські річки практично не схильні до евтрофікації, тоді як повільні рівнинні водотоки можуть накопичувати значну кількість біогенних елементів, особливо в місцях впадіння забруднених приток або поблизу населених пунктів [34].

Естуаріям та дельтам властива унікальна динаміка евтрофікаційних процесів через змішування прісної та морської води. Ці перехідні зони максимально акумулюють біогенні речовини, що надходять з річковим стоком, створюючи специфічне середовище з високою біологічною продуктивністю. Рівень евтрофікації тут залежить від інтенсивності

господарської діяльності на водозбірній території, особливостей рельєфу та гідрологічного режиму.

Морські прибережні акваторії мають диференційовану схильність до евтрофікації. Закриті затоки, обмежені косами або з незначним водообміном, накопичують біогенні елементи значно інтенсивніше, ніж відкриті морські простори. Природні механізми самоочищення та потужні течії відкритих морських районів допомагають розсіювати та нейтралізувати надлишок біогенних речовин [3].

Ключовими чинниками, що посилюють евтрофікацію, є антропогенне навантаження: сільськогосподарське забруднення, скиди промислових та комунальних вод, урбанізація прибережних територій та глобальна зміна клімату.

1.3. Вплив зовнішніх чинників на масштаби та наслідки евтрофікаційних процесів

Вплив зовнішніх чинників на масштаби та наслідки евтрофікаційних процесів є надзвичайно складним і багатогранним явищем, що формується під дією природних та антропогенних факторів.

Зокрема, кліматичні умови відіграють ключову роль у інтенсивності евтрофікаційних процесів. Підвищення середньорічної температури сприяє прискоренню біохімічних реакцій, збільшенню первинної продукції та активізації мікробіологічних процесів у водних екосистемах. Потепління клімату також провокує збільшення періоду вегетації водоростей, що посилює ризик "цвітіння" води. Зміни режиму опадів впливають на концентрацію біогенних елементів: збільшення кількості опадів посилює вимивання поживних речовин з території водозбору, а посушливі періоди, навпаки, сприяють збільшенню концентрації забруднюючих речовин [34].

Особливості геологічної будови також суттєво впливають на масштаби евтрофікації. Рельєф та ґрунтовий покрив визначають інтенсивність змиву

біогенних речовин. Території з крутими схилами та малопотужним ґрунтовим шаром мають менший потенціал затримки та акумуляції поживних елементів порівняно з рівнинними ландшафтами з потужними родючими ґрунтами. Геохімічні особливості порід впливають на здатність водойм до самоочищення та нейтралізації надлишку біогенних елементів [3].

Антропогенне навантаження є визначальним зовнішнім чинником евтрофікації. Сільськогосподарська діяльність, зокрема, інтенсивне використання мінеральних добрив, спричиняє масштабне надходження нітрогену та фосфору у водні об'єкти. Промислові скиди, комунально-побутові стоки, неконтрольована урбанізація прибережних територій створюють додаткове навантаження на водні екосистеми. Особливо критичними є агломерації з відсутньою або неефективною системою очищення стічних вод.

Біотичні фактори теж впливають на перебіг евтрофікаційних процесів. Видовий склад гідробіонтів, зокрема, мікроводоростей, бактеріопланктону та вищої водної рослинності визначає швидкість трансформації біогенних речовин. Порушення природного біоценозу внаслідок присутності інвазійних видів або антропогенного впливу може радикально змінювати механізми саморегуляції гідроекосистеми, що впливає на інтенсивність евтрофікаційних процесів [45].

Гідрологічний режим водойм є потужним зовнішнім чинником, що впливає на масштаби евтрофікації. Проточність, швидкість течії, глибина, площа водного дзеркала визначають здатність водойми до самоочищення. Різноманітні гідротехнічні споруди, зміна русел річок, меліорація земель суттєво трансформують природні механізми регуляції біогеохімічних процесів.

Наслідки впливу цих зовнішніх чинників надзвичайно різноманітні: від локальних змін у структурі біоценозів до глобальних трансформацій екосистемних процесів. Евтрофікація спричиняє зниження біорізноманіття, формування киснево-дефіцитних зон, масову загибель гідробіонтів, погіршення якості води та рекреаційної цінності водних об'єктів.

1.4. Методика дослідження евтрофікованості водних об'єктів

З точки зору методики дослідження, евтрофікація водних об'єктів є складним, багатоступеневим процесом. Тому для її вивчення необхідний комплекс взаємопов'язаних наукових підходів та методів оцінки екологічного стану водних екосистем.

Основні етапи дослідження евтрофікації водних об'єктів включають:

1. Підготовчий етап. Протягом цього етапу проводять збір попередньої інформації про водний об'єкт, аналіз географічних, кліматичних та антропогенних характеристик території, визначають мету та завдання дослідження, розробляють програму моніторингу.

2. Польові дослідження. Включають геодезичну зйомку місцевості, картування водойми та водозбору, визначення морфометричних параметрів (батиметрія), відбір проб води з різних горизонтів та ділянок водного об'єкта, інструментальні виміри фізико-хімічних параметрів води безпосередньо на місці дослідження.

3. Гідрохімічні дослідження. Передбачають комплексний аналіз концентрації біогенних елементів (нітроген, фосфор), показників мінералізації води, водневого показника (рН), вмісту розчиненого кисню та його дефіциту, наявності важких металів та інших забруднюючих речовин [34].

4. Гідробіологічні дослідження. Включають видовий аналіз фіто- та зоопланктону, дослідження макрофітів, бактеріального складу, визначення біомаси та продуктивності гідробіонтів, біоіндикацію стану водної екосистеми [3].

5. Інструментальні дослідження (спектрофотометрія, атомно-абсорбційний аналіз, хроматографія, мас-спектрометрія, електронна мікроскопія) [45].

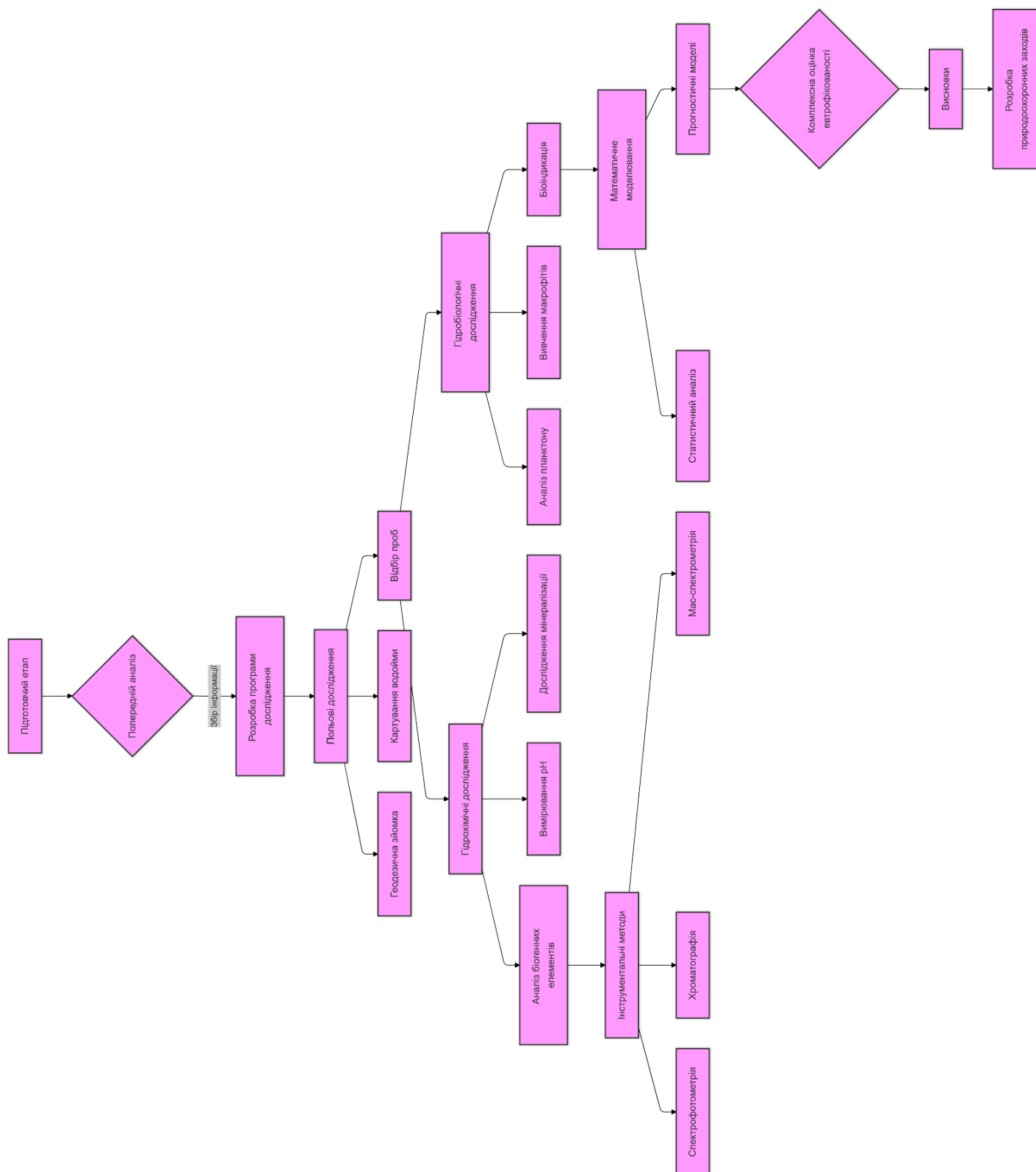


Рис. 1.1. Алгоритм реалізації дослідження евтрофікованості водних об'єктів

6. Біоіндикаційні дослідження (використання організмів-індикаторів, визначення сапробності, оцінка екологічного статусу водойми за допомогою біотичних індексів) [3].

7. Математичне моделювання (статистичний аналіз отриманих даних, побудова прогностичних моделей, визначення коефіцієнта кореляції між рівнем евтрофікації, температурою води та вмістом біогенних сполук, картування та просторовий аналіз евтрофікаційних процесів).

8. Біогеохімічні дослідження. Включають вивчення кругообігу біогенних елементів, аналіз седиментаційних процесів.

9. Дистанційні методи дослідження передбачають використання супутникових знімків для моніторингу та картування за допомогою ГІС-технологій сучасного стану евтрофікованості водних об'єктів [35, 39, 40].

Критеріями оцінки евтрофікованості є: концентрація хлорофілу, прозорість води, біомаса фітопланктону, кисневий режим (динаміка дефіциту кисню), співвідношення біогенних елементів, видовий склад гідробіонтів [3].

Комплексна оцінка евтрофікованості передбачає інтегральний підхід та врахування природних фонових показників, антропогенного навантаження, динаміки зміни екосистеми, прогноз подальших трансформацій.

Методика дослідження повинна бути адаптивною, враховувати регіональні особливості та специфіку конкретного водного об'єкта. Принципово важливим є системний підхід, що дозволяє розглядати водну екосистему як складну, динамічну структуру з численними внутрішніми та зовнішніми зв'язками. Результати дослідження слугують основою для розробки природоохоронних заходів, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків евтрофікації та збереження екологічної рівноваги водних об'єктів.

1.5. Вивченість питання у науковій літературі

Евтрофікація водних об'єктів досить добре вивчена у науковій літературі. Варто відзначити фундаментальні роботи, насамперед,

закордонних авторів: A.Raike, O.P.Pietilainen, S.Rekolainen, P. Kauppila, H. Pitkanen, J. Niemi, A. Raateland, J. Vuorenmaa про тренди динаміки сполук фосфору, нітрогену та хлорофілу у фінських озерах [51], A. Martin, G.D. Cooke про загрози стану евтрофікованих озер [50] та багато інших.

В контексті досліджуваної території, а саме півночі Волинської області, Волинського Полісся, теж відомо багато наукових праць, присвячених гідрологічним, гідроекологічним особливостям території, стану водних об'єктів. А саме: роботи М.В. Боярин, І.М. Нетробчук про оптимізацію використання водних ресурсів у басейні р. Західний Буг [4], Л.В. Ільїна про техногенні трансформації озер Західного Полісся України [10], природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності лімнокмплексів Волинського Полісся [11, 12], Л.В. Ільїна, Я.О. Мольчака про загальну характеристику озер Волинської області [13], Д.І. Каліновського, Л.В. Ільїна про донні відклади природних водойм Волинської області та перспективи їх використання у рекреації [14], Д. І. Каліновського про оцінку рекреаційної придатності озер Волинської області за морфометричними параметрами [15], З. К. Карпюк, В.О. Фесюка, Л. Т. Чижевської про охорону гідрологічних об'єктів у мережі природно-заповідного фонду Волинської області [17], З. К. Карпюк, О. С. Шевчук, Д. Л. Ярмолук про охорону водних екосистем у гідрологічних заказниках і пам'ятках природи природно-заповідного фонду Волинської області [18], В.О. Мартинюка, І.В. Зубковича, С.В. Андрійчука про регіональну геоекологічну оцінку озер Українського Полісся [22], І. М. Нетробчук про оцінку якості поверхневих вод правобережних приток басейну Прип'яті у Волинській області [24], М.П. Пасічника, Л. В. Ільїна, В. К. Хільчевського про сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області [25], О. Солованюк, Л. Гулая про роль нітрогенвмісних сполук в оцінці екологічного стану поверхневих штучних водойм [32], В.О. Фесюка, О.Л. Мосійчук про перспективи рекреаційного освоєння озер Ратнівського району [36], В.О. Фесюка, С.В. Полянського, Т.В. Копитюк про методику та практичну

імплементацию застосування даних ДЗЗ для моніторингу евтрофікації водойм [37], В. О. Фесюка, І.М. Нетробчук, М.М. Алексійчука про оцінку евтрофікованості озера Велике методами ДЗЗ [38], В.О. Фесюка, І.М. Нетробчук, О.С. Дубровика про евтрофікацію озер Волинського Полісся (на прикладі озера Засвітське) [39], В. О. Фесюка, І. М. Нетробчук, С.В. Полянського, Д. Я. Довгана про особливості сучасного стану евтрофікації Шацьких озер [40], М.Й. Шевчука, П.В. Юрчука, А.А. Горуна про екологічний стан озерних екосистем Волині та основні напрями його покращення [42], М.Й. Шевчука, О. Г. Сергушка про евтрофікацію озер Волинської області та багато інших наукових праць [44].

Також варто відзначити комплексні узагальнюючі роботи, присвячені вивченню поверхневих вод Волинської області за редакції Я.О. Мольчака [27], природно-заповідного фонду Волинської області авторства З.К. Карпюк В.О. Фесюка, О.В. Антипюк [16].

РОЗДІЛ 2.

ХАРАКТЕРИСТИКА КОРТЕЛІСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

2.1. Природні умови території

Досліджувана територія знаходиться на півночі Волинської області, поблизу державного кордону з Республікою Білорусь (за 300 м від північного берегу оз. Любовель), вздовж р. Прип'ять, в межах Ратнівської територіальної громади, яка межує із Самарівською на півночі, Бузаківською на сході, Сошичненською на південному сході, Буцинською на півдні, Дубечненською на південному заході та Заболотською на заході територіальними громадами.

З погляду тектоніки досліджувана територія розташована в межах Волино-Подільської плити, зокрема, Виживської зони розломів, яка збігається з напрямком долини річки Прип'ять. Глибина залягання кристалічного фундаменту не перевищує 400 м. У геологічній будові місцевості, особливо на північ від селища Ратно, переважають крейдяні та мергелеві породи кон'якського віку. Нижче залягають домезозойські відклади: граніти поліської та волинської серій, пісковики, алевроліти та аргіліти. Сучасні геологічні нашарування включають торф різного ступеня розкладу, алювіальні відклади першої надзапавної тераси Прип'яті, а також водно-льодовикові відклади четвертинного періоду. Водоносні горизонти мають декілька рівнів, перші від поверхні розташовані у сучасних болотних та алювіальних відкладах четвертинного періоду з глибиною залягання до 3 м. Основний водоносний горизонт знаходиться у верхньокрейдових відкладах кон'якського віку [28].

Інженерно-геологічною особливістю досліджуваної місцевості є схильність до заболочування. Ґрунтові води мають високу сульфатну агресивність, про що свідчить концентрація сульфат-іону понад 205 мг/дм³.

З геоморфологічного погляду територія є рівниною з висотними позначками 150-200 м, тобто низовиною (рис. 2.1, 2.2). Місцевість входить до Верхньо-Прип'ятської акумулятивної низовини, яка займає крайню північну частину Волинської області [1].

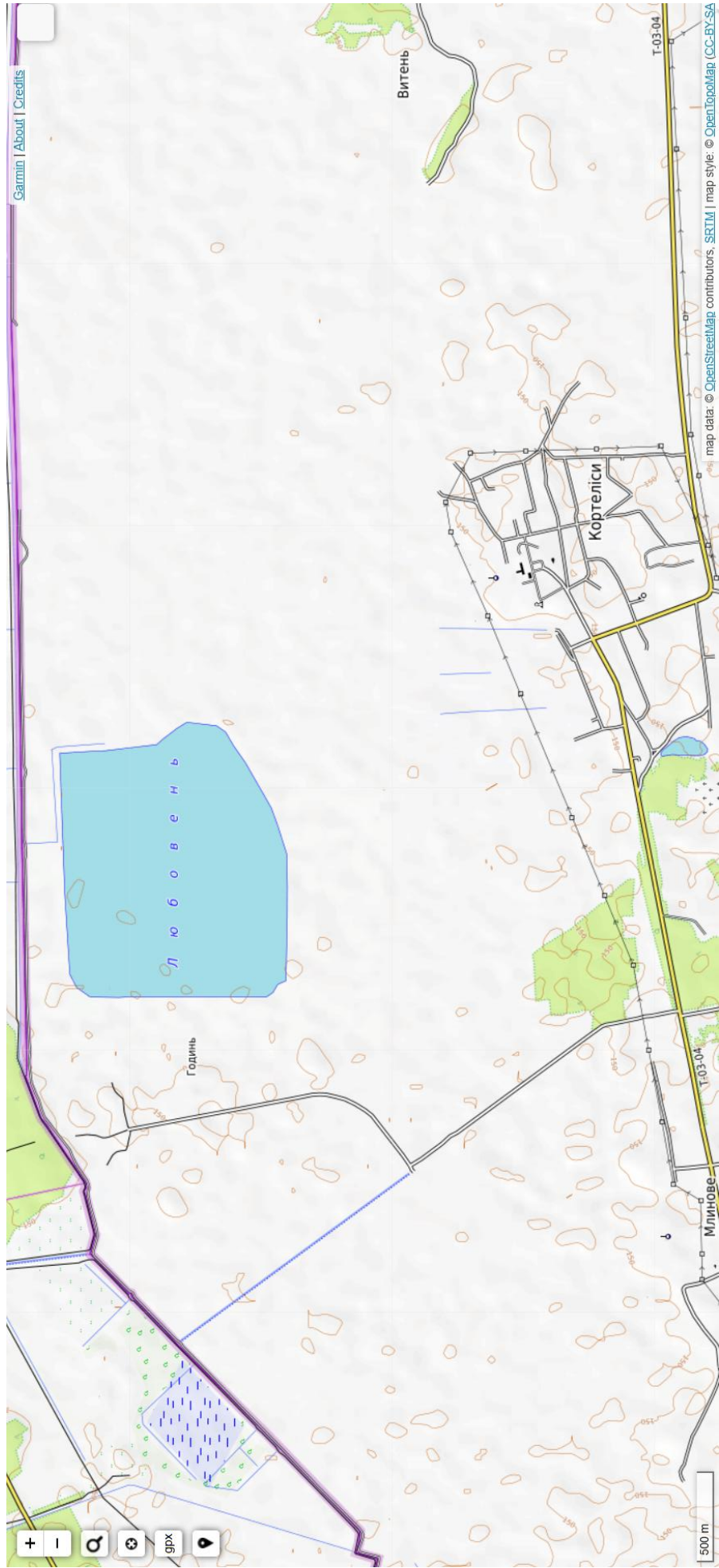


Рис. 2.1.1. Оглядова картосхема території дослідження (запозичено з OpenTopoMap)



Рис. 2.2. Фрагмент супутникового знімку території дослідження (запозичено з Google Earth Pro)

Для неї характерні мінімальні абсолютні висоти, потужні алювіальні нашарування в межах річкової заплави та двох надзаплавних терас Прип'яті. Друга надзаплавна тераса складається з пісків, вкрита сосновими лісами і називається бороною терасою. Особливістю рельєфу є наявність еолових форм – дюн, валів та горбів, утворених внаслідок вітрової діяльності та переміщення піщаних мас талими льодовиковими водами. Саме ці підвищені ділянки на тлі загального заболочування стали первинними місцями розселення населення.

Клімат території можна охарактеризувати як помірно континентальний з достатньою кількістю атмосферних опадів. Розташування місцевості на північному заході України зумовлює атлантико-континентальний характер переміщення повітряних мас, що формує м'який, вологий клімат. Його особливостями є м'які зими з нестійкими морозами, помірно прохолодне літо, значна кількість опадів та тривалі перехідні сезони – весна та осінь. Метеорологічні дані для селища Ратне (табл. 2.1) демонструють річну суму опадів на рівні 550 мм, причому розподіл їх є нерівномірним протягом року. Зокрема, зимові місяці характеризуються меншою кількістю атмосферних опадів, тоді як літній період є найбільш насиченим опадами. Стійкий сніговий

покрив формується орієнтовно з 24 грудня та утримується до 24 лютого. Тривалість снігового періоду становить 67-85 днів, а його товщина впродовж зими варіюється від 5 до 10 см, інколи досягаючи 20 см [33].

Таблиця 2.1.

Метеорологічні характеристики МС Ратне [33]

Характеристика	Величина
Коефіцієнт стратифікації атмосфери	180,0
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1,0
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця	23,3
Середня температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця	-7,6
Швидкість вітру по середніх багаторічних даних, м/с	3,4
Коефіцієнт осідання забруднюючих речовин	1

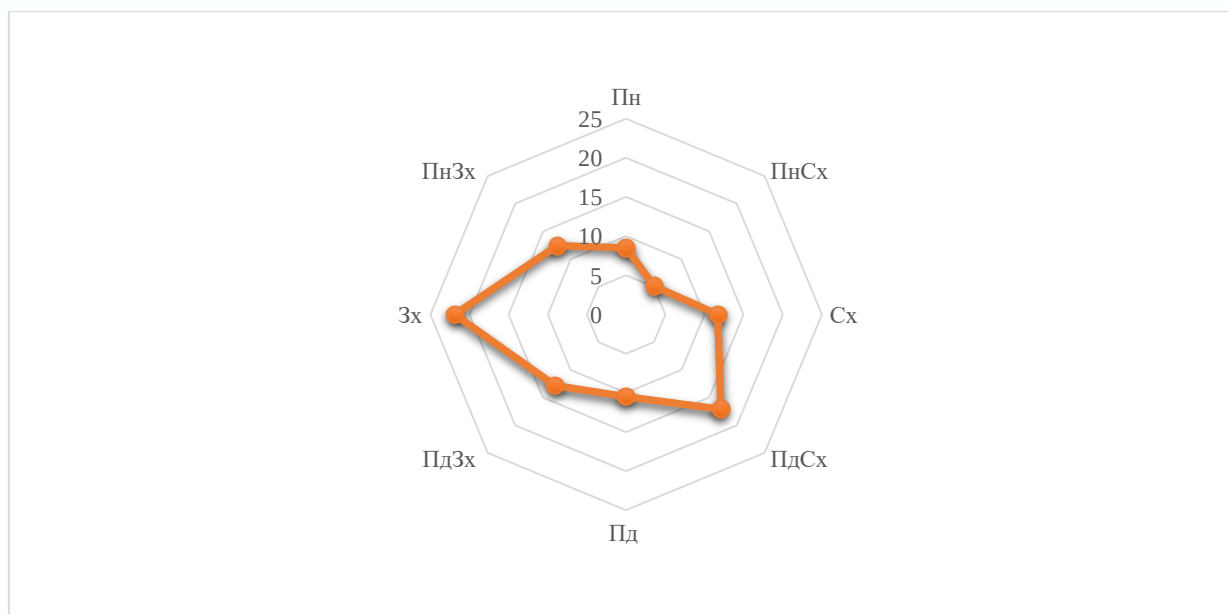


Рис. 2.3. «Роза вітрів» для МС Ратне [33]

Як видно з рис. 2.3, переважаючими напрямками вітрів є західний, північно-західний, південно-західний і південно-східний. Середня швидкість становить 4,3 м/с за рік.

Відносна вологість найвища в зимовий період. У грудні 42% днів мають відносну вологість понад 90%. Січень, лютий та листопад демонструють високу вологість (84-88%), яка поступово знижується: до 80% в березні та 77% у квітні [33].

Тумани є постійним атмосферним явищем протягом року, однак найбільш інтенсивними вони стають у холодну пору. Максимальна частота туманів припадає на жовтень-грудень (4-7 днів щомісяця), тоді як у теплий період (квітень-серпень) налічується лише 1-2 туманних дні. Загалом упродовж року реєструється 22-43 дні з туманом.

Гроза активність спостерігається 28-32 дні на рік, переважно з квітня по жовтень. Град випадає нечасто, але може завдавати значних збитків сільському господарству, трапляючись 4-6 днів на рік, здебільшого в травні-червні [28].

Ожеледь характерна для холодного сезону, інколи навіть продовжуючись до квітня. Паморозь фіксується в середньому впродовж 13 днів щороку, при цьому середня тривалість зледеніння на дротах під час зернистої паморозі становить 12 год.

Перехід між сезонами відбувається поступово, що пов'язано зі змінами кліматоутворюючих факторів. Початок і завершення кожного сезону визначаються стійким переходом середньодобової температури через певне значення. Приміром, весна розпочинається у середині березня (13-16.03) і триває близько 70 днів [33].

Літній період розпочинається в останній декаді травня та охоплює 100-110 днів. Температурний режим не є надто спекотним, характерна достатня, подекуди навіть вища за середню вологість. На початку літа спостерігається нестійкість погодних умов з можливими похолоданнями через вторгнення арктичних повітряних мас. За надходження атлантичних повітряних мас посилюється грозова активність та збільшується кількість опадів. У другій половині літа домінує антициклональний тип погоди з короткочасними зливами [33].

Осінь розпочинається зі зниження середньодобової температури нижче $+15^{\circ}\text{C}$. Атмосферна циркуляція перебудовується з літнього на зимовий тип, посилюється циклональна активність. Тривалість осені становить 84-88 днів, і завершується вона переходом середньодобової температури через 0°C [33].

Зима порівняно м'яка, з частими відлигами, похмурою погодою та помірною кількістю опадів, триває 90-100 днів. Характерною особливістю є формування стійкого снігового покриву, максимальна висота якого припадає на лютий (у середньому 12-14 см). Проте через часте чергування снігу з дощем сніговий покрив нестабільний, а кількість днів з відлигами сягає 45-48. В окремі роки стійкий сніговий покрив не формується [33].

Кліматичні умови території сприятливі для ведення сільського господарства та інших видів господарської діяльності. Значна кількість опадів і високі значення вологості ґрунтів достатні для вирощування сільськогосподарських культур помірного поясу, хоча перезволоження потребує проведення меліоративних заходів.

На території громади розташовано 6 озер (Радожичі, Мшане, Кісобоул, Чисте, Любовель, Тербовичі), 1 водосховище (Кортеліське, воно ж оз. Любовель) та протікає 2 річки (Прип'ять, Виживка).

Ґрунтовий покрив представлений, переважно, дерново-підзолистими піщаними і глинисто-піщаними ґрунтами на піщаних і супіщаних відкладах, дерново-підзолистими глеєвими ґрунтами, а також торфово-болотними ґрунтами та низинними торфовищами [28].

Найпоширенішими рослинними угрупованнями є соснові ліси, низинні евтрофні болота та сільськогосподарські угіддя на місці колишніх лісів та осушених боліт. Тваринний світ репрезентований різноманітними видами риб, земноводних, плазунів, птахів та ссавців, характерних для поліського регіону.

Згідно до схеми фізико-географічної диференціації за С.І. Кукурудзою (1990 р.), найпоширенішими в межах території Ратнівської громади є: заболочені заплави середніх поліських річок з луками, де переважають високі злаки і осоки, а також частково осушені торфовища; нерозчленовані перші і другі тераси поліських річок із мішаними луками, де зростають різні трави, злаки і осоки, а також частково розорані сосняки з чорничниками на дерново-слабо- і середньо-підзолистих ґрунтах. Фрагментарно поширені ландшафти борових терас із сосняками, лишайниками та ялівниками, на дерново-приховано-підзолистих і дерново-слабопідзолистих ґрунтах [1].

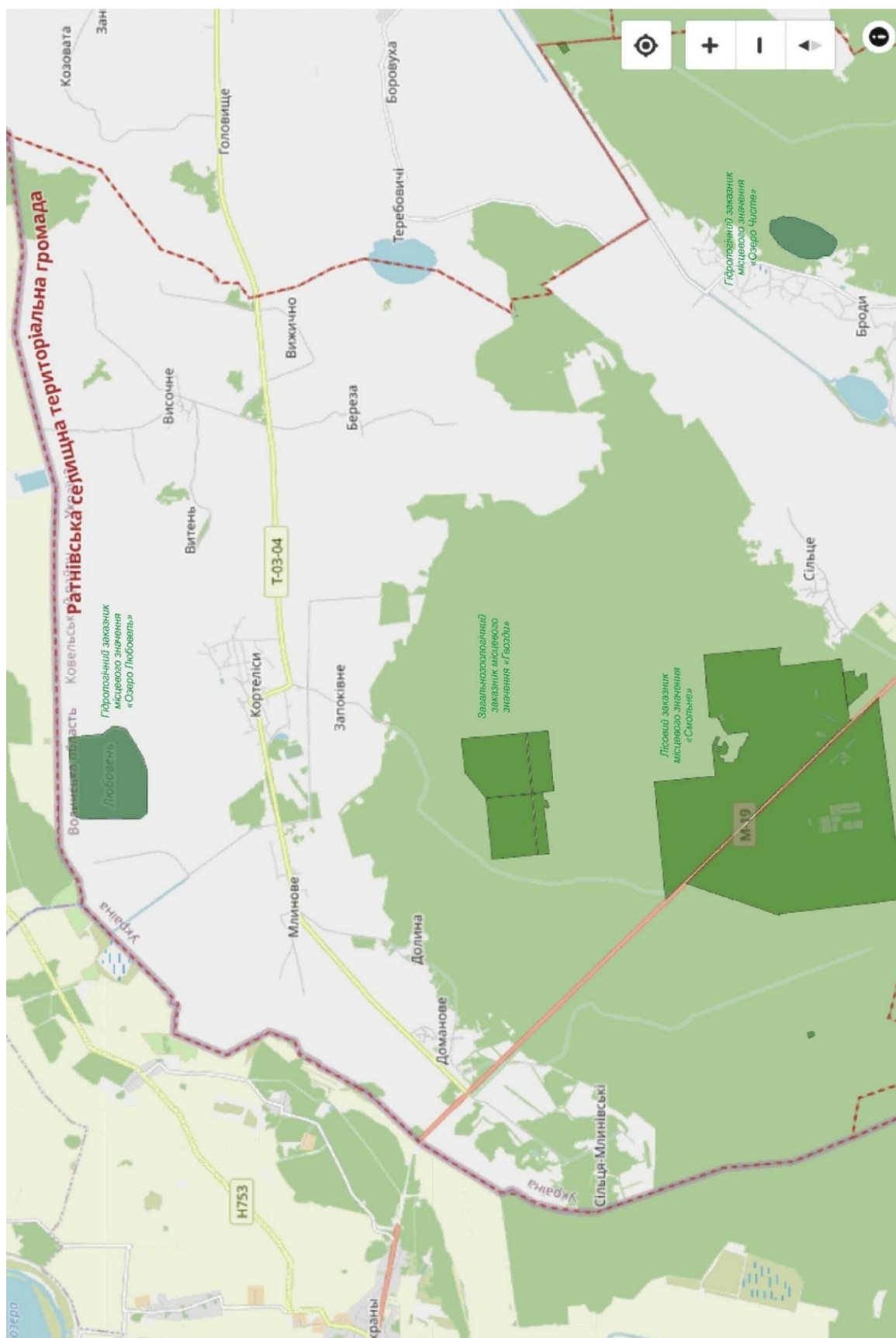


Рис. 2.4. Природно-заповідний фонд досліджуваної території
(побудовано в ArcGIS online)

Природно-заповідний фонд досліджуваної території представлений лісовим, загальнозоологічним, двома гідрологічними заказниками місцевого значення (рис. 2.4).

За З.К. Карпюк, В.О. Фесюком, О.В. Антипюк (2021), гідрологічний заказник «Озеро Любовель» розташований на території двох сільських рад – Кортеліської та Млинівської, загальною площею 181,5 га. Він був створений рішенням обласної ради 18 серпня 2000 р. Охороняється карстове озеро середньою глибиною 2 м, оточене дамбами. У його водах можна знайти зарості білого латаття та жовтих глечиків. Іхтіофауна представлена такими видами риб: лящ, щука, окунь, лин, плітка та карась сріблястий. Мілководні ділянки, що утворилися після спорудження дамб, заросли водно-болотною рослинністю і стали місцем оселення бобрів, ондатр та гніздування водоплавних птахів [16].

Гідрологічний заказник «Озеро Чисте» займає площу 58 га на території Гірниківської сільської ради. Створений розпорядженням голови Волинської обласної ради 3 березня 1993 р. Це глибоке карстове озеро (15 м), розташоване серед соснового лісу віком близько 50 років з домішкою берези повислої. Лісову підстилку формують зелені мохи та ягідники: чорниця миртолиста, буяхи звичайні та брусниця звичайна. Озеро відрізняється чистою водою без водоростей та багатою іхтіофауною, яка включає ляща, коропа, в'юна, окуня та інші види риб. Навколишні території є місцем гніздування водних та навколоводних птахів [16].

Загальнозоологічний заказник «Гвозди» розміщений на території Кортеліського лісництва, загальною площею 249,5 га. Створений рішенням Волинської обласної ради 22 грудня 2005 р. Охоронна зона включає соснові та мішані ліси з домішками берези повислої, осики та вільхи клейкої. Лісові масиви є важливим середовищем існування та відтворення поліської фауни, зокрема мисливських тварин: лосів, благородних оленів та диких кабанів. Крім того, це місце гніздування різноманітних видів хижих та нічних птахів [16].

Лісовий заказник «Смольне» розташований на території Жиричівського лісництва на площі 1401 га. Створений розпорядженням Волинської обласної ради від 3 березня 1993 року. Заказник охороняє високоякісні дубові, соснові та березові насадження віком 170 років першого та другого бонітету з густим підліском, до якого входять ліщина європейська, крушина ламка та калина звичайна. Лісові угіддя слугують середовищем існування та розмноження різних видів птахів, включаючи соколоподібних, куроподібних, дятлоподібних та горобцеподібних [16].

2.2. Гідрологічні та гідротехнічні особливості водосховища

Кортеліське водосховище знаходиться на півночі Ратнівської територіальної громади за 300 м до кордону із Республікою Білорусь (рис. 2.5). Воно споруджено шляхом одамбування природного водного об'єкта – оз. Любовель. Знаходиться за 3 км на північ від с. Кортеліси.

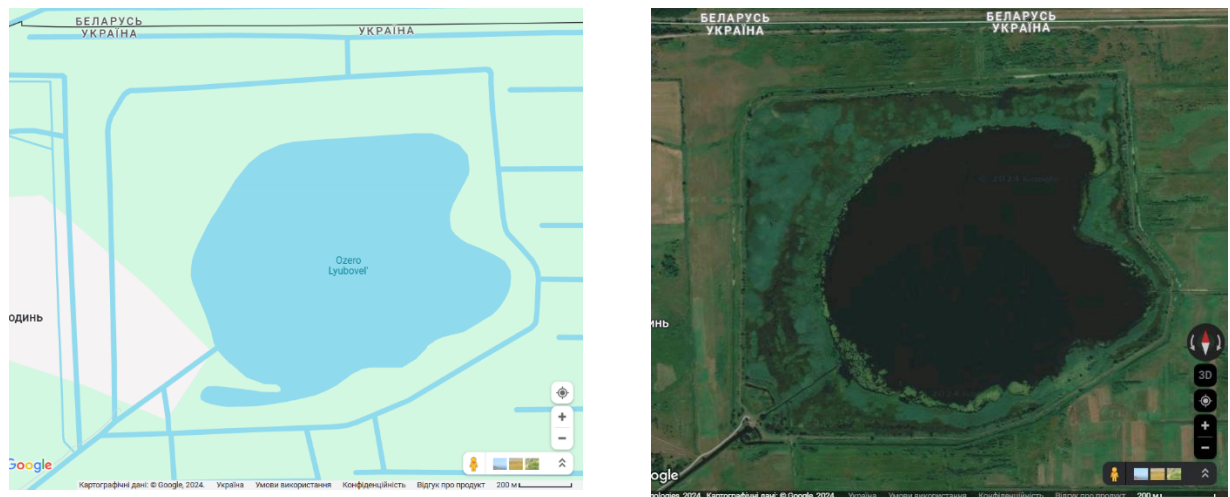


Рис. 2.5. Озеро Любовель (Кортеліське водосховище) на карті Google Map та супутниковому знімку Google Earth Pro

Водосховище споруджено на магістральному каналі МК-1 Кортеліської осушувальної системи, саме тому й отримало свою назву.

Призначення водосховища – регулювання поверхневого стоку та акумуляція води для зволоження земель. Здано в експлуатацію у 1982 р. Кортеліська осушувальна системи передбачає можливість двостороннього регулювання стоку з осушених угідь. Навесні, під час повені надлишкові води скидаються, в т.ч. і у водосховище. Протягом посушливого періоду вода з озера використовується для зволоження сільськогосподарських угідь [26].

Тип водосховища – наливне, регулювання стоку – механічне, за допомогою насосної станції, скид води здійснюється за допомогою водовипусків.

Водосховище наповнюється до нормального підпірного рівня (НПР) протягом березня-квітня щороку. Експлуатується ізольовано. Належить Ратнівському міжрайонному управлінню водного господарства (МУВГ). Балансова вартість гідровузла на 2015 р. становила 78027 грн. – водовипуски, 362062 грн. – дамба, 360567 грн. – насосна станція [26].

Таблиця 2.2.

Внутрішньорічний розподіл стоку (у роки 50, 75, 95% забезпеченості),
млн. м³ [26]

Водність року	Забезпеченість (%)	Місяці											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середній	50	0,26	0,16	1,96	0,71	0,32	0,17	0,08	0,05	0,06	0,10	0,18	0,63
Маловодний	75	0,10	0,07	1,60	0,71	0,30	0,07	0,03	0,02	0,04	0,06	0,11	0,20
Дуже маловодний	95	0,03	0,02	1,02	0,48	0,22	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05

Магістральний канал МК-1 Кортеліської осушувальної системи (ОС) належить до басейну р. Західний Буг. Водозбірна площа, згідно Паспорта Кортеліського водосховища [26], становить 41 км², модуль річного стоку – 4 дм³/с з 1 км², коефіцієнт варіації – 0,5, середній багаторічний стік – 4,68 млн.м³/рік, за період повені – 2,99 млн.м³, за меженний період – 0,46 млн.м³. Витрати води становлять: середня багаторічна – 0,15 м³/с,

середньомісячна максимальна (1% забезпеченості) – 0,42 м³/с, мінімальна (95% забезпеченості) – 0,06 м³/с [26].

Внутрішньорічний розподіл стоку (у роки 50, 75, 95% забезпеченості стоку) демонструє таблиця 2.2 та рис. 2.6, а характеристику Кортеліського водосховища – табл. 2.3.

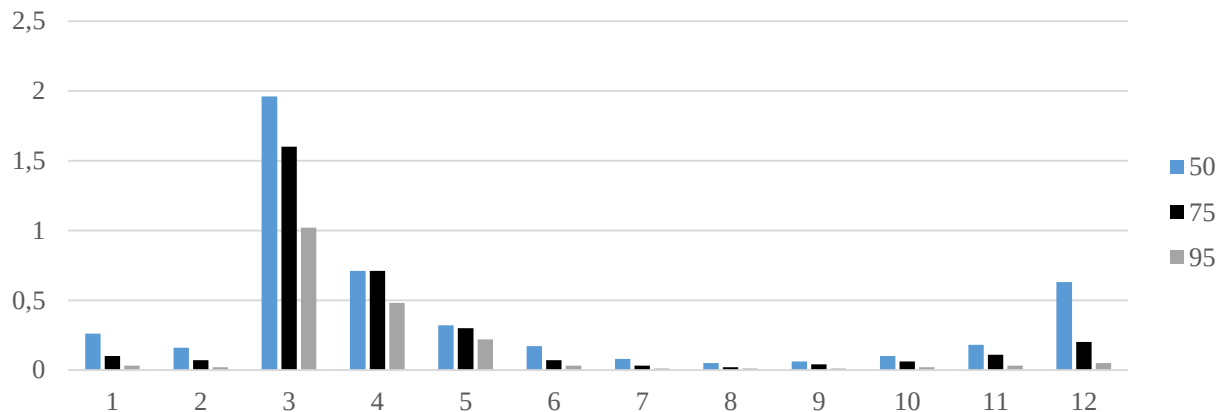


Рис. 2.6. Внутрішньорічний розподіл стоку, млн.м³ у роки 50%, 75%, 95% забезпеченості стоку згідно Паспорта Кортеліського водосховища [26]

Таблиця 2.3.

Характеристика згідно Паспорта Кортеліського водосховища [26]

Довжина водосховища	1500 м
Ширина водосховища	1250 м
Найбільша глибина	4 м
Середня глибина	2,33 м
Площа водного дзеркала при НПР	1,8 км ²
Рівень при НПР	153,2 м
Підпертий максимальний рівень (форсований)	153,5 м
Рівень мертвого об'єму (мінімальний) РМО	151,3 м
Об'єм водосховища при НПР	4,2 млн.м ³
Об'єм при форсованому рівні	4,7 млн.м ³
Об'єм водосховища при РМО	0,75 млн.м ³
Корисний об'єм водосховища	3,45 млн.м ³
Витрати на випаровування протягом року	687,6 тис.м ³
Витрати на фільтрацію протягом року	455,4 тис.м ³

Довжина водосховища становить 1500 м, ширина – 1250 м, найбільша глибина – 4 м, середня глибина – 2,33 м. Площа водного дзеркала при НПР – 1,8 км², рівень при НПР – 153,2 м, підпертий максимальний рівень (форсований) – 153,5 м, рівень мертвого об'єму (мінімальний) РМО – 151,3 м, об'єм при НПР – 4,2 млн.м³, об'єм при форсованому рівні – 4,7 млн.м³, об'єм при РМО – 0,75 млн.м³, корисний об'єм – 3,45 млн.м³, витрати на випаровування протягом року – 687,6 тис.м³, витрати на фільтрацію – 455,4 тис.м³ [26].

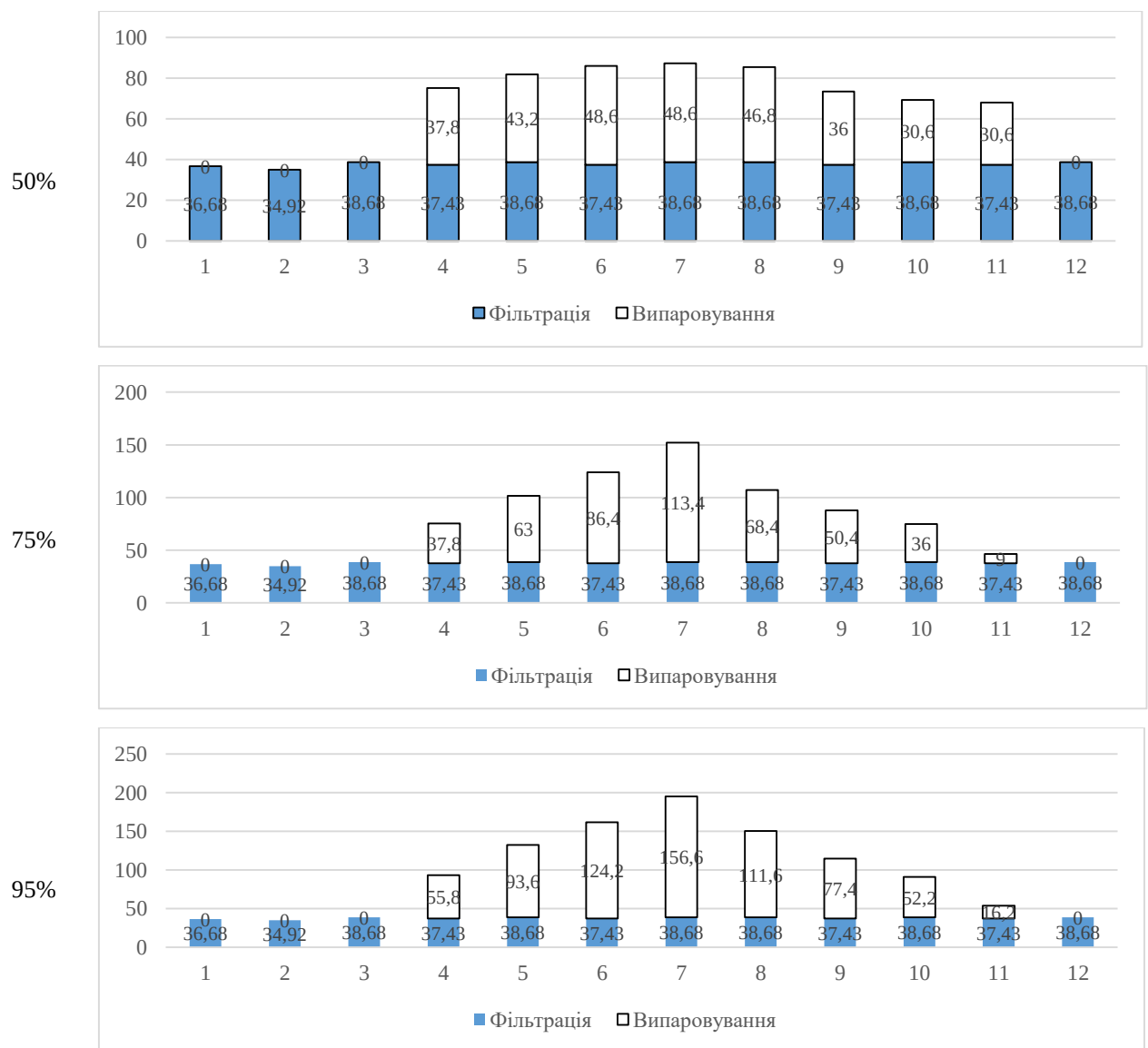


Рис. 2.6. Витрати води на випаровування та фільтрацію при різних забезпеченостях стоку згідно Паспорту Кортеліського водосховища [26]

Витрати на випаровування з водної поверхні за вегетаційний період розраховано згідно методики "Указания по расчету испарения с поверхности водоемов", Гидрометиздат, Ленинград, 1969 г. і наведено за Паспортом Кортеліського водосховища [26]. Вони становлять 687,6 тис.м³.

Витрати на фільтрацію приймаються 1,1% за місяць від середнього об'єму води у водосховищі. Тобто це 13,2% за рік:

$$3450 : 100 \cdot 13,2 = 455,4 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$$

З рис. 2.6 видно, що витрати на фільтрацію не залежать від водності року. Натомість витрати на випаровування залежать і суттєво. А також від температури повітря та води. Так, наприклад, максимальні вони у липні, у середній за водністю рік (50%) становлять 48,6 тис. м³, у відносно маловодний рік (75%) – 113,4 тис. м³, а у маловодний (95%) – 156,6 тис. м³. Загалом за рік витрати на випаровування становлять: середній за водністю рік – 261 тис. м³, відносно маловодний – 464,4 тис.м³, маловодний – 678,6 тис. м³ [26].

Конструкція дамби – трапеціальна, матеріал – супісок, пісок. Розміри становлять: ширина по гребеню – 3 м, максимальна висота – 3,4 м, довжина – 5340 м. Кріплення відкосів – посівами трав. Переїзди відсутні.

Водоскидною конструкцією є водовипуски. Виготовлені із збірного залізобетону. Розмір отвору – 0,8 м. Перекриваються металевими засувками. Витрата води через споруду гідровузла – 5 м³/с [26].

Відвідний канал МК-1 Кортеліської осушувальної системи має довжину 5530 м, ширину по дну – 1 м, пропускну спроможність – 5 м³/с. Схили та відкоси каналу закріплені посівом багаторічних трав.

Межі прибережної захисної смуги, згідно Паспорту Кортеліського водосховища [26], співпадають із дамбами обвалування і ловчими каналами. Їх стан – задовільний.

2.3. Сучасний стан водозбору

Господарський потенціал досліджуваної території, значною мірою, залежить від природних ресурсів, особливо лісових, водних, рекреаційних та мінеральних. Серед мінеральних ресурсів слід відмітити значні запаси торфу, сапропелю, Жиричівське родовище міді. Земельні ресурси менш сприятливі, ґрунти мають невисоку родючість, значну частку в структурі сільськогосподарських угідь займають сіножаті та пасовища.



2009 р.



2011 р.



2013 р.



2020 р.

Рис. 2.7. Динаміка берегової лінії водосховища на фрагментах різночасових супутникових знімків (запозичено з Google Earth Pro)

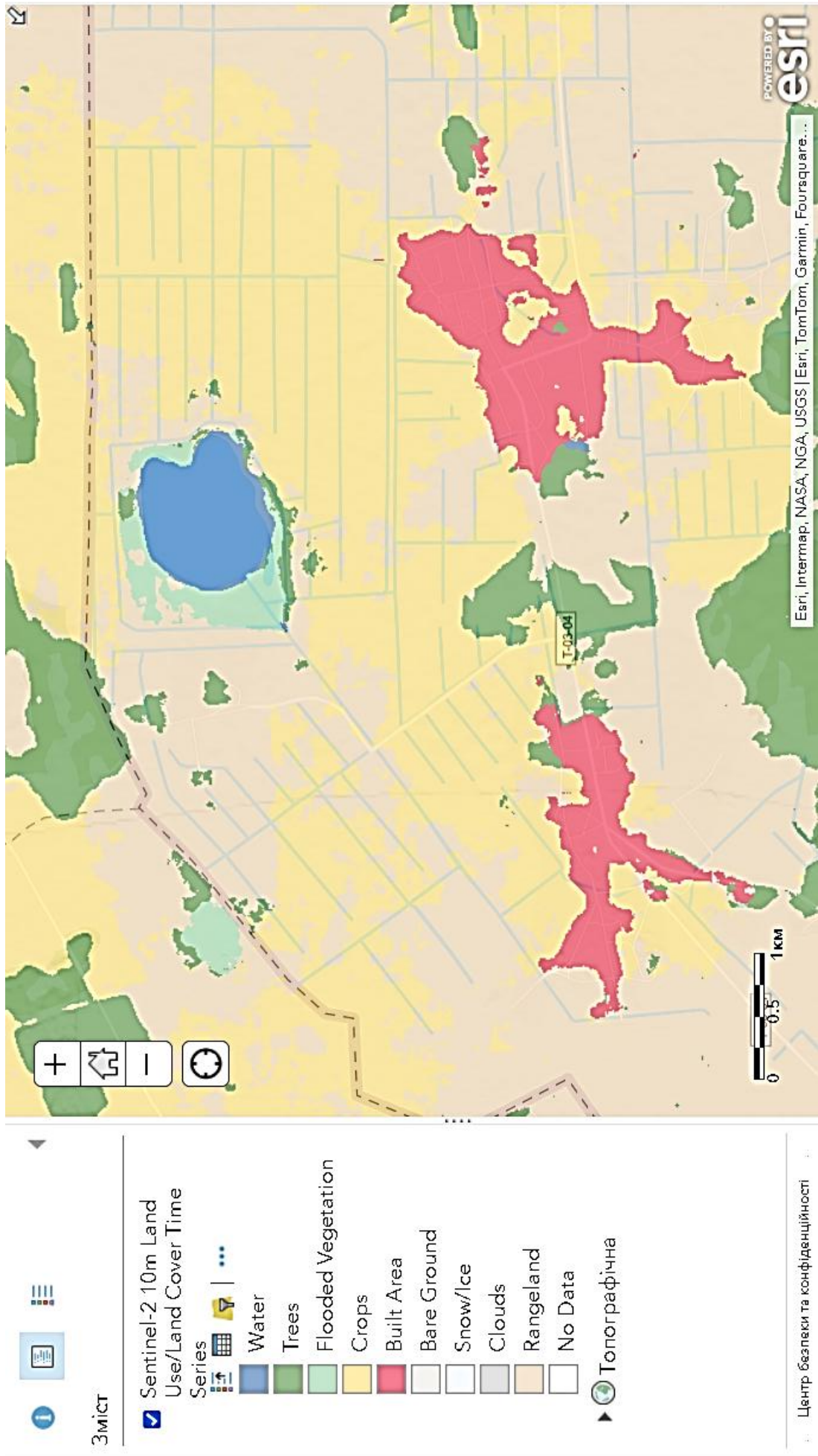


Рис. 2.8. Картошхема використання земель і структури земельного покриття (Land Use/ Land Cover) досліджуваної території, побудована в ArcGIS online (переклад категорій земельного покриття в табл. 2.4)

Таблиця 2.4.

Категорії використання земель і земельного покриття (Land Use/ Land Cover)

Категорії земель, виділені ArcGIS online	Відповідна категорія українською
No Data	Немає даних
Water	Водні об'єкти
Trees	Дерева (ліс)
Flooded Vegetation	Затоплена рослинність
Crops	С/г культури
Built Area	Забудовані ділянки
Bare Ground	Відкриті землі (без рослинного покриття)
Snow/Ice	Сніг/лід
Clouds	Хмари
Rangeland	Пасовища

Аналізуючи особливості берегової лінії водосховища та особливості її динаміки (рис. 2.7) слід зазначити, що з 1985 р. вона мало змінилась. Фактично немає суттєвих змін і за період 2009-24 рр. Єдине, що звертає на себе увагу при дешифруванні супутникових знімків – прибережний появ гідрофітів у 2020 р. значно збільшив свої розміри. Особливо на південній та північно-східній частинах узбережжя. Це може свідчити про прискорення евтрофікаційних процесів і заростання озера.

Прибережна захисна смуга згідно Водного кодексу України становить для водосховищ 100 м [5]. Як видно з останнього фрагменту супутникового знімку на рис. 2.7, для Кортеліського водосховища вона дотримана, будь-які господарські чи рекреаційні об'єкти в межах прибережної захисної смуги відсутні. Територія зайнята трав'янистою рослинністю, деінде поширені чагарники.

На рис. 2.8 проілюстрована структура використання земель і земельного покриття (Land Use/ Land Cover) досліджуваної території. Як видно з картосхеми, в межах водозбору оз. Любавель переважають орні землі. За 3 км на південь від озера знаходяться селитебні території – с. Кортеліси та с. Млинове, за 0,5 км на захід – хутір Годинь. Між селами фрагментарно поширені ліси. Вони займають порівняно невеликі площі. Отже аналіз структури використання земель показує, що дисперсними джерелами

забруднення озера (водосховища) можуть бути стоки з сільськогосподарських угідь, тваринницьких ферм, селитебних територій. Хоча загалом, аналіз водозбору озера показує його досить сприятливий екологічний стан.

Також значний вплив на якість води у водосховищі чинить магістральний канал МК-1 Кортеліської осушувальної системи. Фактично водосховище є водоприймачем цієї осушувальної системи. Сільськогосподарські землі навколо водосховища розміщені саме на осушувальних картах системи. Тому з осушуваного масиву у водосховище через магістральний канал можуть потрапляти органічні та мінеральні добрива, пестициди, отрутохімікати. Вони здатні не лише погіршувати якість води у водосховищі, але й прискорювати його евтрофікацію.

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ЕВТРОФІКОВАНOSTІ ВОДОЙМИ

3.1. Внутрішньорічна динаміка евтрофікованості

Для оцінки сучасного стану евтрофікованості водойми використано методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). А саме – визначення одного із синтетичних індексів (NDVI), що використовуються для оцінки евтрофікації на основі супутникових знімків місії Sentinel-2 із просторовим розрізненням 10 м / піксель.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – це нормалізований різницевий вегетаційний індекс. Найчастіше його використовують для оцінки стану рослинності за допомогою даних ДЗЗ. Індекс обчислюється за формулою [47]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (3.1)$$

де: NIR (Near-Infrared) – відбивна здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні (850-880 нм), який рослини активно відбивають, RED – відбивна здатність у червоному діапазоні спектра (620-670 нм), який рослини сильно поглинають для фотосинтезу.

Значення NDVI варіюються від -1 до +1: близько до 1 – густа зелена рослинність, близько до 0 – мертва рослинність, ґрунт або вода, менше 0 – вода, сніг або хмари. NDVI надає певну інформацію про стан водойми, особливо якщо в ній є плаваюча рослинність або водорості. Високі значення NDVI (>0,3-0,5) свідчать про густу плаваючу рослинність, наприклад, ряску чи водні гіацинти. Це ознака високого рівня евтрофікації. Помірні значення NDVI (0,1-0,3) свідчать про поверхнєве розростання водоростей або мікроорганізмів. Від’ємні або близькі до нуля значення NDVI (≤ 0), зазвичай, відповідають чистій воді без рослинності [47].

Для аналізу водойм використовують наступні градації NDVI [14]:

- < 0 – вода без видимої рослинності;
- $0,0-0,1$ – низький рівень рослинності, незначна кількість фітопланктону;
- $0,1-0,3$ – помірний рівень розвитку водоростей або початок заростання;
- $0,3-0,5$ – сильне заростання поверхні водойми;
- $> 0,5$ – повне покриття поверхні рослинністю, гіперевтрофікація.

Через вплив відбиття від водної поверхні NDVI може бути не точним для чистих водойм. У таких випадках використовують додаткові індекси, наприклад NDWI або спеціалізовані водні індекси. Для аналізу NDVI можна використовувати супутникові знімки Landsat, Sentinel-2 або MODIS, що мають відповідні спектральні діапазони.

Від'ємні значення NDVI, зазвичай, свідчать про мінімальну або відсутню вегетацію. Наприклад, про поверхню води, снігу, льоду чи штучні поверхні. У контексті дослідження евтрофікації водойм, від'ємні значення NDVI є інформативними для розмежування зон чистої води та заростання. Використовуються наступні градації від'ємних значень NDVI [47]:

- $< -0,2$ – глибока, чиста вода, без домішок і поверхневих утворень, характеризує незарослі водойми без значної концентрації фітопланктону;
- $-0,2$ до $-0,1$ – помірно чиста вода, можливо, з незначною концентрацією органічних речовин або частинками у воді, може свідчити про початкові стадії евтрофікації або незначне забруднення;
- $-0,1$ до 0 – підвищений вміст розчинених органічних речовин або мінімальне зростання водоростей, у таких випадках вода може бути мутною, але без явного заростання.

Від'ємні значення допомагають ідентифікувати чисті зони водойми та порівнювати їх із зонами із додатними значеннями NDVI, які можуть бути покриті рослинністю чи водоростями. Спостереження за змінами NDVI (наприклад, від $-0,2$ до $-0,1$) у часі може показати початок евтрофікації [35].

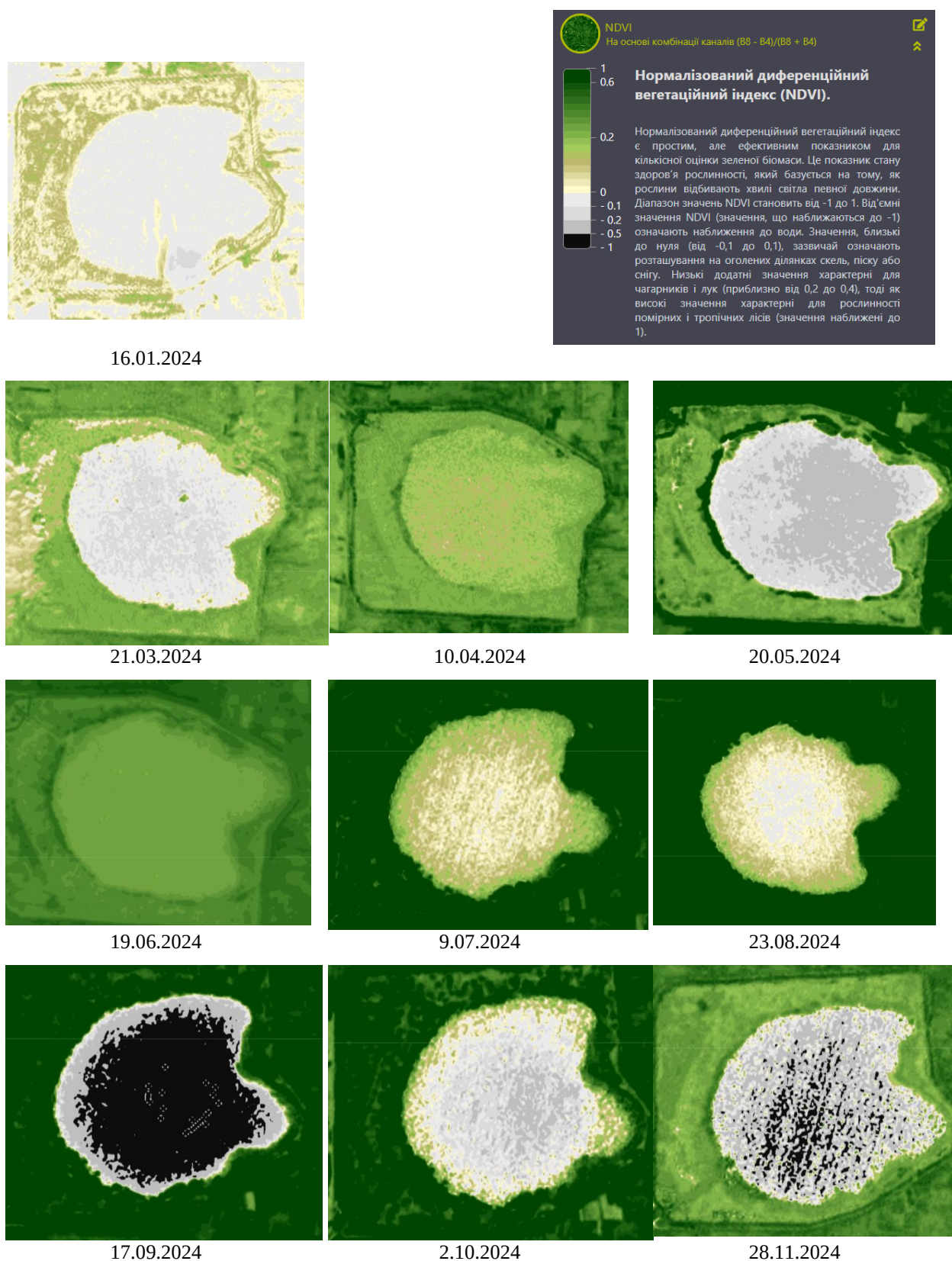


Рис. 3.1. Динаміка індексу NDVI Кортеліського водосховища протягом 2024 р. на фрагментах різночасових супутникових знімків, отриманих за допомогою EO Browser

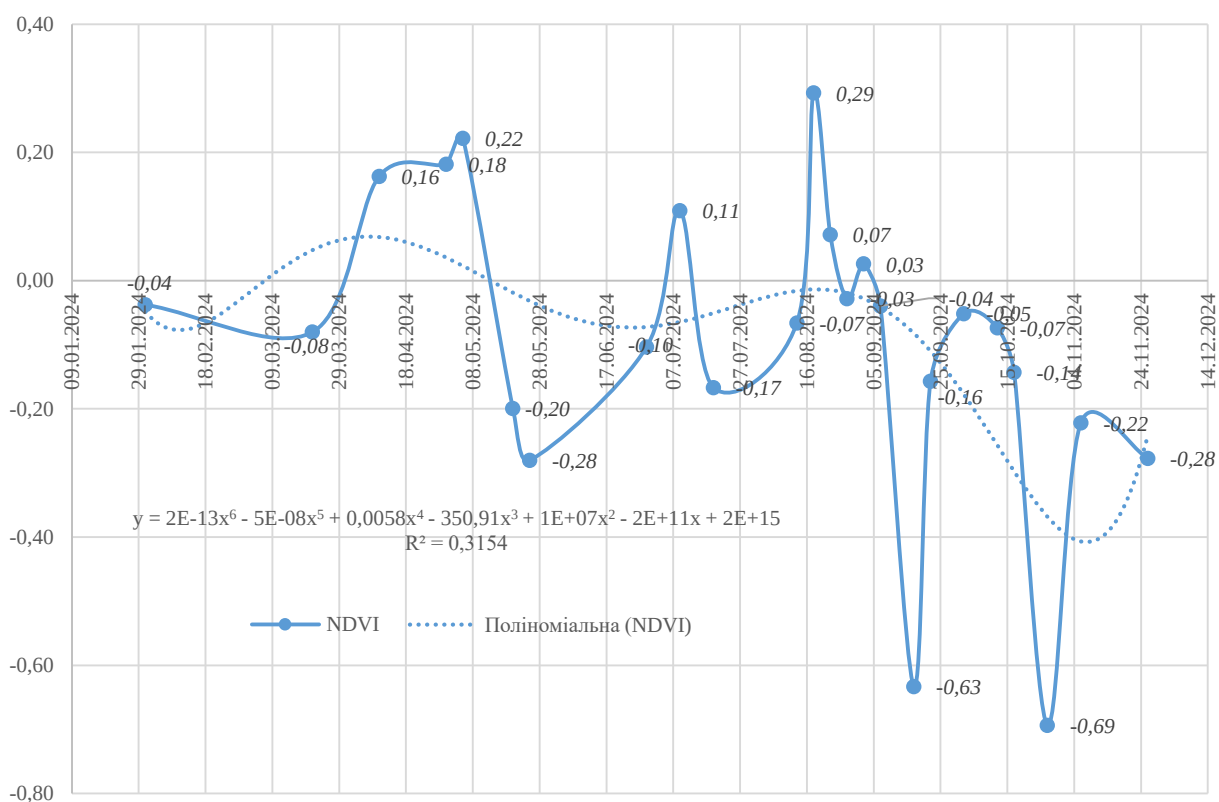
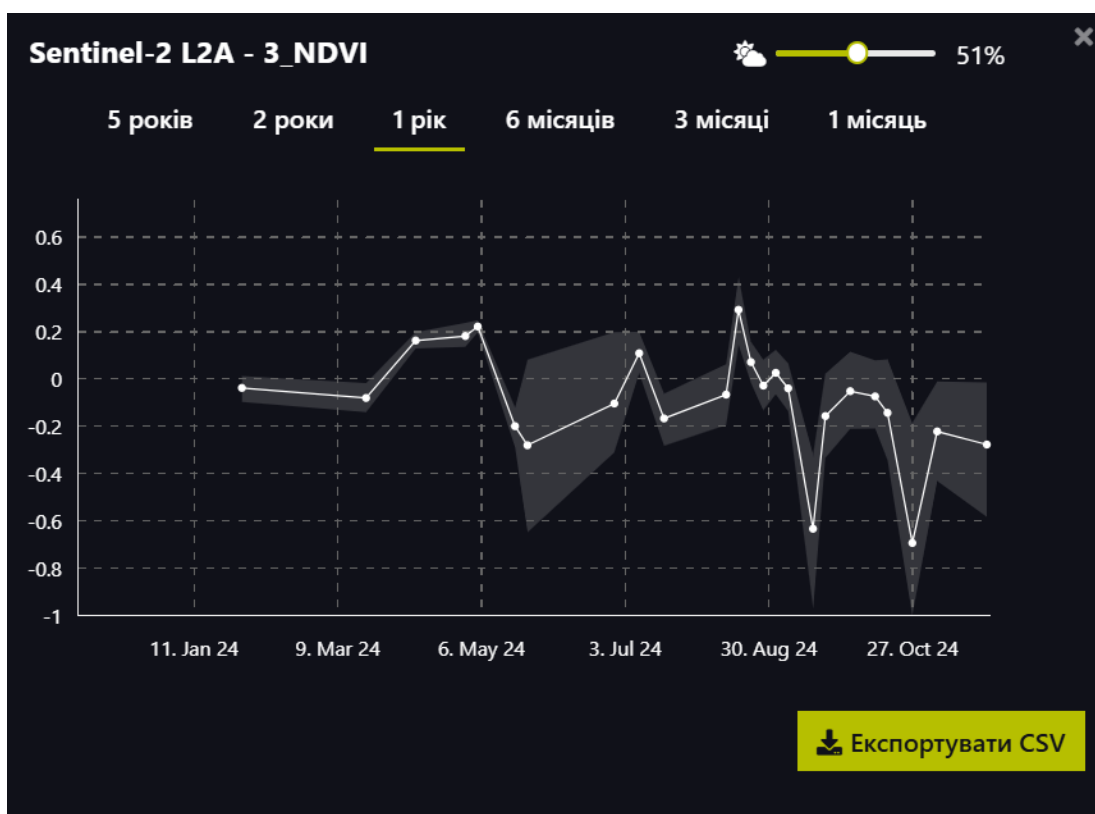


Рис. 3.2. Графік внутрішньорічної динаміки NDVI, побудований в EO Browser (верхній графік), з виділеним трендом (нижній графік)

Для аналізу внутрішньорічної динаміки обрано останній із доступних років – 2024 р. Від початку року до кінця березня значення індексу NDVI були від’ємними, змінюючись в інтервалі від -0,04 до -0,08, що відповідало відносно чистій воді (рис. 3.1, 3.2). Лише 1 квітня значення індексу перейшли через 0, протягом місяця значення індексу коливалось в інтервалі (0,16; 0,22), що відповідає помірному рівню розвитку водоростей або початку заростання водойми.

В травні значення індексу знов перейшли через 0, досягши -0,2-0,28, що свідчить про очищення води. Тенденція проявлялась також протягом червня.

В липні значення індексу збільшились, досягли додатних значень (до 0,11). Це відповідає помірному рівню розвитку водоростей або початку заростання водойми.

Далі індекс знижувався, в середині серпня досяг від’ємних значень (-0,17). Тенденції збереглись до середини вересня. Після цього евтрофікація посилилась і вже вкінці серпня NDVI становив 0,29, що відповідає помірному рівню розвитку водоростей або початку заростання водойми.

Від початку вересня і до кінця року значення індексу знов були від’ємними і досягали мінімальних значень -0,63 та -0,69 всередині вересня і всередині жовтня. Це свідчить про очищення води і перебудову гідробологічних процесів у водойм на зимовий цикл.

Отже, внутрішньорічний розподіл індексу має досить складну динаміку, із багатьма локальними піками та мінімумами значень. Вони залежать від багатьох чинників, насамперед температури повітря, надходження поживних (біогенних) речовин .

Для дослідження процесів евтрофікації водойм використовуються й інші індекси. Наприклад, Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (APA Script) або Спеціальний детектор сценаріїв для водних рослин і водоростей [46]. Авторами сценарію є Anna Pélioia, Carla Garcia-Lozano and Josep Sitjar from Service of Geographical Information Systems and Remote Sensing (SIGTE) of the University of Girona [46].

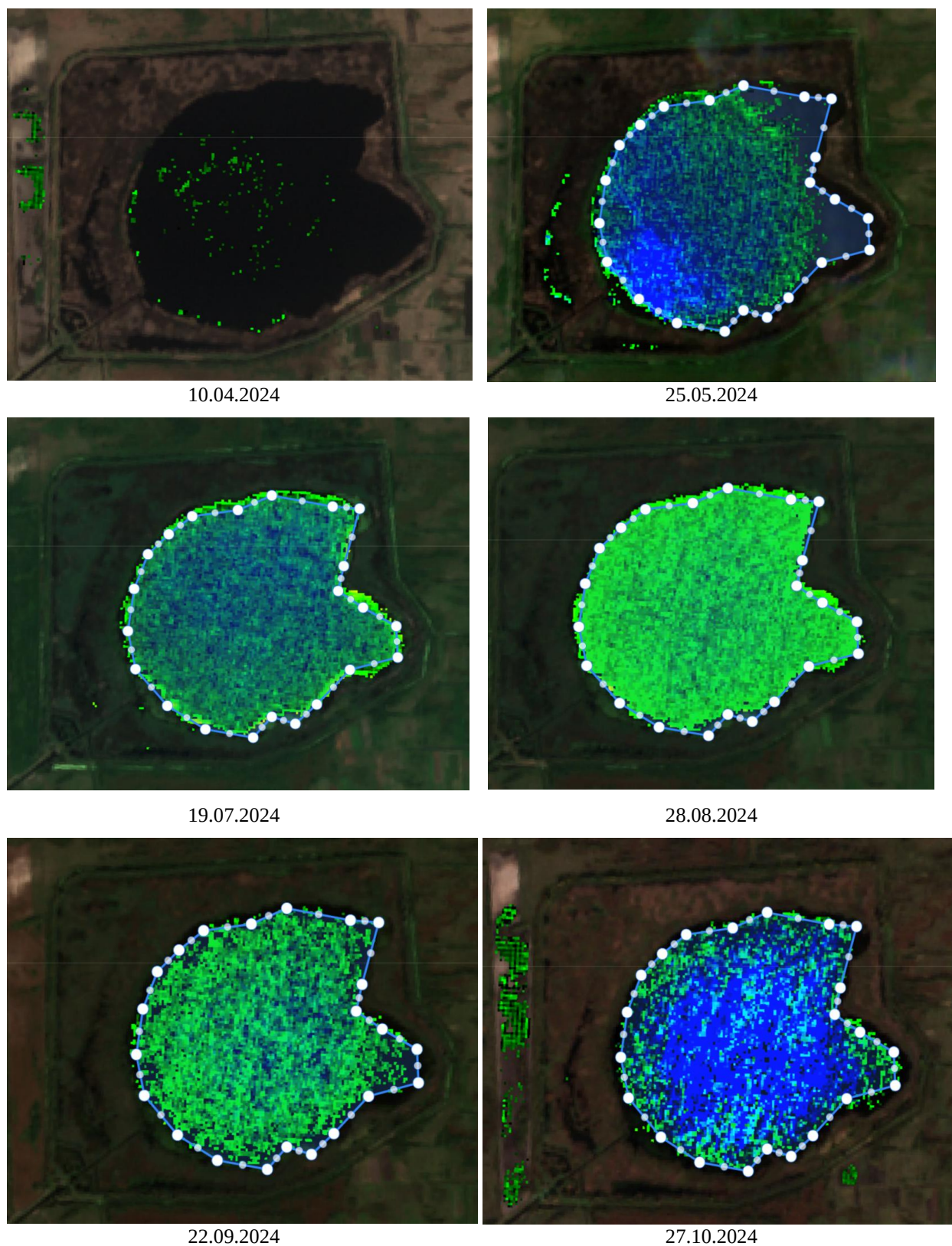


Рис. 3.3. Динаміка індексу APA Script для Кортеліського водосховища протягом 2024 р. на фрагментах різночасових супутникових знімків, отриманих за допомогою EO Browser

APA Script дозволяє ідентифікувати водні рослини і водорості у водоймах, оскільки виділяє ці простори, а решта території візуалізується у природних кольорах. У ньому використовувалися зображення супутника Sentinel-2 (з атмосферною поправкою L2A) для виявлення водойм і водних рослин і водоростей. Для візуалізації плаваючих водних рослин і водоростей використано спрощений індекс плаваючих водоростей (FAI), червону смугу та смугу Vegetation Red Edge $((B05) - B04)/(B05 + B04))$ [46].

Щільність рослинності або водоростей на воді класифікується шляхом застосування різних кольорів. Блакитний колір позначає воду, а бірюзовий — зони з меншою щільністю водних рослин або водоростей; яскраво-зелений колір означає середню щільність; а жовті зони є областями найвищої щільності цих видів. Каламутну воду також ідентифікують за набором індексів, ділянки з великою кількістю осаду та суспензії забарвлюються в коричневий і червоний до фіолетового кольорів [46].

Як видно з рис. 3.3, APA Script дозволяє більш чітко ідентифікувати динаміку водних рослин і водоростей протягом року. Якщо в квітні локальних ділянок бірюзового кольору в межах водосховища зовсім мало, то в травні їх кількість зростає, особливо в східній частині водойми. В той же ж час в західній переважають ділянки з чистою водою. В червні відсутні дні із хмарністю менше 20%. В липні ареали поширення водних рослин і водоростей охоплюють всю водойму, причому щільність досягає максимуму за рік. В серпні щільність поширення зменшується порівняно із попереднім місяцем. Така ж тенденція продовжується і в наступні місяці. Причому починаючи з кінця жовтня вода озера майже очистилась від водних рослин і водоростей.

Загалом динаміка евтрофікації, проаналізована за індексом APA Script, корелює із динамікою індексу NDVI. Останній індекс є чутливішим, оскільки чіткіше реагує на зміни температури, вмісту біогенних речовин. Натомість APA Script краще демонструє сезонність в динаміці, а також дозволяє точніше визначати ареали поширення водних рослин і водоростей в межах водойми. Їх спільне використання доповнює один одного і забезпечує комплексність.

3.2. Особливості багаторічної динаміки евтрофікованості

Аналіз багаторічної динаміки, продемонстрованої на рис. 3.4, не дозволив виділити чіткої тенденції. Лінійний тренд не має схильності до зростання чи спадання, навпаки демонструє стабільність за останніх 5 років. Коливання графіку зумовлені не стільки відмінністю рівня евтрофікації по роках, більше – сезонними коливаннями в межах одного року. Проте з графіків видно, що в окремі роки (2021 р., 2023 р., 2024 р.) додатні значення були NDVI були більш поширені і переважали в теплий період року.



Рис. 3.4. Графік багаторічної динаміки NDVI, побудований в EO Browser (верхній графік), з виділеним трендом (нижній графік)

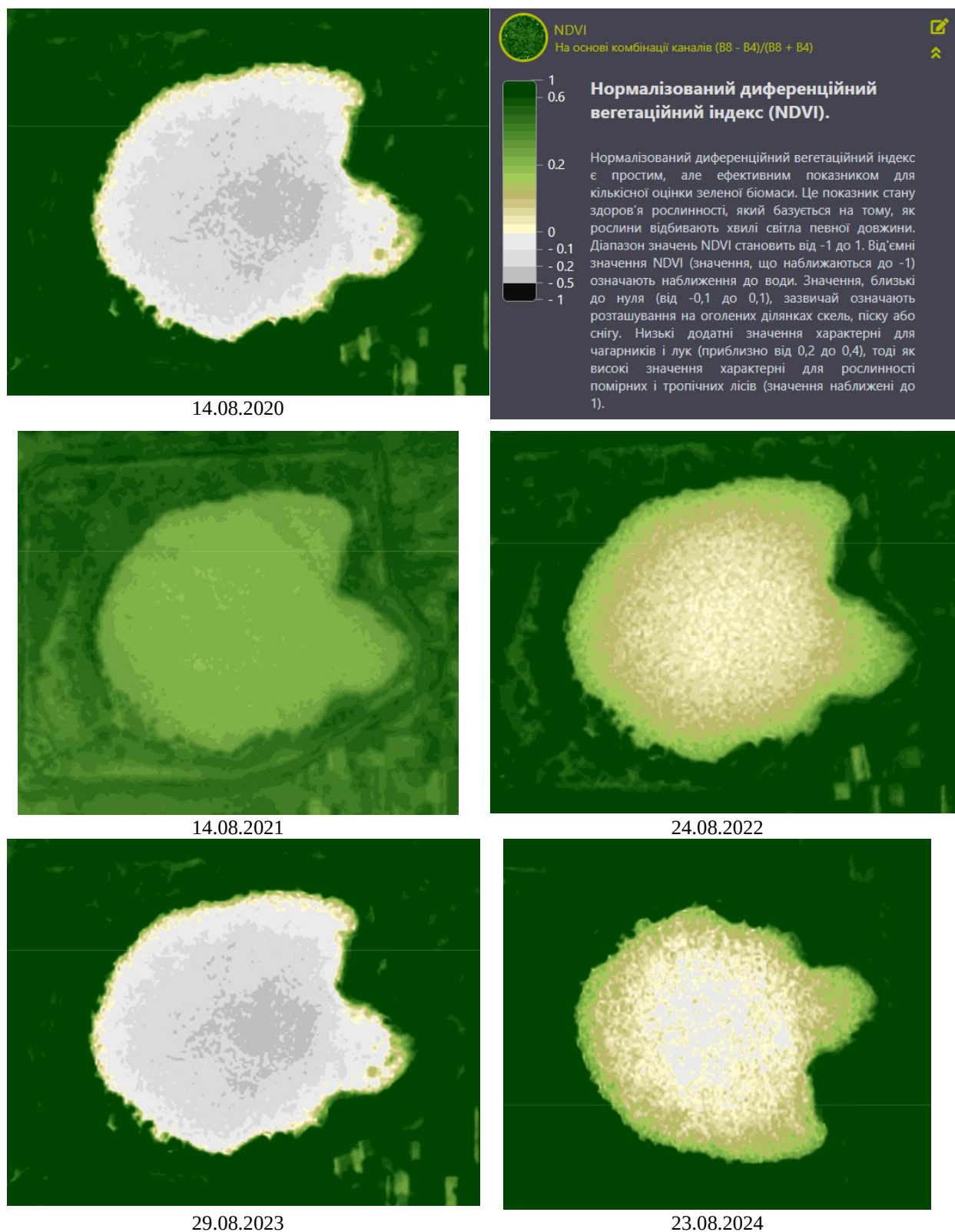


Рис. 3.5. Динаміка індексу NDVI Кортеліського водосховища в серпні 2020-24 р.р на фрагментах різночасових супутникових знімків, отриманих за допомогою EO Browser

Цікаво виглядає порівняння конкретних значень індексу NDVI в одні й ті ж періоди різних років (рис. 3.5). Для цього проаналізовано евтрофікованість водосховища в серпні. Як свідчить графік багаторічної динаміки NDVI (рис. 3.4) саме в серпні рівень евтрофікованості є найвищим. Це один із найжаркіших місяців, вегетаційний сезон завершується, максимальна кількість біогенних речовин потрапляє у водойму. Тому саме цей місяць був обраний для аналізу.

Якщо порівняти розподіл NDVI в конкретні дати серпня отримаємо наступну картину: 14.08.2020 р. майже для всієї водойми значення індексу були близькі до нуля, від'ємні, лише для прибережної смуги гігрофітів характерні невеликі додатні значення (до 0,1). В той же ж день, але у 2021 р. рівень евтрофікації був додатним і суттєво вищим – в межах 0,15-0,25. Схожий рівень NDVI властивий і для 24.08.2022 р. – в межах 0,1-0,2. 29.08.2023 р. значення індексу були набагато нижчими і схожими як 14.08.2020 р. Середній за усі 5 років рівень евтрофікації властивий 23.08.2024 р. – значення індексу корелювали з глибиною водойми. Так у найглибшій частині вони були від'ємні, на мілкішій частині водойми, ближче до берегів, в межах 0-0,1, а в межах поясу гігрофітів – до 0,2.

Дати на рис. 3.5 обрані не довільним чином. Саме за ці дні на сайті ЕО Browser наявні знімки на потрібну територію з значенням хмарності $\leq 20\%$. Для інших днів в серпні або відсутні знімки, або хмарність вища обраного нами показника. Тому проаналізовані вище оцінки є дискретними, тобто отриманими в конкретний момент часу.

ЕО Browser серед усього потенціалу доступних інструментів надає можливість отримати інтегральні (середні) оцінки індексів за певний період часу, наприклад, за місяць (рис. 3.6). Як видно з графіка, рівень евтрофікації водосховища в серпні був найвищим у 2021-23 рр., найнижчим у 2020 р., у 2024 р. намітилась тенденція до його зниження порівняно із попереднім роком. Причинами є зміна метеорологічних характеристик, насамперед, температури повітря та кількості опадів, яка впливає на коливання водності (наповнення) водосховища.

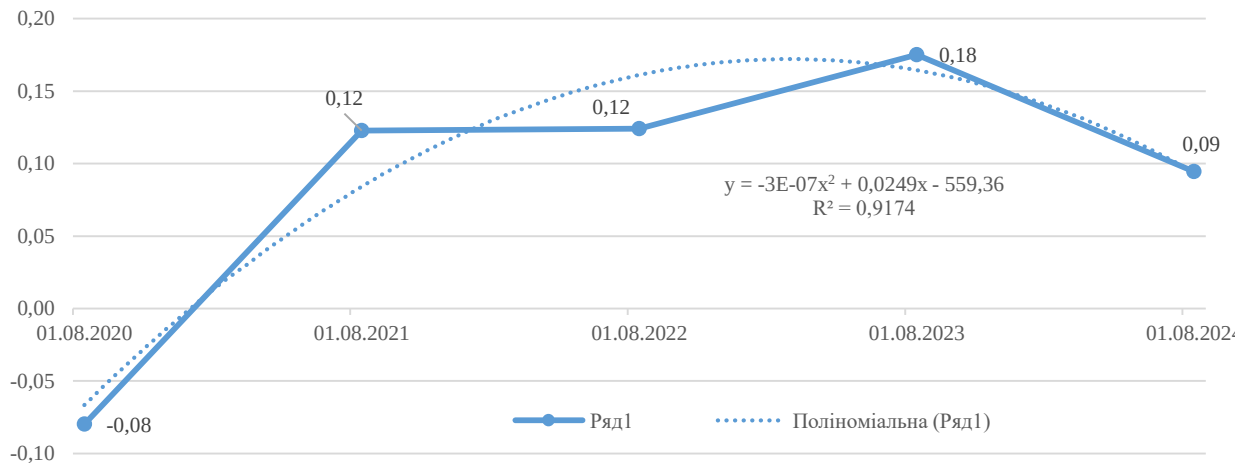


Рис. 3.6. Середні значення індексу NDVI за серпень 2020-24 рр. з виділеним трендом

На графіку на рис. 3.6 додано поліноміальний тренд (II порядку). Для нього властивий дуже високий коефіцієнт детермінації – 0,92. Це свідчить про правильно підбрану апроксимаційну функцію та існування стійкої закономірності, про яку згадувалось вище.

Отже, підсумовуючи для Кортеліського водосховища характерний не дуже високий рівень евтрофікації, навіть в найгарячіші та найсухіші місяці NDVI практично не перевищує 0,2. Лише кілька разів за останні 5 років зафіксовані значення індексу в інтервалі 0,2-0,4. На рівень евтрофікації, окрім метеорологічних параметрів, значний вплив чинить специфіка самого водосховища. Воно є водоймою-накопичувачем стоків Кортеліської осушувальної системи. Стоки з осушених угідь, збагачені біогенними елементами (насамперед, сполуками нітрогену і фосфору), потрапляють у водосховище, забруднюють воду і сприяють інтенсифікації евтрофікації. Проте, на перспективу, слід врахувати, що зміна клімату, теж може спричинити прискорення евтрофікації внаслідок підвищення температури і зменшення водності. Тому дуже важливою є розробка заходів зменшення та попередження евтрофікації для досліджуваної водойми.

РОЗДІЛ 4.

ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКОВАНOSTІ КОРТЕЛІСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Кортеліське водосховище є водоймою-накопичувачем стоків осушувальної системи, що зумовлює специфічні виклики у контролі процесів евтрофікації. Найважливішими особливостями його сучасного гідроекологічного стану є:

- низький рівень евтрофікації (NDVI переважно до 0,2);
- високий вплив стоків з осушених сільськогосподарських угідь;
- потенційний ризик прискорення евтрофікації через зміну клімату.

Основні джерела біогенного забруднення:

- сільськогосподарські стоки;
- поверхневий змив з прилеглих територій;
- атмосферні опади;
- донні відклади.

Тому необхідна розробка комплексу заходів зменшення та попередження евтрофікації (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Заходи зменшення та попередження евтрофікації водосховища

Технічні заходи зниження евтрофікації Кортеліського водосховища включають, насамперед, модернізацію системи водовідведення та комплексний підхід до очищення стічних вод. Ефективне зниження евтрофікації водосховища неможливе без кардинальної модернізації системи водовідведення, яка передбачає впровадження інноваційних біофільтраційних технологій та біохімічних методів очищення.

Реалізувати цей захід можна шляхом створення розгалуженої мережі біофільтраційних споруд уздовж осушувальних каналів. Ці споруди є ніби біологічними бар'єрами, здатними не лише механічно затримувати забруднюючі речовини, але й активно трансформувати їх завдяки унікальним властивостям рослинних угруповань. Дуже важливим при цьому є підбір рослинних видів з максимально високою біоаккумулятивною здатністю. Зокрема, очерет звичайний (*Phragmites australis*) демонструє винятково ефективне поглинання сполук нітрогену та фосфору. Його потужна коренева система створює складну просторову структуру, що збільшує площу контакту з водним середовищем і забезпечує інтенсивне біохімічне очищення. Рогіз широколистий (*Typha latifolia*) та лепешняк великий (*Glyceria maxima*) доповнюють біофільтраційний комплекс, утворюючи багаторівневу систему біологічного захисту. Ці види не лише акумулюють біогенні елементи, але й сприяють седиментації зважених часток, що додатково підвищує якість водоочищення [51].

Паралельно з біофільтраційними спорудами доцільне впровадження біохімічних технологій очищення, що ґрунтуються на використанні складних мікробіологічних та ферментних систем. При цьому застосовуються спеціально підібрані мікроорганізми-деструктори, здатні розщеплювати складні органічні сполуки на простіші та нешкідливі компоненти. Такі мікроорганізми не лише нейтралізують забруднення, але й трансформують біогенні елементи в форми, менш доступні для розвитку водоростей. Використання біоактивних сорбентів з підвищеною хімічною активністю дозволяє досягти практично повного вилучення сполук нітрогену та фосфору.

Суттєве зниження евтрофікації неможливе без радикальної зміни підходів до землеробства в межах водозбору водосховища. Точне землеробство є ключовою концепцією мінімізації біогенного навантаження. Воно передбачає диференційований підхід до внесення добрив з урахуванням мікроландшафтних особливостей кожної ділянки. GPS-моніторинг, аналіз ґрунтів з високою просторовою роздільною здатністю та використання спеціалізованого обладнання дозволяють реалізувати принцип точкового внесення добрив. Перевагу слід надавати повільнодіючим формам мінеральних добрив, які забезпечують поступове вивільнення поживних речовин. Це принципово знижує ризики надмірного потрапляння біогенів у водойму під час інтенсивних дощів або танення снігу.

Важливим елементом заходів зменшення евтрофікації є ландшафтні бар'єри, тобто створення буферних зон уздовж водойми. Багаторівневі рослинні смуги шириною 10-50 м є природними біогеохімічними бар'єрами, здатними затримувати понад 70% біогенних елементів перед їх потраплянням у водосховище [51].

Біологічні методи боротьби з евтрофікацією передбачають використання біоманіпуляцій та біологічних фільтраторів. Біоманіпуляційні технології – це складний і багатокомпонентний підхід до регулювання трофічних процесів у водоймі. На відміну від хімічних або технічних методів, біоманіпуляції ґрунтуються на внутрішніх механізмах саморегуляції екосистем, створюючи умови для природного відновлення біологічної рівноваги. Ключовим при цьому є контрольоване зарибнення, яке передбачає інтродукцію видів-біомеліораторів, здатних опосередковано впливати на процеси евтрофікації [50]. Особливої уваги заслуговують хижі риби, зокрема судак та щука, які виступають природними регуляторами чисельності планктонних організмів. Механізм дії такого підходу ґрунтується на каскадному ефекті трофічних ланцюгів. Збільшення популяції хижих риб призводить до зменшення чисельності риб-планктонофагів, що, своєю чергою, сприяє зростанню популяції зоопланктону. Активні фільтратори зоопланктону

(дафнії, циклопи) інтенсивно споживають водорості, безпосередньо знижуючи рівень біомаси фітопланктону. Серед риб-меліораторів в умовах України найчастіше використовують товтоلوبика та білого амура. Оскільки водосховище є частиною гідрологічного заказника «Озеро Любовель», при зарибленні важливо уникати використання інвазійних видів риб. До них належать товстолобик білий і строкатий, амур білий. Краще застосовувати автохтонні види, а саме: лин, карась сріблястий, лящ.

Особливу роль у біологічному очищенні водойми відіграють організми-фільтратори. Двостулкові молюски, зокрема, перлівниці демонструють унікальну здатність до біологічної фільтрації. Один дорослий молюск здатен профільтрувати до 50 л води на добу, одночасно знижуючи концентрацію зважених часток та мікрowodоростей. Доповнення молюскової популяції гіллястовусими ракоподібними (*Cladocera*) та коловертками (*Rotifera*) створює багаторівневу систему біологічного очищення. Ці мікроорганізми не лише споживають водорості, але й беруть активну участь у мінералізації органічної речовини [3].

Ефективність заходів зменшення та попередження евтрофікації безпосередньо залежить від повноти та точності моніторингових досліджень. Для цього слід розмістити мережу автоматизованих станцій контролю у важливих точках водосховища, зокрема, біля впадіння магістрального каналу МК-1 для постійного збору даних моніторингу. Багатоканальні датчики можуть здійснювати неперервний моніторинг фізико-хімічних параметрів водного середовища: температури, водневого показника (pH), концентрації розчиненого кисню, електропровідності та вмісту біогенних елементів. Також доцільно використовувати дані дистанційного зондування, які дозволяють оцінювати стан водної поверхні з високою просторовою та часовою роздільною здатністю. Аналіз індексу NDVI за супутниковими знімками надає об'єктивну інформацію про інтенсивність розвитку водної рослинності та потенційні зміни трофічного статусу водойми.

Накопичені моніторингові дані є основою для побудови складних

математичних моделей, призначених для прогнозування довгострокових змін екосистеми водосховища. Розроблені моделі надають можливість завчасно виявляти потенційні ризики посилення евтрофікації та розробляти стратегії її попередження. Ключовими параметрами таких моделей є:

- кліматичні зміни;
- трансформація землекористування;
- інші види антропогенного навантаження;
- біотичні взаємодії.

Економічні та адміністративні механізми включають нормативне регулювання та інвестиційну політику. Нормативне регулювання передбачає:

- дотримання вимог Водного кодексу України [5], Закону України «Про внесення змін до Водного і Земельного кодексів України щодо прибережних захисних смуг» [8] (наразі вони дотримуються);
- розробку локальних екологічних нормативів;
- систему штрафів за забруднення;
- економічне стимулювання природоохоронних заходів.

Основними заходами інвестиційної політики є: залучення грантових коштів, державно-приватне партнерство, ширше залучення громадськості та територіальних громад, міжнародні екологічні програми.

Очікуваними результатами реалізації запропонованого комплексу заходів є: зниження рівня евтрофікації на 30-50%, покращення якості водних ресурсів, відновлення біологічної рівноваги, збереження екосистеми водосховища та її біологічного різноманіття. Реалізація заходів передбачає підготовчий етап (6-12 місяців), етап впровадження технічних рішень (1-2 роки), етап моніторингу, моделювання та корекції (постійно). Отже, комплексний підхід до попередження евтрофікації Кортеліського водосховища вимагає синергії технічних, біологічних, економічних та адміністративних заходів.

ВИСНОВКИ

1. Евтрофікація водойм є складним процесом, який розвивається внаслідок перенасичення водних екосистем поживними речовинами, зокрема, нітрогеном і фосфором. Природне старіння водойм відбувається поступово, але антропогенна діяльність значно прискорює цей процес, запускаючи культурну евтрофікацію. Основними джерелами поживних речовин є сільськогосподарське, промислове та комунальне забруднення. Найбільше до евтрофікації схильні стоячі водойми, зокрема, озера, водосховища та ставки, через їхню низьку швидкість водообміну, що сприяє накопиченню біогенних елементів. Річкові екосистеми менше вразливі завдяки проточності, однак у повільних рівнинних річках, дельтах і прибережних акваторіях можливе накопичення поживних речовин.

Евтрофікаційні процеси призводять до значних екологічних та економічних наслідків: "цвітіння" водоростей і ціанобактерій, зниження якості води, зменшення прозорості, появи киснево-дефіцитних зон, масової загибелі водних організмів, погіршення умов рибальства та рекреації. Особливо небезпечним є токсичне цвітіння, яке продукує шкідливі речовини, що становлять загрозу для здоров'я людей і тварин. Глобальні кліматичні зміни, підвищення температури, зміна режиму опадів і зростання чисельності населення ще більше ускладнюють проблему. Наслідки впливу цих зовнішніх чинників надзвичайно різноманітні: від локальних змін у структурі біоценозів до глобальних трансформацій екосистемних процесів.

2. Кортеліське водосховище, розташоване на півночі Ратнівської територіальної громади, було споруджено шляхом дамбування озера Любовець у 1982 р. Це водосховище є частиною Кортеліської осушувально-зволожувальної системи, основне призначення якої полягає в регулюванні стоку та акумуляції води для зволоження сільськогосподарських земель. Система забезпечує двостороннє регулювання стоку: в період весняної повені надлишкові води скидаються у водосховище, а в посушливі періоди вода

використовується для зрошення. Це дозволяє підтримувати баланс водних ресурсів в межах водосховища та навколишніх територій.

Гідрологічні характеристики водосховища показують, що його витрати води змінюються залежно від водності року. У середньому витрати води становлять $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$, але при максимальному стоці (1% забезпеченості) вони можуть досягати $0,42 \text{ м}^3/\text{с}$, а при мінімальному стоці (95% забезпеченості) знижуються до $0,06 \text{ м}^3/\text{с}$. Внутрішньорічний розподіл стоку також залежить від водності року, що показує коливання витрат води на випаровування та фільтрацію, які є важливими для оцінки водних ресурсів водосховища.

Конструкція гідротехнічних споруд водосховища, зокрема, дамби та водовипусків, дозволяє ефективно виконувати свої функції. Дамба має трапеційну форму і складається з супіску та піску, її максимальна висота — 3,4 м, а довжина — 5340 м. Водовипуски, які здійснюють скид води, побудовані із залізобетону, їх пропускна здатність становить $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Відвідний канал МК-1 Кортеліської осушувальної системи, має довжину 5530 м і пропускну здатність також $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Схили та відкоси каналу закріплені травами, що забезпечує їх стабільність і захист від ерозії.

Об'єм водосховища при нормальному підпірному рівні (НПР) становить 4,2 млн м^3 , а при максимальному рівні (форсованому) — 4,7 млн м^3 . Корисний об'єм водосховища складає 3,45 млн м^3 , що забезпечує ефективну акумуляцію води для зрошення. Водночас, витрати на випаровування та фільтрацію води суттєво залежать від водності року та погодних умов. Зокрема, витрати на випаровування досягають максимальних значень у липні, а в маловодний рік вони значно зростають.

Таким чином, Кортеліське водосховище є важливим елементом водогосподарської системи Ратнівської територіальної громади, забезпечуючи ефективне управління водними ресурсами для сільськогосподарського зрошення та запобігання затоплення в період весняної повені. Однак, існує ризик забруднення води з навколишніх сільськогосподарських угідь та

осушувальної системи, що вимагає регулярного моніторингу та контролю за екологічним станом водосховища.

Аналізуючи динаміку берегової лінії водосховища, можна зазначити, що з 1985 р. вона майже не змінилася, і суттєвих змін не спостерігається і за період 2009-24 рр. Єдиним помітним фактом є збільшення розмірів прибережної гідрофітної рослинності у 2020 р., особливо на південному та північно-східному узбережжях. Це може свідчити про інтенсифікацію евтрофікаційних процесів та заростання озера.

Прибережна захисна смуга, згідно з Водним кодексом України, для водосховищ має бути 100 м. Для Кортеліського водосховища ця вимога дотримана, і на території прибережної смуги відсутні господарські або рекреаційні об'єкти. Це територія, покрита трав'янистою рослинністю з поодинокими чагарниками. В межах водозбору оз. Любавель переважають орні землі. На південь від озера, на відстані 3 км, розташовані села Кортеліси та Млинове, а за 0,5 км на захід – хутір Годинь. Між населеними пунктами знаходяться фрагменти лісових масивів, що займають порівняно невелику площу. Аналіз структури використання земель свідчить, що основними джерелами забруднення озера можуть бути стоки з сільськогосподарських угідь, тваринницьких ферм і селитебних територій. Водночас загальний екологічний стан водозбору озера є досить сприятливим.

Значний вплив на якість води у водосховищі має також магістральний канал МК-1 Кортеліської осушувальної системи, оскільки водосховище є водоприймачем цієї осушувальної мережі. Землі навколо водосховища розташовані на осушувальних картах системи, що дозволяє через канал потрапляти в озеро органічним та мінеральним добривам, пестицидам і отрутохімікатам. Це може не тільки погіршити якість води у водосховищі, але й сприяти прискоренню його евтрофікації.

3. Аналіз сучасного стану евтрофікованості Кортеліського водосховища за допомогою супутникових знімків та індексів NDVI і APA Script показав складну динаміку змін рівня евтрофікації протягом року та багаторічного

періоду. Внутрішньорічна динаміка індексу NDVI демонструє коливання значень, які залежать від різних чинників, зокрема, температури повітря та надходження біогенних речовин. Найвищі рівні евтрофікації спостерігалися в літні місяці, з піками в липні, коли значення NDVI досягли помірних або навіть високих рівнів. Водночас, в осінній та зимовий періоди рівень евтрофікації знижувався.

Особливості багаторічної динаміки не вказують на чітку тенденцію до зростання або спаду евтрофікації, однак в окремі роки, зокрема, в 2021, 2023 та 2024 роках, спостерігалось помітне зростання індексу NDVI в теплі місяці. Порівняння даних за серпень у різні роки показало, що в окремі роки рівень евтрофікації був вищим, що пов'язано із змінами температури, кількості опадів і біогенних речовин. Певна стабільність рівня евтрофікації в серпні, за останні 5 років, підтверджує вплив метеорологічних умов і специфіки водосховища, яке є водоймою-накопичувачем стоків з осушених угідь, збагачених біогенними елементами.

У підсумку, евтрофікація Кортеліського водосховища не досягає критичних рівнів, хоча в деякі роки спостерігається її підвищення, особливо в літні місяці. Для запобігання подальшій інтенсифікації процесу евтрофікації важливо враховувати зміни клімату, оскільки підвищення температури та зміни водності можуть прискорити цей процес. Розробка заходів з контролю та попередження евтрофікації є важливою для підтримання сприятливого екологічного стану водосховища в майбутньому.

4. Для попередження та зменшення евтрофікації водосховища пропонується комплексний підхід, що включає технічні, біологічні та економічні заходи. Важливими елементами є модернізація водовідведення, впровадження біофільтраційних технологій, а також зміна підходів до ведення сільського господарства з використанням точного землеробства для зменшення біогенного навантаження. Особливу роль у зменшенні евтрофікації відіграють біоманіпуляційні методи, такі як зариблення,

використання фільтраторів – організмів, що очищають воду, зокрема, двостулкових молюсків.

Одним з ключових аспектів є створення системи моніторингу, що дозволяє проводити цілодобовий контроль водного середовища та прогнозувати довгострокові зміни за допомогою математичних моделей. Прогнозування дозволяє своєчасно виявляти потенційні ризики і вживати відповідні заходи. Для реалізації таких ініціатив важливе нормативне регулювання, залучення інвестицій та активна участь громади через державні та міжнародні програми.

Оскільки Кортеліське водосховище є частиною гідрологічного заказника місцевого значення, необхідно забезпечити екологічно безпечне використання водних ресурсів. Успішна реалізація заходів може зменшити рівень евтрофікації на 30-50%, поліпшити якість води та відновити біологічну рівновагу екосистеми водосховища. Комплексний підхід, який поєднує технічні, біологічні, економічні та адміністративні методи, є необхідним для довгострокового успіху в боротьбі з евтрофікацією Кортеліського водосховища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас Волинської області / за ред. Ф.В. Зузука. М.: Комітет геодезії і картографії СРСР, 1991. 42 с.
2. Боголюбов В.М., Юхимчук І.В., Мальований М.С. Захист відкритих водойм від забруднення поверхневими стічними водами з сільськогосподарських територій. Ринок інсталяції. 2010. № 11. С. 33-38.
3. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Основи гідроекології: теорія й практика: навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 365 с.
4. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Оптимізація природокористування водними ресурсами у басейновій системі річки Західний Буг. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2011. № 1-2. С. 94-98.
5. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
6. Водосховища в басейні р. Західний Буг. URL: <https://vodres.gov.ua/node/71>
7. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне: Волинські обереги. 1999. 347 с.
8. Закон України «Про внесення змін до Водного і Земельного кодексів України щодо прибережних захисних смуг». Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2011. N 18. ст. 122.
9. Звіт по темі «Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складання Державних балансів запасів торфу та сапропелю станом на 1.01.1999 рр.». Київ: Геоінформ, 2000. Кн. XVI: Сапропель. 158 с.
10. Ільїн Л.В. Техногенні трансформації озер Західного Полісся України. Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 18–20 травня 2023 р.) / відповід.

- редактори: В. Біланюк, Є. Іванов. У 3-ох томах. Львів: Простір-М, 2023. Том 2. С. 58-61.
11. Ільїн Л.В. Лімнок комплекси Українського Полісся. У 2 т. Т.1. Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності: монографія. Луцьк: РВВ "Вежа" ВНУ ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
 12. Ільїн Л. В. Лімнок комплекси Українського Полісся: Монографія: У 2-х т. Т.2: Регіональні особливості та оптимізація; за ред. В.М. Пащенко. Луцьк: РВВ "Вежа" Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки. 2008. 400 с.
 13. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
 14. Каліновський Д.І., Ільїн Л.В. Донні відклади природних водойм Волинської області та перспективи їх використання у рекреації. Культура народів Причорномор'я. 2009. №176. С. 120-122.
 15. Каліновський Д. І. Оцінка рекреаційної придатності озер Волинської області за морфометричними параметрами. Наук. вісник Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Географічні науки. 2011. № 9. С. 138-142.
 16. Карпюк З.К., Фесюк В.О., Антипюк О.В. Природно-заповідний фонд Волинської області: альбом-каталог. К.: ОК-Поліграф, 2018. 136 с.
 17. Карпюк З. К., Фесюк В. О., Чижевська Л. Т. Охорона гідрологічних об'єктів у мережі природно-заповідного фонду Волинської області // Актуальні проблеми охорони навколишнього природного середовища українсько-польських прикордонних територій: тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (Львів – Івано-Франкове, 23-25 жовтня 2019 р.). – Львів: ПАІС, 2019. – С. 43-44.
 18. Карпюк З. К., Шевчук О. С., Ярмолюк Д. Л. Охорона водних екосистем у гідрологічних заказниках і пам'ятках природи природно-заповідного фонду Волинської області. Věda a perspektivy. 2022. № 5(12). S. 144-161.
 19. Клементова Е., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости сельскохозяйственного ландшафта. Мелиорация и водное хозяйство.

1995. № 5. С. 33–34.
20. Кортеліське водосховище. URL: <https://vodres.gov.ua/node/77>
 21. Лук'янова Г. В., Полянська Т. О., Полянський С. В., Чижевська Л. Т., Нетробчук І. М., Карпюк З. К., Качаровський Р. Є. Сучасні можливості природного рекреаційного потенціалу Ратнівської ТГ Волинської області. *Věda a perspektivy*. 2022. № 8(15). S.171-185 . DOI :
 22. Мартинюк В.О., Зубкович І.В., Андрійчук С.В. Регіональна геоecологічна оцінка озер Українського Полісся. Регіональні геоecологічні проблеми в умовах сталого розвитку. Збірник наукових праць III Міжнар. наук.-практ. конференції (Рівне, 18-20.10.2018). 2018. С. 78-86.
 23. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Розробники: Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
 24. Нетробчук І. М. Оцінка якості поверхневих вод правобережних приток басейну Прип'яті у Волинській області. Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. 2007. № 2. С. 260-265.
 25. Пасічник М. П., Ільїн Л. В., Хільчевський В. К. Сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області / Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк: Волиньполіграф, 2021. 172 с.
 26. Паспорт Кортеліського водосховища. Ратне: Ратнівське МУВГ, 2015. 8 с.
 27. Поверхневі води Волині: колективна монографія / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
 28. Природа Волинської області / за ред. К.І. Геренчука. Львів: Каменяр, 1975. 146 с.
 29. Притулюк Л. В. Просторовий розподіл та хронологія інвентаризації ставків у Волинській області. Актуальні проблеми та перспективи розвитку регіонів : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Рівне, 3 квіт. 2020 р.). Рівне : РВЦ МЕГУ ім. акад. С. Дем'янчука, 2020. С. 102-106.

- 30.Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2022 рік. URL: http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS
- 31.Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
- 32.Солованюк О., Гулай Л. Роль нітрогеновмісних сполук в оцінці екологічного стану поверхневих штучних водоймищ. Збірник наукових статей “ІІІ-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю”(Екологія/Ecology–2011), 2011. С. 537-539.
- 33.Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія. / за ред. В. О. Фесюка. К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2016. 316 ст.
- 34.Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами: навчальний посібник. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
- 35.Федоровський О. Д., Хижняк А. В, Томченко О. В. Оцінка якості водного середовища міських водойм з використанням методів системного аналізу на основі комплексування даних ДЗЗ. Космічна наука і технологія. 2021. Т. 27. № 5. С. 11-18.
- 36.Фесюк В.О, Мосійчук О.Л. Перспективи рекреаційного освоєння озер Ратнівського району. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія: Географічні науки. 2017. № 9(358). С.10-15.
- 37.Фесюк В. О., Полянський С. В., Копитюк Т. В. Методика та практична імплементація застосування даних ДЗЗ для моніторингу евтрофікації водойм (на прикладі Турського озера). Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. № 1. 2022. С. 159-166.

- 38.Фесюк В.О., Нетробчук І.М., Алексійчук М.М. Оцінка евтрофікованості озера Велике методами дистанційного зондування Землі. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. Вип. 1. С. 83–88.
- 39.Фесюк В.О., Нетробчук І.М., Дубровик О.С. Дослідження евтрофікації озер Волинського Полісся (на прикладі озера Засвітське). Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. 2024. № 56. С. 152–159.
- 40.Фесюк В. О., Нетробчук І. М., Полянський С. В., Довган Д. Я. Особливості сучасного стану евтрофікації Шацьких озер. Український журнал природничих наук. 2024. № 8. С. 279-288.
- 41.Фесюк, Коваль Тези
- 42.Шевчук М.Й., Юрчук П.В., Горун А.А. Екологічний стан озерних екосистем Волині та основні напрями його покращення. Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки. 2009. № 1. С. 188-191.
- 43.Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання: монографія. Луцьк: Надстир'я, 1996. 384 с.
- 44.Шевчук, М. Й., Сергушко, О. Г. Евтрофікація озер Волинської області. Агроекологічний журнал, 2017. 1. С. 16-21.
- 45.Яцык А.В. Экологические основы рационального водопользования. Київ: Генеза, 1997. 628 с.
- 46.Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (APA Script). URL: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/apa_script/
- 47.NDVI. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=16&lat=51.06328&lng=24.8132&themeId=DEFAULT-24T23%3A59%3A59.999Z>
- 48.NDAI. URL: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/apa_script/
- 49.Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.A. Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine. Geography and Natural Resources. 2015. Vol. 36. Issue 3. P. 305-312.
- 50.Martin, A., Cooke, G.D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. Lake

Line. 14. 24-26.

51. Raike A., Pietilainen, O.P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A., Vuorenmaa, J. (2003). Trends of phosphorus, nitrogen, and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-2000. *The Science of the Total Environment*. 310. 47-59.