

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра фізичної географії

На правах рукопису

ПОЗНАНСЬКА ЮЛІЯ ІГОРІВНА

ЗАХОДИ ПОЛІПШЕННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗ. КРИМНЕ

Спеціальність: 103 Науки про Землю

Освітня програма: Гідрологія

Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного ступеня «Магістр»

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. ТЕОРЕТИЧНА БАЗА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗЕР.....	6
1.1. Теоретичні засади лімноекології.....	6
1.2. Методика проведення дослідження гідроекологічного стану озера..	14
1.3. Аналіз наукових публікацій по темі дослідження.....	16
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ ОСОБЛИВОСТІ ВОДОЗБОРУ, ГІДРОЛОГІЧНА ТА МОРФОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА.....	19
2.1. Особливості природних умов водозбору озера.....	19
2.2. Морфометричні та гідрологічні особливості оз. Кримне.....	28
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СУЧАСНОГО ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗЕРА.....	34
3.1 Забруднення води озера.....	34
3.2 Антропогенна трансформація водозбору: сучасний стан та загрози..	39
3.2. Динаміка евтрофікованості озера.....	42
РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ОЗ. КРИМНЕ.....	50
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Актуальність теми. Озера є не лише важливими водними ресурсами, що забезпечують воду для різних потреб людини, але й середовищем існування багатьох організмів та об'єктами природного спадку нашої держави. Моніторинг та збереження сприятливого гідроекологічного стану озер має велике значення для довкілля та місцевих громад.

Одне із таких озер – Кримне. Воно входить до складу Шацького національного природного парку та має важливе екологічне та рекреаційне значення для регіону. Тому забезпечення його належного гідроекологічного стану є **важливим та актуальним завданням**.

Більшість озер в Україні та світі стикаються з проблемами забруднення, евтрофікації, обміління та деградації екосистем через антропогенний вплив та зміну клімату. Дослідження гідроекологічного стану конкретних озер допомагає вирішувати ці проблеми та розробляти стратегії управління водними ресурсами.

Тому розроблений комплекс ефективних заходів поліпшення гідроекологічного стану оз. Кримне може бути моделлю для інших водойм в регіоні та сприяти сталому використанню водних ресурсів. Оскільки збереження та відновлення озерних екосистем відіграє ключову роль у збереженні біорізноманіття, забезпеченні збалансованих екологічних циклів та загального благополуччя довкілля.

Метою дослідження є розробка заходів покращення гідроекологічного стану озера Кримне для його раціонального використання та охорони.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати теоретичну базу та запропонувати методику досліджень гідроекологічного стану озер;
- дослідити природні умови, антропогенну трансформованість водозбору, гідрологічні та морфометричні особливості озера Кримне;

- оцінити гідроекологічний стан озера, якість води, евтрофікованість водойми;
- запропонувати заходи раціонального використання та охорони озера.

Об’єкт досліджень – лімносистема озера Кримне.

Предметом досліджень є параметри сучасного гідроекологічного стану озера Кримне, можливості його покращення шляхом розробки комплексу заходів раціонального використання і охорони озера.

Методологічною базою дослідження сучасного гідроекологічного стану озер є праці зарубіжних та вітчизняних вчених: Я.О. Мольчака, Л.В. Ільїна, В.О. Мартинюка, В.Д. Романенка, А.В. Яцика, В.О. Фесюка, М.В. Боярин, І.М. Нетробчук, С.В. Полянського, М.О. Клименка, Й.В. Гриба, В.В. Сондака, М.Й. Шевчука, О.Г. Сергушка, J.J. Elser, M.E.S. Bracken, E.E. Cleland, R.D. Gulati, E.J. van Donk, M. Scheffer, V.H. Smith, S.B. Joye, R.W. Howarth та інших науковців.

Інформаційною базою роботи слугували матеріали Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, Шацької територіальної громади та Шацького національного природного парку, фахові наукові видання, матеріали конференцій, електронні картографічні сервіси (GoogleMap, OpenStreetMap), супутникові знімки (Sentinel-2). Також було опрацьовано понад 50 друкованих та електронних публікацій, законодавчі акти України в галузі раціонального використання та охорони водних ресурсів.

Методи дослідження. Під час дослідження було застосовано комплексний підхід, який охоплював різноманітні методи для всебічного вивчення гідроекологічного стану озера. Зокрема, використовувалися: польові гідрологічні та гідрохімічні дослідження (морфометричні вимірювання, визначення складу і властивостей води, дослідження стоку), гідробіологічні дослідження для вивчення видового складу, чисельності та біомаси фітопланктону, зоопланктону, зообентосу та макрофітів, картографічні методи (електронна картографія, ГІС),

дистанційне зондування (ДЗЗ) озера з метою визначення морфометричних параметрів, особливостей господарської діяльності в межах водозбору, а також оцінки рівня евтрофікації водойми, аналіз літературних та архівних даних стосовно досліджуваного озера та природи Шацького національного природного парку, математичне моделювання для прогнозування стану озера залежно від впливу різних антропогенних чинників.

Наукова новизна полягає в оцінці ступеня антропогенної трансформованості водозбору оз. Кримне, дослідженні його гідроекологічного стану, забруднення озерної води, розробці заходів раціонального використання та охорони озера.

Практична цінність роботи зумовлена можливістю використання запропонованого в роботі комплексного підходу з метою оцінки гідроекологічного стану інших озер Шацького національного парку та Волинської області. Також матеріали роботи можуть бути використані при розробці стратегії управління водними ресурсами Шацької територіальної громади і у навчальному процесі Волинського національного університету імені Лесі Українки при вивченні освітніх компонент: «Гідрологія», «Раціональне використання і охорона водних ресурсів», «Гідроекологія», «Гідрохімія», «Обробка і аналіз супутникових знімків», «Природно-заповідна справа», «Географія Волинської області».

Апробація роботи. За результатами магістерської роботи опублікована стаття у науковому фаховому виданні [39].

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота має загальний обсяг 68 сторінок і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (51 позиція).

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНА БАЗА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗЕР

1.1. Теоретичні засади лімноекології

Лімноекологія – це галузь екологічної науки, предметом вивчення якої є прісноводні екосистеми (озера, ставки, річки, болота). Вона займається дослідженням взаємодії між біотичними та абіотичними компонентами гідроекосистем і їх взаємовпливом. Найважливішими категоріями лімноекології є: водне середовище, продуктивність водойм, кругообіг речовин, трофічні рівні та ланцюги, біорізноманіття, сукцесія, гідроекологічний моніторинг, охорона та збереження водних екосистем [45].

Водне середовище – це те, що оточує біотичний компонент гідроекосистем. Вода відіграє ключову роль у функціонуванні прісноводних екосистем. Її фізичні та хімічні властивості (температура, вміст розчиненого кисню, солоність, прозорість, pH), а також динаміка (хвилі, течії тощо) суттєво впливають на життя організмів у водному середовищі [3].

Лімноекологія вивчає первинну та вторинну продуктивність водойм, тобто процеси, за допомогою яких енергія Сонця перетворюється спочатку на біомасу продуцентів (фотосинтезуючих організмів), а згодом і консументів (споживачів).

У прісноводних екосистемах відбуваються кругообіги поживних речовин, (вуглець, азот, фосфор тощо). Вони забезпечують постачання поживних речовин для підтримки життя організмів.

Лімноекологія досліджує взаємозв'язки між організмами різних трофічних рівнів (продуценти, консументи, редуценти) та потоки енергії через трофічні ланцюги та мережі. Трофічний ланцюг – це лінійна послідовність організмів, в якій кожен організм живиться попереднім і є поживою для наступного. Ланцюг

демонструє передачу енергії та речовин від одного трофічного рівня до іншого [49].

Приклад трофічного ланцюга для прісноводної водойми: продуценти (автотрофи – рослини, фітопланктон) отримують енергію від сонячного світла і перетворюють неорганічні речовини на органічні під час фотосинтезу, первинні консументи (фітофаги – гіллястовусі та веслоногі ракоподібні, деякі види коловерток) живляться рослинним фітопланктоном та водними рослинами, вторинні консументи (дрібні риби, личинки комах) живляться первинними консументами, третинні консументи – хижаки (окунь, щука) живляться іншими дрібними рибами та безхребетними, четвертинні консументи (великі хижаки – чаплі, видри) живляться рибами та іншими тваринами, редуценти (деструктори – бактерії, гриби, черви, молюски) розкладають відмерлі рештки рослин і тварин.

Вивчення різноманітності видів та їхніх взаємодій у прісноводних екосистемах є важливим аспектом лімноекології. Біорізноманіттю належить важлива роль у функціонуванні та стійкості прісноводних екосистем. Вивчення біорізноманіття охоплює кілька ключових аспектів: таксономію, екологію видів (автоєкологія), взаємодію між видами. В лімноекології таксономічні дослідження необхідні для інвентаризації та систематизації різноманітних видів, що мешкають у прісноводних водоймах. Вони включають детальний опис їх морфологічних, анатомічних та генетичних особливостей [50].

Екологія видів вивчає взаємовідносини організмів із довкіллям. Для гідроекосистем такі дослідження передбачають вивчення чинників, що впливають на розподіл, чисельність та життєві цикли різних видів водних рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, аналіз їх екологічних ніш, толерантності до впливу різноманітних абіотичних і біотичних чинників, поведінки різних організмів у прісних водах, що є важливим для розуміння їхньої життєдіяльності та взаємодій, зокрема, способів живлення, розмноження, міграцій, захисних реакцій, соціальної поведінки та інших аспектів активності водних організмів [3].

Вивчення взаємодій між видами є ключовим для розуміння структури та функціонування прісноводних екосистем. Вони передбачають дослідження конкурентних, мутуалістичних, відносин «хижак-жертва» та інших типів взаємовідносин між організмами різних видів. Всебічне дослідження біорізноманіття в лімноекології дозволяє оцінити стан екосистеми, виявити рідкісні чи зникаючі види, спрогнозувати наслідки змін довкілля, в т.ч. і зміни клімату, а також розробити ефективні стратегії збереження та відновлення прісноводних екосистем [30].

Лімноекологія розглядає також процеси сукцесії, тобто поступової зміни екосистеми з часом, та вплив екологічних порушень, зокрема, забруднення, зміни клімату на прісноводні екосистеми.

Ще одним важливим завданням лімноекології є моніторинг стану прісноводних екосистем, виявлення загроз та розробка стратегій їх збереження [46].

Теоретичні засади лімноекології закладені в працях таких дослідників: J. Kalff (2002), який вивчав екологічні аспекти функціонування прісноводних екосистем [49], R.G. Wetzel (2001), який в роботі [51] розглядає прісноводні екосистеми з екологічної точки зору, W.K. Dodds (2002), що вивчав різноманітні аспекти прісноводної екології, концепції та проблеми їх взаємодії з навколишніми системами, а також роль поживних речовин у структурі прісноводних екосистем [45], A. Hildrew, P. Giller (2003), що досліджували біологічні та екологічні особливості водних потоків і річок [46], J. M. Boyer, яка проводила лімноекологічні дослідження прісних вод Флориди, а також вивчала вплив антропогенних змін на прісноводні екосистеми та багатьох інших науковців.

Лімнологія – це розділ лімноекології, що вивчає фізичні, хімічні та біологічні процесів у прісноводних водоймах. Основні питання, що вивчає лімнологія: гідрологія та морфометрія водойм, світловий, термічний та льодовий режими водойм, хімічний склад води, седиментогенез, продукційні процеси,

біогеохімічні цикли, біотичні взаємодії, біоіндикація та біомоніторинг [51].

Гідрологія водойм вивчає циркуляцію вод (припливи та відпливи води, течії, хвилі), водний баланс та інші гідрологічні процеси у водоймах (озерах, болотах, водосховищах тощо). Морфометрія водойм займається кількісною оцінкою форми, розмірів, глибини та інших морфометричних характеристик водойм, які визначають їх фізичні, хімічні та біологічні особливості [30].

Світловий режим водойм передбачає дослідження проникнення світла в воду, його поглинання та розсіювання, впливу світла на первинну продукцію та фотосинтез у гідроекосистемах.

Термічний режим включає вивчення температурних профілів водойм, в т.ч. стратифікацію температури, сезонні зміни та їхній вплив на організми.

Із термічним режимом тісно пов'язаний льодовий режим водойм, при аналізі якого встановлюються дати покриття водойми льодом та його скресання, утворення «шуби», «заберегів» тощо, а також зміна біологічних процесів в цей період.

Хімічний склад води вивчається не гідрологією, а гідрохімією. Вивчається вміст розчинених газів (кисень, вуглекислий газ), поживних речовин (нітрати, фосфати), органічних речовин, твердих завислих часток та інших хімічних компонентів у водному середовищі. Гідрохімічний режим водойми залежить від багатьох гідрологічних процесів: зміни рівнів води, фаз гідрологічного режиму, термічного і світлового режимів.

Седиментологія займається дослідженням процесів осадження, транспортування та акумуляції осадів у водоймах, їх впливу на екосистему [30].

Вивчення первинної продукції (фотосинтез продуцентів) та вторинної продукції (споживання та перетворення органічної речовини консументами) у водоймах є важливим для розуміння і дослідження біогеохімічних циклів, зокрема, аналізу кругообігу поживних речовин (вуглець, азот, фосфор, сірка та інших елементів) у гідроекосистемах.

Дослідження взаємовідносин між організмами в межах та між популяціями, в т.ч. конкуренції, хижацтва, мутуалізму та інших типів взаємодій є предметом вивчення гідроекології. Окрім теоретичного значення гідроекологічні дослідження мають важливий прикладний аспект. Він полягає у можливості використання організмів як біоіндикаторів для оцінки якості води та стану екосистеми водойм, а також для моніторингу їх змін [3].

Теоретичні засади лімнології закладені у працях відомих науковців-лімнологів: Н.Р. MacCon (The plankton communities in polar lakes, 1972, Impacts of climate change on Arctic lakes, 2009), R. G. Wetzel (Limnology: Lake and River Ecosystems, 2001) [51], Plankton Productivity in Inland Waters, 1975). D. M. Philipp (Freshwater Ecosystems of North America, 1997), S. Posingham (Contemporary Trends in Freshwater Ecosystem Studies, 2012) та багатьох інших.

Центральним поняттям лімнології є «озеро». На думку В. Д. Романенка із співавторами (2012): «...озеро – це водойма природного походження з уповільненим водообміном, у якій діалектично поєднуються абіотичні й біотичні складові частини...» [31].

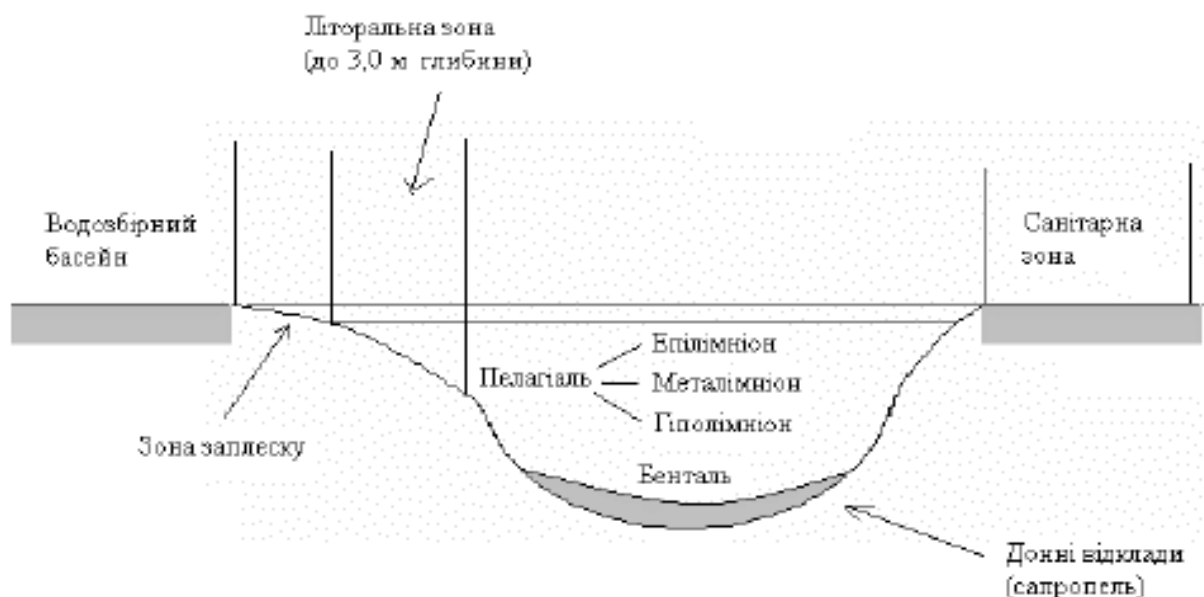


Рис. 1. Абіотичні складові частини природного комплексу озера [31]

Водозбірний басейн озера – це територія, з якої всі поверхневі та ґрунтові води стікають до озера. Вона обмежена вододілами. В межах цієї території вода збирається з опадів, струмків, річок та ґрунтових вод і живить озеро. Розмір і характеристики водозбірного басейну відіграють важливу роль у визначенні кількості та якості води, що надходить до озера, а також впливають на його екологічний стан [35].

Літоральна зона заплеску – це смуга узбережжя озера, яка періодично затоплюється та осушується в результаті коливань рівня води. Ця зона має специфічні екологічні умови та є оселищем для різноманітних організмів, пристосованих до таких змін середовища. Рослинність у зоні заплеску відіграє важливу роль у стабілізації берегової лінії та утворенні середовища існування для багатьох видів тварин [51].

Літоральна зона – це прибережна частина озера, що простягається від берегової лінії до межі, де інтенсивність світла ще достатня для росту рослин. Вона характеризується добре прогрітою водою, багатою на поживні речовини, зазвичай, має різноманітне донне покриття, яке є середовищем існування багатьох організмів. Літоральна зона є одним з найбільш продуктивних і різноманітних місць існування в озерах [51].

Пелагіаль – це відкрита водна товща озера за межами літоральної зони. Вона складається з таких частин: епілімніон (верхній шар води, де достатньо світла для фотосинтезу), металімніон (проміжний шар, де світла недостатньо для фотосинтезу), гіполімніон (глибинний шар вод, світло відсутнє). Пелагіаль є середовищем існування планктонних організмів, зокрема, фітопланктону і зоопланктону [30].

Сапропель – це особливий тип донних відкладів прісноводних водойм, який утворюється з решток водних організмів у безкисневому середовищі. Йому властиві високий вміст органічної речовини та низька щільність.

Використовуються як органічні добрива, в фармацевтичній промисловості або з лікувальною метою [44].

Прибережна захисна смуга озера – це буферна зона між сухопутною територією та водною поверхнею озера, яка виконує важливі гідроекологічні функції (захист берегів від ерозії, фільтрація забруднювачів із поверхневого стоку, запобігання надмірному надходженню поживних речовин до озера та забезпечення середовища існування для багатьох водних і наземних видів). Розміри та перелік дозволених видів діяльності в межах прибережних захисних смуг регулюються Водним [5] та Земельним кодексами України. Прибережна захисна смуга, зазвичай, включає пояс гігрофітів – зону рослинності, розташовану біля самого берега озера, яка постійно знаходиться у зануреному або напівзануреному стані. Гігрофіти – це рослини, пристосовані до життя у водному або надзвичайно вологому середовищі. Вони мають спеціальні пристосування, такі як повітряні порожнини, аеренхіму в стеблах і листках, які допомагають їм дихати під водою. Типові представники поясу гігрофітів озер: очерет озерний, рогіз вузьколистий та широколистий, сусак зонтичний, глечики жовті, латаття біле, стрілиця звичайна [3].

У водоймах сповільненого водообміну, до яких належать озера, ставки, водосховища, відбуваються ряд важливих лімноекологічних процесів [49]:

1. Термічна стратифікація. Суть її полягає у розшаруванні води на різні температурні шари через різницю в густині води різної температури. Стратифікація впливає на перемішування води, циркуляцію поживних речовин та розподіл розчиненого кисню.

2. Кисневий режим. У стратифікованих водоймах може формуватись безкиснева (анаеробна) зона на значних глибинах, там проявляються специфічні біохімічні процеси, зокрема, анаеробне бродіння та відновлення хімічних сполук. Також на вміст кисню суттєво впливають евтрофікаційні процеси, які можуть викликати літні замори риби.

3. Циркуляція поживних речовин: У водоймах із сповільненим водообміном відбувається активний кругообіг поживних речовин (азоту, фосфору, вуглецю, деяких інших) між донними відкладами, водною товщею та живими організмами. Ці процеси теж можуть сприяти евтрофікації як в контексті збагачення поживними речовинами та підвищення продуктивності екосистеми, так і виникнення дефіциту розчиненого кисню у воді.

4. Продукційні процеси. В озерах відбувається активна первинна продукція (фотосинтез) та вторинна продукція (споживання органічної речовини), які є основою трофічних ланцюгів та забезпечують біорізноманіття гідроекосистем.

5. Акумуляція органічних відкладів. Внаслідок сповільненого водообміну та анаеробних умов на дні водойм відбувається інтенсивне накопичення залишків рослин і тварин, із яких утворюються торфові чи сапропелеві відклади.

6. Біогеохімічні перетворення. В озерах активно протікають процеси розкладу органічної речовини, утворення метану, відновлення нітратів та інших біогеохімічних перетворень, які залежать від наявності кисню та діяльності мікроорганізмів.

7. Взаємодія живих організмів (конкуренція, хижацтво, мутуалізм та інші типи взаємовідносин).

Озера Волинського Полісся можна класифікувати за кількома критеріями:

1. За походженням: карстові озера – утворилися внаслідок розвитку карстових процесів в зонах поширення переважно карбонатних порід (наприклад, Пісочне, Люцимер); заплавні – колишні річкові рукави, відокремлені від русла річки (наприклад, оз. Ставок біля с. Світязь); льодовикові – озера, що утворилися після танення льодовиків (наприклад, оз. Турське), карстово-тектонічні – грабени озерних улоговин ускладнені карстовими процесами (наприклад, оз. Світязь).

2. За глибиною: дуже мілкі (< 3 м), мілкі (3-6 м), середні (6-20 м), глибокі (> 20 м). Найглибшими на Волині є озера Світязь (58,4 м) і Сомин (56 м) [27].

3. За розміром площі водного дзеркала: дуже малі (< 0,1 км²), малі (0,1-

1 км²), середні (1-10 км²), великі (понад 10 км²). Найбільшими на Волині є озера Світязь і Турське [10].

4. За режимом живлення: переважно поверхневого живлення, переважно підземного живлення, змішаного живлення.

5. За ступенем проточності: непроточні, проточні, стічні.

6. За трофністю: оліготрофні – озера з низькими вмістом поживних речовин, первинною продуктивністю, прозорою водою, холодні та глибокі; мезотрофні – помірно поживні озера, з проміжним вмістом поживних речовин та первинною продуктивністю; евтрофні – озера з високим вмістом поживних речовин, евтрофіковані, з інтенсивним ростом водоростей, часто "цвітінням", низькою прозорістю води; гіпертрофні – надмірно збагачені поживними речовинами озера, з високою біомасою ціанобактерій та водоростей, дефіцитом кисню, часто літніми заморами риби [3].

7. За сапробністю (рівнем органічного забруднення): олігосапробні – дуже чисті озера з низьким вмістом органічних речовин; β-мезосапробні – помірно забруднені органічними сполуками; α-мезосапробні – сильно забруднені органікою, але із збереженою здатністю до самоочищення; полісапробні – надмірно забруднені органічними речовинами, з дефіцитом кисню, порушеною здатністю до самоочищення [31].

Крім того, багато озер Волинського Полісся входять до складу гідрологічних заказників та інших природоохоронних об'єктів (наприклад, озера Світязь, Нечимне, Святе тощо).

1.2. Методика проведення дослідження гідроекологічного стану озера

Алгоритм дослідження гідроекологічного стану озера схематично представлений на рис. 1.2. Як видно з схеми, на першому етапі відбувається збір і аналіз матеріалів. Зокрема, ретельно вивчаються наявні дані про хімічний склад

води озера, в т.ч. концентрації поживних речовин, розчиненого кисню, рН, наявність важких металів тощо. Збирається інформація про водозбірний басейн озера, його розміри, глибину, джерела живлення. А також інформація, що дозволяє проаналізувати історичні дані про стан лімносистеми для виявлення тенденцій змін у часі.

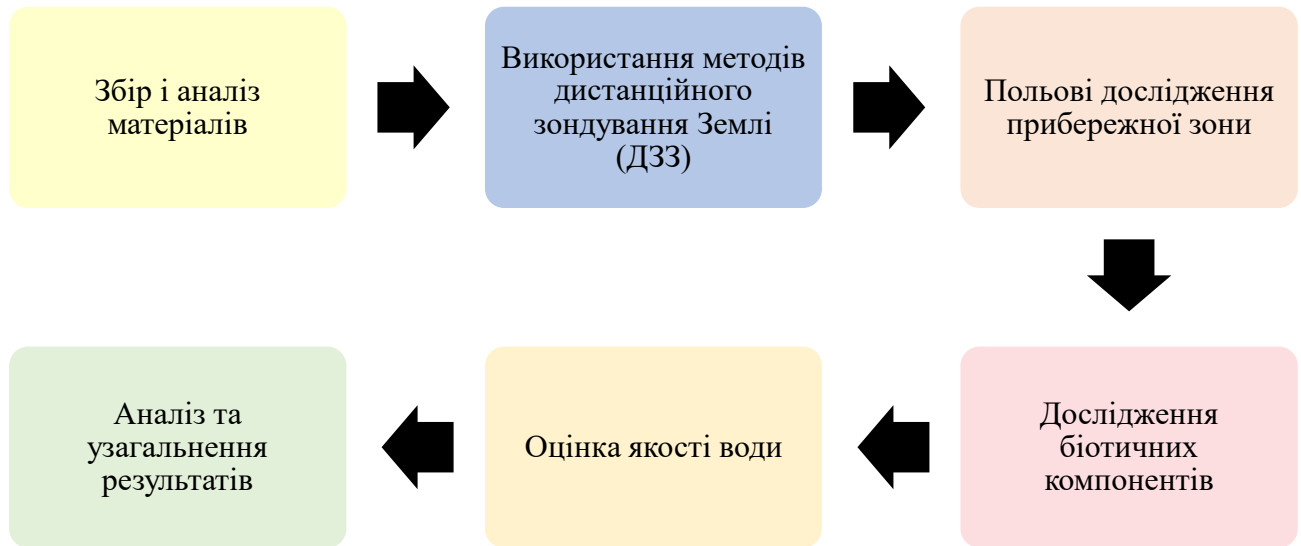


Рис. 1.2. Алгоритм дослідження гідроекологічного стану озера

На наступному етапі дослідження із використанням методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) отримуються супутникові знімки озера протягом різних сезонів року та проводиться їх аналіз за допомогою відкритих ГІС-програм (наприклад, QGIS), оцінюється стан берегової лінії, наявність ерозійних процесів, забруднення, колір води озера щодо розвитку евтрофікаційних процесів, площа літоральної зони, поширення вищої водної рослинності.

На третьому етапі проводиться польове дослідження прибережної зони. Метою його є візуальний огляд стану берегів, наявності ерозії, забруднень, особливостей антропогенного впливу в межах водозбору озера, наявності та

стану рослинних угруповань у літоральній зоні.

Після цього здійснюється вивчення біотичних компонентів гідроекосистеми: візуальне спостереження за наявністю риб, птахів, безхребетних у прибережній зоні, відбір проб фітопланктону та зоопланктону для аналізу біорізноманіття, оцінка трофічного статусу озера за якісним складом планктонних угруповань.

Одним із найважливіших етапів є оцінка якості води, яка може проводитись самостійно із застосуванням експрес-методів (термометр, рН-метр, тест-смужки), оцінка забрудненості водойми за кольором та запахом води, порівняння отриманих даних з нормативними показниками для оцінки якості води (ГДК).

Завершальним етапом є аналіз та узагальнення результатів. В межах нього ставиться завдання систематизувати та проаналізувати всі отримані дані, виявити можливі зв'язки та тенденції, зробити висновки про загальний гідроекологічний стан озера, оцінити можливі загрози та визначити першочергові заходи для покращення стану озера, запропонувати рекомендації для раціонального використання та охорони озерної екосистеми.

Звісно ж, запропонована методика має свої обмеження через відсутність спеціального обладнання, зате дозволяє зібрати базову інформацію про стан озера, виявити проблемні ділянки та визначити подальші кроки для більш детального дослідження.

1.3. Аналіз наукових публікацій по темі дослідження

Дослідженню різноманітних аспектів гідроекологічного стану Шацьких озер, в т.ч. і озера Кримне, присвячено багато наукових праць. Так, наприклад, результати ґрунтового дослідження озер Волинської області, зокрема, Шацьких озер висвітлені в монографіях Л.В. Ільїна [8-9], а також Л.В. Ільїна та Я.О. Мольчака [10]. Частково ці питання розглядаються й в монографіях за ред.

Я.О. Мольчака про поверхневі води Волинської області [24], В.О. Фесюка про стійкий екологічно безпечний розвиток Волинської області [34]. Робота О.М. Арсана із співавторами [1] присвячена еколого-токсикологічним дослідженням озер Шацького НПП, зокрема, вмісту органічних токсичних речовини у воді озер. В статті Т.Ю. Корлятовича із співавторами [20] проаналізована динаміка рівнів води Шацьких озер та причини, що на неї впливають, в статті В.К. Хільчевського, М.Р. Забокрицької – основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер [40], в статті L.V. Pyin, O.V. Pyina – динаміка гідроморфологічних параметрів Шацьких озер порівняно із 1933 р. [48]. Дуже цікавою для нас була стаття Ю.М. Ситника із співавторами [33], в якій найбільш ґрунтовно проаналізовані результати гідрохімічних досліджень озера Кримне.

В монографіях М.П. Пасічника, Л.В. Ільїна, В.К. Хільчевського [23], М.Й. Шавчука [44] та статті Д.І. Каліновського, Л.В. Ільїна [12] досліджені сапропелі озер Волинської області.

В статті Л.В. Ільїна, Н.В. Гринасюк проаналізовано атрактивність озерних комплексів Шацького НПП [11], а в монографії С.І. Кукурудзи [21] – природно-ресурсний потенціал Шацького НПП.

Дослідженню інших аспектів екологічної ситуації території дослідження, зокрема, розробці екологічних карт трилатерального біосферного резервату «Західне Полісся» присвячена стаття Я.П. Дідуха із співавторами [7]. Природно-заповідний фонд та природоохоронні мережі досліджуваної території детально висвітлені в монографіях З.К. Карпюк, В.О. Фесюка [13-14]. Стаття С.В. Ковальчука [15] присвячена вивченню питань трансформації водних об'єктів Шацького поозер'я, а [16] – аналізу рівня антропогенного навантаження на природні комплекси стаціонарними джерелами забруднення Шацького НПП. В роботі В.В. Коніщука, М.В. Христецької [18] проведена екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький». В статті В. Д. Романенка

[31] із співавторами проаналізовані загрози антропогенного впливу на ландшафтне і біологічне різноманіття озер Шацького НПП, а в роботі М.І. Ромащенко із співавторами [32] – причини обміління Шацьких озер і шляхи регулювання їх водного балансу. Стаття М.Й. Шевчука із співавторами присвячена дослідженню екологічного стану озер Волинської області [43]. В роботах М.Й. Шевчука, О.Г. Сергушка [42], В.О. Фесюка, С.В. Полянського, Т.В. Копитюк [37], В.О. Фесюка, І.М. Нетробчук, М.М. Алексійчука [38] досліджуються різноманітні аспекти евтрофікації озер Волинської області.

РОЗДІЛ 2.

ПРИРОДНІ ОСОБЛИВОСТІ ВОДОЗБОРУ, ГІДРОЛОГІЧНА ТА МОРФОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА

2.1. Особливості природних умов водозбору озера

Шацьке поозер'я – унікальна ділянка Волинського Полісся, що вирізняється надзвичайно цінними природними комплексами. Головною його особливістю є велика кількість (понад 30) різноманітних озер. Найбільші серед них – Світязь, Пулемецьке, Луки, Острів'янське та інші. Регіон відзначається багатим біорізноманіттям. Тут зростають соснові, дубово-соснові ліси, чорновільшаники, болотна й прибережно-водна рослинність. Фауна представлена лісовими та болотними видами. Озера багаті на рибні ресурси.

Шацьке поозер'я має міжнародне природоохоронне значення як частина трилатерального біосферного резервату "Західне Полісся", водно-болотне угіддя міжнародного значення за Рамсарською конвенцією та територія Смарагдової мережі Європи [13].

Досліджувана територія розташована в межах Поліської акумулятивної западини. У геологічній будові беруть участь осадові відклади верхньої крейди, палеогену та неогену, перекриті четвертинними відкладами. Кристалічний фундамент залягає на глибинах 150-200 м і представлений гранітами, гнейсами. Верхньокрейдяні відклади представлені мергельно-крейдяною товщею потужністю до 30 м. Палеогенові відклади потужністю 70-100 м складаються з глин, пісків, мергелів, вапняків. Неогенові відклади мають потужність до 10 м і представлені пісками та глинами. Четвертинні відклади поширені повсюдно, перекривають старіші гірські породи. Потужність їх від 5-10 м на вододілах до 60-100 м в межах озерних улоговин. Представлені, переважно, флювіогляціальними, озерними, алювіальними та болотними відкладами [26].

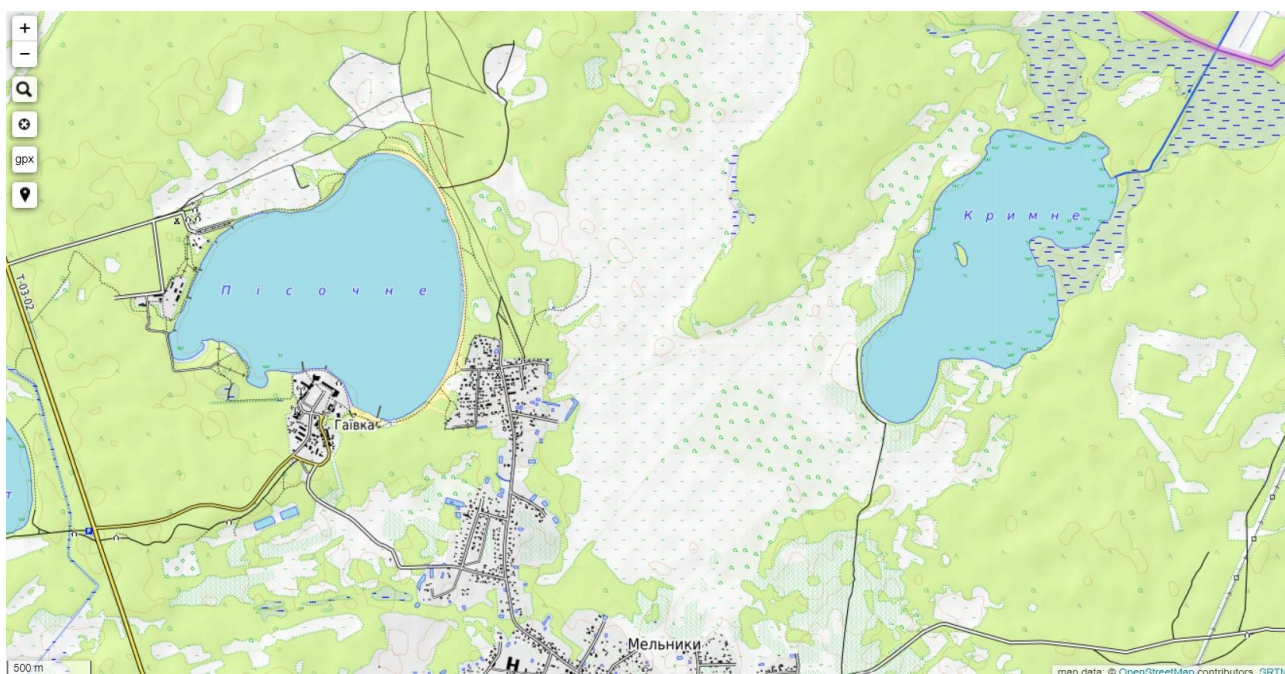
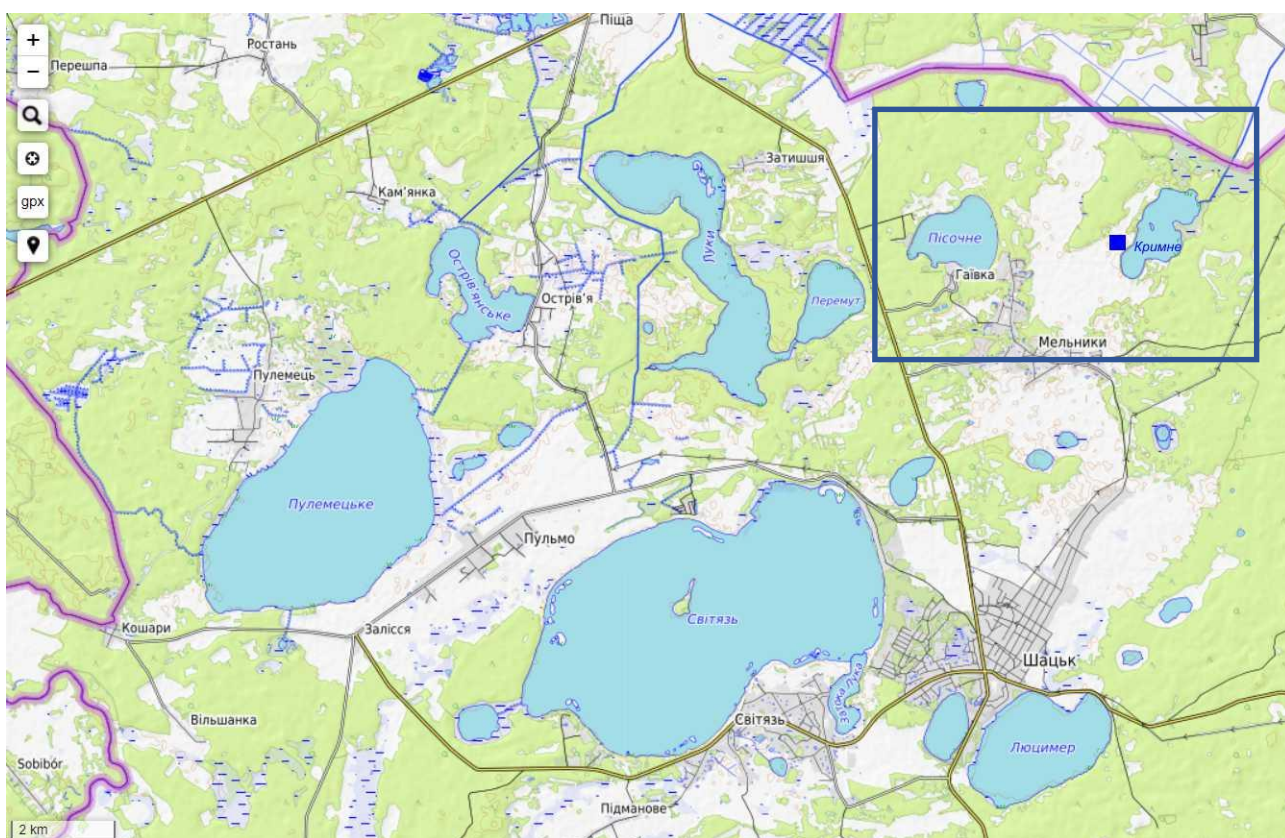


Рис. 2.1. Оглядова картосхема Шацького поозер'я
(за матеріалами OpenTopoMap)

В межах території дослідження поверхня складається з плоских вододільних просторів, хвилястих моренних рівнин та озерних улоговин. Абсолютні висоти коливаються від 165 до 190 м над рівнем моря. Вододільні простори мають плоский рельєф з незначними підняттями моренних горбів. Моренні рівнини хвилясті із горбистими формами. Озерні улоговини мають борознисту будову і глибини від 5 до 58 м. Найглибші улоговини характерні для озер Світязь, Луки, Перемут. Береги озер здебільшого пологі, подекуди обривисті та ерозійні. У рельєфі поширені також заболочені зниження та тераси приозерних рівнин. На вододілах трапляються реліктові форми рельєфу – озові гряди льодовикового походження [27].

Клімат території дослідження помірно-континентальний, з м'якою зимою та відносно теплим і вологим літом. Західний перенос повітря, який є пануючим у помірних широтах, сприяє проникненню морських і полярних повітряних мас. Рівнинний рельєф та велика кількість озер формують мікрокліматичні особливості, що наближають клімат до помірно-морського типу, характерного для Західної Європи.

Розподіл сонячної радіації визначає температурний режим і режим вологості, що впливає на процеси формування рельєфу та ґрунту. Середньорічна температура становить $+7,5^{\circ}\text{C}$, максимум $+18,8^{\circ}\text{C}$ характерний в липні, мінімум $-4,4^{\circ}\text{C}$ – в січні. Вегетаційний період триває з кінця квітня до вересня. Середньорічна відносна вологість повітря – 78%. Опадів випадає в середньому 600 мм на рік, найбільше у теплий період. Випаровування з озер залежить від сонячної радіації, хмарності, характеру підстилаючої поверхні та коливається від 500 до 913 мм за безльодовий період [34].

Сніговий покрив з'являється на початку грудня і зберігається в середньому 76 днів, висота його становить 2-13 см. Хоча бувають окремі роки, коли стійкий сніговий покрив не формується.

Переважають західні та північно-західні вітри, середня швидкість – 2,8 м/с.

Швидкість вітру зростає в холодний період і дещо зменшується у теплий [26].

Загалом клімат території дослідження сприятливий для розвитку лісової, лучної та болотної рослинності, розвитку господарства та рекреації. Найкращі умови для літнього відпочинку – в липні та серпні.

Внутрішні води Шацького поозер'я представлені річками, що належать до басейнів Західного Бугу та Прип'яті, а також близько 30 озерами на їхніх водозборах.

До басейну Західного Бугу відносяться його притоки Копайівка та Рита, що беруть початок в цьому регіоні. Річка Копайівка витікає з озера Луки, протікає через села Піща і Хрипськ, після чого потрапляє на територію Білорусі та впадає у Західний Буг. Її русло значною мірою каналізоване після осушувальної меліорації. Рита раніше витікала з озера Кримне, але тепер з'єднана з ним каналом. Її русло також каналізоване майже на всій довжині. Довжина її становить 62 км, площа басейну – 1730 км². Витрата води у гирлі – 5,9 м³/с. Русло звивисте, заплава двостороння, низька, заболочена шириною 0,3-0,5 км, в верхній і середній течії меліорована. Русло каналізоване майже на всьому протязі за винятком 3,5 км вище гирла. Береги круті, місцями обривисті [4].

До басейну Прип'яті належать її притоки Тенетиска, Вижівка та Нережа, що впадає в озеро Велике Згоранське. Сама Прип'ять протікає Волинською областю протягом 170 км. Її долина плоска, з широкою заболоченою заплавою. Русло звивисте, розгалужене, місцями каналізоване. В деяких місцях до річки підступають піщані гряди та пагорби. Заплава Прип'яті широка, простягається на 8-10 км, дуже заболочена, що ускладнює прохідність після повені [24].

Окрасою та візитівкою території дослідження є велика кількість озер різноманітного походження, розмірів та глибини. Їх налічується понад 30. Загальна площа озер становить 6,5 тис. га. Найбільші з них – Світязь, Пулемецьке, Луки, Пісочне, Кримне. Озера живляться атмосферними, ґрунтовими та поверхневими водами і мають прозору та чисту воду.

За походженням вони поділяються на карстово-тектонічні, суфозійно-карстові та заплавні. За режимом рівня води виділяють ті, що мають стабільний рівень, і ті, яким властиві сезонні та внутрішньосезонні коливання. Для більшості озер характерні невелика площа (до 10 км²) та помірний водообмін, що свідчить про їх місцеве походження і вимагає регіонального підходу до раціонального використання та охорони [27].

Донні відклади озер представлені сапропелями органо-вапнякового, вапнякового та органо-залізистого складу, а також органо-піщаними та органо-глинистими відкладами [44].

Більшість озер мають округлу або овальну форму з рівною береговою лінією, що свідчить про їх карстове походження. Більші озера, наприклад, Світязь та Пулемецьке, мають складну асиметричну форму улоговини з виходами крейди на берегах. Карстові озера, зазвичай, безстічні, з піщаними та торфовими берегами, піщаним твердим дном на мілинах і мулистим у карстових лійках. Окремі озера, як правило, невеликі на мілкі перебувають на стадії замулення та заростання [10].

Ґрунтовий покрив Шацького поозер'я досить різноманітний та відображає особливості геологічної будови, рельєфу, клімату, гідрологічного режиму та рослинного покриву регіону. Найпоширенішими є дерново-підзолисті ґрунти, що сформувалися під лісовою рослинністю на алювіальних та флювіогляціальних пісках. На вододільних рівнинах та пологих схилах трапляються також дерново-підзолисті ґрунти. В заплавах річок та навколо озер поширені торфово-болотні, торфово-глейові ґрунти різного ступеня оторфованості та змитості. На моренних горбах та вузьких вододілах зустрічаються дернові ґрунти. Місцями на крейдяних відслоненнях формуються карбонатні ґрунти [21].

Рослинний покрив досить різноманітний завдяки перехідному характеру клімату від континентального до помірно-морського. Ліси займають близько 40% території. Переважають соснові та дубово-соснові ліси з домішками берези,

вільхи та осики. Трапляються також вологі чорновільхові, березово-чорновільхові ліси та грабово-дубові діброви. Близько 8% території займають болота. Найпоширенішими є евтрофні трав'яні та гіпново-трав'яні болота з вільхою та березою. Зустрічаються також мезотрофні чагарникові та лісо-чагарникові болота. На прибережних територіях озер поширені угруповання прибережно-водної та водної рослинності, представлені очеретом, рогозою, осоками, елодеєю. Луки займають невеликі площі та зосереджені переважно на вододілах, на місці раніше вирубаних лісів [26]. Такі особливості природних умов спричинили формування великої різноманітності середовищ існування [7].

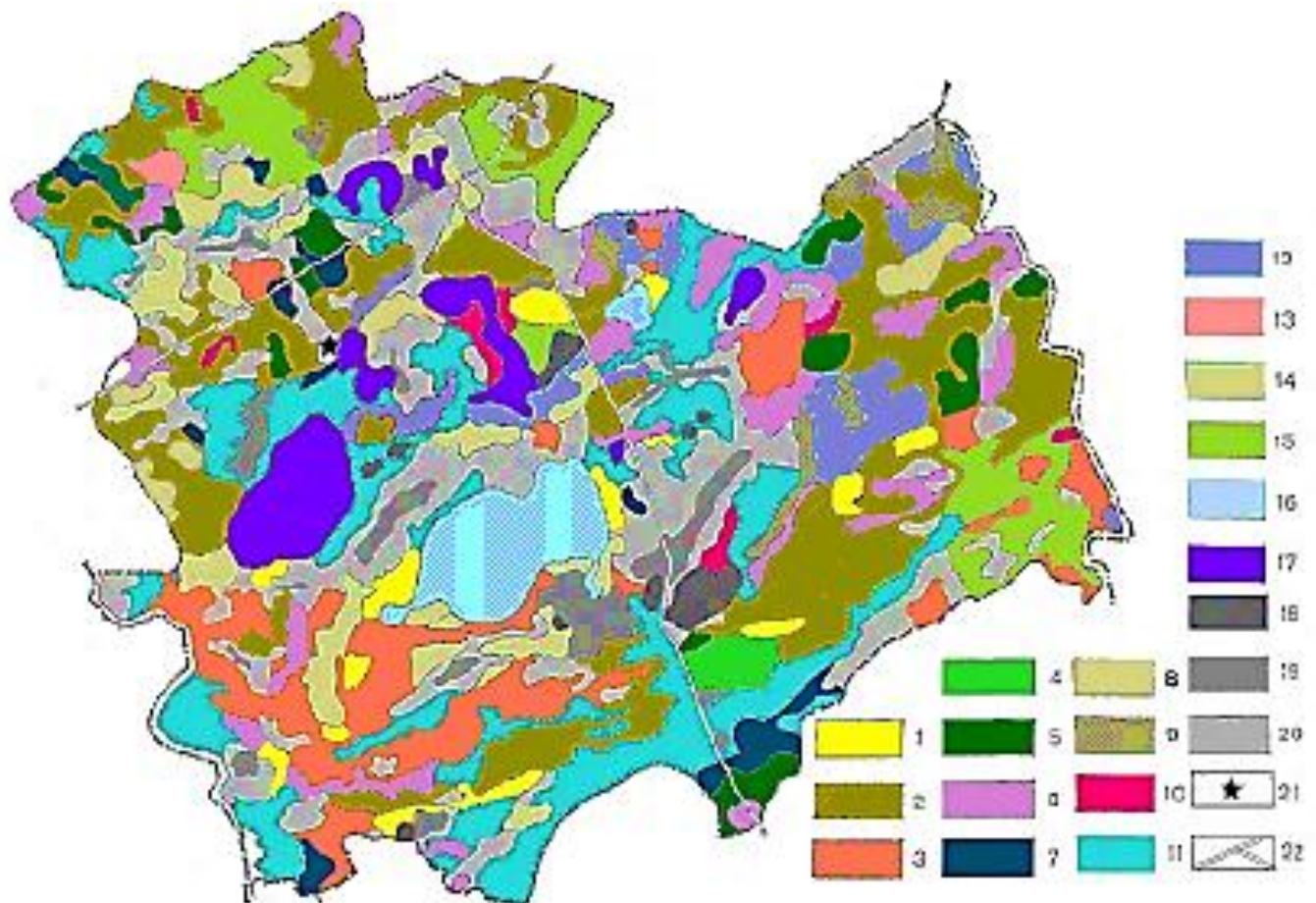


Рис. 2.2. Картохема типів оселищ в межах Щацького НПП за Я.П. Дідухом, Т.В. Фіцайло, Н.А. Пашкевич, Ю.І. Малою (2013) [7]

Я.П. Дідух, Т.В. Фіцайло, Н.А. Пашкевич, Ю.І. Мала (2013) виділили наступні типів оселищ в межах Щацького НПП (рис. 2.2) [7]: «...

1. G3.42112 (G2.215). Субконтинентальні соснові ліси лишайникові займають верхівки дюн і піщаних пагорбів. Для цих лісів характерні пригніченість деревостану, практична відсутність підліску, розріджений трав'яний ярус із переважанням видів-псамофітів.
2. G3.42111 (G2.214). Субконтинентальні соснові зеленомошні ліси займають вирівняні піщані ділянки на слабопідзолистих ґрунтах. Деревостан здебільшого I-III бонітету, підлісок не розвинутий.
3. G3.4F (I4.112). Штучні лісонасадження сосни різного віку. Мають дуже схожі ценотичні риси з сосновими лісами зеленомошними та лишайниковими, бо формуються на їхньому місці.
4. G4.7 (G3.11). Мішані ацидофільні сосново-дубові ліси займають добре дреновані вирівняні ділянки з дерново-підзолистими супіщаними та слабопідзолистими піщаними ґрунтами.
5. G1.A (G1.212). Мезо- та евтрофні ліси зі змішаним породним складом на багатих або помірно багатих ґрунтах.
6. G1.52 (G1.132) Вільхові болотні ліси на кислому торфі.
7. G1.4 (G1.121). Широколистяні болотні ліси на некислому торфі.
8. G1.9 (G1.124). Позазаплавні ліси, що утворилися на місці корінних соснових та дубово-соснових і значною мірою зберігають їхній флористичний склад.
9. G1.513 (G1.121). Мезоацидофільні болотні березові ліси
10. C3.2 (D1.11). Прибережні постійно обводнені зарості очерету та інші високі гелофітні угруповання.
11. D5.2 (D2.11). Угруповання високих осок, зазвичай, тимчасово обводнені, з домінуванням одного виду, типового для заболочених місцезростань.

- 12.D2.3 (D2.312). Відкриті або пригнічено рідколісні перехідні болота і трясовини.
- 13.I3 D1.1 (D2.321). Верхові оліготрофні болота відзначені в ур. Втенське.
- 14.E3.4 (E1.12, E1.24). Сирі або вологі евтрофні та мезотрофні луки на лучно-болотних і лучних глейових супіщаних та суглинистих ґрунтах.
- 15.E2.1 (E1.111, I2.32). Мезотрофні пасовища та відновлені після випасу луки на збагачених і добре дренажованих ґрунтах.
- 16.C1.1 (C1.211). Оліготрофні ставки й озера, в яких трапляються харові водорості, з низьким рівнем поживних речовин (азоту і фосфору), з середніми або низькими показниками рН.
- 17.C1.2 (C1.213). Мезотрофні ставки й озера з досить багатими поживними речовинами (азоту і фосфору).
- 18.C1.3 (C1.33). Евтрофні ставки й озера часто брудно-сірого чи синьо-зеленого забарвлення, багаті на поживні речовини (азоту і фосфору).
19. J1. Урбоекосистеми міста та сіл, в яких забудови, дороги та інші ділянки з твердим покриттям займають не менше 30 % площі
- 20.I1 (I1.11, I1.12). Сегетальні біотопи представлені полями під зерновими, буряками, бобовими, кормовими, картоплею та іншими культурами.
- 21.G3.A1 (G2.11). Ялинові ліси, які приурочені до знижень рельєфу з моренними суглинками та супісками.
- 22.J4. Транспортні мережі та інші конструкції з твердим покриттям (дороги, тротуари, рекреаційні зони). Такі території можуть бути заселені трав'яною рудеральною рослинністю (E5.1) або засаджені деревами (G5.6)...».

Фауна представлена типовими лісовими та болотними видами тварин помірної зони. У лісах мешкають козулі, вовки, борсуки, зайці, лисиці, білки, кажани. З птахів поширені рябчики, дятли, солов'ї, зозулі, очеретянки, крижні та інші. На болотах водяться бобри, видри. Серед плазунів та земноводних

поширені вужі, гадюки, жаби, тритони. Озера багаті на рибні ресурси. Тут водяться щука, окунь, лящ, карась, лин, плітка, краснопірка та інші види риб.

Багато рідкісних та зникаючих видів занесені до Червоної книги України та інших міжнародних охоронних списків [14].

Згідно з фізико-географічним районуванням, територія Шацького поозер'я належить до зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів Поліського краю області Волинського Полісся. Переважають місцевості старичних понижень з очеретяно-осоковими низинними болотами і луками на лучно-болотних ґрунтах і торфовищах, частково осушені та межирічні пониження, зайняті осоковими луками і трав'янисто-сфагновими болотами на торфovo-болотних ґрунтах і торфовищах, частково осушені.

Для збереження унікальних природних комплексів Шацького регіону створений Шацький національний природний парк. Окремі території також мають статус заказників та пам'яток природи. Шацький НПП був заснований у 1983 р. на площі 32515 га з метою охорони цінних природних комплексів, які мають природоохоронне, оздоровче, історико-культурне, наукове, еколого-освітнє та естетичне значення. У 1999 р. площа парку була розширена до 48977 га як ключової екосистеми національної екомережі Західнополіського регіону. За понад 40 років існування парк здобув визнання на національному та міжнародному рівнях. У 1995 р. його водно-болотні угіддя були віднесені до територій міжнародного значення Рамсарської конвенції як середовище існування водоплавних птахів. У 2002 р. парку було надано статус біосферного резервату ЮНЕСКО. У 2012 році створено міжнародний трилатеральний біосферний резерват "Західне Полісся" за участі України, Польщі та Білорусі. Парк не лише є частиною трилатерального резервату «Західне Полісся», але й ядром екологічної мережі міжнародного значення та територією Смарагдової мережі Європи. Тут мешкає 57 видів рослин і тварин з додатків Бернської конвенції та поширено 27 типів оселищ [14].

2.2. Морфометричні та гідрологічні особливості оз. Кримне

Озеро знаходиться на півночі Шацької територіальної громади, на північному сході Шацької групи озер. На південь від озера за 1,6 км знаходиться с. Мельники. З північного боку відстань до державного кордону становить 0,8 км. З усіх інших сторін озеро оточене лісом та болотами. Площа водного дзеркала становить 145 га, довжина берегової лінії – 6,3 км, об'єм – 3,23 млн.м³, ширина – 0,72 км, довжина – 2 км, максимальна глибина – 6 м, середня глибина – 2,15 м [4].

За походження озеро карстове. Каналом сполучене з верхів'ям р. Рита. Улоговина складної, видовженої форми. Очевидно сформована навколо кількох карстових лійок. Береги переважно низовинні, подекуди заболочені. Живиться атмосферними опадами та, меншою мірою, підземними водами. Дно піщане, чисте, в межах карстових лійок замулене. Поширені рідкісні рослини – латаття біле, деякі види орхідей. Багата іхтіофауна, налічується 25 видів риб: лящ, щука, судак, плітка, в'юн, канадський сом, короп та раки. На берегах гніздуються кулики, дикі качки та інші представники орнітофауни [10].

Серед інших озер Шацького НПП озеро Кримне перебуває на 6-му місці за площею водного дзеркала (рис. 2.3) і 4-му місці за глибиною (рис. 2.4).

Своєрідним показником форми озерної улоговини та її ємності є коефіцієнт глибинності ($K_{\text{гл.}}$), тобто відношення середньої глибини до максимальної [10]:

$$K_{\text{гл.}} = H_{\text{ср.}} / H_{\text{max}}, \quad (2.1)$$

де $H_{\text{max.}}$ – максимальна глибина озера, $H_{\text{ср.}}$ – максимальна глибина озера

Розраховане значення для оз. Кримне становить 0,358. Для порівняння озерам Волинської області властиві такі форми улоговин: конічна ($K_{\text{гл.}} < 0,33$), параболічна (0,33-0,50), напівеліптична (0,50-0,66); циліндрична ($K_{\text{гл.}} > 0,66$). Для озера Кримне тип улоговини – параболічна, близька до конічної.

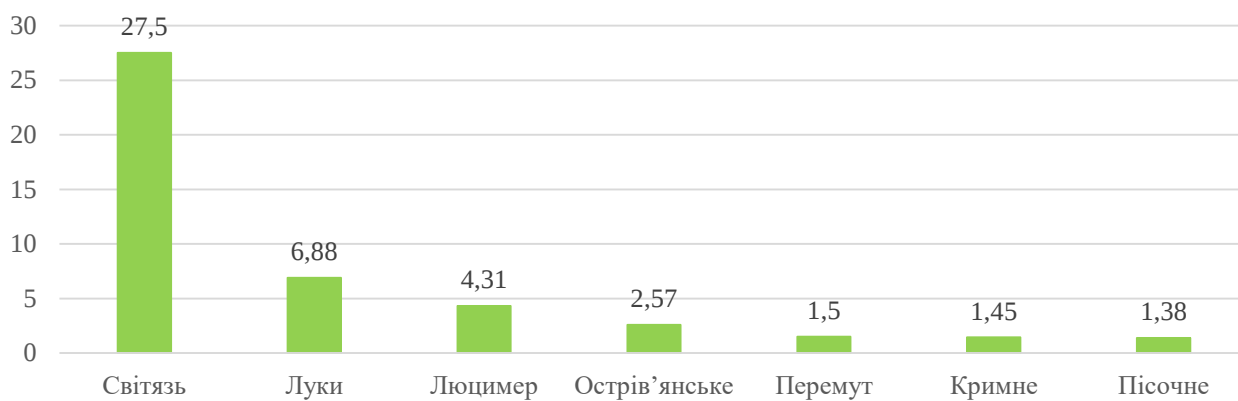


Рис. 2.3. Місце оз. Кримне серед найбільших за площею (км²) Шацьких озер

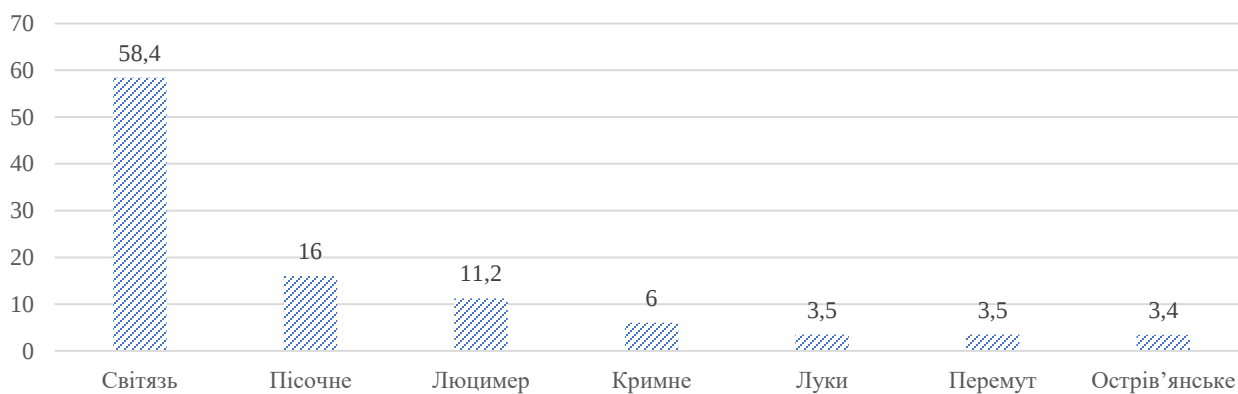


Рис. 2.4. Місце оз. Кримне серед найглибших (м) Шацьких озер

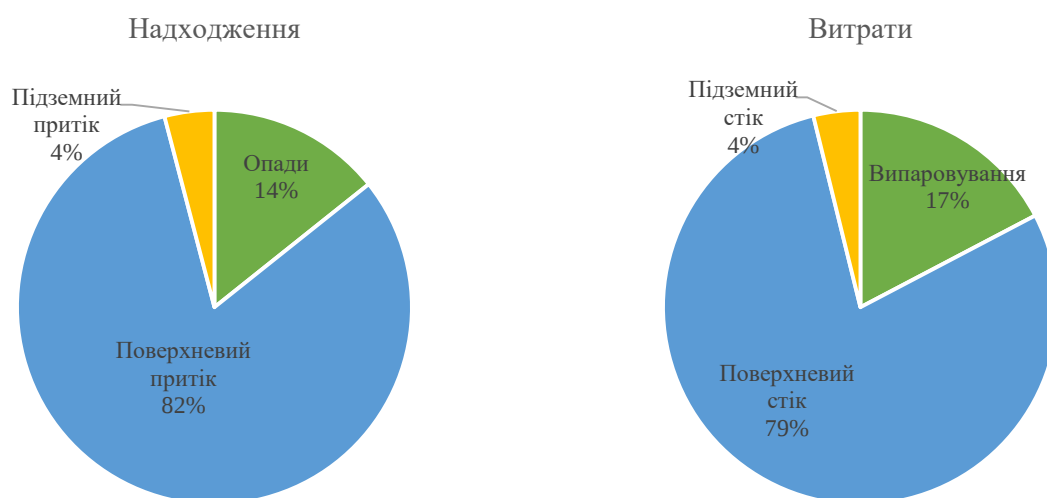


Рис. 2.5. Гідрологічний баланс озера

Для гідрологічного балансу озера характерна участь поверхневого, підземного стоку та опадів як в приходній, так і у витратній частинах (рис. 2.5). Так, зокрема, в приходній частині найбільше припадає на поверхневий притік (82%), підземний притік – лише 4%, опади – 14%. Отже, озеро живиться переважно поверхневим стоком з водозбору та опадами, підземна складова у живленні не значна. Хоча озеро має карстове походження і пов'язано карстовими порожнинами з іншими озерами Шацького поозер'я [27].

Така ж частка припадає на підземний стік і у витратній частині (4%). Частка випаровування – 17%, а найбільше припадає на поверхневий стік – 79%. Це пояснюється гідралічним зв'язком між озерами Шацького поозер'я і частковим зарегулюванням їх рівнів, наприклад, каналами з'єднані озера Світязь і Луки, Луки і Перемут, Світязь і Линовець, Чорне Велике – Люцимир – Кругле – Довге – Плотиччя – Кримне, Пулемецьке і Острів'янське.

Власне такі особливості формування гідрологічного балансу зумовлюють найвищі темпи водообміну в озері. Як видно з рис. 2.6 час повного водообміну для озера Кримне становить лише 1,1 року, що є найменшим показником серед усіх Шацьких озер [27].

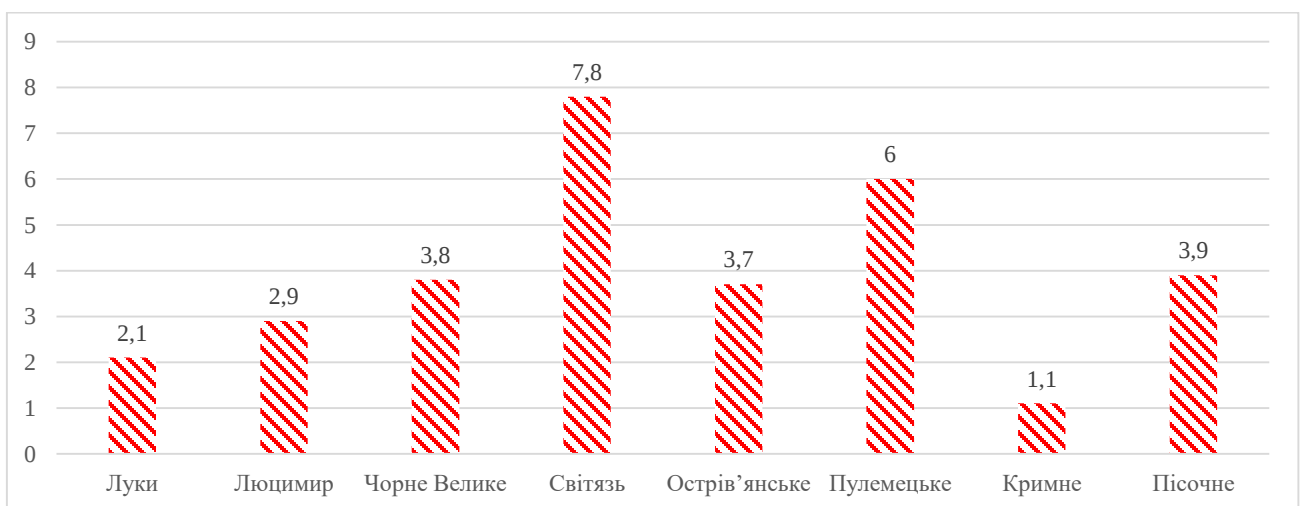


Рис. 2.6. Час повного водообміну в озерах, років за даними [29]

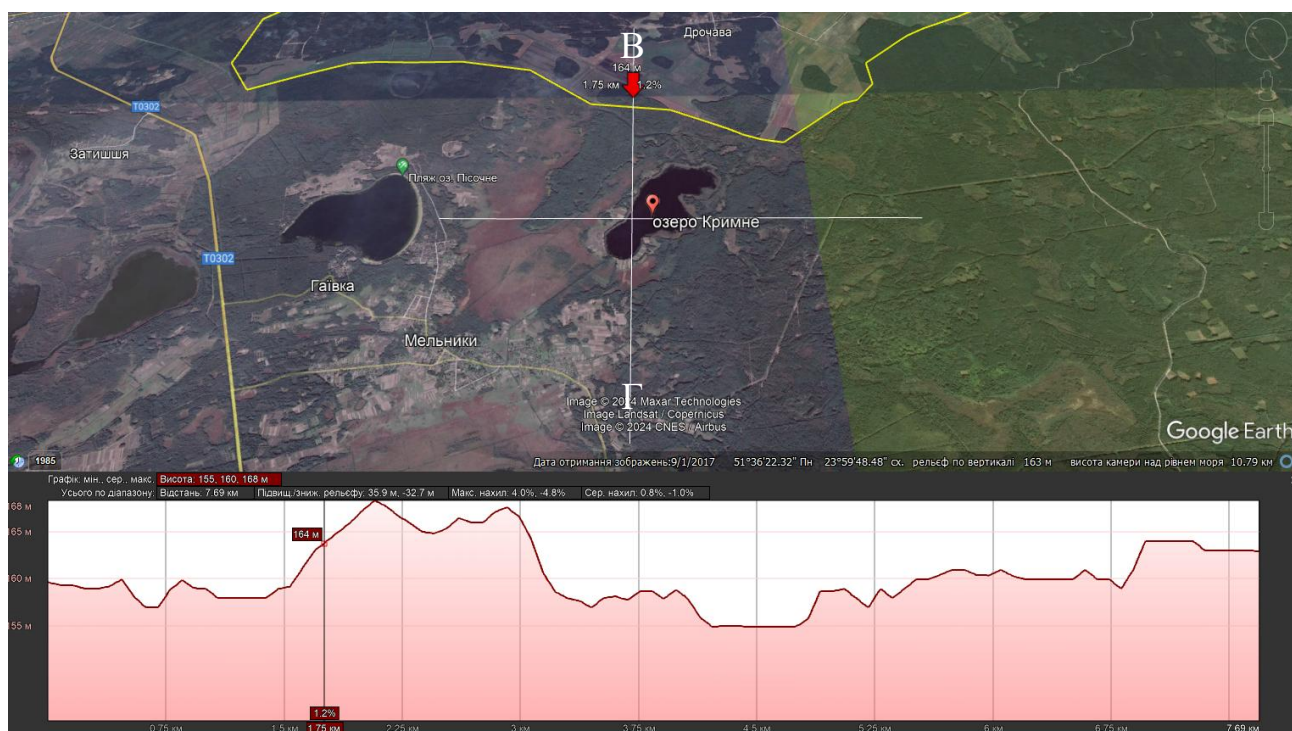
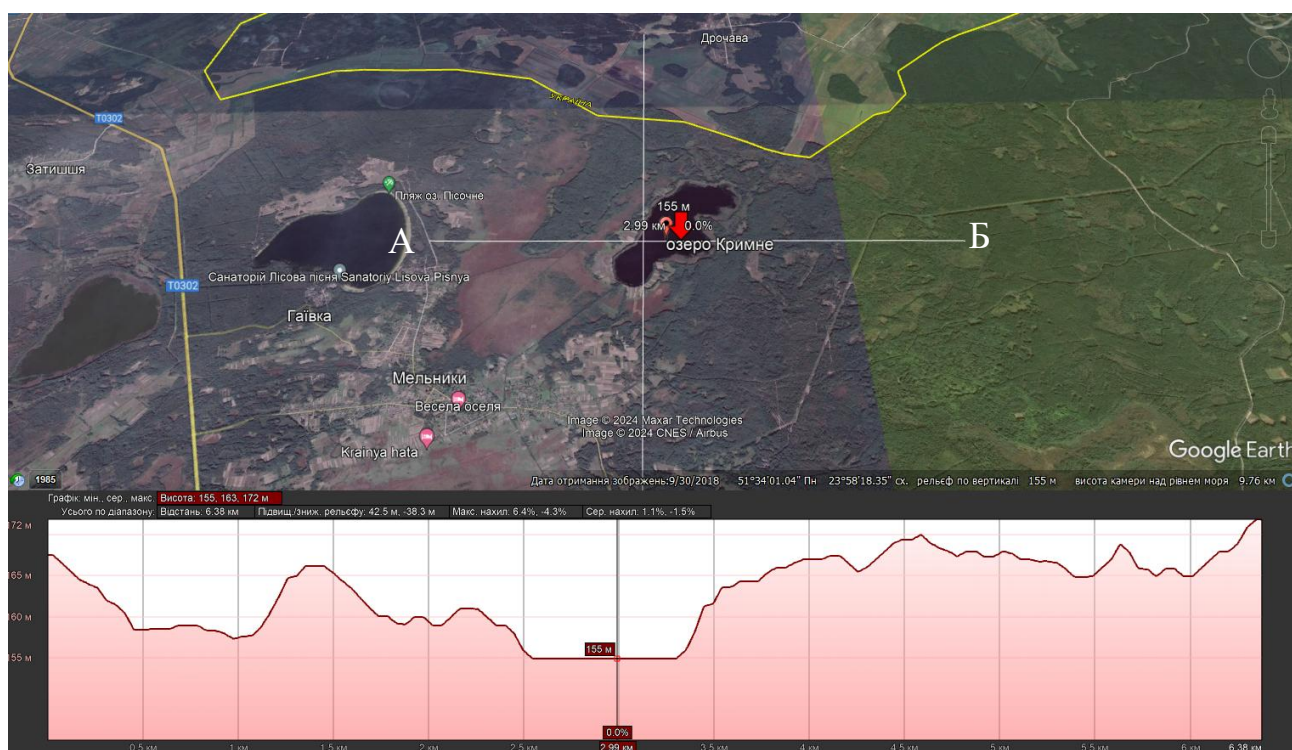


Рис. 2.7. Вертикальні профілі через водозбір озера (побудовані з використанням додатку Google Earth Pro): у верхній частині – по лінії А-Б, у нижній по лінії В-Г



Рис. 2.8. Фрагмент супутникового знімку оз. Кримне із виділеним водозбірним басейном.

На рис. 2.7-2.8 зображено виділення водозбору озера. Для виділення використано додаток Google Earth Pro. Спочатку в цьому додатку побудовані вертикальні профілі рельєфу через озеро. Встановлено просторову локалізацію найвищих відміток рельєфу (рис. 2.7). За тим в програмі QGIS 3.0 побудовано лінію водозбору та визначено його площу. Згідно проведених розрахунків площа водозбору становить 1159 га (рис. 2.8). Отже площа водозбору всього в 8 разів більша, ніж площа озера. Така ситуація є типова для карстових озер, в т.ч. і для Шацьких озер.

Як видно з рис. 2.8, в межах водозбору переважають природні угіддя, зокрема, ліси та болота. Детальніше антропогенна трансформованість водозбору озера буде розглянута в розділі 3.2.

За багаторічний період спостережень (1929-2007 рр.) середній рівень води в озері зафіксовано на відмітці 161,36 м, найвищий рівень – 162,98 м, а найнижчий – 160,65 м. Амплітуда коливання рівня води становила 1,48 м. Це досить великий показник. Серед Шацьких озер вищий показник лише для оз. Луки (2,04 м), для оз. Світязь, наприклад, аналогічний показник становить 0,9 м.

Цікаво виглядає зміна морфометричних характеристик озер за останні 80 років. Так зокрема, Л.В. Ільїном та О.В. Ільїною в роботі [48] досліджена динаміка гідроморфологічних параметрів озер Шацького національного природного парку, в т.ч. і оз. Кримне. Ними встановлено, що «...морфометрія улоговин є важливим фактором, що формує гідрологічний режим та екологічний стан озер... Форма улоговини, площа, об'єм, глибина належать до основних морфометричних показників озер... Порівняльний аналіз морфометричних та гідрологічних показників за 1933 та 2021 роки доводить, що для більшості досліджуваних озер спостерігається зменшення показників...». Так, зокрема, для оз. Кримне площа у 1933 р. становила 149,7 га, а у 2021 р. – лише 137,5 га, зменшення становило 12,2 га (12,2%). Об'єм води в озері при цьому теж суттєво скоротився – на 1,157 млн. м³ (35,85%). Отже, озеро суттєво обміліло. Найбільшою мірою на ці процеси вплинула масштабна осушувальна меліорація, яка проводилась на Поліссі в 1950-80 рр. XX ст.

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА СУЧАСНОГО ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗЕРА

3.1. Забруднення води озера

Характеризуючи природний гідрохімічний режим Шацьких озер слід відмітити, що значна кількість опадів на досліджуваній території сприяє ефективному промиванню ґрунтів і зменшенню концентрації мінеральних сполук у поверхневих водах, які живлять озера. Основними джерелами поповнення води в озерах є атмосферні опади та підземні води. За складом основних іонів, вода в озерах є гідрокарбонатно-кальцієвою з мінералізацією в діапазоні від 115 мг/дм³ (оз. Пісочне) до 303 мг/дм³ (оз. Велике Чорне). У оз. Світязь мінералізація становить 198,8 мг/дм³, що є проміжним значенням. У оз. Кримне мінералізація дещо вища середніх значень і становить 246 мг/дм³ (рис. 3.1, табл. 3.1). Згадане озеро займає 4 місце серед усіх озер за величиною мінералізації води. Згідно класифікації В.К. Хільчевського води усіх озер належать до категорії "помірно прісних» [40].

Таблиця 3.1.

Середня концентрація основних іонів і мінералізація води Шацьких озер, мг/дм³
за В.К. Хільчевським, М.Р. Забокрицькою, 2020 [40].

Назва озера	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Мінералізація
Світязь	122	10	13	34	4	15	198
Пулемецьке	134	14	14	40	5	11	218
Луки	85	3	12	20	4	12	136
Люцимське	171	14	18	50	4	18	275
Острів'янське	116	10	14	36	2	12	190
Пісочне	61	9	11	20	3	11	115
Перемут	70	2	12	15	2	15	190
Кримне	140	22	18	40	4	22	246
Чорне Велике	159	13	46	58	2	25	303
Велике Піщанське	79	11	21	24	4	14	163

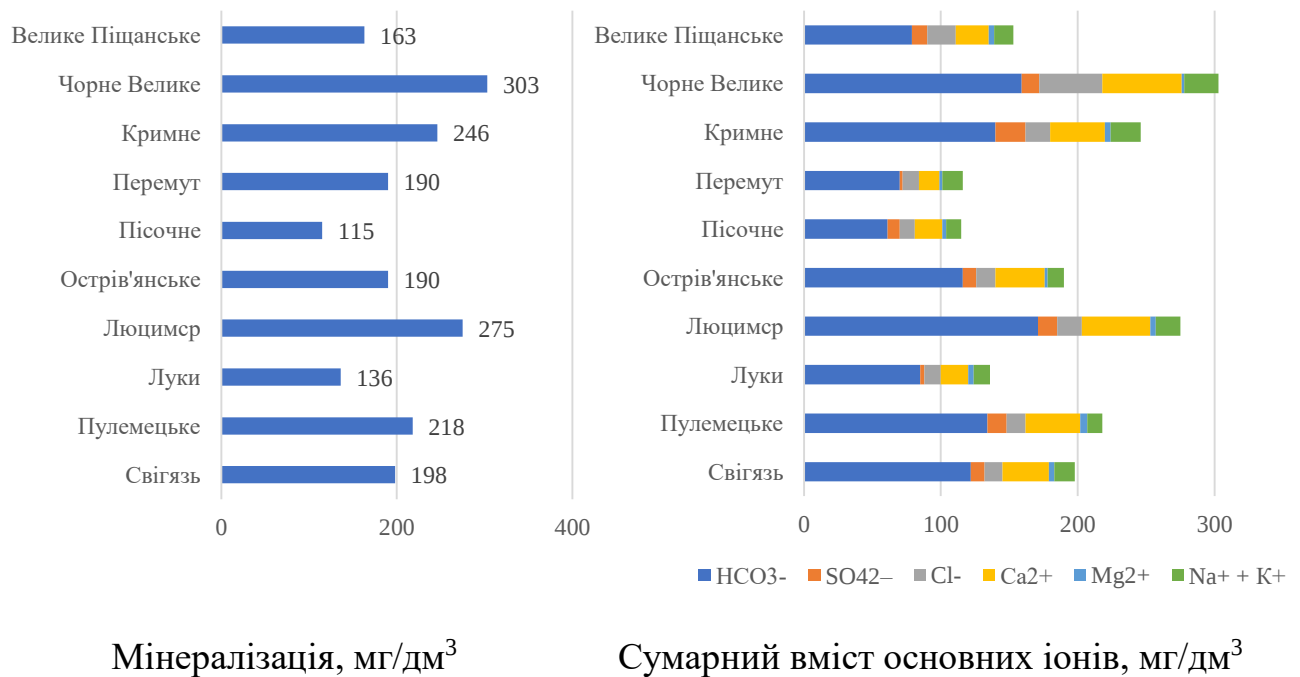


Рис. 3.1. Особливості гідрохімічного режиму Шацьких озер
за В.К. Хільчевським, М.Р. Забокрицькою, 2020 [40].

Найбільш ґрунтовний аналіз складу води озера Кримне проведено в статті Ю.М. Ситника, П.Г. Шищенка, О.В. Ільїної, Н.В. Хомік «Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: озеро Кримне» [33]. Так, зокрема, авторами встановлено, що перші гідрохімічні дослідження Шацького національного природного парку були проведені влітку 1948 р. в рамках загального гідробіологічного обстеження деяких озерних екосистем Шацької групи. Наступні дослідження гідроекосистем Шацьких озер здійснено науковцями Інституту гідробіології НАН України в червні 1975 р. Встановлено, що вміст іонів амонію склав 1,2 мг/дм³, виявлені значні величини перманганатної (до 18,9 мг O₂/дм³) і біхроматної окисності (75,9 мг O₂/дм³), високу кольоровість води 45-55° і БСК₅ – 0,3 мг O₂/дм³. Це пояснюється наявністю у воді значної кількості гумінових речовин. Під час досліджень 1988 р. виявлено дефіцит кисню у воді оз. Кримне та підвищений вміст загального заліза [33].



Рис. 3.2. Динаміка концентрацій хімічних речовин у воді оз. Кримне протягом 1992-2010 рр. (за матеріалами [33])

У 1989 р. дослідження показали високі концентрації загального азоту та фосфору. В 1990-93 рр. тривали гідроекологічні дослідження з метою класифікації озера за трофо-сапробним станом. Встановлено, що основними джерелами евтрофікації є населення та сільське господарство. У 1996-97 рр. проведено комплексні гідроекологічні дослідження оз. Кримне. За їх результатами вияснено, що мінералізація води озера гідрокарбонатно-кальцієва з переважанням іонів HCO_3^- та Ca^{2+} , вміст хлоридів підвищений через використання добрив та побутові стоки. В 2000-х рр. спостереження також мали епізодичний характер. Останні результати дослідження хімічного складу води оз. Кримне, знайдені в процесі підготовки кваліфікаційної роботи датуються 2010 р. (табл. 3.2) [33].

Таблиця 3.2.

Хімічні показники води озера Кримне (за матеріалами [33])

Показники	ГДК рибогосп.	Роки спостережень			
		1992	1996	2003*	2010
рН води	6,5-8,5	7,58	7,6	7,45	8,31
Прозорість води, см	100	110	250		
Температура, $t^{\circ}\text{C}$	0-30	22	23,2		
Розчинений кисень, мг/дм^3	4,0-6,0	19,2	8,1		
Амоній-йон, мг N/дм^3	1	0,48	0,28	3,15	0,785
Нітрити, мг N/дм^3	0,05	0,009	0,003	0,06	0,001
Нітрати, мг N/дм^3	2	0,06	0,15	3,45	0,018
Фосфати, мг P/дм^3	0,5	0,026	0,016	0,86	0,02
Залізо загальне, мг/дм^3	2		0,05	2	0,38
Кальцій, мг/дм^3	60	55,3	47,1		41,48
Магній, мг/дм^3	30	2,1	1,2		6,56
Хлориди, мг/дм^3	200	22,8	17,3		21,69
Сухий залишок розчинених речовин, мг/дм^3	1000	272,5	216		192,8
Окисність перманганатна, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$	30	26,6	49,9	32,8	
Окисність біхроматна, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$	100	57,68	140,4		
БСК5, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$	3	1,65	1,89	7,76	

* максимальні значення за 1989-2003 рр.

Аналіз вмісту забруднюючих речовин у воді озера показує, що вміст іонів амонію в усі роки не перевищував ГДК рибогосподарське. Лише за максимальними значеннями в 2003 р. досягав 3,15 мг/дм³. Вміст нітритів також знаходився в межах ГДК протягом всього періоду спостережень, встановлено лише епізодичне перевищення за максимальними значеннями (1,2 ГДК). Вміст заліза загального за весь період спостережень ніколи не перевищував ГДК навіть за максимальними значеннями 2003 р., в інші роки інтервал значень становив 0,05-0,38 мг/дм³. Аналогічна ситуація із сухим залишком, його вміст змінювався в інтервалі 192,8-272,5 мг/дм³, а ГДК становить 1000 мг/дм³. Концентрація фосфатів змінювалась від 0,016 до 0,026 мг/дм³, в 2003 р. максимальна концентрація становила 0,86 мг/дм³, що дещо перевищувало ГДК 0,5 мг/дм³. Така ж ситуація спостерігалась із нітратами. Вміст їх становив 0,018-0,15 мг/дм³, ГДК 2 мг/дм³. Лише максимальні концентрації за період спостереження перевищували ГДК на 72,5%. Перманганатна окисність перевищувала встановлені нормативи практично завжди, виключення становив 1992 р., коли вона була дещо нижча. Це пояснюється наявністю у воді значної кількості гумінових речовин. Біологічне споживання кисню не перевищувало встановлених нормативів, проте було досить високим. Це зумовлено значним вмістом у воді органічних сполук. За максимальними значеннями за весь період спостережень БСК₅ досягало 7,76 мг/дм³, що перевищувало ГДК у 2,6 рази [33].

Отже, дослідження гідрохімічних особливостей оз. Кримне показує, що його іонно-сольовий склад зумовлений, найбільшою мірою, фізико-географічними чинниками і відображає особливості літології та ґрунтів водозбірної басейну. Зміни основних компонентів мінералізації води у водоймі залежать від особливостей водозбірної площі, будови озерної улоговини, температурного та газового режимів водної маси, інтенсивності біотичних процесів. Прослідковується тенденція до збільшення концентрації органічних речовин у воді озера, а також сполук азоту та фосфору, зростає окисність води та

біологічне споживання кисню. Ці процеси зумовлені, в основному, впливом поселенської мережі та сільськогосподарського виробництва. Внаслідок забруднені органікою стоки з селитебних територій, стихійних сміттєзвалищ, полів та ферм потрапляють в озеро та забруднюють його. На жаль, результатів гідрохімічного моніторингу води озера після 2010 р. не знайдено. Проте дуже ймовірно, що вищезгадана тенденція збережеться і ще посилиться внаслідок впливу зміни клімату.

3.2. Антропогенна трансформація водозбору: сучасний стан та загрози

Загалом, аналізуючи стан водозбору озера, слід відмітити невисокий ступінь його антропогенної трансформації (рис. 2.8, 3.3, 3.4).

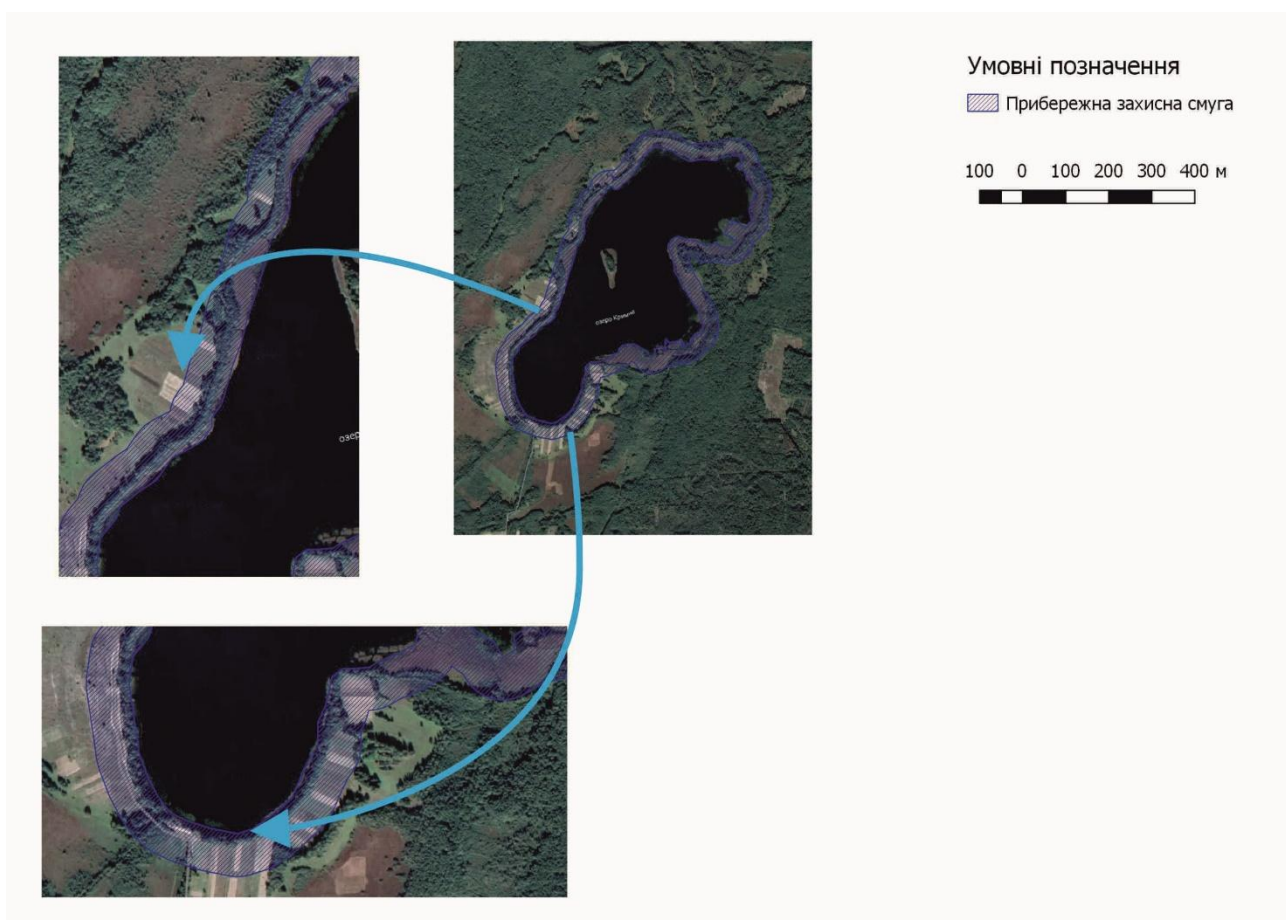


Рис. 3.3. Використання прибережної захисної смуги озера

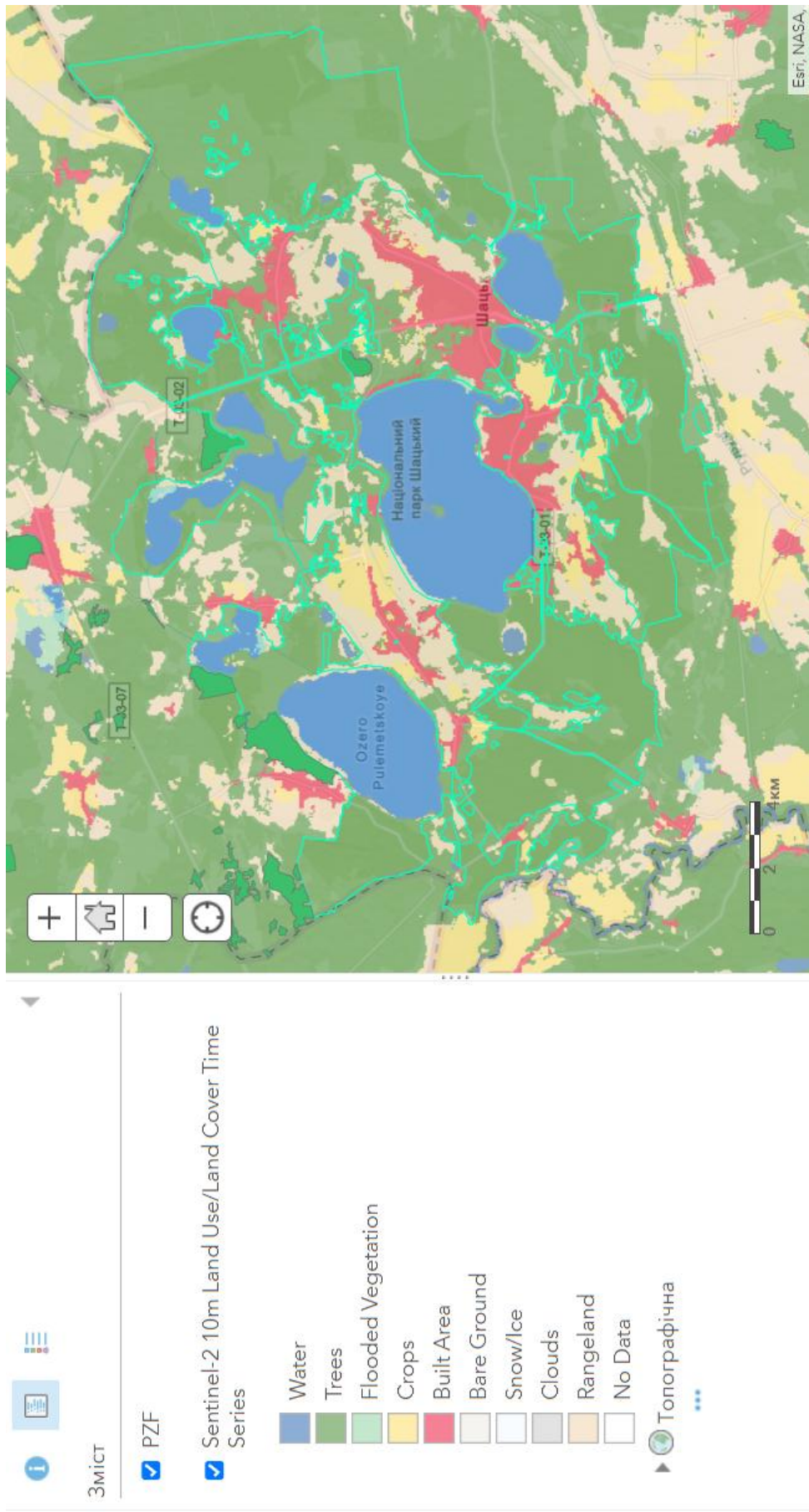


Рис. 3.4. Картосхема землекористування та структури земельного покриття (land use/land cover) Шацького поозеря (побудована в ArcGIS online)

В межах водозбору озера переважають ліси (на заході та сході), заболочені луки (на півночі і північному сході), сільськогосподарські угіддя (на південному заході і південному сході). Відстань від найближчого населеного пункту (с. Мельники) становить 1,6 км. В структурі використання земель (рис. 3.4) переважають природні угіддя, що відносяться до Шацького НПП.

Аналіз структури використання земель в межах прибережно-захисної смуги (рис. 3.3) продемонстрував порушення її режиму. Згідно ст. 60 Водного кодексу України «...Прибережні захисні смуги встановлюються по берегах річок та навколо водойм уздовж урізу води (у меженний період) з метою охорони поверхневих водних об'єктів від забруднення і засмічення та збереження їх водності шириною: для великих річок, водосховищ на них та озер - 100 метрів...» [5].

Стаття 61 визначає, що «...Прибережні захисні смуги є природоохоронною територією з режимом обмеженої господарської діяльності. У прибережних захисних смугах уздовж річок, навколо водойм та на островах забороняється [5]:

- а) розорювання земель (крім підготовки ґрунту для залуження і залісення), а також садівництво та городництво;
- б) зберігання та застосування пестицидів і добрив;
- в) влаштування літніх таборів для худоби;
- г) будівництво будь-яких споруд (крім гідротехнічних, навігаційного призначення, гідрометричних та лінійних, а також інженерно-технічних і фортифікаційних споруд, огорож, прикордонних знаків, прикордонних просік, комунікацій, майданчиків для занять спортом на відкритому повітрі, об'єктів фізичної культури і спорту, які не є об'єктами нерухомості), у тому числі баз відпочинку, дач, гаражів та стоянок автомобілів;
- г) влаштування звалищ сміття, гноєсховищ, накопичувачів рідких і твердих відходів виробництва, кладовищ, скотомогильників, полів фільтрації тощо;
- д) миття та обслуговування транспортних засобів і техніки;
- е) випалювання сухої рослинності або її залишків з порушенням порядку,

встановленого центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища».

Землі в межах прибережної захисної смуги розпайовані, розорюються і використовуються в сільськогосподарському виробництві. Це чітко видно на рис. 3.3, а саме на західному, південному та південно-східному берегах озера. На цих угіддях вносяться добрива і отрутохімікати, які змиваються в озеро.

Незаконна забудова та інші види використання земель в межах прибережної захисної смуги озера не встановлені.

За межами прибережної захисної смуги на відстані 1 км на південь від озера на початку лісового масиву знаходиться звалище ТПВ с. Мельники. Чисельність населення с. Мельники становить 1200 чол., площа становить 1,86 км². На перший погляд вплив даного населеного пункту на екосистему озера незначний. Проте слід врахувати, що населення села не охоплено послугами централізованого водопостачання і каналізації, не організований належним чином збір і утилізація твердих побутових відходів, утворюються стихійні сміттєзвалища. В результаті забруднюючі речовини можуть потрапляти в озеро і погіршувати якість води і умови існування гідробіонтів. Також в селі збільшується кількість садиб, які використовуються для розміщення рекреантів, що відпочивають, переважно, на оз. Пісочне. На перспективу це теж може погіршувати екологічну ситуацію в межах досліджуваної території.

3.3. Динаміка евтрофікованості озера

Для оцінки евтрофікації озера використано методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). За допомогою цих методів можна отримати багато значень показників, що характеризують гідроекологічний стан озера. Зокрема [37]:

1. Колір води. Евтрофікація зумовлює зміну кольору води озера через

збільшення концентрації хлорофілу та завислих речовин. Супутникові знімки в видимому спектрі дозволяють виявити та картографувати такі зміни кольору.

2. Концентрація хлорофілу. За допомогою мультиспектральних супутникових сенсорів визначають концентрацію хлорофілу у воді, що є індикатором евтрофікації.

3. Вміст завислих речовин. Евтрофікація часто візуально супроводжується підвищеним вмістом завислих речовин у воді. Супутникові знімки фіксують просторовий розподіл завислих речовин і мутності води.

4. Поширення водоростей. За допомогою гіперспектральних знімків високої роздільної здатності виявляють та картографують поширення різних видів водоростей, які, часто пов'язані з евтрофікацією.

5. Моніторинг динаміки евтрофікації. Порівняння супутникових знімків одного і того ж озера протягом певного періоду часу дозволяє відстежити темпи евтрофікації та ефективність заходів з її контролю.

Поєднання методів ДЗЗ із результатами наземного моніторингу та моделюванням дозволяє отримати цінну інформацію про процеси евтрофікації та розробити стратегію захисту та відновлення прісноводних озерних екосистем.

В нашому дослідженні для оцінки евтрофікації використано NDVI (нормалізований різницевий індекс вегетації). Цей індекс останнім часом широко застосовується для оцінки гідроекологічного стану водойм та їх евтрофікації. Наприклад, теоретичні основи застосування індексу в даному напрямку детально описані в роботі О.Д. Федоровського, А.В. Хижняка, О.В. Томченко (2021) [36]. NDVI використовується для оцінки стану рослинності на земній поверхні (в т.ч. і акваторіях) шляхом аналізу відбиття світла рослинним покривом у двох спектральних діапазонах – червоному та ближньому інфрачервоному.

Фізична суть NDVI базується на тому, що хлорофіл у рослинах активно поглинає світло в червоній частині спектру, але відбиває значну кількість випромінювання в інфрачервоній частині спектру. Тому, чим більше хлорофілу

міститься в рослинах, тим більша різниця між низьким відбиттям у червоному діапазоні та високим відбиттям у ближньому інфрачервоному діапазоні. Ця різниця і є основою для розрахунку NDVI [36].

Значення NDVI змінюються в інтервалі (-1; 1). Значення близькі до -1 означають відсутність рослинності (хмари, сніг, вода, лід), близькі до 0 – відповідають відкритому ґрунту, 0,2-0,4 – розрідженій рослинності, 0,6-1 – відповідають густій зеленій рослинності.

Для оцінки евтрофікації водойм вище описана шкала дещо видозмінюється: від’ємні значення NDVI (близькі до -1) вказують на чисту воду без водоростей та завислих речовин, значення 0-0,2 – на помірну евтрофікацію з деякою присутністю водоростей, вище 0,3-0,4 свідчать про високий ступінь евтрофікації з великою кількістю водоростей та завислих речовин у воді. Чим вищі значення NDVI над водоймою, тим більш вона евтрофікована. Порівняння NDVI в різні періоди часу дозволяє відстежувати тенденції евтрофікації.

На значення NDVI над водою можуть впливати глибина, прозорість та інші властивості водойми. Тому для надійної оцінки евтрофікації NDVI рекомендується використовувати в поєднанні з іншими показниками якості води (гідробіологічним картуванням, біоіндикацією, гідрохімічним моніторингом).

Алгоритм використання нормалізованого відносного індексу рослинності (NDVI) для моніторингу евтрофікації озера передбачає:

1. Отримання супутникових знімків. Вибирають знімки високої роздільної здатності, що охоплюють озеро та навколишню територію, бажано мультиспектральні, обов’язково з каналами в червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах.

2. Попередня обробка знімків. Передбачає атмосферну корекцію знімків для усунення спотворень, спричинених атмосферними ефектами. Оскільки для моніторингу процесу евтрофікації використовувалась онлайн-платформа EO Browser та знімки місії Sentinel-2 з опцією L2A, то атмосферна корекція для них

вже зроблена. Також знімки потрібно привести до єдиної картографічної проекції та системи координат.

3. Обчислення індексу NDVI відбувається за формулою:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (3.1)$$

де RED – значення відбиття в червоному каналі, NIR – значення відбиття в ближньому інфрачервоному каналі.

4. Створення маски водної поверхні озера, використовуючи порогове значення NDVI або інші методи сегментації. Це дозволяє виділити лише водну поверхню для подальшого аналізу.

5. При аналізі розподілу NDVI над водною поверхнею важливо визначити середнє, мінімальне, максимальне та стандартне відхилення значень NDVI. Високі значення NDVI над водою можуть вказувати на наявність водоростей та завислих речовин, пов'язаних з евтрофікацією.

6. При аналізі тенденцій зміни значень NDVI протягом певного часу (в роботі використані періоди 1 рік і 5 років) важливо детектувати ознаки евтрофікації або покращення стану озера та співставити їх з наземними даними про якість води та іншими чинниками, що впливають на евтрофікацію.

7. Інтерпретація результатів передбачає формулювання висновків про ступінь евтрофікації озера на основі значень NDVI та їх часових змін, а також про ділянки озера, які найбільше постраждали від евтрофікації з метою наступного цілеспрямованого моніторингу та розробки заходів відновлення.

Аналізуючи динаміку індексу NDVI протягом 2023 р. (рис. 3.5) слід відмітити, що вже на початку літнього сезону (третя декада травня) для поверхні води властиві значення індексу $> 0,15$, а для прибережної смуги макрофітів – $0,3-0,4$. Це свідчить, що процес евтрофікації в цей час вже активно розвивається.

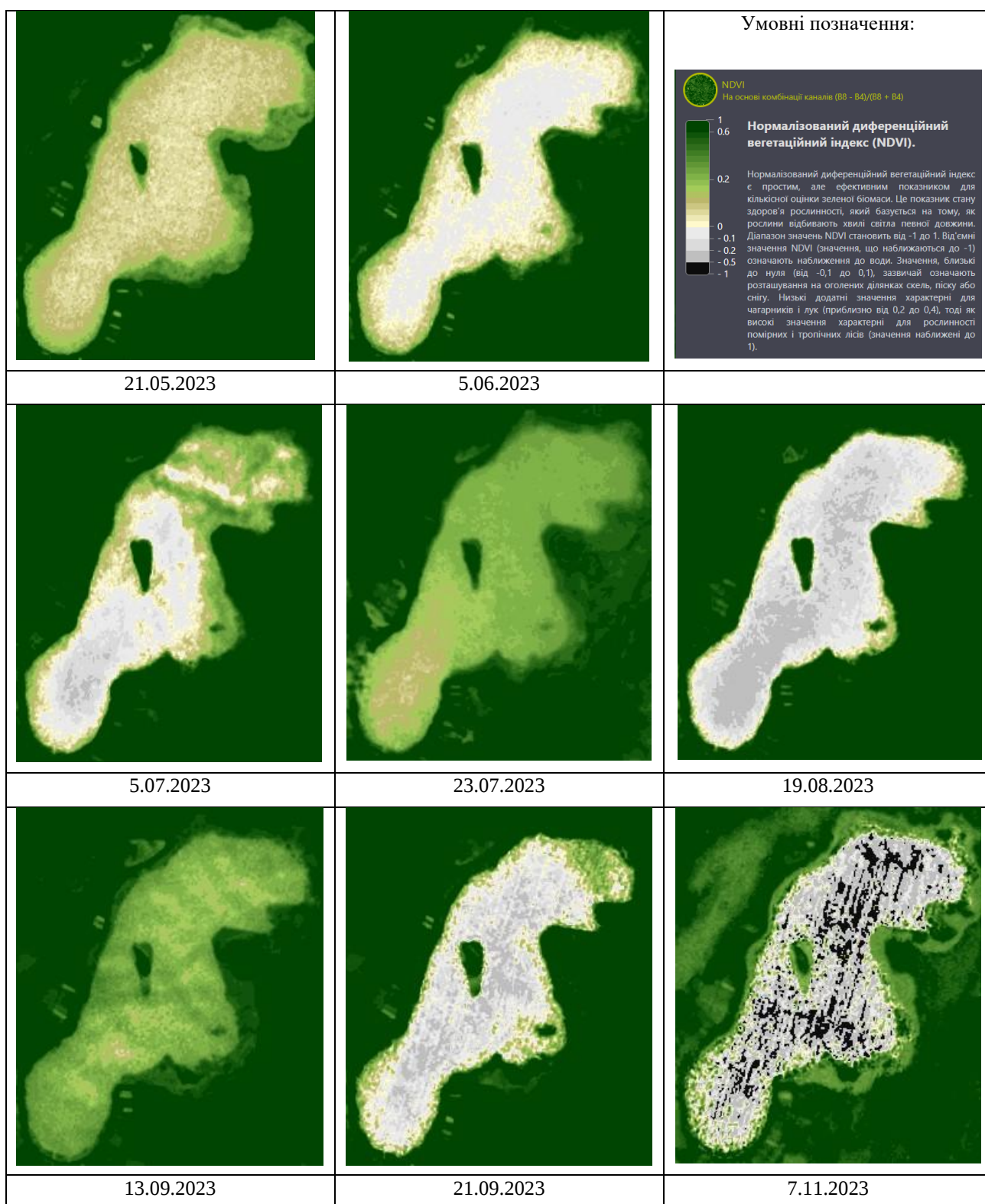


Рис. 3.5. Фрагменти супутникових знімків, що демонструють динаміку значень індексу NDVI для озера Кримне протягом 2023 р. за даними онлайн-сервісу sentinel-hub.com (відповідні дати під фрагментами знімків)

На початку червня тенденція розвитку евтрофікації дещо сповільнюється, в центральній, найбільш глибокій частині озер значення індексу навіть зменшуються до 0,1 і менше, але в прибережній мілководній частині озера значення індексу лишаються досить високими (0,15-0,2).

Протягом місяця темпи евтрофікації зростають і вже на знімку на початок липня чітко видно диверсифікацію тенденцій в різних частинах озера: в південній частині значення індексу зменшуються до 0 і навіть нижче, що свідчить про очищення води і зменшення евтрофікованості. Натомість у північній і східній частинах із нижчими берегами інтенсивність евтрофікації лише зростає і досягає 0,3-0,4 і більше.

Протягом липня ці процеси продовжуються, темпи їх наростають і вже на кінець місяця вся поверхня озера охоплена інтенсивними евтрофікаційними процесами, значення індексу досягають 0,3-0,4.

Протягом першої половини серпня евтрофікаційний підцикл досягає максимуму, інтенсивність евтрофікації потрохи зменшується, звісно ж тимчасово, значення індексу досягають до -0,2, вода озера частково очищується.

Проте погода ще досить тепла, вересневі дощі змивають з полів органіку, надлишки мінеральних добрив. Це все потрапляє в озеро і евтрофікація знову зростає. Розпочинається новий підцикл. Значення індексу збільшуються до 0,2 і більше. В другій половині місяця евтрофікаційний сплеск зменшується, значення індексу для південної і центральної частини озера зменшуються до -0,1 і навіть до -0,2, вода поступово очищується. Хоча цей процес не швидкий, в північній та східній частині озера евтрофікаційні процеси ще продовжуються, темп їх затухання суттєво нижчий.

В жовтні евтрофікація практично зникає, проте остаточно вода очищується десь до початку листопада. В цей час значення індексу набувають значень, близьких до -1, температура вже досить низька, річний евтрофікаційний цикл закінчується.

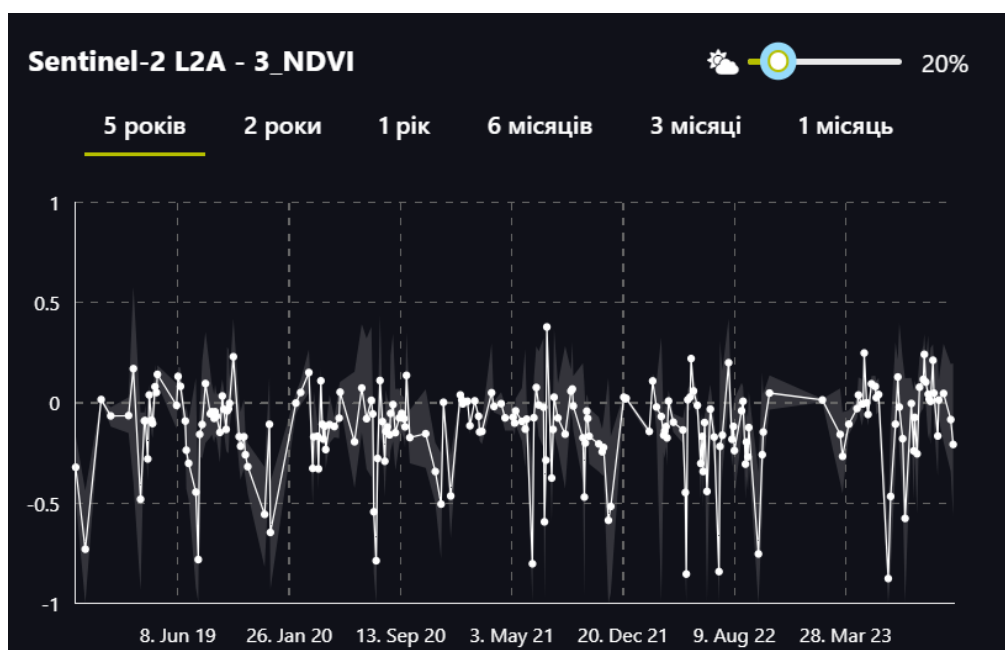


Рис. 3.6. Динаміка індексу NDVI для оз. Кримне протягом 2019-23 рр. за даними онлайн-сервісу sentinel-hub.com

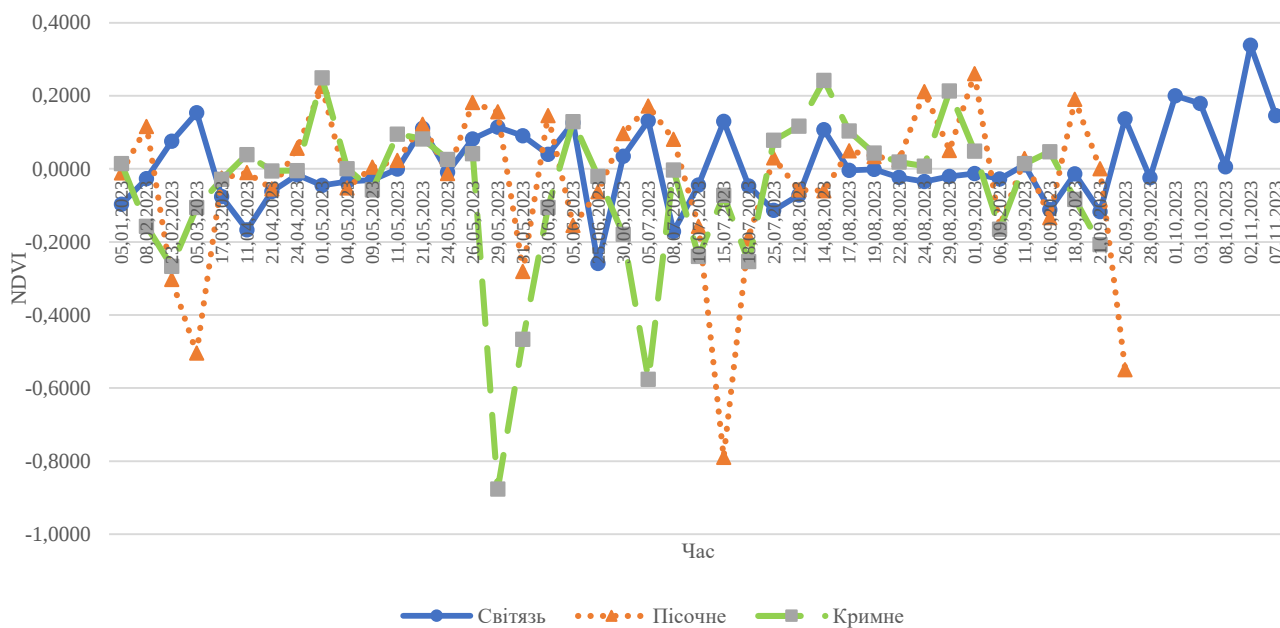


Рис. 3.7. Порівняння динаміки індексу NDVI для окремих Шацьких озер протягом 2023 р. за даними онлайн-сервісу sentinel-hub.com

В багаторічній динаміці ситуація приблизно аналогічна. Чітко простежується етрофікаційний цикл в літній період усіх років (рис. 3.6). Звісно ж в якісь роки евтрофікація перетікає більш активно, в якісь менш активно. Це залежить від впливу багатьох чинників. Насамперед температури повітря і води, надходження біогенних речовин (азоту і фосфору), водності року і кількості опадів тощо. Протягом теплого періоду значення індексу NDVI для озера, переважно, позитивні. Пізньої осені, взимку та ранньою весною, переважно, від'ємні. Загалом оцінюючи 5-річну динаміку слід відмітити, що в 2023 р. абсолютні максимуми індексу досягали 0,3 і повторювались вони відносно частіше, ніж в попередні роки. Натомість абсолютні мінімуми значень індексу $< -0,5$ стали фіксуватись відносно рідше. З часом ця тенденція буде наростати. Сприятиме тому, значною мірою, глобальне потепління клімату.

Цікавим є порівняння динаміки індексу NDVI для окремих Шацьких озер протягом 2023 р. (рис. 3.7). При порівнянні річного ходу індексу для оз. Кримне із, наприклад, оз. Світязь, видно, що для останнього із озер графік більш гладкий і пологий, піки (як максимуми, так і мінімуми) мають менші значення, та й сама їх кількість менша. Варіабельність значень індексу для оз. Кримне значно вища.

Із оз. Пісочним схожості набагато більше, більшість піків схожі за максимальними та мінімальними значеннями, більш-менш прослідковується схожість і у їх частоті. Особливо у теплий період. Це не випадково. Адже озера порівнювані за розмірами (площа оз. Пісочне – 139 га, оз. Кримне – 145 га), знаходяться в однакових фізико-географічних умовах, майже поряд. Проте Пісочне гіпсометрично дещо вище, тут вищі піщані береги. Воно більш рекреаційне освоєне, а отже й більш відчуває антропогенний тиск.

Останні висновки підтверджують розраховані коефіцієнти кореляції: для оз. Кримне і оз. Світязь коефіцієнт становить -0,18, а для оз. Кримне і оз. Пісочне – 0,33. Це свідчить про вищий зв'язок між евтрофікацією двох останніх озер.

РОЗДІЛ 4.

ЗАХОДИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ОЗ. КРИМНЕ

На підставі проведеної оцінки гідроекологічного стану озеро Кримне можна зробити проміжні висновки:

1. Озеро зазнає відносно невеликого антропогенного навантаження, оскільки його водозбірний басейн, переважно, вкритий лісами та болотами з невеликою часткою сільськогосподарських угідь та кількістю сільських населених пунктів.

2. Іонно-сольовий склад води зумовлений, в основному, природними чинниками – літологією та ґрунтами водозбору. Антропогенна складова звісно ж присутня. Ступінь її невисокий.

3. Спостерігається тенденція до збільшення концентрації органічних речовин, зокрема, сполук азоту та фосфору у воді озера. Це є ознакою поступового його евтрофікування. Основними джерелами евтрофікації є стоки з населених пунктів, сільськогосподарських угідь, тваринницьких ферм та несанкціонованих сміттєзвалищ. Аналіз динаміки індексу NDVI протягом 2023 р. продемонстрував чітко виражений сезонний цикл евтрофікації з піком у літні місяці та тимчасовим зменшенням наприкінці серпня - на початку вересня. Евтрофікація неоднорідно розподілена по акваторії озера, найбільш виражена в мілководних прибережних зонах, особливо північній та східній частинах. Незважаючи на відносну чистоту води озера в минулому, простежується стійка тенденція до посилення евтрофікаційних процесів. Вона може бути пов'язана як з антропогенним впливом, так і зі зміною клімату.

Тобто гідроекологічний стан оз. Кримне можна оцінити як задовільний на даний момент, але з явними ознаками прогресуючого евтрофікування, що потребує уваги, розробки та реалізації природоохоронних заходів (рис. 4.1).

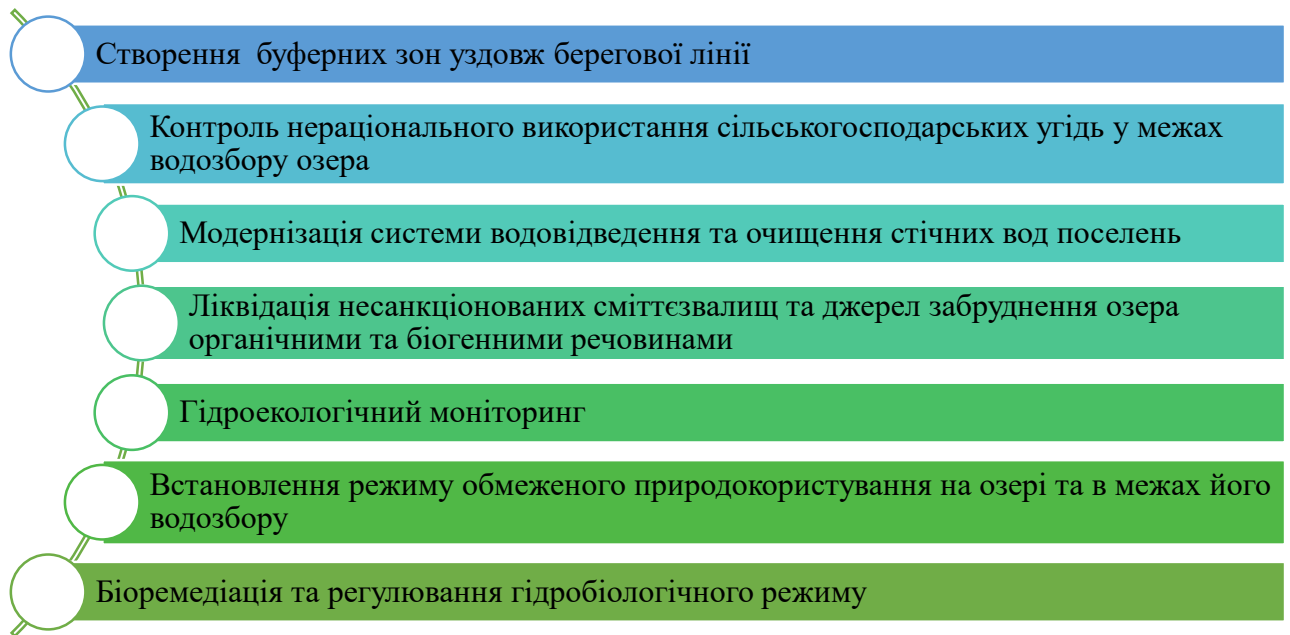


Рис. 4.1. Заходи раціонального використання та охорони оз. Кримне

1. Створення буферних зон уздовж берегової лінії. Уздовж усього узбережжя доцільно оточити озеро захисними лісосмугами та заболоченою буферною зоною шириною не менше 50 м (краще 100 м). Вони затримуватимуть та фільтруватимуть стоки з прилеглих територій, знижуючи надходження поживних речовин та забруднювачів до озера. Частково функції цієї буферної зони спільні із прибережною захисною смугою. Вище у роботі згадувалось, що у південно-східній, південній і західній частинах узбережжя режим прибережної захисної смуги порушується. Зокрема, в межах прибережної захисної смуги знаходяться земельні ділянки, які активно використовуються в сільському господарстві. З інших боків озеро і так оточене лісом і болотами. У випадку забезпечення дотримання режиму прибережної захисної смуги, визначеного Водним кодексом України [5], по всьому контуру озера, вона виконуватиме функцію буферної зони і захищатиме гідроекосистему водойми від забруднення та евтрофікації.

2. Контроль нераціонального використання сільськогосподарських угідь у межах водозбору озера та безпосередньо близько від нього включає обмеження застосування добрив та пестицидів на полях, ширше впровадження контурно-меліоративного землеробства для зменшення ерозії ґрунтів, створення спеціальних гідротехнічних споруд – тимчасових резервуарів для збору надлишкового поверхневого стоку з сільськогосподарських полів перед їх потраплянням до озера.

Система контурно-меліоративного землеробства передбачає застосування комплексу протиерозійних заходів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов та особливостей рельєфу місцевості. Найважливішими її елементами є: контурна організація території, коли всі елементи сівозміни, полезахисні лісосмуги, гідротехнічні споруди розміщуються поперек схилів по горизонталях місцевості; ґрунтозахисні сівозміни з використання ефективних попередників, сидератів, проміжних посівів та добре розвинених культур суцільного засіву (багаторічні трави); контурно-меліоративний обробіток ґрунту, коли оранка, культивація, посів проводиться поперек схилів без вилучення стерні та із застосуванням безполицевих і мульчувальних технологій; акумулятивне землеробство, яке передбачає нагромадження на схилових землях органічних решток та періодичне проведення глибокого розпушування; будівництво гідротехнічних протиерозійних споруд (валів, терас, водовідвідних та водозбірних каналів, захисних дамб тощо); створення полезахисних лісових насаджень у вигляді куліс, ремізів, лісосмуг для затримання снігу, зниження швидкості вітру. Комплексне застосування вище перелічених елементів контурно-меліоративного землеробства дозволяє максимально протидіяти водній та вітровій ерозії, регулювати поверхневий стік, оптимізувати водний та повітряний режими ґрунту, зберігати і підвищувати його родючість [35].

3. Модернізація системи водовідведення та очищення стічних вод поселень передбачає створення каналізаційної системи в населених пунктах в межах

водозбору, максимальне охоплення нею не лише житлового сектору, але й баз відпочинку, будівництво сучасних очисних споруд для очищення стічних вод перед скидом у водойми. Наразі цей захід дуже складний для практичного втілення. В межах водозбору знаходиться лише один населений пункт – с. Мельники із чисельністю населення приблизно 1200 чел. Може здатись, що каналізування такого населеного пункту недоцільно. Проте територія Шацького поозер'я вже є курортною зоною. А тому стають актуальними не лише екологічні аспекти стану водних ресурсів території, але й санітарні. І рано чи пізно питання каналізування населених пунктів, прилеглих до озер, все одно постане. Воно вже почало вирішуватись. Так в Шацькій територіальній громаді в рамках Програми транскордонного співробітництва Польща-Білорусь-Україна 2014-2020 рр. реалізується проект, що передбачає: будівництво каналізаційної мережі у західній частині смт Шацьк, с. Гаївка, с. Мельники та каналізаційних очисних споруд в Шацьку, будівництво каналізаційної мережі та системи очистки стічних вод у с. Світязь, будівництво каналізаційної мережі та системи очистки стічних вод у с. Пульмо [41].

4. Ліквідація несанкціонованих сміттєзвалищ та джерел забруднення озера органічними та біогенними речовинами може бути забезпечена шляхом організації системи роздільного збору та вивезення твердих побутових відходів з наступною їх переробкою, очищення берегової зони від стихійних сміттєзвалищ, контролю за дотриманням санітарних норм фермерськими господарствами та у межах селитебної зони.

5. Гідроекологічний моніторинг. Наразі регулярний гідроекологічний моніторинг озера не проводиться. Останні результати аналізу хімічного складу озерної води, які вдалось знайти в процесі виконання випускної кваліфікаційної роботи датуються 2010 р. Ймовірно зараз ситуація із забрудненням озера дещо змінилась, зокрема, по органічних та біогенних компонентах. Тому важливою є організація гідроекологічного моніторингу озера. Ця функція може бути

покладена на Шацький національний природний парк. В парку слід створити лабораторію гідрохімічного аналізу води та забезпечити її відповідним обладнанням. Також дуже важливим є детальне вивчення гідробіологічного стану озера, динаміки евтрофікації та розробка прогностичних моделей евтрофікації з урахуванням змін клімату.

Організація гідроекологічного моніторингу оз. Кримне повинна включати:

- моніторинг якості води: створення моніторингових постів для відбору проб води в різних частинах озера (центральна, прибережні зони), аналіз фізичних та хімічних показників (температура, прозорість, рН, розчинений кисень, БСК, ХСК), вмісту біогенних сполук (нітрати, нітроти, амоній, фосфати), токсичних сполук (важкі метали тощо), спектрофотометричний аналіз концентрації хлорофілу як показника біомаси фітопланктону [35];
- моніторинг гідробіологічних показників: відбір та аналіз проб фітопланктону, зоопланктону, зообентосу, визначення видового складу, чисельності та біомаси гідробіонтів, розрахунок біотичних індексів якості води, трофності, сапробності;
- дистанційний моніторинг стану водної екосистеми: визначення вегетаційних індексів (NDVI, NDCI), інших індексів (NDWI, NDMI) для картування евтрофікації та розподілу водної рослинності, аналіз тенденцій індексів для відстеження динаміки евтрофікації.
- моніторинг донних відкладів: відбір проб донних відкладів в різних частинах озера, аналіз гранулометричного складу, вмісту органічних речовин, біогенних елементів, важких металів [35];
- моніторинг стану водозбірного басейну: картування землекористування у водозборі, виявлення потенційних джерел забруднення (населені пункти, сільгоспугіддя, тваринницькі ферми, стихійні сміттєзвалища).

6. Встановлення режиму обмеженого природокористування на озері та в межах його водозбору передбачає заборону чи обмеження певних видів

господарської діяльності в межах водоохоронних зон. Зокрема [35]:

- охорона прибережних зон та водно-болотних угідь включає запровадження обмежень на здійснення певних видів господарської діяльності в межах водоохоронних зон озера (вирубка лісів, осушувальні меліорації, забудова тощо), це дозволить зберегти природні ландшафти, рослинний покрив та ґрунти, які відіграють роль бар'єру для надходження забруднень до водойми, буферна прибережна зона сприятиме очищенню поверхневого стоку від забруднювачів перед потраплянням до озера;
- регулювання рекреаційного навантаження передбачає обмеження використання моторних човнів та інших плавзасобів на озері, заборону чи обмеження будівництва нових рекреаційних об'єктів безпосередньо близько від берегів, що сприятиме мінімізації забруднення води нафтопродуктами, сміттям та звукового впливу на гідробіонтів;
- зменшення забруднення довкілля автотранспортом, обмеження або заборона руху автотранспорту в межах прибережних захисних зон для запобігання потрапляння паливно-мастильних матеріалів, важких металів та інших токсикантів до озера;
- реалізація заходів відновлення біорізноманіття (створення зимувальних ям для риби тощо).

7. Біоремедіація та регулювання гідробіологічного режиму передбачає розгляд можливості застосування методів біологічного очищення води за допомогою водних рослин і організмів. Ключовими аспектами при цьому є [47]:

- екологічна безпека, адже біологічні методи очищення є природними і не передбачають використання хімічних реагентів, що можуть завдати шкоди екосистемі озера, вони ґрунтуються на природних процесах поглинання поживних речовин рослинами та очищення води гідробіонтами, такий підхід є особливо важливим для екосистем, що знаходяться під охороною згідно законодавства України про природно-заповідний фонд;

- збереження біорізноманіття, оскільки застосування біологічних методів може передбачати інтродукцію певних видів водних рослин та організмів в озеро, ці види мають бути ретельно відібрані з урахуванням місцевої флори та фауни, щоб не завдати шкоди біорізноманіттю;
- довготривалий ефект, адже на відміну від разових заходів, таких як механічне вилучення водоростей, біологічне очищення забезпечує тривалу дію, вищі водні рослини та інші організми-ремедіатори продовжують функціонувати як природні біофільтри, поглинаючи надлишкові поживні речовини з води.
- низькі експлуатаційні витрати, бо після початкової реалізації заходів по запровадженню системи біологічного очищення її подальша експлуатація потребує мінімальних витрат, рослини та організми самостійно виконують процеси очищення, не вимагаючи постійних капіталовкладень;
- комплексний вплив, оскільки водорості та вищі водні рослини не лише поглинають біогенні елементи, але й забезпечують кисневий режим, затінення, субстрати для інших гідробіонтів.

Під час застосування біологічних методів потрібно ретельно дослідити екологічні вимоги потенційних біореemedіаторів, спрогнозувати можливі ризики та наслідки їх інтродукції. Також важливо паралельно проводити заходи із зменшення надходження забруднень із зовнішніх джерел.

Контрольоване регулювання популяцій гідробіонтів для оптимізації процесів самоочищення оз. Кримне є важливим заходом у комплексі природоохоронних дій. Воно дозволяє забезпечити насамперед підтримання біологічної рівноваги. Оскільки в озерних екосистемах існує складна взаємодія між різними групами гідробіонтів (фітопланктон, зоопланктон, зообентос, риби тощо), а надмірний розвиток певних організмів може спричинити дисбаланс та негативно вплинути на інші ланки трофічного ланцюга. Також регулювання популяцій гідробіонтів дає можливість здійснювати контроль евтрофікації. Одним

з основних чинників евтрофікації є надмірний розвиток фітопланктону (водоростей). Контрольована чисельність фітопланктону забезпечується шляхом регулювання популяцій зоопланктону (організмів, що споживають водорості) [46].

Паралельно у водоймі підвищується ефективність процесів самоочищення. Чимало гідробіонтів беруть активну участь у процесах самоочищення води внаслідок фільтрації, споживання та розкладу органічних сполук. Оптимізація кількості цих організмів збільшить інтенсивність самоочистки озера.

Регулювання популяцій не передбачає повне знищення певних видів, а лише підтримання їх чисельності на безпечному рівні. Тому є можливість запобігти занепаду аборигенних видів та зберегти біорізноманіття озера.

Оскільки озеро знаходиться в межах національного природного парку, контрольоване регулювання популяцій є більш прийнятним варіантом, ніж радикальні методи боротьби з певними групами гідробіонтів.

Контрольоване регулювання популяцій гідробіонтів потребує ретельного наукового обґрунтування та розробки програми моніторингу і управління популяціями на основі еколого-біологічних даних, реалізовуватись воно повинно поступово у комплексі з іншими природоохоронними заходами.

Ще одним важливим заходом є інформаційно-освітня робота серед місцевих мешканців. Вона передбачає проведення еколого-просвітницьких кампаній щодо раціонального використання водних ресурсів, залучення громадськості до заходів з очищення водойм та прибережних територій, створення волонтерських організацій, екологічне просвітництво в школах тощо.

Комплексна реалізація запропонованих заходів спільно з подальшим моніторингом та регулярним коригуванням стратегії може суттєво знизити рівень евтрофікації оз. Кримне, поліпшити його гідроекологічний стан та сприяти збереженню його як цінного природного об'єкта Шацького національного природного парку.

ВИСНОВКИ

1. Лімноекологія – це галузь екологічної науки, предметом вивчення якої є прісноводні екосистеми (озера, ставки, річки, болота). Вона займається дослідженням взаємодії між біотичними та абіотичними компонентами гідроекосистем і їх взаємовпливом. Найважливішими категоріями лімноекології є: водне середовище, продуктивність водойм, кругообіг речовин, трофічні рівні та харчові ланцюги, біорізноманіття, сукцесія, гідроекологічний моніторинг, охорона та збереження водних екосистем.

Теоретичні засади лімноекології закладені в працях закордонних: J. Kalff (2002), Wetzel R.G. (2001), W.K. Dodds (2002), A. Hildrew, P. Giller (2003) J. M. Boyer, українських: Я.О. Мольчака, Л.В. Ільїна, В.О. Мартинюка, В.Д. Романенка, А.В. Яцика, В.О. Фесюка, М.В. Боярин, І.М. Нетробчук, С.В. Полянського, М.О. Клименка, Й.В. Гриба, В.В. Сондака та багатьох інших науковців.

2. Озеро Кримне знаходиться на півночі Шацької територіальної громади, на північному сході Шацької групи озер. На південь від озера за 1,6 км знаходиться с. Мельники. З північного боку відстань до державного кордону становить 0,8 км. З усіх інших сторін озеро оточене лісом та болотами. Площа водного дзеркала становить 145 га, довжина берегової лінії – 6,3 км, об'єм – 3,23 млн.м³, ширина – 0,72 км, довжина – 2 км, максимальна глибина – 6 м, середня глибина – 2,15 м.

За походженням озеро карстове. Каналом сполучене з верхів'ям р. Рита. Улоговина складної, видовженої форми. Сформована навколо кількох карстових лійок. Береги переважно низовинні, подекуди заболочені. Живиться атмосферними опадами та, меншою мірою, підземними водами. Дно піщане, чисте, в межах карстових лійок замулене. Поширені рідкісні рослини – латаття біле, деякі види орхідей. Багата іхтіофауна, налічується 25 видів риб: лящ, щука, судак, плітка, в'юн, канадський сом, короп та раки. На берегах гніздуються

кулики, дикі качки та інші представники орнітофауни.

Серед інших озер Шацького НПП озеро Кримне перебуває на 6-му місці за площею водного дзеркала і 4-му місці за глибиною. Розраховане значення коефіцієнта глибинності для оз. Кримне становить 0,358, тип улоговини – параболічна, близька до конічної. В приходній частині водного балансу найбільше припадає на поверхневий притік (82%), підземний притік – лише 4%, опади – 14%. Озеро живиться переважно поверхневим стоком з водозбору та опадами, підземна складова у живленні не значна. Час повного водообміну для озера Кримне становить лише 1,1 року, що є найменшим показником серед усіх Шацьких озер.

В межах водозбору переважають природні угіддя, зокрема, ліси та болота.

Площа водного дзеркала оз. Кримне у 1933 р. становила 149,7 га, а у 2021 р. – лише 137,5 га, зменшення становило 12,2 га (12,2%). Об'єм води в озері при цьому теж суттєво скоротився – на 1,157 млн. м³ (35,85%). Отже, озеро суттєво обміліло. Найбільшою мірою на ці процеси вплинула масштабна осушувальна меліорація, яка проводилась на Поліссі в 1950-80 рр. ХХ ст.

3. Аналіз вмісту забруднюючих речовин у воді озера протягом 1989-2010 рр. показує, що вміст іонів амонію в усі роки не перевищував ГДК рибогосподарське. Лише за максимальними значеннями в 2003 р. досягав 3,15 мг/дм³. Вміст нітритів також знаходився в межах ГДК протягом всього періоду спостережень, встановлено лише епізодичне перевищення за максимальними значеннями (1,2 ГДК). Вміст заліза загального за весь період спостережень ніколи не перевищував ГДК навіть за максимальними значеннями 2003 р., в інші роки інтервал значень становив 0,05-0,38 мг/дм³. Аналогічна ситуація із сухим залишком, його вміст змінювався в інтервалі 192,8-272,5 мг/дм³, а ГДК становить 1000 мг/дм³. Концентрація фосфатів змінювалась від 0,016 до 0,026 мг/дм³, в 2003 р. максимальна концентрація становила 0,86 мг/дм³, що дещо перевищувало ГДК 0,5 мг/дм³. Така ж ситуація

спостерігалась із нітратами. Вміст їх становив 0,018-0,15 мг/дм³, ГДК 2 мг/дм³. Лише максимальні концентрації за період спостереження перевищували ГДК на 72,5%. Перманганатна окисність перевищувала встановлені нормативи практично завжди, виключення становив 1992 р., коли вона була дещо нижча. Це пояснюється наявністю у воді значної кількості гумінових речовин. БСК₅ не перевищувало встановлених нормативів, проте було досить високим. Це зумовлено значним вмістом у воді органічних сполук.

Отже, дослідження гідрохімічних особливостей оз. Кримне показує, що його іонно-сольовий склад зумовлений, найбільшою мірою, фізико-географічними чинниками і відображає особливості літології та ґрунтів водозбірного басейну. Прослідковується тенденція до збільшення концентрації органічних речовин у воді озера, сполук азоту та фосфору, зростає окисність води та БСК. Ці процеси зумовлені, в основному, впливом поселенської мережі та сільськогосподарського виробництва. Внаслідок забруднені органікою стоки з селитебних територій, стихійних сміттєзвалищ, полів та ферм потрапляють в озеро та забруднюють його. Дуже ймовірно, що вищезгадана тенденція збережеться і ще посилиться внаслідок впливу зміни клімату.

Для водозбору озера притаманний невисокий ступінь антропогенної трансформації. переважають ліси (на заході та сході), заболочені луки (на півночі і північному сході), сільськогосподарські угіддя (на південному заході і південному сході). Відстань від найближчого населеного пункту (с. Мельники) становить 1,6 км. В структурі використання земель переважають природні угіддя, що відносяться до Шацького НПП. Порушується режим використання прибережних захисних смуг. Землі в межах прибережної смуги розпайовані, розорюються і використовуються в сільськогосподарському виробництві. Це чітко видно на західному, південному та південно-східному берегах озера. На цих угіддях вносяться добрива і отрутохімікати, які змиваються в озеро.

Для озера чітко простежується евтрофікаційний цикл в багаторічній

динаміці протягом літнього періоду. В якісь роки евтрофікація перетікає більш активно, в якісь менш активно. Це залежить від впливу багатьох чинників. Насамперед температури повітря і води, надходження біогенних речовин (азоту і фосфору), водності року і кількості опадів тощо. Протягом теплового періоду значення індексу NDVI для озера, переважно, позитивні. Пізньої осені, взимку та ранньою весною, переважно, від'ємні. В 2023 р. абсолютні максимуми індексу досягали 0,3 і повторювались вони відносно частіше, ніж в попередні роки. Натомість абсолютні мінімуми значень індексу (-0,5 і менше) стали фіксуватись відносно рідше. З часом ця тенденція буде наростати. Сприятиме тому, значною мірою, глобальне потепління клімату.

4. Найважливіші аспекти гідроекологічного стану озера:

- озеро зазнає відносно невеликого антропогенного навантаження, оскільки його водозбірний басейн, переважно, вкритий лісами та болотами з невеликою часткою сільськогосподарських угідь та кількістю сільських населених пунктів;
- іонно-сольовий склад води зумовлений, в основному, природними чинниками – літологією та ґрунтами водозбору, антропогенна складова впливу на склад води присутня, ступінь її невисокий;
- спостерігається тенденція до збільшення концентрації органічних речовин, зокрема, сполук азоту та фосфору у воді озера. Це є ознакою поступового його евтрофікування. Основними джерелами евтрофікації є стоки з населених пунктів, сільськогосподарських угідь, тваринницьких ферм та несанкціонованих сміттєзвалищ. Аналіз динаміки індексу NDVI протягом 2023 р. продемонстрував чітко виражений сезонний цикл евтрофікації з піком у літні місяці та тимчасовим зменшенням наприкінці серпня - на початку вересня. Евтрофікація неоднорідно розподілена по акваторії озера, найбільш виражена в мілководних прибережних зонах, особливо північній та східній частинах. Незважаючи на відносну чистоту води озера в

минулому, простежується стійка тенденція до посилення евтрофікаційних процесів. Вона може бути пов'язана як з антропогенним впливом, так і зі зміною клімату.

Гідроекологічний стан оз. Кримне на даний час задовільний, але має ознаки прогресуючого евтрофікування. Це потребує уваги, розробки та реалізації природоохоронних заходів:

- створення буферних зон уздовж берегової лінії;
- контроль нераціонального використання сільськогосподарських угідь у межах водозбору озера;
- модернізація системи водовідведення та очищення стічних вод населених пунктів та баз відпочинку;
- ліквідація несанкціонованих сміттєзвалищ та джерел забруднення озера органічними та біогенними речовинами;
- гідроекологічний моніторинг;
- встановлення режиму обмеженого природокористування на озері та в межах його водозбору;
- біоремедіація та регулювання гідробіологічного режиму;
- інформаційно-освітня робота серед місцевих мешканців.

Комплексна реалізація запропонованих заходів спільно з подальшим моніторингом та регулярним коригуванням стратегії може суттєво знизити рівень евтрофікації оз. Кримне, поліпшити його гідроекологічний стан та сприяти збереженню його як цінного природного об'єкта Шацького національного природного парку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арсан О. М., Ситник Ю. М., Горбатюк Л. О., Кукля І. Г. Еколого-токсикологічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: органічні токсичні речовини у воді. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2012. №9. С. 325-328.
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. Водні ресурси Шацького НПП. URL: <http://shpark.com.ua/doslidzhuy/pryroda-parku/vodoymy/>
5. Водний кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР).1995. № 24. ст. 189.
6. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне: Волинські обереги. 1999. 347 с.
7. Дідух Я.П., Фіцайло Т.В., Пашкевич Н.А., Мала Ю.І. Екологічні карти трилатерального біосферного резервату «Західне Полісся» (Шацький НПП) та їх аналіз. Український ботанічний журнал. 2013. №4. С. 450-456.
8. Ільїн Л. В. Лімнок комплекси Українського Полісся: Монографія: У 2-х т. Т. 1 : Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
9. Ільїн Л. В. Лімнок комплекси Українського Полісся: Монографія: У 2-х т. Т. 2: Регіональні особливості та оптимізація. Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 400 с.

10. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
11. Ільїн Л.В., Гринасюк Н.В. Атрактивність озерних комплексів Шацького національного природного парку. Вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2014. №11. С. 25-29.
12. 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.
13. Карпюк З.К., Фесюк В.О., Антипюк О.В. Природно-заповідний фонд Волинської області: альбом-каталог. К.: ОК-Поліграф, 2018. 136 с.
14. Карпюк З.К., Фесюк В.О. Природоохоронні мережі Волинської області. Луцьк: Терен, 2021. 212 с.
15. Ковальчук С.В. Трансформація водних об'єктів Шацького поозер'я за результатами оцінки антропогенного навантаження на поверхневі води. The 6th International scientific and practical conference “Multidisciplinary scientific notes. Theory, history and practice” (November 01 – 04, 2022) Edmonton, Canada. International Science Group. 2022. С. 42-45.
16. Ковальчук С. В. Аналіз рівня антропогенного навантаження на природні комплекси стаціонарними джерелами забруднення Шацького національного природного парку (ШНПП). Вісник НУВГП. 2008. Вип. 2(42), ч. 1. С. 35-42.
17. Комплексний план просторового розвитку Шацької громади. URL: <https://shsrada.gov.ua/kompleksnij-plan-teritorii-shackoi-selischnoi-teritorialnoi-gromadi-09-42-08-13-12-2021/>
18. Коніщук В.В., Христецька М.В. Екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький». Агроєкологічний журнал. 2023. №3. С. 62-70.
19. Концепція інтегрованого просторового розвитку Шацької селищної

- об'єднаної територіальної громади (Волинська область). URL: <https://hromada.canactions.com/wp-content/uploads/2019/12/Shatska-1.pdf>.
20. Корлятович Т.Ю., Тартачинська З.Р., Покотило І.Я. Дослідження аномальності стану рівня води Шацьких озер у 2019 році. Екологічні науки. 2020. № 1(28). С. 221-227.
 21. Кукурудза С.І. Природно-ресурсний потенціал Шацького національного природного парку. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 1994. 144 с.
 22. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Розробники: Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксінок О.П., Яцик А.В. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
 23. Пасічник М.П., Ільїн Л.В., Хільчевський В.К. Сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області. Луцьк: Волиньполіграф, 2021. 172 с.
 24. Поверхневі води Волині: колективна монографія / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
 25. Полянський С.В. Ренатуралізація меліорованих гідроморфних ґрунтів Шацького району. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2014. №11. С. 69-74.
 26. Природа Волинської області / за ред. К.І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1975. 176 с.
 27. Природа Західного Полісся, прилеглого до Хотиславського кар'єру: монографія / за ред. Ф. В. Зузука. Луцьк: Вежа, 2014. 246 с.
 28. Програма охорони навколишнього природного середовища Шацької селищної територіальної громади на 2023-2025 роки. URL: https://rada.info/upload/users_files/04334235/5e8149287e6ad2f604d1085ce31c3938.pdf
 29. 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
30. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
 31. Романенко В. Д., Щербак В. І., Якушин В. М., Майстрова Н. В., Семенюк Н.Є. Загрози антропогенного впливу на ландшафтне і біологічне різноманіття озер Шацького національного природного парку. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2012. №9. С.319-324.
 32. Ромащенко М.І., Яцюк М.В., Сидоренко О.О., Нечай О.М., Воропай Г.В., Насєдкін І.Ю., Цвєтова О.В., Сайдак Р.В. Причини обміління Шацьких озер і шляхи регулювання їх водного балансу. Вісник аграрної науки. 2020. №8 (809). С. 5-13.
 33. Ситник Ю.М., Шищенко П.Г., Ільїна О.В., Хомік Н.В. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: озеро Кримне. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2014. №11. С. 29-35.
 34. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія. / за ред. В. О. Фєсюка. К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2016. 316 ст.
 35. 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.
 36. 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.
 37. Фєсюк 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 ТНПУ 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 , Ліщук стаття
- 40.Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. № 3 (58). С. 92-100.
- 41.Шацька селищна об'єднана територіальна громада. URL: <https://hromada.canactions.com/shatska/>
- 42.Шевчук М. Й., Сергушко О.Г. Евтрофікація озер Волинської області. Агроекологічний журнал. 2017. № 1. С. 16-21.
- 43.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.
- 44.Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання: монографія. Луцьк: Надстир'я, 1996. 384 с.
- 45.Dodds W. K., Whiles M.R. Freshwater Ecology Concepts and Environmental Applications of Limnology. Elsevier. 2002. 840 p.
- 46.Hildrew A., Giller P. The Biology and Ecology of Streams and Rivers (2nd edn) . Oxford Academic. 2003. 620 p.
- 47.Gulati R.D., van Donk E. Lake restoration with special reference to lakes in the Netherlands: a review. Hydrobiologia. 2002. Vol. 478, No. 1-3. P. 73-106.
- 48.Ilyin L. V., Ilyina O. V. Dynamics of hydromorphological parameters of lakes of Shatsk National Nature Park (1933–2021). XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. 2022. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2022580079?crawler=true>
- 49.Kalff J . Limnology: Inland Water Ecosystems. Prentice Hall, 2002 592 p.

50. Scheffer M. The Ecology of Shallow Lakes/, London. Chapman & Hall .385 p.
51. Wetzel R.G. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.