

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра фізичної географії

На правах рукопису

ДОВГАН ДЕНИС ЯРОСЛАВОВИЧ

ЕВТРОФІКАЦІЯ ШАЦЬКИХ ОЗЕР ТА ЗАХОДИ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

Спеціальність: 103 Науки про Землю

Освітня програма: Гідрологія

Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного ступеня «Магістр»

Науковий керівник:

Нетробчук Ірина Марківна

кандидат географічних наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол №

засідання кафедри фізичної географії

від \_\_\_\_\_ 2024 р.

Завідувач кафедри

проф. Фесюк В.О. \_\_\_\_\_

ЛУЦЬК – 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ОЗЕР.....	6
1.1. Евтрофікація озер як екологічна проблема.....	6
1.2. Методика дослідження евтрофікаційних процесів у водоймах сповільненого водообміну.....	11 6
1.3. Аналіз наукових публікацій, присвячених проблемі.....	22
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ГОСПОДАРСЬКЕ ОСВОЄННЯ ШАЦЬКОГО ПООЗЕР'Я.....	24
2.1. Фізико-географічні умови території.....	24
2.2. Господарське освоєння досліджуваної території.....	43
2.3. Екологічні проблеми Шацької ТГ.....	46
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛІМНОСИСТЕМ....	49
3.1 Екологічна оцінка якості води озер.....	49
3.2. Оцінка евтрофікованості Шацьких озер.....	53
РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКОВАНОСТІ ТА ПОЛПШЕННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ШАЦЬКИХ ОЗЕР.....	63
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Шацькі озера – це група з понад 30 мальовничих озер на північному заході України, в межах Шацького національного природного парку. Вони мають особливу цінність як рідкісна природна екосистема, місце існування численних рідкісних та зникаючих видів рослин і тварин, включених до Червоної книги України та міжнародних природоохоронних списків. Шацькі озера вирізняються поміж інших озер прозорістю води та багатством підводного світу.

Багато озер зараз зазнають інтенсивної евтрофікації через надлишкове надходження поживних речовин (насамперед, азоту та фосфору). Це призводить до "цвітіння" води, зниження вмісту розчиненого кисню та загибелі водних організмів. Основними джерелами евтрофікації є надмірне використання добрив у сільському господарстві та скид неочищених стічних вод з території населених пунктів, сільськогосподарських полів, ферм, стихійних звалищ. Евтрофікація руйнує унікальну екосистему озер, загрожує існуванню рідкісних видів. Погіршується якість води, що негативно впливає на рекреаційне використання озер. Знижується рибопродуктивність озер, що завдає економічних збитків.

Тому збереження Шацьких озер від евтрофікації – це дуже важливе та **актуальне** завдання для забезпечення екологічної рівноваги і сталого розвитку цього унікального природного регіону України.

**Метою дослідження** є розробка заходів зниження евтрофікованості Шацьких озер та поліпшення їх гідроекологічного стану.

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

- узагальнити теоретичні та методологічні засади дослідження евтрофікації озер;
- оцінити природні особливості та господарське освоєння Шацького поозер'я;

- проаналізувати гідроекологічний стан озер, якість води та їх евтрофікованість;
- запропонувати заходи зниження евтрофікованості Шацьких озер та поліпшення їх гідроекологічного стану.

**Об’єкт досліджень** – гідроекосистеми Шацьких озер.

**Предметом досліджень** є особливості сучасного рівня евтрофікації Шацьких озер, перспективи його зниження завдяки розробці комплексу природоохоронних заходів.

**Методологічною базою** дослідження сучасного гідроекологічного стану озер є праці зарубіжних та вітчизняних вчених: Й.В. Гриба, М.О. Клименка, Я.О. Мольчака, Л.В. Ільїна, В.О. Мартинюка, В.В. Зубковича, І.В. Зубковича, І.П. Ковальчука, В.В. Коніщука, Ю.Р. Гроховської, А.В. Яцика, В.О. Фесюка, І.М. Нетробчук, С.В. Полянського, М.Й. Шевчука, О.Г. Сергушка, V.H. Smith, S. Carpenter, M. Scheffer та багатьох інших науковців.

Інформаційною базою роботи слугували матеріали РОВР у Волинській області, Департаменту екології та природних ресурсів Волинської облдержадміністрації (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2022 р.), Шацької селищної громади (Програма охорони навколишнього природного середовища, Комплексний план просторового розвитку), періодичні наукові видання, тези конференцій, електронні картографічні сервіси (GoogleMap, OpenStreetMap), онлайн-сервіси для обробки супутникових знімків (EO Browser, Giovanni NASA). Також було опрацьовано понад 60 друкованих та електронних публікацій, законодавчі акти України в галузі раціонального використання та охорони озер.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження використано методи: збору матеріалу (роботи з фондovими, архівними, літературними джерелами), статистичної обробки зібраних матеріалів (розрахунку індексів, коефіцієнтів кореляції та варіації, оцінки побудови та аналізу графіків та діаграм),

дистанційного зондування Землі (обробка і аналіз супутникових знімків, робота з онлайн-сервісами, які забезпечують доступ до знімків, робота з репозитаріями скриптів для сервісу EO Browser), картографування (визначення морфометричних параметрів озер, особливостей господарської діяльності в межах водозбору), експертних оцінок (розробка комплексу заходів зменшення евтрофікації озер та поліпшення їх гідроекологічного стану).

**Наукова новизна** полягає в оцінці евтрофікації Шацьких озер, дослідженні взаємозв'язку гідроекологічного стану озера та його евтрофікації, розробці заходів зменшення евтрофікації озер та поліпшення їх гідроекологічного стану.

**Практична цінність** роботи пов'язана із можливістю використання запропонованого в роботі науково-методичного підходу для дослідження евтрофікації озер Волинського Полісся. Також результати магістерської роботи можуть бути корисними для розробки програм раціонального використання та охорони озер Шацького НПП, підготовки грантових заявок з метою залучення міжнародної технічної та фінансової допомоги для поліпшення стану Шацьких озер. Матеріали дослідження можна застосовувати у навчальному процесі Волинського національного університету імені Лесі Українки при вивченні освітніх компонентів: «Раціональне використання і охорона водних ресурсів» «Гідрологія», «Гідроекологія», «Гідрохімія», «Гідрологія озер і водосховищ», «Обробка і аналіз супутникових знімків».

**Апробація роботи.** За результатами магістерської роботи опублікована стаття у науковому фаховому виданні [38].

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота має загальний обсяг 76 сторінок і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (50 позицій).

## **РОЗДІЛ 1.**

### **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ОЗЕР**

#### **1.1. Евтрофікація озер як екологічна проблема**

Евтрофікація озер є серйозною екологічною проблемою, яка впливає на функціонування озерних екосистем у всьому світі. Це процес надмірного збагачення водойми біогенними елементами, зокрема, азотом і фосфором, що призводить до інтенсивного розвитку водної рослинності та водоростей [49]. Евтрофікація може бути викликана як природними, так і антропогенними чинниками. Вона спричиняє суттєві наслідки для гідробіонтів, озерних екосистем та оточуючого середовища.

Серед природних процесів, що можуть сприяти розвитку евтрофікації, слід виділити: вивітрювання гірських порід, вимивання поживних речовин із ґрунтів і їх надходження до водойм із водозбірної площі, а також розклад органічної речовини в самому озері.

Вивітрювання гірських порід – це процес руйнування і розкладу гірських порід під впливом фізичних, хімічних та біологічних факторів. В результаті цього процесу з гірських порід вимиваються різні мінеральні сполуки, зокрема, сполуки азоту, фосфору, калію, кальцію тощо. Вони можуть потрапляти до водойм із поверхневим та підземним стоком, збагачуючи при цьому їх біогенними елементами. Інтенсивність процесів вивітрювання залежить від кліматичних умов, складу гірських порід, рельєфу місцевості тощо. У районах, де переважають легкорозчинні породи (вапняки, доломіти), процеси вивітрювання можуть суттєво посилювати евтрофікацію озер [50].

Ще одним природним процесом, який прискорює евтрофікацію є вимивання поживних речовин із ґрунтів. Ґрунти, по суті, є природним депо

біогенних елементів, які можуть вимиватися з них атмосферними опадами та поверхневим стоком. Вміст азоту, фосфору, калію та інших елементів у ґрунтах залежить від типу ґрунту, рослинного покриву, господарської діяльності людини тощо. Інтенсивне сільськогосподарське використання ґрунтів, внесення органічних та мінеральних добрив, викиди промисловості та автотранспорту, скиди комунальних стічних вод, стік з селитебних територій можуть спричинити збагачення ґрунтів біогенами і посилювати їх вимивання до водойм. Особливо небезпечним у цьому контексті є змив поживних речовин із сільськогосподарських угідь, де добрив вносяться надмірно і нераціонально, або із порушенням агротехнічних вимог (наприклад, по сніговому покриву) [4].

Розклад органічної речовини в озері також здатен спричинювати інтенсивну евтрофікацію. Органічні сполуки, що потрапляють до озера з водозбірної площі або утворюються в процесі життєдіяльності гідробіонтів, можуть під дією мікроорганізмів розкладатися на простіші сполуки, з вивільненням біогенних елементів. Такі сполуки краще засвоюються водоростями, викликаючи їх прискорений, іноді «вибуховий» розвиток. Мінералізація відмерлої органіки супроводжується споживанням кисню і утворенням сполук азоту та фосфору, що легко засвоюються гідробіонтами. Надходження органічних речовин внаслідок скиду стічних вод теж посилює процеси мінералізації і збагачує воду біогенами. Хоча навіть й без нього озера зазнають евтрофікації. Наприклад, у глибоководних озерах з обмеженим водообміном розклад органічної речовини на дні може бути основним джерелом біогенів, що спричинюють евтрофікацію [48].

Проте основною причиною надмірного збагачення озер поживними речовинами є антропогенний вплив. Основними чинниками, що зумовлюють антропогенну евтрофікацію, є: скид стічних вод, змив добрив із сільськогосподарських угідь, промислові та побутові стоки, викиди автотранспорту тощо [44].

Стічні води міст, промислових та сільськогосподарських підприємств містять високі концентрації сполук азоту (аміак, нітрати) та фосфору (фосфати). Недостатнє очищення стічних вод або їх неналежна утилізація спричинює надходження цих біогенних елементів у водні об'єкти. Скид неочищених або недостатньо очищених стічних вод не лише є одним із найбільш поширених джерел антропогенної евтрофікації водойм, але зумовлює надходження до водойм інших небезпечних та отруйних хімічних речовин (нафтопродукти, важкі метали тощо). Особливо небезпечними є стоки з тваринницьких ферм і птахофабрик, які містять дуже високі концентрації азоту і фосфору [33].

Внесення надлишкових доз мінеральних (азотних, фосфорних) та органічних добрив на сільськогосподарських угіддях призводить до їх вимивання дощовими, талими чи поливними водами. Змив добрив формує дифузне забруднення водойм, яке важко контролювати і локалізувати. Інтенсивне землеробство, особливо на схилових землях, є одним із основних чинників евтрофікації прилеглих водойм. Проблему посилюють також ерозійні процеси, які зумовлюють змив завислих речовин разом з адсорбованими на них біогенами [4].

Скид неочищених або недостатньо очищених стічних вод промислових підприємств, збагачених біогенами, також є дуже потужним чинником посилення евтрофікації. Стан комунальних очисних споруд в Україні можна оцінити як не дуже добрий, вони морально застарілі та фізично зношені. А тому побутові стічні води, навіть після очистки, все ще містять підвищені концентрації фосфатів (з синтетичних мийних засобів) та сполук азоту. Потрапляння таких стоків у водойми створює сприятливі умови для розвитку водоростей та макрофітів.

Багато сполук азоту викидаються автотранспортом, який є одним із найбільших джерел забруднення атмосфери. Так, за інформацією Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2021 р., в структурі викидів забруднюючих речовин 65% припадає на промисловість і 35% на автотранспорт. Ці забруднюючі речовини можуть осідати на водну поверхню



і надходити до водойм із поверхневим стоком. А тому викиди від спалювання моторного палива є додатковим джерелом біогенного забруднення, що посилює евтрофікацію. Особливо небезпечним є накопичення таких викидів у замкнених водоймах, розташованих поблизу автомагістралей. Оскільки окрім сполук азоту ці викиди містять ще понад 1000 різноманітних хімічних сполук, серед них є дуже отруйні і канцерогенні (органічні сполуки свинцю, без(а)пірен тощо) [33].

Під час евтрофікації в озері, як водоймі із сповільненим водообміном, відбуваються складні фізико-хімічні та біологічні процеси. Надходження поживних речовин, зокрема, сполук азоту і фосфору, стимулює бурхливий розвиток фітопланктону, макрофітів та інших водних рослин. Це спричинює зростання первинної продукції, загущення вод, зниження прозорості та дефіцит кисню через інтенсивне дихання рослин і розклад відмерлої органічної речовини. Поступово накопичуються донні відклади, для розкладу яких додатково потрібен кисень, його концентрація зменшується, іноді практично до нуля, виникають несприятливі умови для риби і донних організмів [49].

Лімнологи та лімноекологи вже давно вивчають процеси евтрофікації. Вони призводять до того, що деякі озера мають низьку кількість водоростей, їх називають оліготрофними, а інші стають сильно каламутними через цвітіння водоростей, їх називають евтрофними. Ці дослідження сформували розуміння евтрофікації як значної екологічної проблеми. Наслідками евтрофікації є [43]:

- надмірний розвиток рослин і надмірна продукція біомаси;
- цвітіння шкідливих водоростей,
- збільшення частоти аноксичних явищ і загибель риби.

Економічні втрати, пов'язані з евтрофікацією, включають витрати на очищення води для потреб людини, втрату риби, диких тварин, інших гідробіонтів, та й, загалом, втрату біорізноманіття, а також втрату рекреаційних можливостей водойм. Евтрофікація в наш час вже стала глобальною екологічною проблемою. Проте вона посилиться в найближчі десятиліття через збільшення

чисельності населення, попиту на продукти харчування, перетворення земель, використання добрив та засобів захисту рослин, глобальну зміну клімату [43].

Евтрофікація озер спричинена надмірним надходженням поживних речовин, а, особливо, фосфору. Найбільше фосфору в озера потрапляє зі стічними водами, промисловими скидами та стоками з сільськогосподарських угідь, будівельних майданчиків і міських територій. На сьогодні багато країн на законодавчому рівні регулюють скид забруднюючих речовин (в т.ч. і фосфатів) точковими джерелами. Але дифузні (площинні) джерела надходження забруднюючих речовин, такі як стік з сільськогосподарських угідь або селитебних територій, замінили точкові джерела як рушійну силу евтрофікації в багатьох регіонах. Важливим чинником дифузного надходження поживних речовин є надмірне внесення добрив або гною, що призводить до накопичення фосфору в ґрунтах. Хоча на перший погляд здавалось би, що внесення гною та інших органічних добрив є «ecofriendly» для ґрунтів. Проте багаті на фосфор ґрунти в результаті ерозії змиваються в озера, де частина фосфору розчиняється і стимулює ріст фітопланктону та водних рослин [50].

Оліготрофні озера мають більш-менш стабільні умови кругообігу фосфору у водоймі. Повернення фосфору з донних відкладів є низьким, це обмежує ріст водоростей. Навпаки для евтрофних озер евтрофікація зростає внаслідок рециркуляції фосфору з донних відкладів в межах озера. Але багато мілководних озер, які є термічно нестратифікованими, послідовно змінюють стабільні стани. Одним із них є стан прозорі води з низькою кількістю водоростей, але великою кількістю вкорінених водних рослин. Інший – каламутний стан, коли затінення великою кількістю водоростей пригнічує вкорінені рослини. Окремі озера час від часу переходять з одного стану до іншого, інші роками залишаються або прозорими, або каламутними. Причини відмінностей у стабільності станів озер досліджувались багатьма вченими [47, 48]. Вони прийшли до висновку, що у глибших і термічно стратифікованих

озерах стабілізація може бути пов'язана з біогеохімією глибоких шарів вод (гіполімніону), температурою гіполімніону, формою озерної улоговини, чисельністю укорінених рослин і структура трофічних ланцюгів. Незалежно від глибини озера, рециркуляція може за певних умов підтримувати стійкий евтрофний режим. Озеро можна вивести з евтрофного режиму і за допомогою управлінських втручань, тим самим змінюючи його стан на стан чистої води.

Евтрофікація озер виявилася стійкою екологічною проблемою. Для багатьох озер не спостерігається чергування вищеописаних станів, вони залишаються евтрофними протягом тривалих періодів часу. Причини повільного відновлення або невідновлення після евтрофікації досі вивчаються науковцями. Стійке евтрофування може бути пов'язане з внутрішньою рециркуляцією в межах водойми значної кількості заакумульованого в донних відкладах фосфору. Постійне його вивільнення частково може пояснити стійку евтрофікацію [48].

Фосфор потрапляє в біосферу внаслідок вивітрювання гірських порід або видобутку фосфоритів. В наш час щорічні обсяги видобутку і вивітрювання фосфору порівнювані за величиною. Хоча винесення річками сполук фосфору в море збільшилось втричі з доіндустріальних часів, значна частина додаткового надходження фосфору в біосферу накопичується в континентальних екосистемах. Більша частина його акумулюється в ґрунтах, які застосовуються у сільському господарстві, внаслідок надмірного застосування добрив. Накопичення фосфору відбувається нерівномірно, що призводить до значних відмінностей у вмісті фосфору в ґрунті між різними регіонами. У регіонах з високим вмістом фосфору в ґрунті ерозія і наступне потрапляння ґрунтових агрегатів у струмки та озера є важливим чинником евтрофікації [43].

Фосфор, який потрапляє в озера, як уже було зазначено вище, має тенденцію накопичуватися в донних відкладах і біоті. З часом він може знов потрапляти у воду. Якщо рециркуляція є незначною порівняно з втратами фосфору з озерної води, то озерні цикли фосфору будуть такими, що мають одну

стабільну точку рівноваги. Це зображено у вигляді перетину двох ліній на рис. 1.1.А. В цьому випадку для озера властивий високий вміст фосфору у воді, але його можна знизити, зменшивши надходження.

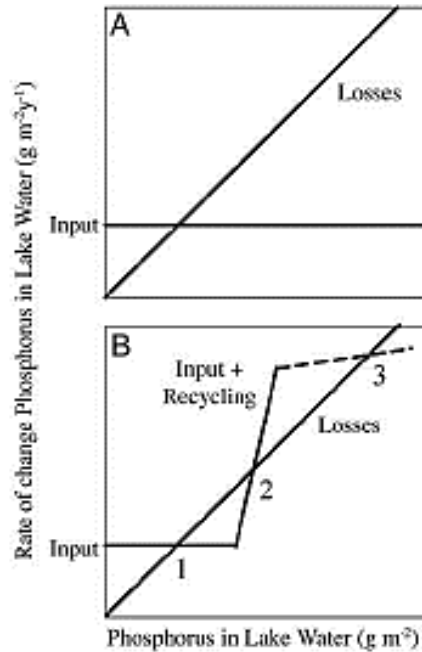


Рис. 1.1. Швидкість зміни фосфору в озерній воді (г/м<sup>2</sup>/рік) залежності від щільності сполук фосфору в озерній воді (г/м<sup>2</sup>) без рециркуляції (А) або з інтенсивною рециркуляцією (В) за S. Carpenter, 2005 [43].

Якщо швидкість рециркуляції зростає швидше, ніж споживання фосфору біотою, може виникнути нестійка рівновага (перетин 2 на рис. 1. Б). Також швидкість рециркуляції може знизитись внаслідок зменшення кількості фосфору у водоймі (пунктирна лінія на рис. 1. Б), що спричинить формування другої стійкої рівноваги (перетин 3 на рис. 1. Б).

Екологічні наслідки евтрофікації для озерної екосистеми є надзвичайно серйозними (рис. 1.2). Вона зумовлює зниження біорізноманіття, домінування нечисленних видів водоростей і макрофітів, масової загибелі риб та інших

гідробіонтів через дефіцит кисню. Евтрофікація також негативно впливає на довкілля, оскільки відмерла органіка, що накопичується на дні, виділяє метан та інші парникові гази, забруднює повітря та ґрунти [4]. Евтрофікація може мати негативні наслідки й для здоров'я людей, адже деякі токсичні водорості, що розвиваються в евтрофних водоймах, можуть бути небезпечними для здоров'я.

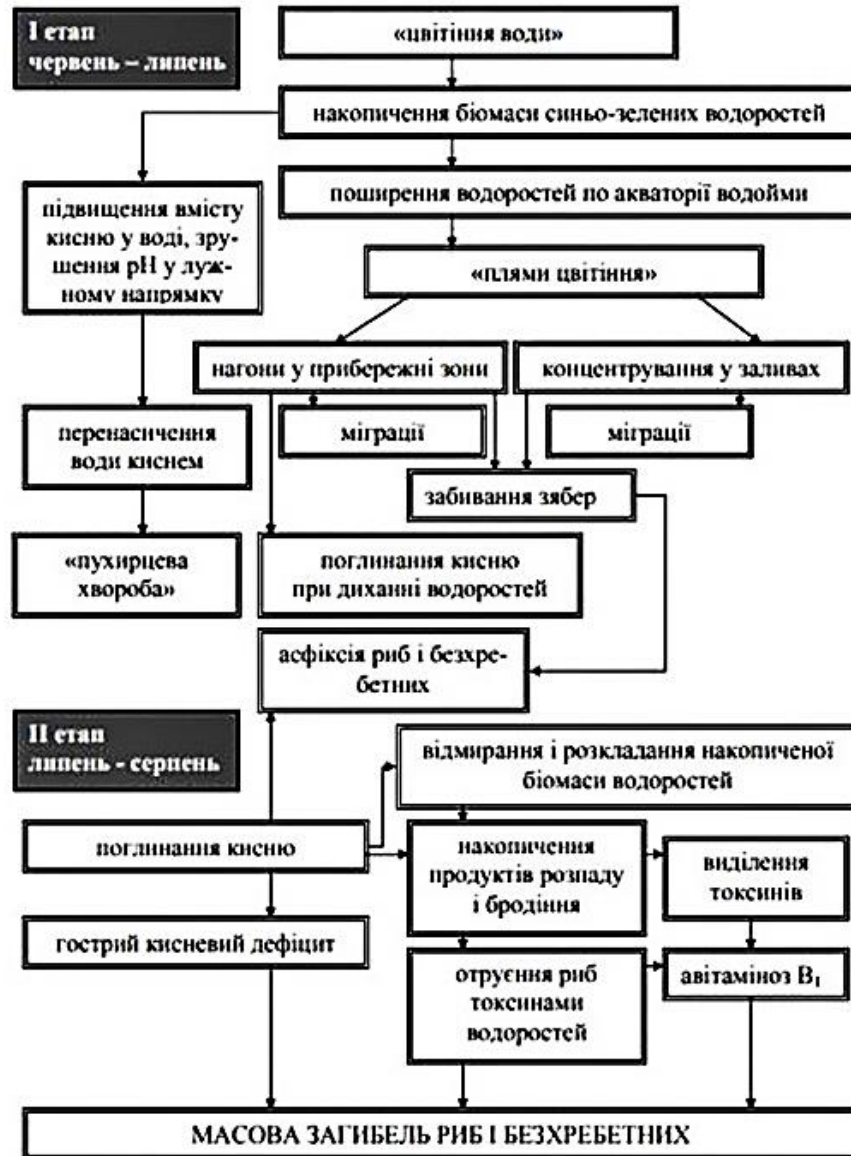


Рис. 1.2. Загальна схема токсичного впливу синьо-зелених водоростей на водні екосистеми (за Л.П. Брагінським, 1997) [4].

Особливо гострою проблема евтрофікації є для природно-заповідних територій, де озера, зазвичай, менші за розміром і мають обмежений водообмін. Антропогенне забруднення таких водойм часто призводить до швидкого розвитку евтрофікації, що може спричинити деградацію унікальних природних екосистем [33].

Для запобігання евтрофікації озер необхідно контролювати надходження біогенних елементів шляхом очистки стічних вод, обмеження використання добрив у сільському господарстві, впровадження нових технологій виробництва. Важливо також відновлювати природні процеси самоочищення і самовідновлення лімноекосистем, зокрема, шляхом зариблення, створення водно-болотних угідь, які охороняються законодавством про природно-заповідний фонд тощо. Подолання наслідків евтрофікації вимагає ренатуралізації деградованих озер, видалення донних відкладів, покращення кисневого режиму, пригнічення «цвітіння» водоростей [44].

Евтрофікація може бути спричинена точковим надходженням фосфору (наприклад, із скидом стічних вод) або дифузним надходженням фосфору (наприклад, із стоками з сільськогосподарських полів). Особливості процесу евтрофікації та відновлення озер можуть відрізнятися залежно від того, яка частка фосфору надходить з точкових чи дифузних джерел. У розвинених країнах більшість випадків евтрофікації прісних вод спричинена дифузним надходженням фосфору, головним чином з сільськогосподарських полів та ферм. У країнах, що розвиваються, ситуація не така однозначна, важливими є обидві складові. Проте тенденції у використанні добрив свідчать про те, що дифузне винесення фосфору у водойми продовжуватиме зростати. Тому зменшення вмісту фосфору в ґрунті є важливим кроком до пом'якшення наслідків евтрофікації. Евтрофікація є зворотним процесом, тобто після припинення надходження фосфору у водойму вона повинна припинитись. Але з точки зору людського життя евтрофікація озер може виявитися

безповоротною, якщо не відбудуться суттєві зміни в управлінні землекористуванням та агротехніці. Технології швидкого зменшення вмісту фосфору в ґрунтах та зменшення ерозії можуть значно прискорити покращення якості води [43].

Зміна клімату, що спостерігається в останні десятиліття, можуть суттєво впливати на процеси евтрофікації в озерних екосистемах. Основними аспектами такого впливу є:

1. Підвищення температури повітря і води у водоймах стимулює розвиток фітопланктону, збільшуючи первинну продукцію. Це призводить до прискорення процесів евтрофікації, посилення "цвітіння" води, накопичення органічної речовини. Вища температура води також сприяє інтенсифікації процесів розкладу органіки, в результаті чого у воду потрапляє ще більше біогенних речовин.

2. Збільшення інтенсивності та нерівномірність випадіння опадів призводить до зростання змиву поживних речовин із ґрунтів водозбору. Посухи та маловодні періоди спричиняють зниження рівня води в озерах, погіршуючи умови для самоочищення. Повені та паводки, інтенсивність яких в останні роки зростає, виносять у водойми багато біогенних речовин з території водозбору.

3. Нестабільність рівневого режиму, скорочення періоду льодоставу впливають на динаміку екосистеми та біогеохімічні процеси в озерах. Зокрема, зменшення водообміну в маловодні періоди посилює накопичення органічних речовин та біогенів у замкнутих водоймах, скорочення льодового покриву або його відсутність порушує сезонну сукцесію фітопланктону.

4. Зміни клімату сприяють проникненню в озера нових, більш термофільних і евритрофних видів гідробіонтів, так званих інвазійних видів. Вони можуть витіснити місцеві види, змінюючи структуру та функціонування екосистеми. Деякі інвазійні водорості, зокрема, ціанобактерії, можуть викликати "цвітіння" води і тим самим посилювати евтрофікацію.

Вплив зміни клімату на озерні екосистеми здатний значно прискорювати процеси евтрофікації. Це формує додаткові виклики для управління цією екологічною проблемою в умовах глобального потепління.

Тому евтрофікація озер є серйозною екологічною проблемою, що призводить до незворотних змін у функціонуванні озерних екосистем. Для її вирішення необхідні комплексні заходи, спрямовані на зменшення антропогенного впливу, відновлення природного балансу озер та ліквідацію наслідків евтрофікації.

## **1.2. Методика дослідження евтрофікаційних процесів у водоймах сповільненого водообміну**

Дослідження процесів евтрофікації в озерах та інших водоймах сповільненого водообміну вимагає комплексного підходу з використанням різноманітних методів. Основні етапи такого дослідження є [4, 33]:

1. Оцінка гідрологічного режиму водойми. В межах цього етапу проводиться визначення морфометричних характеристик водойми (площа, об'єм, глибина) та особливостей водообміну, моніторинг рівневого режиму, швидкості водообміну, часу гідравлічного утримання води та водообміну, визначення впливу сезонних та багаторічних коливань клімату на гідрологічні параметри.

2. Дослідження гідрохімічного стану водойми включають: регулярний відбір проб води в різних частинах акваторії та на різних глибинах, визначення концентрацій сполук азоту ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), фосфору ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), кремнію, розчиненого кисню тощо, екологічну оцінку якості води за відповідними категоріями, аналіз сезонної та просторової динаміки біогенних елементів, оцінку трофічного статусу водойми (наприклад, за індексом Карлсона).

3. Вивчення структури та динаміки фітопланктону передбачає кількісний і якісний аналіз видового складу фітопланктону, визначення біомаси, чисельності



та домінуючих видів водоростей, оцінку первинної продукції, індексу сапробності, вмісту хлорофілу, аналіз сезонної сукцесії фітопланктону.

4. Аналіз стану донних відкладів включає відбір проб донних відкладів, їх фізико-хімічний аналіз, визначення вмісту органічних речовин, сполук азоту, фосфору, важких металів, оцінку ролі донних відкладів в депонуванні біогенних речовин тощо.

5. Вивчення структури та динаміки зообентосу, зокрема, видового складу, біомаси, трофічної структури зообентосу, визначення організмів-біоіндикаторів евтрофікації, оцінка різноманіття, індексів сапробності.

6. Комплексна оцінка стану гідроекосистеми передбачає аналіз взаємозв'язків між гідрохімічними, гідробіологічними та гідрологічними показниками, встановлення причинно-наслідкових зв'язків між антропогенним впливом та евтрофікацією, прогнозування розвитку евтрофікації за різними сценаріями, розробку природоохоронних заходів для покращення стану водойми.

Такий комплексний підхід до дослідження процесів евтрофікації дозволяє всебічно оцінити екологічний стан водойми, виявити пріоритетні джерела забруднення та обґрунтувати ефективні управлінські рішення. Проте він є досить складним, затратним, розтягнутим в часі і вимагає зосередження значних зусиль та ресурсів на дослідження евтрофікації озера. Реалізувати такий підхід можливо в контексті наукового дослідження одного озера. Проте організувати таким чином моніторинг всіх озер в межах держави, чи, наприклад, адміністративної області не можливо.

Тому у вирішенні цього питання дослідникам на допомогу приходять дистанційні методи зондування Землі. Вони дозволяють ефективно досліджувати процеси евтрофікації у водоймах зі сповільненим водообміном. Основними методичними підходами у застосуванні дистанційних технологій для вивчення евтрофікації є [35, 36]:

1. Дистанційна оцінка трофічного статусу водойм, яка включає можливість

на основі аналізу супутникових знімків визначати просторовий розподіл та сезонну динаміку концентрації хлорофілу "а" – індикатора розвитку фітопланктону. За цим показником, наприклад, можна оцінювати трофічний статус водойми за шкалою Карлсона. Також використання супутникових знімків за тривалий період із певною періодичністю дозволяє виявляти тренди евтрофікації та її часові зміни.

2. Картографування явища "цвітіння" водойм. Лідарні супутникові знімки (в оптичному діапазоні) дозволяють виявляти та картографувати ділянки з масовим розвитком ціанобактерій. При цьому аналіз спектральних особливостей знімків допомагає відокремити "цвітіння" від інших типів водної рослинності. Саме ж картографування "цвітіння" дає можливість побудувати просторову модель явища, оцінити його масштаби та динаміку в межах акваторії.

3. Моніторинг макрофітної рослинності. Дистанційні дані дають змогу виявляти, картографувати та оцінювати біомасу та видовий склад вищої водної рослинності, а інтеграція супутникових даних з наземними дослідженнями дозволяє детально охарактеризувати стан макрофітних угруповань.

4. Оцінка прозорості та кольоровості води. За супутниковими знімками в оптичному діапазоні можна визначити показники прозорості та кольоровості води. Вони тісно корелюють із показниками, що зумовлюють евтрофікацію (біомаса фітопланктону, завислі речовини). Тому динаміка прозорості та кольоровості води відображає процеси евтрофікації в часі та просторі.

5. Виявлення джерел евтрофікації. Аналіз супутникових даних дозволяє визначити ділянки, де спостерігаються максимальні концентрації біогенів, хлорофілу чи "цвітіння" водоростей. Такі "гарячі точки" евтрофікації вказують на місця розташування можливих джерел забруднення. Розуміючи закономірності руху води у водоймі можна експертним шляхом встановити локалізації точкових джерел забруднення.

Для дослідження Шацьких озер використано можливості онлайн-ресурсу

EO Browser від Європейського космічного агенства (ESA). Це потужний онлайн-інструмент для аналізу та візуалізації даних дистанційного зондування Землі. Він надає широкі можливості для дослідження процесів евтрофікації у водоймах, особливо в озерах та водосховищах зі сповільненим водообміном. Зокрема: EO Browser дозволяє завантажувати та використовувати знімки супутників Sentinel-2, Sentinel-3, Landsat, MODIS та інших. Дані представлені у високій просторовій (до 10 м/піксель) роздільній здатності, користувач може задавати необхідні часові проміжки та географічні райони для пошуку супутникових даних. У EO Browser реалізовано широкий спектр інструментів для обробки та аналізу супутникових знімків, можна проводити обчислення різноманітних спектральних індексів, зокрема, тих, що характеризують евтрофікацію (NDVI, NDCI, CDOM тощо), доступні інструменти для оцінки динаміки процесів у часі та виявлення трендів. EO Browser дозволяє поєднувати супутникові дані з іншою просторовою інформацією (ГІС-шари, датасети). Це дає можливість провести комплексний аналіз зв'язків між супутниковими даними та іншими чинниками, що впливають на евтрофікацію. Крім того EO Browser надає широкі можливості для візуалізації супутникових даних у вигляді карт, графіків, діаграм, у ньому реалізовано функції масштабування, вимірювання відстаней, виділення ділянок за певними критеріями, результати аналізу можна експортувати у вигляді зображень, векторних файлів або наборів даних, наприклад, у форматі csv для подальшого аналізу. EO Browser є безкоштовним, доступним для широкого кола користувачів. Інтерфейс сервісу простий, інтуїтивно зрозумілий, що дозволяє ефективно застосовувати його навіть без спеціальної підготовки.

Дослідження процесів евтрофікації у водоймах сповільненого водообміну з використанням сервісу EO Browser розпочинається (рис. 1.3) із вибору об'єкту дослідження. Для цього визначають озеро чи водосховище, де потрібно дослідити процеси евтрофікації. Для нього здійснюють пошук та завантаження супутникових даних. Для цього слід перейти на сторінку сервісу EO Browser

(<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>), увімкнути шар "Sentinel-2 L2A" (рис. 1.4) та знайти водойму, вибрати необхідний часовий період спостережень, провести аналіз, за необхідності завантажити супутникові знімки у форматі GeoTIFF для подальшого аналізу в GIS-програмах.

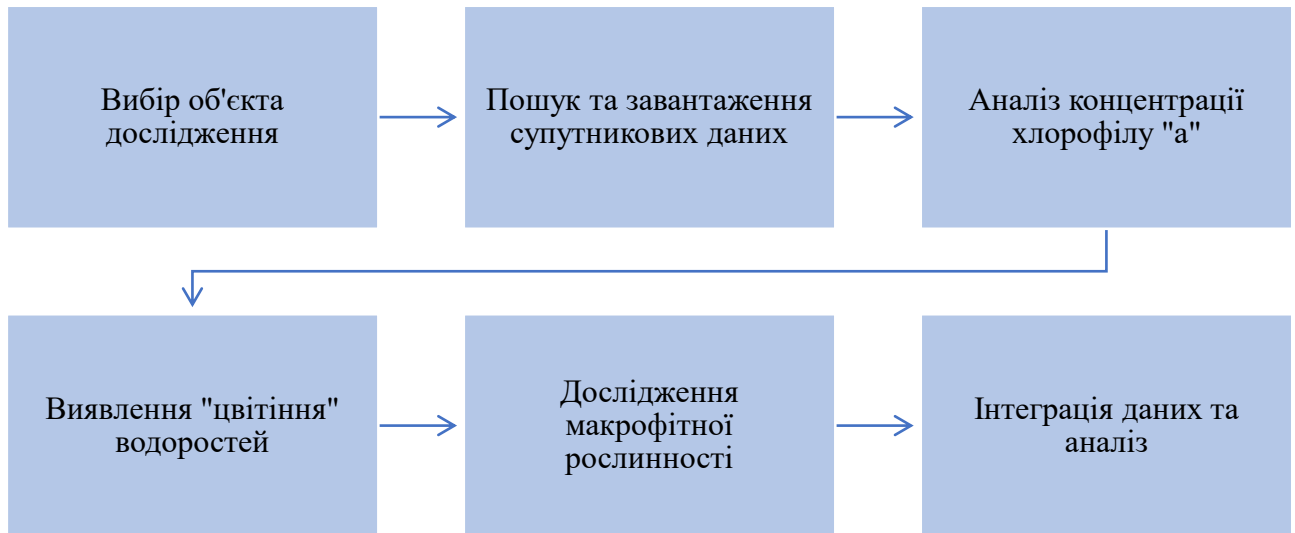


Рис. 1.3. Алгоритм дослідження процесів евтрофікації у водоймах сповільненого водообміну з використанням онлайн-сервісу EO Browser

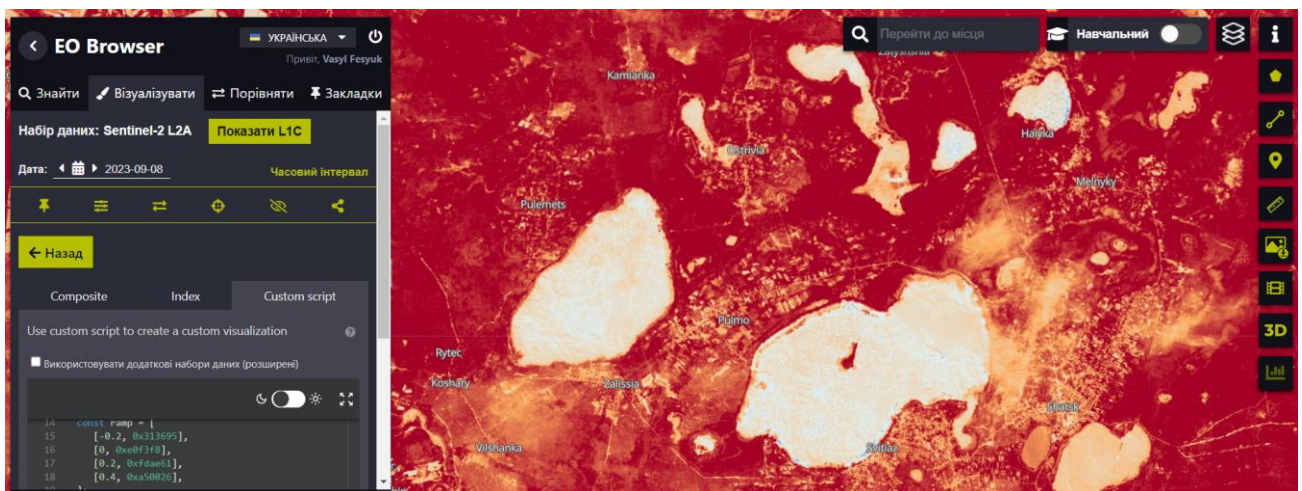


Рис. 1.4. Інтерфейс онлайн-сервісу EO Browser

Завантажені знімки Sentinel-2 містять інформацію про концентрацію хлорофілу "а" у водоймі. Далі слід використати інструменти EO Browser для візуалізації, аналізу та кількісної оцінки концентрації хлорофілу. Це дозволить визначити просторовий розподіл та сезонну динаміку хлорофілу "а" у межах акваторії і розрахувати трофічний статус водойми за шкалою Карлсона на основі концентрації хлорофілу. Розрахунок трофічного статусу водойми за шкалою Карлсона проводять за формулою [4]:

$$TSI_{chl} = 10 * (6 - (2.04 - 0.68 * \ln C_{chl})) , \quad (1.1)$$

де:  $TSI_{chl}$  – індекс Карлсона,  $C_{chl}$  – концентрація хлорофілу, мкг/дм<sup>3</sup>.

Визначити трофічний статус водойми можна за шкалою Карлсона [4]:

- $TSI < 40$  – оліготрофна
- $40 < TSI < 50$  – мезотрофна
- $50 < TSI < 70$  – евтрофна
- $TSI > 70$  – гіпертрофна

Після цього для виявлення "цвітіння" водоростей слід проаналізувати супутникові знімки у RGB-комбінації для виявлення ділянок з "цвітінням" води. Найкраще застосовувати спектральні індекси, такі як NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index), що зображено на рис. 1.4. За знімками можна оцінити масштаби та динаміку "цвітіння" водоростей у межах водойми.

Для дослідження макрофітної рослинності також слід використовувати спектральний індекс NDVI. Це дозволить визначити площі, зайняті макрофітами, оцінити їх біомасу, простежити зміни у видовому складі та площах, зайнятих макрофітами, впродовж періоду спостережень [35].

На завершальній стадії дослідження можна провести інтеграцію даних та аналіз, поєднати результати аналізу супутникових даних з іншою просторовою

інформацією (гідрологічні, гідрохімічні, гідробіологічні дані), виявити взаємозв'язки між показниками евтрофікації (хлорофіл, "цвітіння", макрофіти) та можливими джерелами забруднення, оцінити тренди та темпи розвитку процесів евтрофікації у водоймі.

Виконана робота дозволить запропонувати рекомендації щодо зменшення евтрофікації на основі комплексного аналізу.

### **1.3. Аналіз наукових публікацій, присвячених проблемі**

Питання евтрофікації озер достатньо добре висвітлені в науковій літературі. Так, зокрема, в книзі R.G. Wetzel це питання розглядається серед інших важливих лімнологічних питань в контексті озерних і річкових екосистем [50]. Стаття V.H. Smith, S.B. Joye, R.W. Howarth [49] присвячена особливостям евтрофікації прісноводних і морських екосистем, стаття D.W. Schindler – «загадкам» евтрофікації, зокрема, парадоксу продуктивності озер [48], стаття J.J. Elser, M.E.S. Bracken, E.E. Cleland – глобальному аналізу обмеження азоту та фосфору первинних продуцентів у прісноводних, морських та наземних екосистемах [43], стаття R.D. Gulati, E. van Donk – відновленню озер у Нідерландах [44].

Багато наукових робіт також присвячено і вивченню проблеми евтрофікації Шацьких озер. Серед них варто згадати: статтю В.В.Коніщука, М.В. Христецької про екологічну оцінку евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький» [19], О. М. Арсана, Ю.М. Ситника, Л.О. Горбатюк, І.Г. Куклі про еколого-токсикологічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку, зокрема, про органічні токсичні речовини у воді озер [1], Л.М. Зуб про оцінку екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальних біотопів [8], статті С.В. Ковальчука про трансформацію водних об'єктів Шацького поозер'я за результатами оцінки антропогенного навантаження на поверхневі води [16] та аналіз рівня

антропогенного навантаження на природні комплекси стаціонарними джерелами забруднення Шацького національного природного парку [17], К.М. Назарука, І.С. Хамар про структуру угруповань зоопланктону озера Пісочне Шацького національного природного парку як показник його евтрофікації [24] та багато інших робіт.

Заради справедливості слід відмітити, що питання евтрофікації розглядається в наукових публікаціях не лише для Шацьких озер, але й для інших озер Волинської області. А їх налічується понад 230. Так, наприклад, ці питання розглядаються у статті В.О. Фесюка, С.В. Полянського, Т.В. Копитюк, присвяченій методиці та практичній імплементації застосування даних ДЗЗ для моніторингу евтрофікації водойм (на прикладі Турського озера) [36], В.О. Фесюка, І.М. Нетробчук, М.М. Алексійчука про оцінку евтрофікованості озера Велике методами дистанційного зондування Землі [37], М. Й. Шевчука, О.Г. Сергушка про евтрофікацію озер Волинської області [40]. Ці роботи важливі з методичної точки зору.

Проаналізувавши всі ці роботи приходимо до висновку, що вивчення питання евтрофікації Шацьких озер в науковій літературі, на дивлячись на значну кількість наукових робіт, має фрагментарний характер. На разі не можна стверджувати про комплексність і вичерпність досліджень. Водночас постає багато питань, які в згаданих роботах не розглядаються. Наприклад, як евтрофікація може вплинути на рекреаційне використання озер, які прогнозовані наслідки впливу глобальних змін клімату на рівень евтрофікації Шацьких озер тощо. Тому подальші наукові дослідження цього питання є важливими та актуальними.

## РОЗДІЛ 2.

### ПРИРОДНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ГОСПОДАРСЬКЕ ОСВОЄННЯ ШАЦЬКОГО ПООЗЕР'Я

#### 2.1. Фізико-географічні умови території

Шацьке поозер'я – унікальний природний комплекс на північному заході України, у Волинській області. Цей регіон характеризується високою концентрацією озер карстового та льодовикового походження, мальовничими ландшафтами та багатим біологічним різноманіттям.

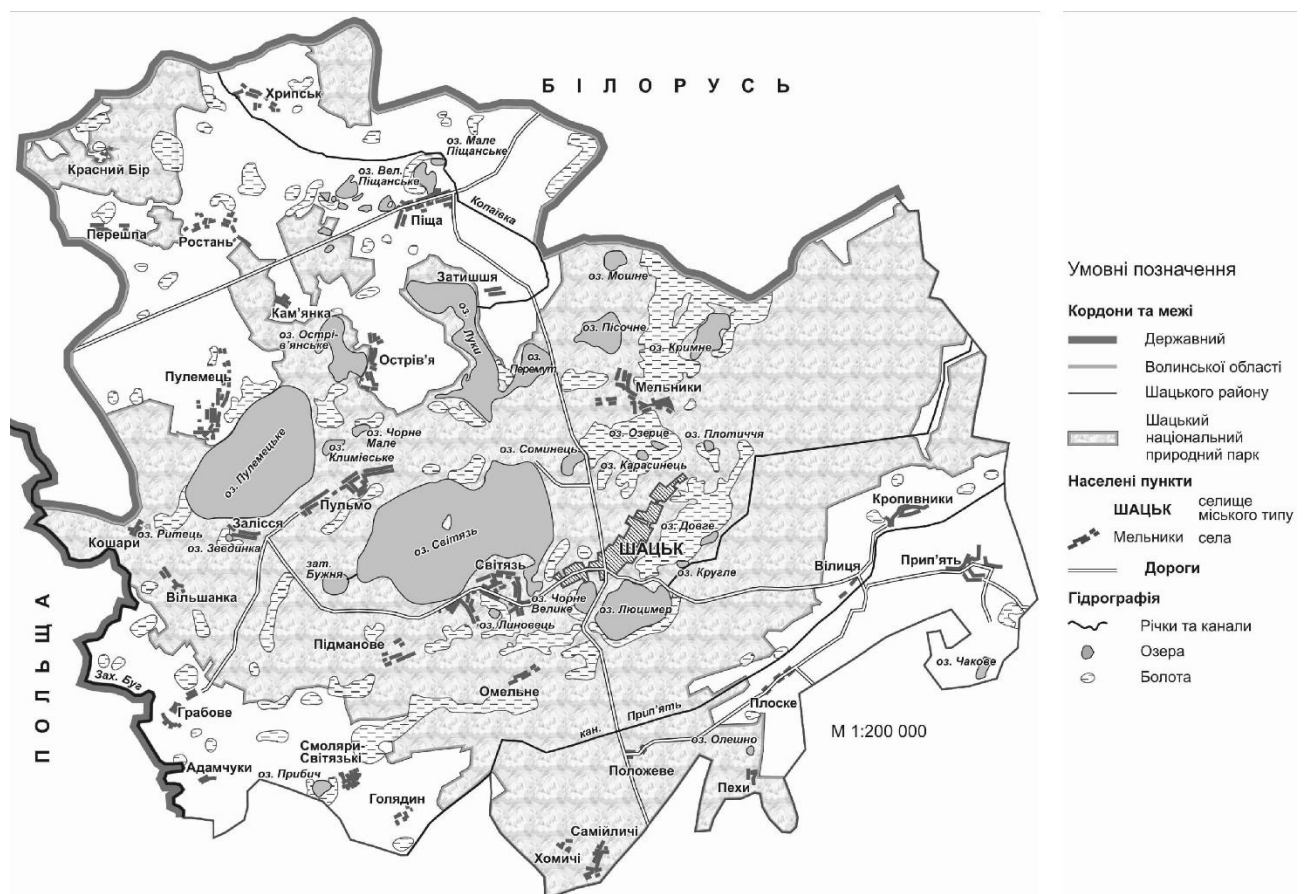


Рис. 2.1. Оглядова картосхема території дослідження (побудована З.К. Карпюк, 2014, наводиться за С.В. Полянським, 2014 [27])



**Рельєф і геологічна будова.** Шацьке поозер'я розташоване в межах Волино-Подільської височини, у зоні кінцево-моренних та водно-льодовикових форм рельєфу. Територія сформувалася під впливом четвертинного зледеніння і характеризується горбистим, місцями горбисто-западинним рельєфом. Домінують кінцево-моренні гряди, озові пасма, западини та котловини озер. Озера займають пониження, які утворилися в результаті танення льодовика останнього Валдайського зледеніння [28].

Геологічний фундамент території дослідження складений палеозойськими та мезозойськими відкладами, що перекриваються потужною товщею четвертинних відкладів. Поширені водно-льодовикові, озерно-алювіальні, еолові та торфові утворення [29].

Неопротерозойські відклади представлені рифейською еонотемою та вендською системою. Серед фанерозойських відкладів поширені гірські породи кембрійського, ордовицького, силурійського, юрського, крейдового та четвертинного періодів [29].

Четвертинні відклади формують суцільний покрив різноманітного генезису. Крейдові відклади верхнього відділу залягають із кутовим та стратиграфічним неузгодженням на домезозойських породах, утворюючи потужну (до 100 м) однорідну товщу [28].

Юрські і силурійські утворення мають локальне поширення. Ордовицькі відклади залягають із неузгодженням на кембрійських, які успадкували басейн осадонакопичення вендських (канилівська серія) відкладів [2].

В рельєфі регіону дослідження домінують плоскі низовини, із численними пониженнями рельєфу, особливо біля озер. Пониження рельєфу часто заболочені, особливо на заплаві р. Прип'ять. Підвищення рельєфу пов'язані з формами рельєфу льодовикового (ози) та еолового (дюни) походження. Через територію дослідження проходить Головний європейський вододіл, проте в рельєфі він дуже слабо виражений [34].

Гідрогеологічні умови досліджуваної території визначаються її положенням у північно-західній частині Волино-Подільського артезіанського басейну, зокрема, в області розвантаження підземних вод. Це зона інтенсивного водообміну та надмірного зволоження. В межах досліджуваної території виділяються два гідрогеологічні райони: Галицько-Волинський і Полісько-Подільський, межа між ними проходить через с. Хрипськ, оз. Пулемецьке і далі на с. Смоляри-Світязькі [28].

Формування поверхневих і підземних вод регіону зумовлене комплексом абіотичних та біогенних чинників: морфологією рельєфу, кліматичними умовами, літологічним складом водовмісних порід, зонами активного водообміну з мінливою потужністю водотривких порід, що визначають підвищений поверхневий і підземний стік, тяжіючи до неотектонічних зон.

Гідрогеологічні умови описуються за стратиграфічним принципом з урахуванням літологічних особливостей водовмісних порід. Виділяються водоносні горизонти і комплекси за умовами обводненості та фільтраційними властивостями гірських порід. Найбільш перспективним для організації централізованого водопостачання населення є водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах.



Рис. 2.3. Рівні залягання ґрунтових вод на період вегетації

(за Ф.В. Зузуком, Б.О. Веремчуком, 2008 ) [9]

Поширення форм екзогенної деструкції та акумуляції на досліджуваній території пов'язане з диференціацією сучасних тектонічних рухів. Найактивніші процеси деструкції схилів спостерігаються на горбистих кінцево-моренних підвищеннях та водно-льодовикових рівнинах, що характеризуються активним підняттям. Карстові лійки та западини найпоширеніші там, де породи крейдової системи залягають близько до поверхні та перекриваються тонким шаром четвертинних моренних і водно-льодовикових відкладів. Спостерігається тісний зв'язок карстоутворення з лінеаментними та тектонічними зонами північно-східного простягання [28].

Серед сучасних екзогенних чинників рельєфоутворення найактивнішими є вітрова ерозія, заболочування, річкова ерозія та акумуляція. Вітрова ерозія розвивається на підвищених, не закріплених рослинністю ділянках з піщаними відкладами. Бічна ерозія берегів спостерігається в долинах рр. Прип'ять і Західний Буг, часто спричинює руйнування берегів під час повеней. Заболочення поширене на слабо розчленованих ділянках рельєфу та вздовж озер [34].

Клімат Шацького поозер'я формується під впливом помірно-континентальних повітряних мас, що й зумовлює його помірно-континентальні риси. Середня річна температура повітря становить  $+7,5^{\circ}\text{C}$ . Найхолоднішим місяцем є січень із середньою температурою  $-5,5^{\circ}\text{C}$ . Найтеплішим – липень, із середньою температурою  $+18,5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютний мінімум температури може сягати  $-30^{\circ}\text{C}$ , а максимум – до  $+35^{\circ}\text{C}$  [29].

З середини ХХ століття до сьогодні, клімат Полісся потеплішав. Згідно з дослідженнями науковців Інституту сільського господарства Полісся, середня багаторічна температура повітря зросла на  $0,4^{\circ}\text{C}$  (5,9%), причому зимові місяці характеризуються більш відчутним підвищенням температури. Середня багаторічна кількість опадів збільшилася незначною мірою (на 8 мм). При цьому у зимові місяці приріст становить 17,5% більше опадів, весняні – 3,5%, у літні – практично без змін (0,4%), а в осінні, навпаки, відбулось зменшення на 8,2% [25].

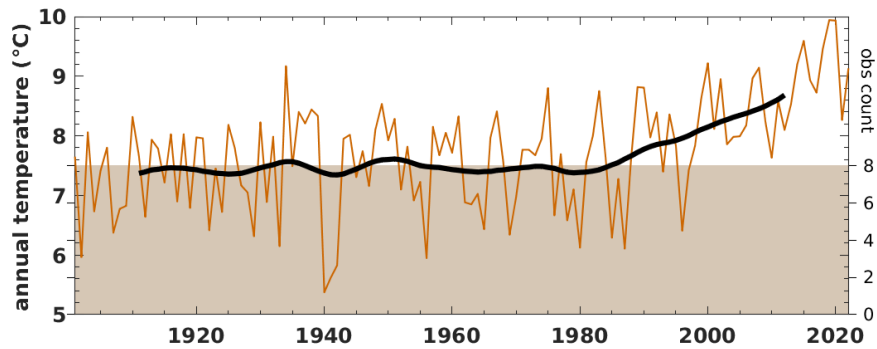


Рис. 2.4. Середня річна температура по МС Світязь  
(за даними датасету CRU TS 4.07 Giovanni NASA)

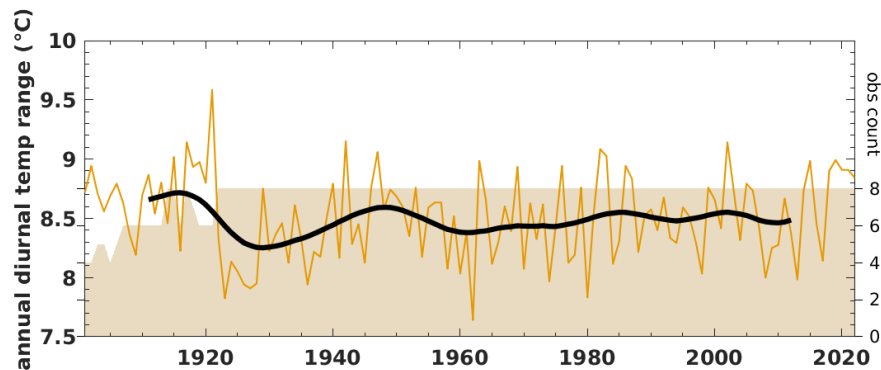


Рис. 2.5 Динаміка середнього добового діапазону температури  
(за даними датасету CRU TS 4.07 Giovanni NASA)

Середня багаторічна температура повітря за період спостережень 1946-86 рр. не перевищувала 8°C. Починаючи з 1989 р. спостерігається чітка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря. Така тенденція до потепління характерна й для інших регіонів України. Протягом цього періоду середня річна температура повітря у 70% випадків була вищою за норму [25].

На тлі підвищення температури та загального потепління клімату протягом останніх 15 років регулярно виникають сильні та дуже сильні посухи у період критичного розвитку сільськогосподарських культур (третья декада травня, перша і друга декади червня та серпень). Ці зміни зумовлюють зростання аридності

(посушливості) кліматичних умов. Незважаючи на порівняно відносну сталість кількості атмосферних опадів, комплексні гідротермічні показники суттєво знизилися через зростання температури. Отже, зміна клімату – це не тільки потепління, а й розбалансування, зокрема, різкі перепади температурних режимів. Негативні наслідки у сільському господарстві, спричинені змінами клімату, зумовлюють ризики щодо продовольчої безпеки країни, а в довкіллі – виникнення екологічних проблем різного масштабу та спрямованості [25].

На регіональному рівні спостерігаються істотні зміни кількості опадів та характеру їх випадання за окремими періодами. Зокрема, протягом 1946-80 рр. спостерігався тренд до збільшення кількості опадів за період, протягом 1980-97 рр. – певна стабільність і рівномірність випадання опадів, а з 2000 р. – чіткий тренд до зменшення кількості опадів з одночасним підвищенням температурних показників. На сьогодні середня багаторічна кількість опадів для Полісся знаходиться в межах 530-580 мм, що відповідає зоні помірного або нестійкого зволоження. Посилюється дефіцит вологи, про що свідчать зменшення річної та вегетаційної суми опадів, зростання середньорічної температури та різке зниження величини гідротермічного коефіцієнта [25].

Зона нестійкого зволоження розширюється. Якщо до 2000-х років частка посушливих років становила близько 10%, то за останні 20 років частота посух зросла майже до 60%. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за вегетаційний період становив менше 1,15.

Середньорічна кількість опадів для МС Світязь становить 620-650 мм (рис. 2.6). Найбільше опадів випадає влітку (40-45% від річної суми) та восени (25-30%). Найменше – взимку (10-15%). Найсухішими місяцями є лютий-березень (рис. 2.7). Сніговий покрив з'являється, зазвичай, у середині грудня і тримається до кінця березня, його висота досягає 30-40 см.

Переважають вітри західних напрямків. Середня швидкість вітру – 3-4 м/с. Найбільші швидкості спостерігаються навесні та взимку – до 15-20 м/с.

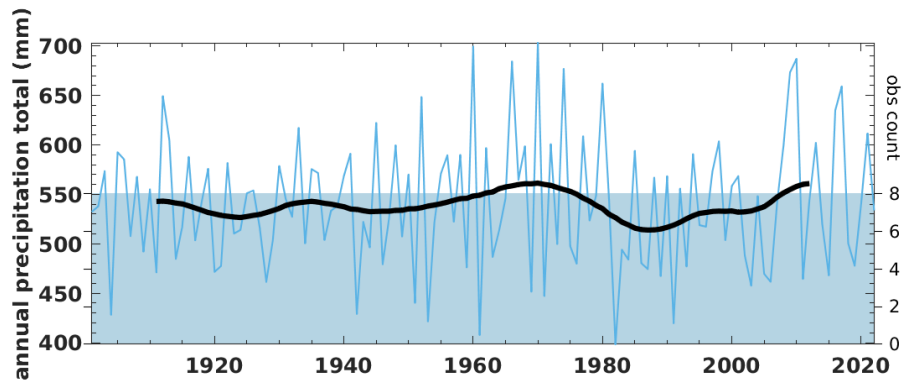


Рис. 2.6. Динаміка річної кількості опадів за багаторічний період спостережень для МС Світязь (за даними датасету CRU TS 4.07 Giovanni NASA)

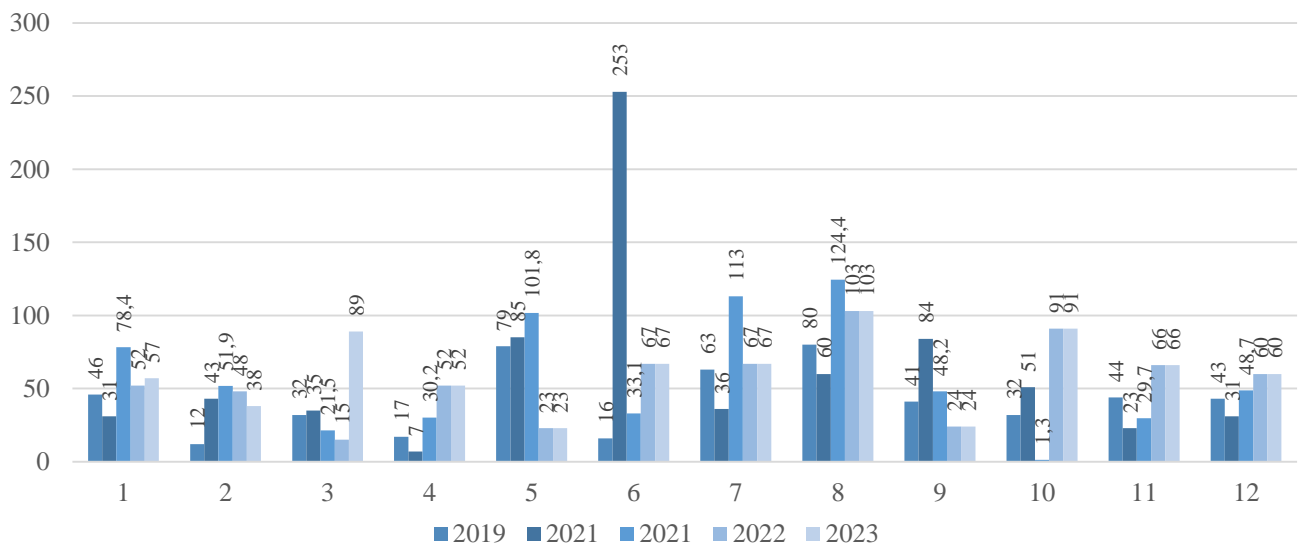


Рис. 2.7. Внутрішньорічний розподіл кількості опадів за період 2019-23 рр. (за даними Волинського ЦГМ)

Загалом клімат Шацького поозер'я сприятливий для розвитку рекреації. Він формується під впливом помірно-континентальних повітряних мас, характеризується м'якою зимою, теплим літом, більш-менш рівномірним розподілом опадів протягом року. Це забезпечує сприятливі умови для розвитку туризму, відпочинку та оздоровлення [21].

Внутрішні води досліджуваної території представлені гідрографічною мережею басейнів Західного Бугу та Прип'яті, а також 30 озерами в межах їх водозборів.

Басейн Західного Бугу охоплює територію Шацького поозер'я, де розташовані дві його притоки – рр. Копаївка та Рита, що беруть свій початок на цій території. Загальна довжина р. Західний Буг становить 815 км, площа басейну – 73300 км<sup>2</sup>. Ділянка Західного Бугу від витoku до с. Литовеж (гідропост найближчий до р. Прип'ять) має довжину 213 км та площу басейну 6740 км<sup>2</sup>, із похилом річки 0,8%. Західний Буг є правою притокою р. Вісли [26].

Таблиця 2.1.

Гідрографічні особливості річок досліджуваної території та їх водозборів [29]

Річка	Куди впадає:	Права (П) чи ліва (Л) притока	Довжина річки, км	Середній похил річки, ‰	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Коефіцієнт, %			
						озерності	заболоченості	лісистості	розораності
Західний Буг – с. Литовеж	р. Вісла	П	213	0,8	6740	1	(9)	(17)	(40)
Копаївка	р. Західний Буг	П	19	0,3	330	18	17	53	10
Рита	р. Мухавець, права притока Західного Бугу	Л	62	–	1730	–	–	–	–
Прип'ять – с.Річиця	р. Дніпро	П	79	0,2	2210	<1	15	17	20

Басейн Західного Бугу на території Шацького поозер'я представлений двома притоками – річками Копаївка та Рита. Копаївка бере початок з оз. Луки поблизу с. Затишся, протікає через сс. Піща та Хрипськ, а потім – територією Республіки Білорусь, впадаючи у Західний Буг на 332 км від витoku. Її долина

часто не чітко виражена, а заплава порізана меліоративними каналами. Після осушувальних меліорацій 1970-х рр. русло Копайвки було каналізоване [26].

Рита раніше витікала з оз. Кримне, але після проведення меліоративних робіт її витік з'єднаний з озером каналом. Русло р. Рити також каналізоване майже на всій довжині, за винятком ділянки біля гирла. Ця річка тече територією Берестейського Полісся Білорусі та приймає стік з меліоративних каналів і притоки – р. Малорити.

Басейн Прип'яті в межах Шацького поозер'я представлений притоками Тенетиска, Вижівка та Нережа, що впадає в оз. Велике Згоранське. Сама р. Прип'ять протікає через колишні Любомльський, Старовижівський та Ратнівський райони (за старим адміністративно-територіальним устроєм) Волинської області. Довжина її у межах області – близько 170 км. Долина Прип'яті тут плоска, з широкою заболоченою заплавою, часто з невиразними берегами. Русло річки звивисте, з численними рукавами, протоками та старицями. Після впадіння р. Бобрик кількість розгалужень зменшується, проте в руслі Прип'яті багато бистрин та мілин. На правому березі, в районі смт Ратне та сіл Якушів і Люб'язь, до річки підступають піщані гряди та пагорби. Подібні форми рельєфу є і на лівому березі поблизу смт Ратне, сіл Комарове, Невір, Ветли, Сваловичі. В цих місцях береги долини підвищуються на 3-5 м [29].

Заплава Прип'яті широка, до 8-10 км, низинна, сильно заболочена, з численними протоками, рукавами та старицями. Наявність торфових боліт, насичених водою, ускладнює прохідність заплави, особливо впродовж 1,5-2,5 місяців після весняної повені, коли вона стає майже непрохідною.

Від витоків до впадіння р. Стохід русло р. Прип'ять дуже звивисте та розгалужене, перші 30 км – каналізоване. Нижче с. Кропивники річка тече природним руслом, завширшки до 40 м, завглибшки 1-1,5 м, на перекатах – до 0,7 м. Швидкість течії становить 0,3-0,4 м/с. Дно річки піщане, часто сильно замулене. Береги низькі, заболочені [26].



Таблиця 2.2.

## Витрати води річок досліджуваної території [29]

Річка-пункт	Витрата води, м <sup>3</sup> /с		
	середня багаторічна	найбільша	найменша
Західний Буг – с. Литовеж	32,9	237	6,21
Копаївка – держкордон	1,3	39	
Рита – гирло	6,6	204	
Прип'ять – с. Річиця	8,49	261	

Аналізуючи витрати води річок досліджуваної території (табл. 2.2) слід відмітити, що найбільші середні багаторічні витрати характерні для р. Західний Буг – 32,9 м<sup>3</sup>/с, для інших річок вони суттєво менші. Проте максимальні витрати води під час повеней для р. Західний Буг, Рита і Прип'ять в межах досліджуваної території порівнювані, вони знаходяться в інтервалі 204-261 м<sup>3</sup>/с.

Шацьке поозер'я – унікальне поєднання великої кількості озер надзвичайно різноманітних за походженням, розмірами та глибиною. Тут налічується понад 30 озер загальною площею близько 6,5 тис. га. Найбільшими є: Світязь, Пулемецьке, Луки, Пісочне, Облапське, Кримне (табл. 2.3, рис. 2.8-2.9). Живлення озер змішане – атмосферними, ґрунтовими та поверхневими водами. Вода в них прозора та чистота. За походженням озера поділяються на: карстово-тектонічні, суфозійно-карстові та заплавні озера. За режимом рівня води вони поділяються на дві групи: з стабільним положенням рівня та з вираженими сезонними і внутрішньосезонними коливаннями. Більшість озер малі за розмірами (площа менше 10 км<sup>2</sup>) та помірним водообміном, що свідчить про їх автохтонний характер і вимагає регіонально-локального підходу до їх використання та охорони [12].

Донні відклади озер представлені переважно змішаними типами сапропелів органічно-вапнякового, вапнякового та органічно-залізного складу. Також значні запаси кластогенних відкладів органічно-піщаного та органічно-глинистого типів [13].

Морфометричні особливості озерних улоговин є важливими для розуміння гідрологічних і гідрохімічних особливостей водойм. Більшість озер мають округлу або овальну форму з рівною береговою лінією. Деякі озера (Світязь, Пулемецьке) мають складну улоговину з декількома карстовими лійками, асиметричною формою та виходами крейди на берегах.

Карстові озера здебільшого займають безстічні улоговини з незначним поверхневим водозбором. Їх береги піщані, часто з торфовими утвореннями, дно на мілинах – піщане, тверде, а в межах карстових лійок – мулисте. Окремі озера перебувають на стадії замулення та заростання [10].

Таблиця 2.3.

## Морфометричні показники Шацьких озер [29]

Назва озера	Площа, км <sup>2</sup>	Довжина, км	Ширина, км	Глибина, м
Герасимове	0,03	0,20	0,20	1,20
Довге	0,12	1,20	0,40	3,00
Зведенка	0,04	0,25	0,25	1,00
Карасинець	0,16	0,50	0,32	3,00
Климівське	0,32	0,80	0,48	3,00
Кримне	1,44	2,00	0,72	6,00
Кругле	0,09	0,50	0,30	1,50
Линовець	0,02	0,22	0,40	1,50
Луки	6,88	5,90	3,10	3,50
Люцимер	4,31	2,97	2,00	11,20
Мошне (Затиштя)	0,36	0,60	0,60	3,00
Накранне	0,02	0,20	0,20	2,00
Озерце	0,14	0,90	0,90	2,00
Олешно	0,10	0,38	0,37	3,30
Острів'янське	2,57	2,60	1,70	3,40
Перемуг	1,50	1,90	1,40	3,50
Пісочне	1,38	2,00	1,90	16,00
Піщанське Велике	0,67	1,00	0,67	7,00
Піщанське Мале	0,17	0,65	0,60	2,50
Плотиччя	0,11	0,60	0,50	2,00
Прибич (Смолярське)	0,35	0,70	0,70	2,00
Ритець	0,03	0,24	0,14	3,00
Світязь	27,50	9,30	4,80	58,40
Соменець	0,46	1,25	0,55	3,20
Чорне Велике	0,71	1,35	0,65	3,20
Чорне Мале	0,37	0,90	0,60	1,50

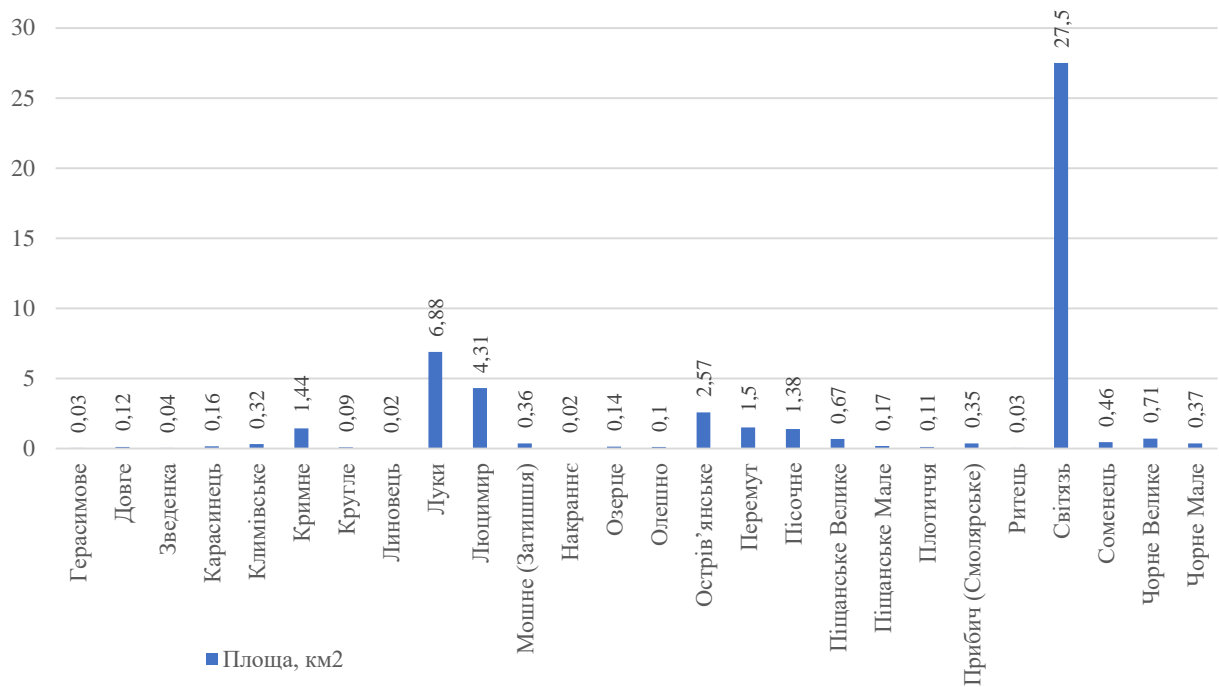


Рис. 2.8. Розподіл озер досліджуваної території за площею за даними [29]

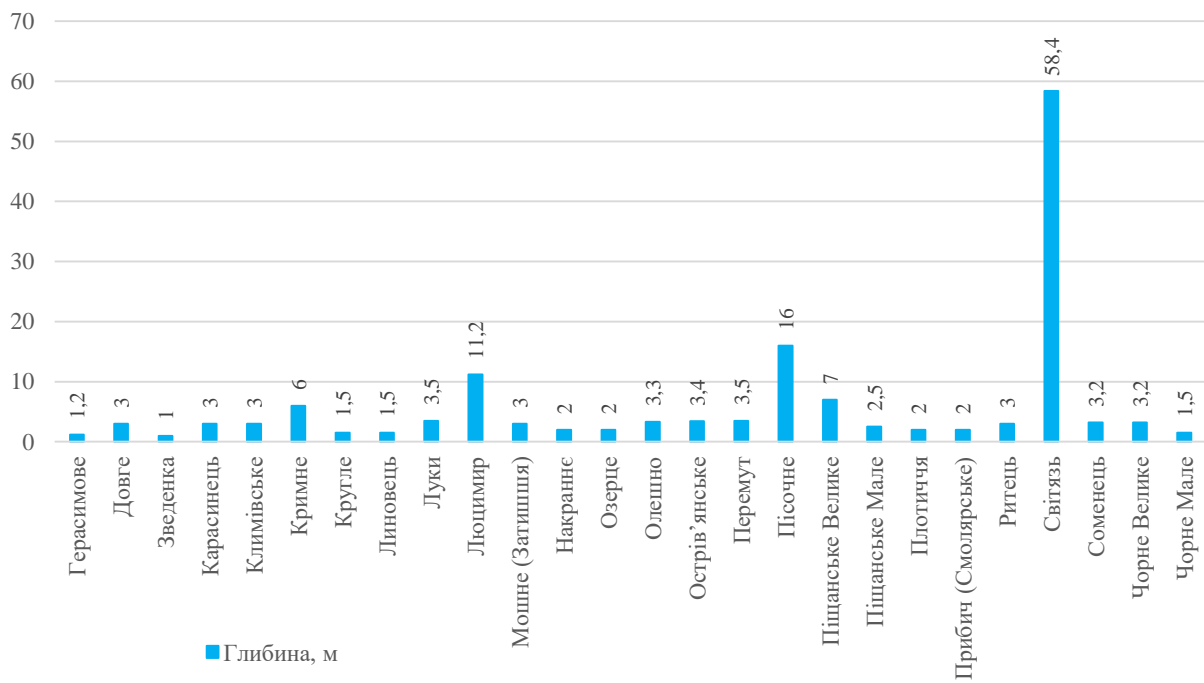


Рис. 2.8. Розподіл озер досліджуваної території за глибиною за даними [29]

За джерелами живлення озера Шацького поозер'я поділяються на групи: атмосферно-напірного (Чорне Велике, Світязь, Люцимер), атмосферно-грунтового (Пулемецьке, Острів'янське, Луки) та атмосферно-притокового живлення (Кримне) [10].

За водним балансом озера Шацького поозер'я поділяються на стічні та безстічні. Стічні озера, крім випаровування, мають втрати через поверхневий і підземний стік (табл. 2.4, рис. 2.10). Безстічні озера не мають втрат за рахунок підземного та поверхневого витоку. Розрахунки водного балансу озер регіону (рис. 2.11), проведені І.Ю. Наседкіним та Г.П. Рябцевою, показують, що час повного заміщення води в озерах коливається від 1,1 року (Кримне) до 7-8 років (Світязь) [29].

Таблиця 2.4.

## Показники водообміну озер [29]

Параметр водообміну	Разом	Озера: показники водообміну, млн м <sup>3</sup> /рік							
		Луки	Люцимир	Чорне Велике	Світязь	Острі-в'янське	Пулемецьке	Кримне	Пісочне
Прихід									
Опади	33,0	3,7	2,3	0,4	14,8	1,3	8,8	0,7	1,0
Поверхневий притік	12,7	1,3	1,9	–	2,7	–	1,4	4,2	0,2
Підземний притік	10,7	1,3	1,4	0,2	5,6	0,3	1,7	–	0,2
Разом	56,4	6,3	6,6	0,6	23,1	1,6	11,9	4,9	1,4
Витрати									
Опади	37,3	4,1	2,6	0,5	16,6	1,6	9,9	0,9	1,1
Поверхневий відтік	10,7	1,0	4,2	0,1	1,2	0,1	–	4,1	–
Підземний відтік	9,7	1,2	0,3	0,2	5,7	–	2,1	0,2	–
Разом	57,7	6,3	7,1	0,8	23,5	1,7	12,0	5,2	1,1
Час заміни об'єму води в озерах, років									
Загальна	–	2,1	2,9	3,8	7,8	3,7	6,0	1,1	3,9
За рахунок поверхневого і підземного притоку	–	5,0	4,4	11,5	21,7	19,6	23,2	1,4	13,7
За рахунок підземного притоку	–	10,0	13,6	11,5	32,1	19,6	42,3	–	27,5

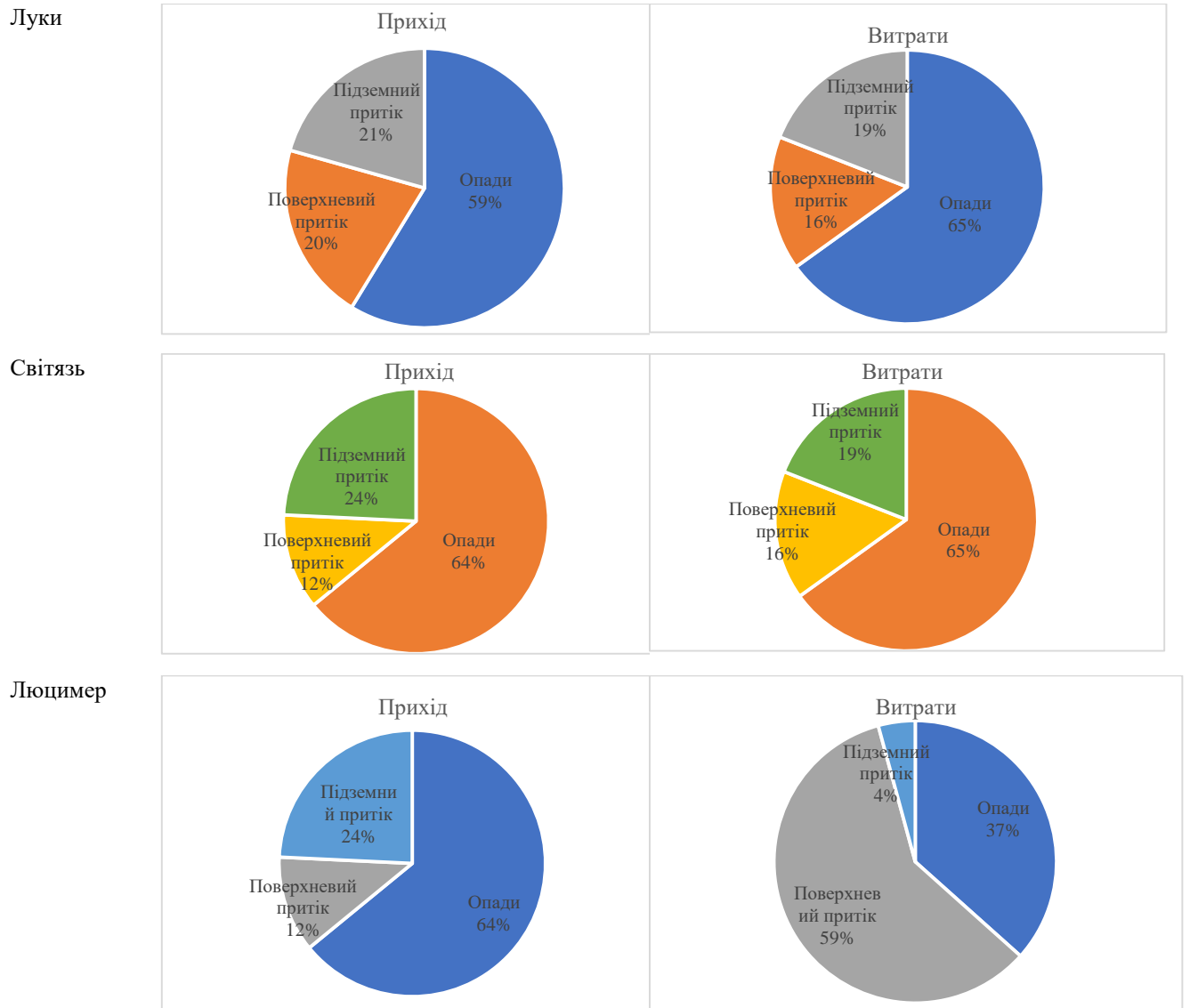


Рис. 2.10. Структура водного балансу окремих озер за даними [29]

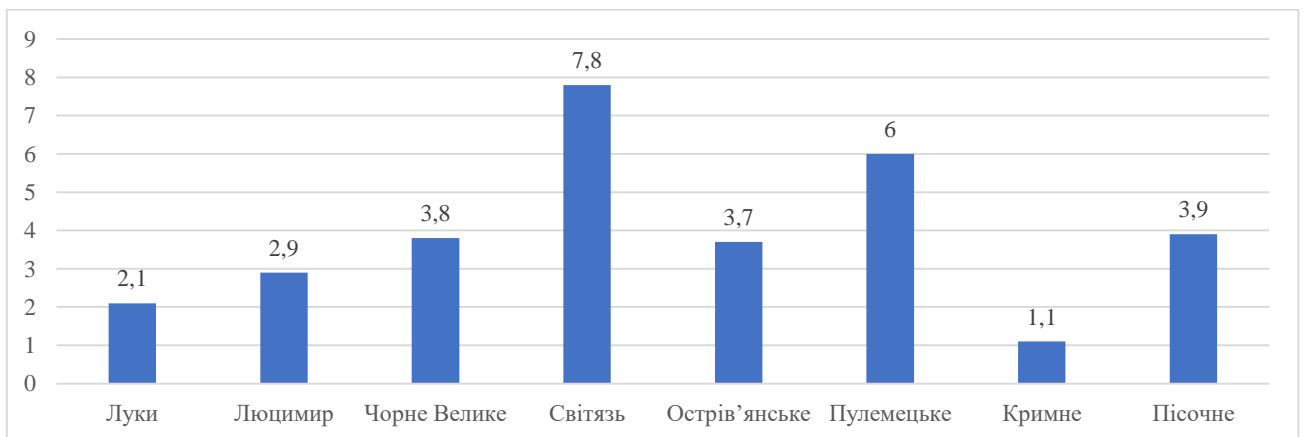


Рис. 2.11. Час повного водообміну в озерах, років за даними [29]

Спостереження за рівневим режимом систематично проводиться лише на оз. Світязь. Неперервний ряд спостережень охоплює часові проміжки 1929-55 рр., а також з 1970 р. по теперішній час. Річна амплітуда коливань рівня води в озері в середньому становить 0,2-0,4 м, максимальна – 0,55-0,6 м (табл. 2.5). У 1940-х рр. спостерігалось незначне зниження рівня води, що, ймовірно, було пов'язано з геоструктурними процесами, а не з меліоративними роботами, які в той час ще не проводились [29]. Чергове значне зниження рівня води в Світязі зафіксовано в 2019 р. Тоді, за даними Шацького НПП, рівень води впав до 38 см над умовним рівнем, а вода від берега відійшла на 20-90 м. Основні причини обміління Світязю: кліматичні умови, інтенсивне водокористування, застаріла та неефективна меліоративна система, можливий вплив Хотиславського кар'єру, недосконалість управління та недотримання водного законодавства [32]. Для порівняння у березні 2024 р. рівень Світязя становив 181 см над умовним рівнем, максимум 190 см зафіксовано у 1982 р. Серед чинників, які зіграли важливу роль в повноводності озера у 2024 р. – понаднормова кількість опадів і ремонт гідротехнічної споруди, який відбувся кілька років тому за кошти обласного бюджету. Більшість озер досліджуваної території мають уповільнений водообмін, тобто є малопроточними. Найбільш уповільненіший водообмін у глибоких озерах зі складними улоговинами (Світязь, Пулемецьке, Чорне Велике, Пісочне, Люцимир, Острів'янське) [29].

Таблиця 2.5

Результати визначення характерних середньорічних рівнів води Шацьких озер, приведених до рівня води оз. Світязь за Л.В. Ільїним, 2008 [10]

Рівень, м абс.	Озеро							
	Світязь	Пуле- мецьке	Острів'я- нське	Луки	Пісочне	Кримне	Люцимир	Чорне Велике
Середній багаторічний	163,40	162,70	162,62	161,88	162,24	161,36	164,59	164,87
Найвищий	163,87	163,23	163,44	162,95	162,98	162,13	165,20	165,50
Найнижчий	162,97	162,21	161,87	160,91	161,56	160,65	164,03	164,30
Амплітуда рівнів, м	0,90	1,02	1,57	2,04	1,42	1,48	1,17	1,20

Загальні закономірності температурного режиму озер Шацького поозер'я відображають особливості помірно-континентального клімату регіону. Нагрівання та охолодження води в озерах відбувається повільніше, ніж повітря, через високу теплоємність та малу теплопровідність прісної води. Теплообмін реалізується за рахунок вітрового перемішування та конвекції [28].

Температурний режим має значний вплив на процеси, що відбуваються в озерах, зокрема, вертикальне перемішування води та вміст кисню. Для озер регіону характерна пряма та зворотна температурна стратифікація з чітким розшаруванням на епілімніон, металімніон та гіполімніон. Влітку в епілімніоні вода прогрівається до 18-23°C, в металімніоні (2-3 м) спостерігається різке зниження температури на 6°C, в гіполімніоні – 8-12°C. Взимку температура поступово збільшується від поверхні до дна. Навесні та пізньої осені в озерах спостерігається гомотермія. Оз. Світязь характеризується чітко вираженою прямою температурною стратифікацією влітку, зворотною взимку та гомотермією навесні і восени. Максимальна температура поверхні води (до 24,5°C) спостерігається в липні-серпні [29].

Процес льодоутворення на озерах розтягується в часі: замерзання починається в середині грудня в прибережних захищених ділянках, а стійкий льодовий покрив у центральній частині формується в кінці січня. Тривалість льодоставу – 30-90 днів, в окремі роки Світязь може взагалі не замерзати [10].

Згідно з класифікацією О.О. Алекіна, озера Полісся за складом головних іонів у їх воді відносяться до гідрокарбонатно-кальцієвого типу (гідрокарбонатний клас групи кальцію –  $\text{CaHCO}_3$ ). Іонно-сольовий склад води зумовлений, переважно, природними особливостями регіону та залежить від хімічного складу поверхневих відкладів і ґрунтів. Основним джерелом іонно-сольового складу підземних вод, а отже й озерних вод, є мергельно-крейдяні породи. Саме цим визначається чіткий гідрокарбонатно-кальцієвий характер хімічного складу води в озерах [12].

У Шацькому поозер'ї сформувався складний строкатий комплекс різновидів ґрунтового покриву. Переважають дерново-підзолисті, торфові і дернові ґрунти. Дерново-підзолисті глеюваті супіщані та легкосуглинкові ґрунти розташовані на підвищених ділянках рельєфу. Характерними їх особливостями є наявність горизонтів вимивання колоїдів та оксидів, а також підвищена кислотність. Верхній шар цих ґрунтів слабо гумусований і бідний на поживні речовини, з дуже кислою реакцією ґрунтового розчину (рН 4,2-4,4). Торфові ґрунти найбільш поширені вздовж р. Копаївки від півдня оз. Луки до с. Хрипськ. Вони утворилися в умовах надмірного зволоження, класифікуються за потужністю торфового шару: торфовисто-болотні (10-20 см), торфово-болотні (20-50 см), малопотужні торфовища (50-100 см), середньопотужні торфовища (100-150 см) та потужні торфовища (більше 150 см). Торф має темно-коричневе забарвлення і слабкий або середній ступінь розкладу. Дернові ґрунти поширені на луках в межах заплав річок [29].

В природному рослинному покриві переважають широколистяні та мішані ліси, серед яких зустрічаються рідкісні реліктові рослинні угруповання. Навколо озер поширені болотні масиви та заплавні луки [28].

Фауна Шацького поозер'я вирізняється високим біологічним різноманіттям. Тут мешкають понад 60 видів ссавців, 200 видів птахів, 30 видів риб, а також багато видів земноводних, плазунів та безхребетних, частина з яких занесена до Червоної книги України [20].

З точки зору фізико-географічної диференціації переважаючими природними комплексами в межах Шацького поозер'я є зандрові рівнини з зеленомоховими і чорничниковими сосняками з домішкою дрібнолистяних порід на дерново-слабо і середньопідзолистих ґрунтах, частково розорані, які поширені на півночі та півдні досліджуваної території та денудаційні рівнини, складені карбонатними породами і перекриті водно-льодовиковими відкладами з різнотравно-злаково-осоковими луками і дубово-сосновими лісами на дернових-



карбонатних і дерново-слабопідзолистих ґрунтах, частково розорані, які поширені в центрі, на заході та сході досліджуваної території [2].

З метою збереження унікальних природних комплексів Шацького регіону тут створено Шацький національний природний парк. Окремі території також мають статус регіональних ландшафтних парків, заказників та пам'яток природи. За інформацією на сайті Шацького НПП: «...парк був створений Постановою Ради Міністрів УРСР від 28 грудня 1983 р. на площі 32515 га для збереження унікальних природних комплексів, які мають особливу природоохоронну, оздоровчу, історико-культурну, наукову, еколого-освітню та естетичну цінність. Почав функціонувати з 1 квітня 1984 р. Указом Президента України від 16 серпня 1999 р. площу парку, як одну з ключових природних екосистем національної екомережі природо-охоронних територій Західнополіського регіону України, збільшено до 48977 га. Впродовж більш як тридцятирічного функціонування національний парк здобув визнання не тільки на національному, а й на міжнародному рівні. 1995 рік — водно-болотні угіддя Шацького НПП в рамках Рамсарської конвенції віднесені до ІВА територій, що мають міжнародне значення, головним чином, як середовище існування водоплавних птахів. Протягом весняно-осінніх міграцій на озерах нараховують понад 80 тисяч водоплавних птахів. 2002 рік – рішенням 17-ї сесії Бюро координаційного Комітету ЮНЕСКО МАБ парку було надано статус біосферного резервату «Шацький». 2012 рік – за програмою ЮНЕСКО МАБ, створено міжнародний трилатеральний біосферний резерват «Західне Полісся», до складу якого увійшли біосферні резервати «Шацький» (Україна), «Західне Полісся» (Польща) та «Прибузьке Полісся» (Білорусь). Транскордонний біосферний резерват «Західне Полісся» у світовому вимірі слугуватиме одним з головних об'єктів збереження ландшафтного та біологічного різноманіття не тільки у межах Полісся, а й Центральної та Східної Європи» [5].

Окрім значної міжнародної ролі як частини трилатератного біосферного резервату, Шацьке поозер'я відіграє також ключову роль як ядро екологічної мережі міжнародного значення [14, 15] (рис. 2.12) і як водно-болотне угіддя міжнародного значення "Шацькі озера" – територія Смарагдової мережі Європи UA0000025 "Шацький національний природний парк". Тут мешкає 57 видів рослин тварин, поширено 27 видів оселищ, занесених в додатки до Бернської конвенції. Район Шацьких озер також є важливою територією для збереження птахів (ІВА-територія). Площа природних ядер української частини ТБР "Західне Полісся" становить 5732 га, буферної зони – 12325 га, транзитної зони – 57018 га.

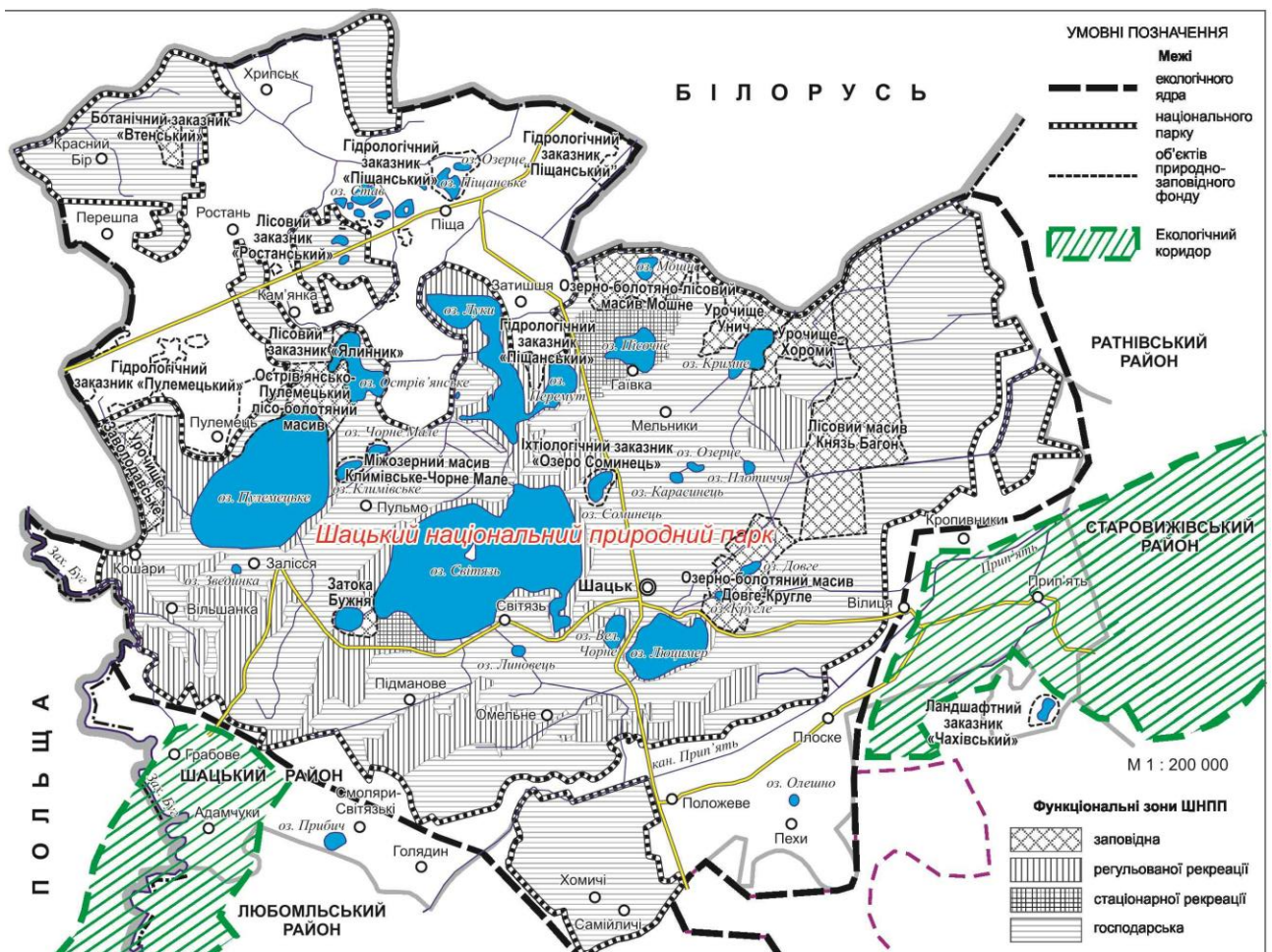


Рис. 2.12. Шацьке природне ядро в структурі екологічної мережі  
(за З.К. Карпюк, В.О. Фесюком, 2021) [15]

## 2.2. Господарське освоєння досліджуваної території

Більша частина Шацького поозер'я знаходиться в межах Шацької територіальної громади. Громада відноситься до спроможних і досить амбітних. Вона має тенденцію росту до меж колишнього Шацького району. Зараз Шацька ТГ перебуває на стадії розробки Комплексного плану просторового розвитку громади у співпраці із U-LEAD. Розроблена Концепція інтегрованого просторового розвитку Шацької селищної об'єднаної територіальної громади. Площа громади становить 307,5 км<sup>2</sup>, населення 8785 чол., до складу входить 11 населених пунктів: 10 сіл та 1 смт. Центр громади – смт Шацьк знаходиться на відстані 150 км від центру Волинської області (м. Луцька) та за 70 км від значного регіонального центру – крупного залізничного вузла – м. Ковель [20].

В структурі зайнятості населення найбільша частка припадає на оптову та роздрібну торгівлю (64%), готельне господарство – 9%, сільське господарство – 5%, інші галузі – 22%. На території громади відсутні великі підприємства, на середні підприємства припадає лише 2% від загальної кількості, інші 98% – це малі підприємства. Також відсутні значні забруднювачі довкілля. Фактично основними забруднювачами є сільське господарство та комунальна сфера. Загалом, чисельність населення громади має тенденцію до зменшення. Близько 15% працездатного населення працює за кордоном [20].

Більше 80% території громади знаходиться в межах Шацького НПП, основною метою діяльності якого є охорона Шацької групи озер. На території громади нині повністю або частково знаходяться озера: Світязь, Люцимер, Чорне, Кругле, Довге, Карасинець, Соминець, Пісочне, Кримне, Перемут, Плотиччя, Озерце та ще ряд менших озер. На території, що на перспективу буде включена до складу громади, знаходиться також Пулемецьке озеро [5].

## ІНТЕГРОВАНА КАРТА

### Умовні позначення

- Межі Громади
- Державний кордон
- Селища
- Сільські населені пункти
- Розплановані території без використання
- Залісені території

### Розвиток інфраструктури

- Дороги, що плануються збудувати (реконструювати)
- Основні дороги, що підлягають ремонту
- Основні дороги, дороги до курортних зон (існуючі)
- Під'їзні дороги, проїзди, вулиці
- Основний автопарк через територію громади

### Велоінфраструктура

- Території відновлення мелоративних систем
- Влаштування світлофорного регулювання
- Полігон ТПВ (модернізація)
- Станція водозабору з обеззалізненням (модернізація)
- Водочисні споруди (модернізація)
- Створення транспортних об'єктів
- Встановлення світлофору
- Туристичний веломаршрут

### Туризм та екологія

- Рекреаційні зони (існуючі)
- Рекреаційні зони (перспектива)
- Територія розвитку туристичних об'єктів
- Розвиток альтернативного туризму
- Розвиток подорожного туризму
- Облаштування і розвиток громадських просторів
- Водні канали (відновлення)

### Економіка

- Розвиток промисловості та енергетики
- Розвиток виробництва злакових (розвиток)
- Розвиток виробництва ягід (розвиток)
- Лісова продукція (ягоди, гриби)
- Фокусна зона
- Об'єкти соціальної сфери (перспектива розвитку)
- Територія перспективного будівництва

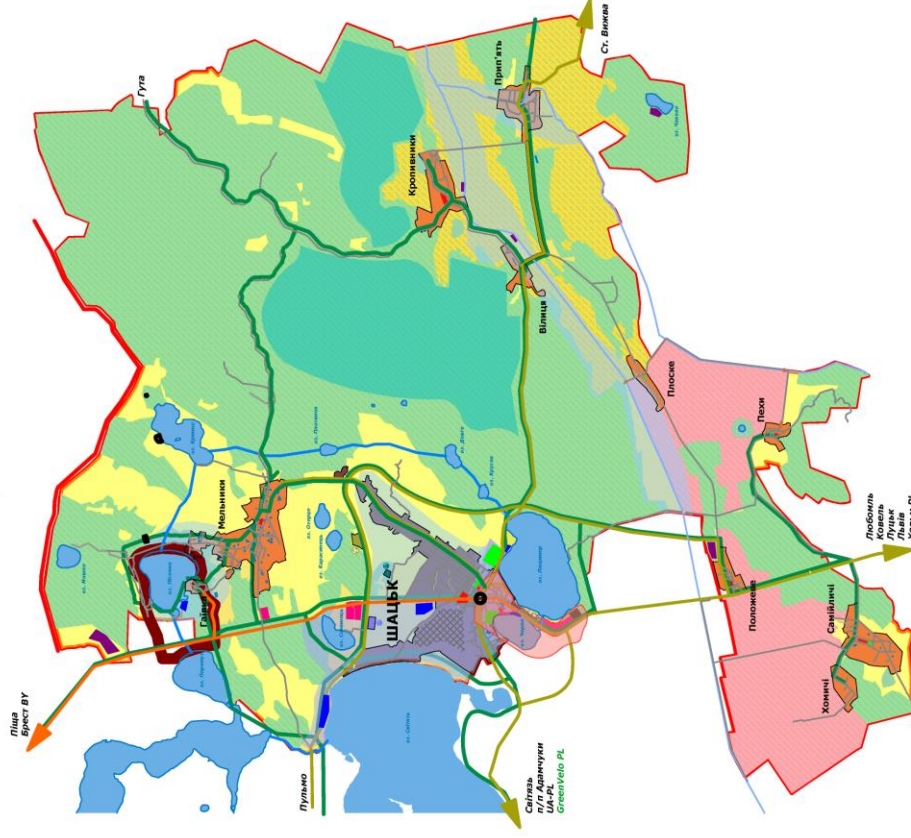


Рис. 2.13. Інтегрована картосхема до плану просторового розвитку Шачької територіальної громади (за матеріалами Концепції інтегрованого просторового розвитку Шачької селищної об'єднаної територіальної громади) [20]

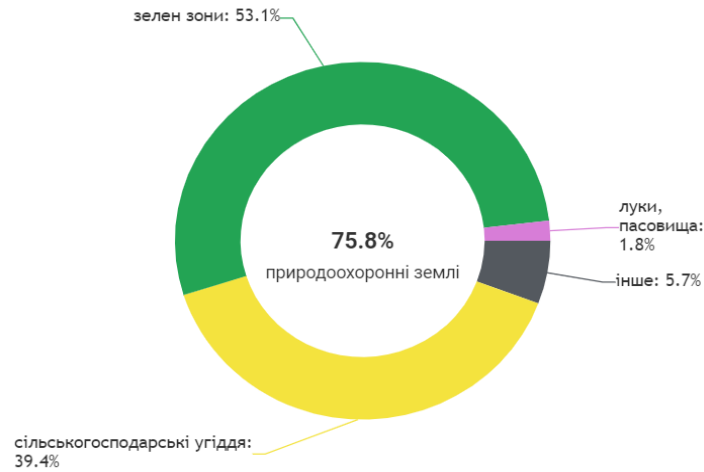


Рис. 2.14. Структура використання земель в межах громади [20]

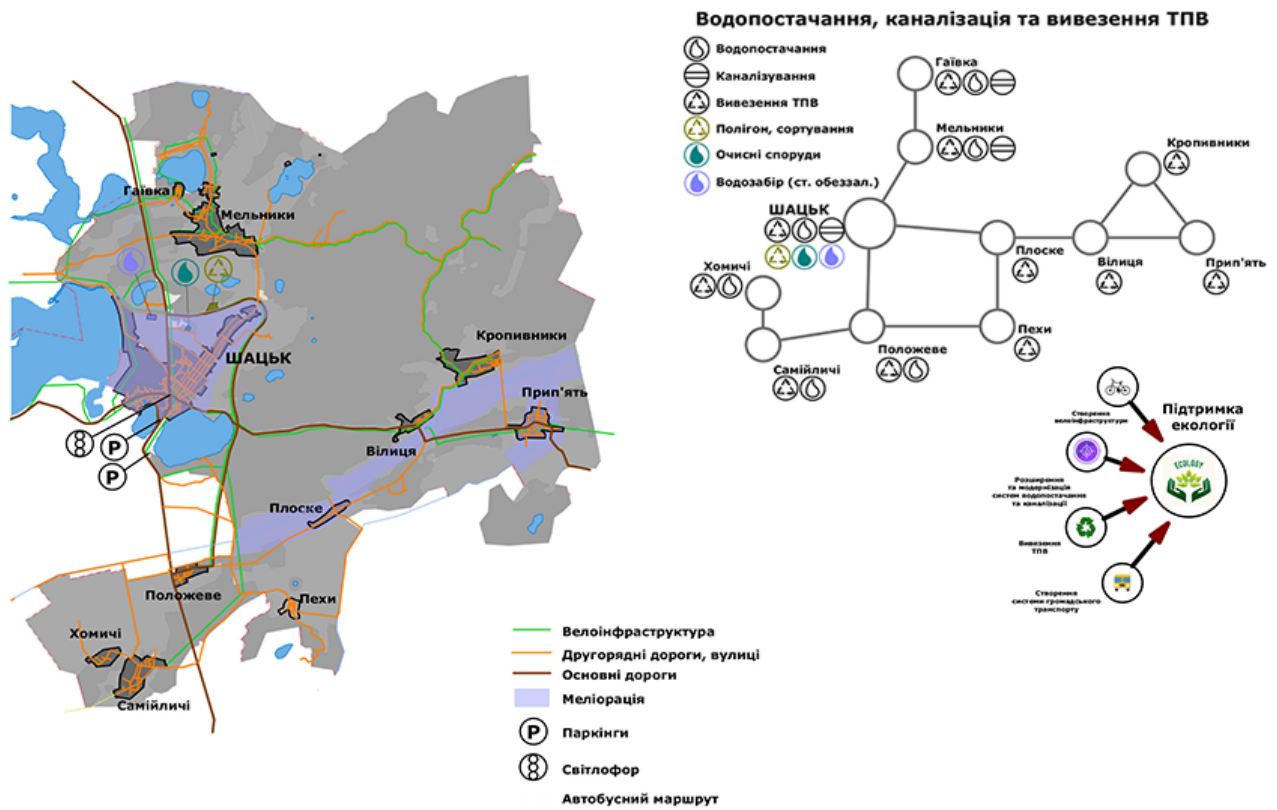


Рис. 2.15. Комунальна інфраструктура в межах громади (за матеріалами Концепції інтегрованого просторового розвитку Шацької ТГ) [20]

В структурі використання земель громади (рис. 2.14) лісовкриті землі становлять 53,1%, сільськогосподарські землі – 39,4%, луки і пасовища – 1,8%, інші землі (включно селитебні) – 5,7% [18].

Станом на момент розробки Концепції інтегрованого просторового розвитку лише 6% мешканців смт Шацьк забезпечено каналізацією та водопостачанням. Але триває реалізація міжнародного проекту по каналізуванню населених територій поблизу озер, а тому на перспективу ця кількість значно зросте. Вивезення твердих побутових відходів здійснюється на полігон ТПВ смт Шацьк. На території громади організовано збір та вивезення ТПВ з приватних домогосподарств [20].

Меліоративні системи на теренах громади перебувають не в дуже хорошому стані та потребують реконструкції та/ або ренатуралізації.

### 2.3. Екологічні проблеми Шацької ТГ

В ТГ розроблена та діє Програма охорони навколишнього природного середовища Шацької селищної територіальної громади на 2023-2025 роки [30]. У цьому документі констатується, що екологічний стан громади – стабільний, виділені наступні екологічні проблеми, що стоять перед громадою (рис. 2.16).

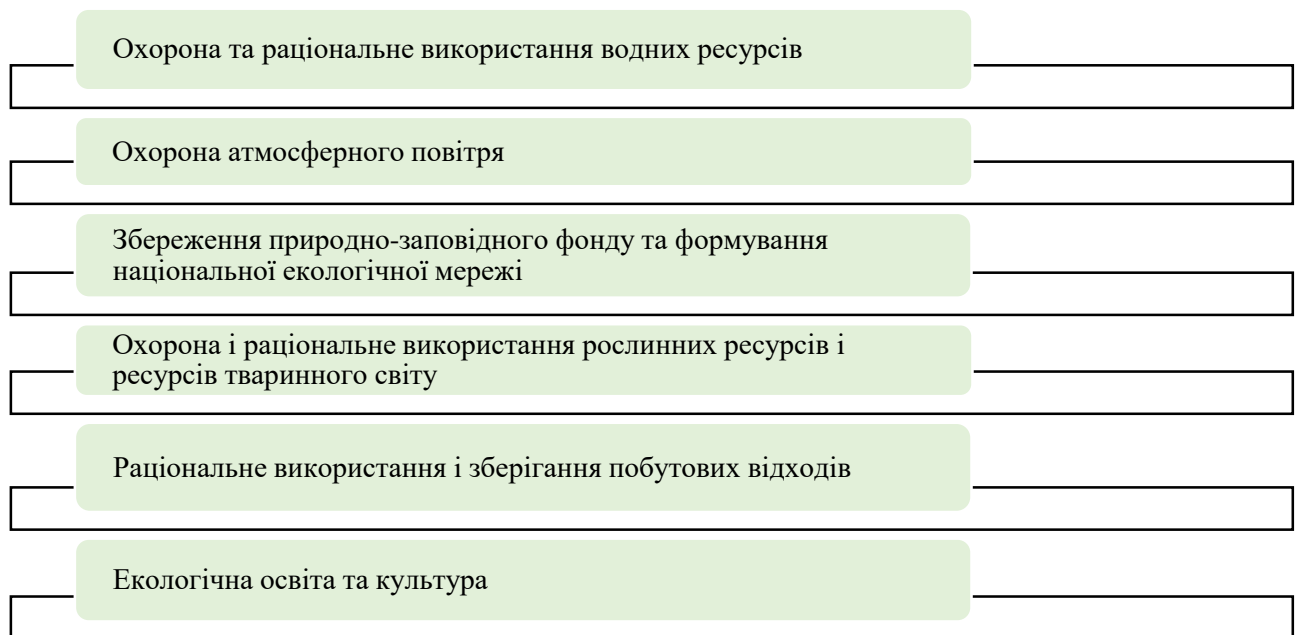


Рис. 2.16. Напрямки вирішення екологічних проблем, визначені Програмою [30]

З врахуванням особливостей природного довкілля та господарства громади, найважливішою із проблем є необхідність поліпшення гідроекологічного стану водних об'єктів. Програма визначає «...основними проблемами цієї ланки: незадовільний технічний стан та високий рівень зношеності основних фондів системи водовідведення та водопостачання; застосування застарілих технологій та обладнання у водопровідно-каналізаційних системах; низький рівень використання установлених виробничих потужностей централізованих систем, що потребує їх оптимізації та модернізації; надмірне енергоспоживання, високий рівень витоків та неврахованих втрат води та інші. Найскладнішим у фінансовому відношенні є питання будівництва, реконструкції об'єктів зливової каналізації, які належать до комунального майна. У зв'язку з цим, основними джерелами фінансування заходів із забезпечення нормативної якості водних ресурсів залишаються бюджетні кошти у відповідному пайовому співвідношенні, запозичення органів місцевого самоврядування з можливістю їх компенсації через міжнародні гранти, а також пайова участь окремих водокористувачів на договірних умовах з місцевими радами...» [30].

Також дуже важливим напрямком Програми є збереження природно-заповідного фонду та формування національної екологічної мережі. Заходи слід спрямовувати на упорядкування територій ПЗФ, створення нових меж та розширення наявних природно-заповідних об'єктів; охорону біорізноманіття [30].

З цим напрямком тісно пов'язана й необхідність охорони і раціонального використання рослинних ресурсів і ресурсів тваринного світу. Адже останнім часом збільшилась заготівля деревини, в результаті господарської діяльності значно погіршились умови існування рідкісних тварин, які занесені до ЧКУ, фіксуються випадки браконьєрства тощо.

В контексті раціонального використання і зберігання побутових відходів згідно Програми «...необхідно здійснити коригування системи роздільного

збирання ТПВ, недостатня кількість контейнерів та машин для перевезення і складування ТПВ, у зв'язку із збільшенням кількості населених пунктів, що обслуговуються. Пріоритетом у поводженні з відходами має стати діяльність, спрямована на зменшення утворення відходів, роздільне збирання твердих побутових відходів і залучення відходів у процеси виробництва як ресурсів сировини та енергії...» [30].

В напрямку розвитку екологічної освіти та культури Програма передбачає [30]: популяризацію екологічних знань через ЗМІ, роботу з школярами на екологічних уроках, організацію екологічних гуртків, проведення конкурсів і вікторин, створення рекреаційних, інформаційних пунктів та екологічних стежок, проведення екологічних акцій, розповсюдження літератури на екологічну тематику, встановлення аншлаків, панно, куточків охорони природи та здійснення видавничої діяльності.



## РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛІМНОСИСТЕМ

### 3.1. Екологічна оцінка якості води озер

Екологічну оцінку якості води зі всіх озер можна провести лише для тих, на яких проводився гідроекологічний моніторинг. Зокрема, для озер: Люцимер, Пісочне, Перемут, Світязь, Пулемецьке, Лука та Чорне Велике (табл. 3.1).

Екологічна оцінка якості води виконана згідно Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями, розробленої В.Д. Романенком, В.М. Жукінським, О.П. Оксіюком, А.В. Яциком (1998) [23].

Згадана методика передбачає, що якість води є результатом функціонування водних екосистем, оскільки формується внаслідок взаємодії їх абіотичних і біотичних компонентів. Тому екологічна оцінка якості води несе інформацію про стан водних об'єктів. Зміни якості води відображають зміни екологічного стану водних об'єктів під дією природних та антропогенних чинників [23].

Система екологічної оцінки якості поверхневих вод включає три блоки показників [23]:

- показники сольового складу;
- трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники;
- специфічні показники токсичної і радіаційної дії.

Оцінка сольового складу поверхневих вод суші передбачає [23]:

- 1) визначення класу, групи і типу вод за співвідношенням основних іонів;
- 2) оцінку якості прісних вод за вмістом компонентів сольового складу, що відбиває ступінь їх антропогенного забруднення хлоридами, сульфатами та іншими іонами.

Трофо-сапробіологічна (еколого-санітарна) оцінка якості поверхневих вод

проводиться за такими групами показників [23]:

- 1) гідрофізичні – завислі речовини, прозорість;
- 2) гідрохімічні – рН, азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, фосфор, фосфати, розчинений кисень, перманганатна та біхроматна окислюваність, біохімічне споживання кисню;
- 3) гідробіологічні – біомаса фітопланктону, індекс самоочищення;
- 4) бактеріологічні – чисельність бактеріопланктону та сапрофітних бактерій;
- 5) біоіндикація сапробності – індекс сапробності Пантле-Бука.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші за специфічними показниками токсичної дії проводиться за вмістом у воді таких інгредієнтів: ртуть, кадмій, мідь, цинк, свинець, хром, нікель, миш'як, залізо, марганець, фториди, ціаніди, нафтопродукти, феноли, синтетично поверхнево-активні речовини (СПАР), хлорорганічні та фосфорорганічні пестициди [23].

Конкретні гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні та специфічні кількісні показники є елементарними ознаками якості води. Комплексні кількісні ознаки, що побудовані шляхом інтегрування елементарних ознак якості води, є узагальнюючими ознаками якості води. На основі елементарних і узагальнюючих ознак визначаються категорії та індекси якості води, зони і підзони сапробності, категорії і підкатегорії трофності [23].

Система екологічної оцінки якості поверхневих вод передбачає вісім категорій якості води: I – відмінна, II – добра, III – досить добра, IV – задовільна, V – посередня, VI – погана, VII – дуже погана, VIII – занадто погана. Категорії якості води відображають природний стан, а також ступінь антропогенного забруднення вод [23].

За ступенем забруднення виділяють такі категорії: I – дуже чиста, II – чиста, III – досить чиста, IV – слабо забруднена, V – помірно забруднена, VI – сильно забруднена, VII – брудна, VIII – дуже брудна [23].

За трофо-сапробіологічними показниками вони відповідають певним категоріям трофності і підзонам сапробності: I – оліго-мезотрофна,  $\beta$ -олігосапробна; II – мезотрофна,  $\alpha$ -олігосапробна; III – мезоевтрофна,  $\beta'$ -олігосапробна; IV – евтрофна,  $\beta''$ -мезосапробна; V – політрофна,  $\alpha'$ -мезосапробна; VI – політрофна,  $\alpha''$ -мезосапробна; VII – полігіпертрофна,  $\beta$ -полісапробна; VIII – гіпертрофна,  $\alpha$ -полісапробна [23].

Екологічна оцінка якості поверхневих вод України може виконуватись:

- у спрощеному вигляді, з кінцевим результатом у вигляді екологічного індексу;
- у розгорнутому вигляді, з відображенням всіх аспектів стану якості води.

Спрощена екологічна оцінка якості води проводиться за формулою [23]:

$$I_E = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (3.1)$$

де:  $I_1$  – індекс вмісту компонентів сольового складу в прісних водах;  $I_2$  – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;  $I_3$  – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

За блоком показників сольового складу (табл. 3.1) першою категорією якості оцінюється вода оз. Люцимер, четвертою категорією – оз. Пісочне, Перемут, Линовець; шостою і сьомою категорією – оз. Світязь, Пулемецьке, Луки, Чорне Велике. За вмістом сульфатів водні до четвертої категорії віднесено оз. Світязь, а всі інші – п'ятої та шостої категорії. За сумою іонів вода озер відноситься до третьої та четвертої категорій, а в оз. Пулемецькому, Луки, Чорному Великому – до шостої категорії. За мінералізацією вода всіх озер оцінюються першою категорією [16].

За трофо-сапробіологічними показниками вода оз. Пулемець і Перемут оцінена II класом і 2 категорією, оз. Світязь, Люцимер, Луки, Чорне Велике – III класом і 4 категорією; оз. Пісочне – III класом і 5 категорією [16].

Таблиця 3.1

Екологічна оцінка якості води Шацьких озер  
(за матеріалами гідрохімічного моніторингу ШНПП, опублікованих в [16])

Назва водних об'єктів	I <sub>с</sub>	Клас води	Категорії води	Блокові індекси			Критичні показники, мг/дм <sup>3</sup>			Якість води за ступенем чистоти (забрудненості)
				I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>				
Перемут	3,03	III	3	4,33	1,75	3,0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	БСК <sub>5</sub>	F <sup>-</sup>	чисті, досить чисті
							23,2	3,9	0,65	
Люцимер	3,64	III	3-4	3,33	4,0	3,60	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	чисті, слабозабруднені
							56,5	1,23	0,83	
Світязь	4,07	III	4	4,33	3,88	4,0	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	забруднені, слабозабруднені
							37,7	0,03	0,55	
Пулемецьке	4,10	III	4	6,0	2,5	3,8	Cl <sup>-</sup>	БСК <sub>5</sub>	F <sup>-</sup>	забруднені, слабозабруднені
							64,5	2,5	0,59	
Луки	4,38	III	4(5)	5,33	4,0	3,8	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	забруднені, помірно забруднені
							37,7	0,015	0,67	
Пісочне	4,43	III	4(5)	3,33	4,75	5,20	Cl <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F <sup>-</sup>	забруднені, помірно забруднені
							17,7	0,7	2,01	
Чорне Велике	5,08	III	5	6,33	4,50	4,40	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	забруднені, помірно забруднені
							106	1,23	0,8	
Линновець	4,67	III	4-5	4,66	3,75	5,60	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	O <sub>2</sub>	Cu <sup>2+</sup>	забруднені, помірно забруднені
							33,6	4,17	0,2	

За вмістом специфічних речовин води озер віднесені до: оз. Перемут – II класу 3 категорії, оз. Світязь, Люцимер, Пулемецьке, Лука і Чорне Велике – III класу 4 категорії, оз. Пісочне – III класу 5 категорії, оз. Линновець – III класу 6 категорії.

За сумарним екологічним індексом (I<sub>с</sub>) С.В. Ковальчук (2022) в роботі [16] поділив всі вище згадувані озера на 4 групи:

1. Оз. Перемут (I<sub>с</sub> = 3,03), – II клас, 2-3 категорія, за природним станом води «добрі», за ступенем чистоти – «чисті», «досить чисті».

2. Оз. Люцимер (I<sub>с</sub> = 3,64) – III клас, 3-4 категорія, за природним станом води «добрі», «задовільні», за ступенем чистоти – «чисті», «слабозабруднені».

3. Оз. Світязь ( $I_e = 4,07$ ), Пулемецьке ( $I_e = 4,1$ ) – III клас, 4-5 категорія, за природним станом – «задовільні», «посередні», за ступенем чистоти – «забруднені», «помірно забруднені».

4. Оз. Луки ( $I_e = 4,38$ ), Пісочне ( $I_e = 4,43$ ), Линовець ( $I_e = 4,67$ ), Чорне Велике ( $I_e = 4,08$ ) – III клас, 5 категорія, за природним станом – «задовільні», «посередні», за ступенем чистоти – «забруднені», «помірно забруднені».

Порівняння результатів аналізів якості води озер у 2009 р. та 2020 р. дозволило зробити висновок, що за трофо-сапробіологічними показниками якість води озер погіршилась. Це пов'язано із надмірним рекреаційним використанням озер та збільшенням концентрації органічних забрудників у їх воді.

### **3.2. Оцінка евтрофікованості Шацьких озер**

Оцінка евтрофікованості Шацьких озер та її динаміки проведена методами дистанційного зондування Землі згідно алгоритму дослідження процесів евтрофікації у водоймах сповільненого водообміну з використанням онлайн-сервісу EO Browser, зображеного на рис. 1.3. Спочатку проведено дослідження евтрофікації озер з використанням індексу NDVI (рис. 3.1), за тим – NDCI (рис. 3.2), а далі – внутрішньорічної динаміки індексу NDVI протягом 2023 р. (рис. 3.3, 3.4). Для дослідження вибрані 9 озер Шацького НПП, для яких у табл. 3.1 наведені результати екологічної оцінки якості води.

Використання індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки евтрофікації озер із застосуванням методів дистанційного зондування Землі є найбільш поширеним. Цей індекс дозволяє ефективно оцінювати рівень евтрофікації озер із використанням супутникових даних. Він розраховується як різниця між відбиттям у червоному та інфрачервоному діапазонах, нормалізована на їх суму і відображає кількість зеленої рослинності на поверхні води, що напряму пов'язано з рівнем евтрофікації [45].

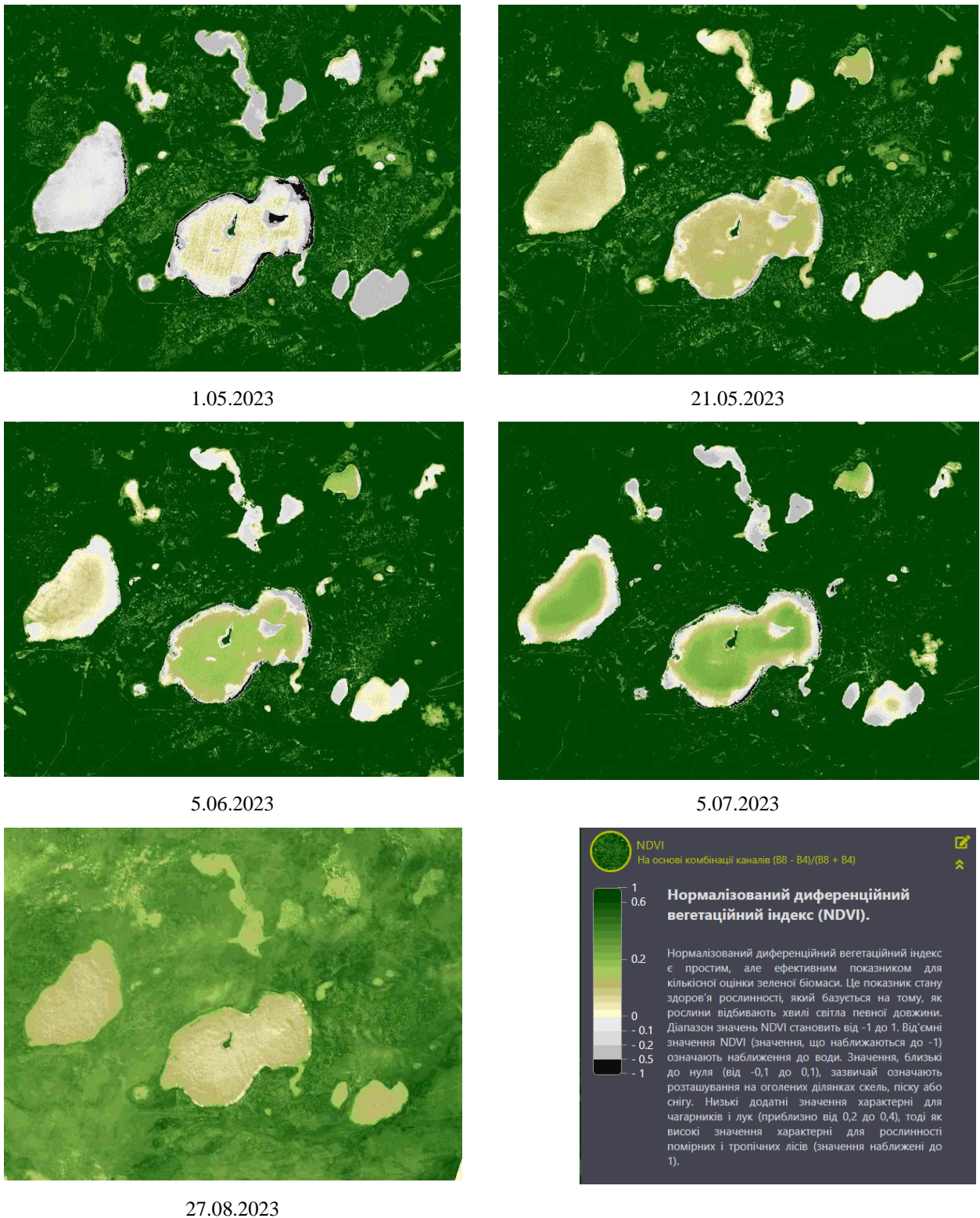
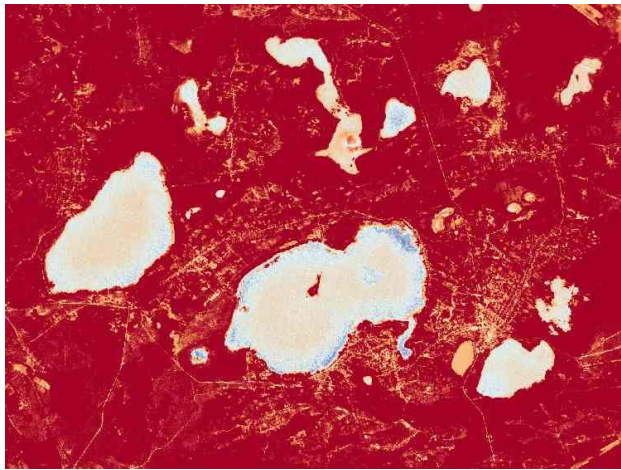
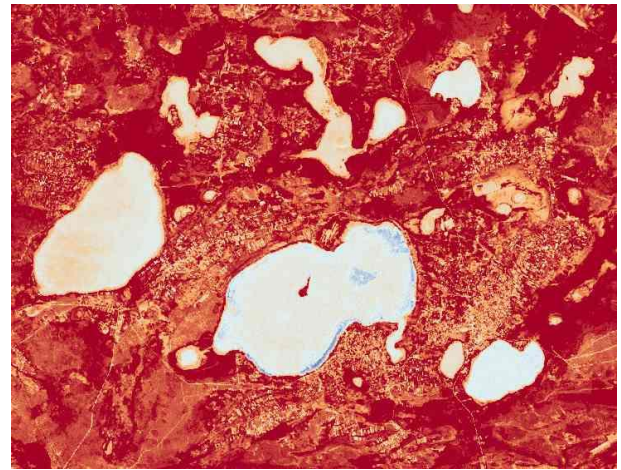


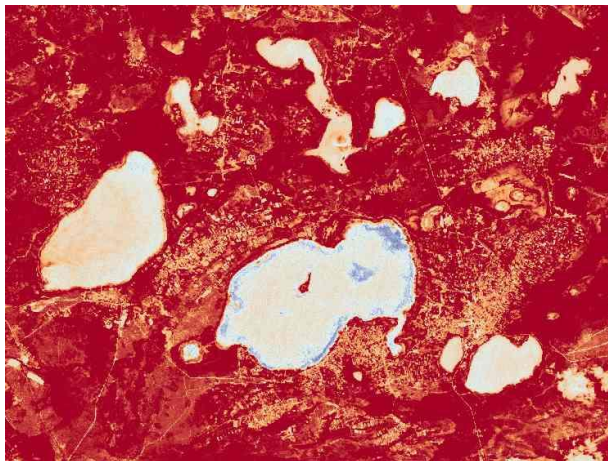
Рис. 3.1. Фрагменти різночасових супутникових знімків із розрахованими значеннями NDVI для досліджуваних озер (перелік озер в табл. 3.1) за даними <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>



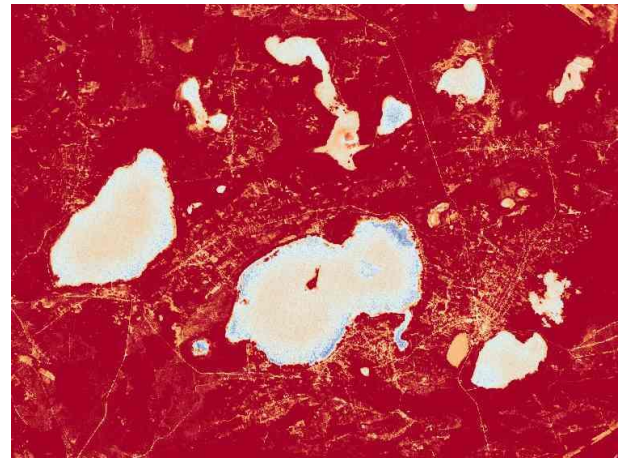
1.05.2023



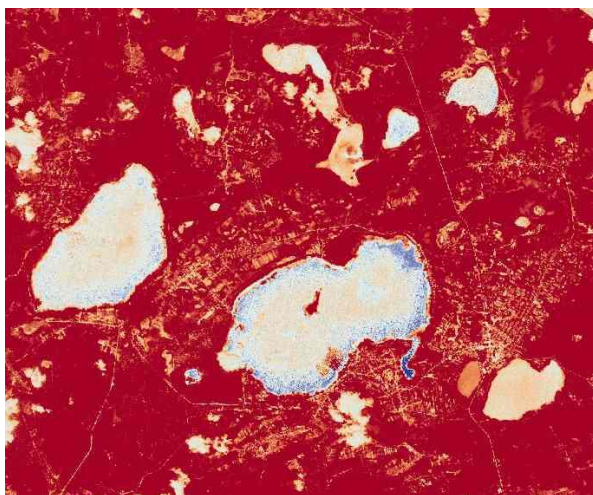
21.05.2023



5.06.2023



5.07.2023



27.08.2023

Рис. 3.2. Фрагменти різночасових супутникових знімків із розрахованими значеннями NDCI для досліджуваних озер (перелік озер в табл. 3.1) за даними <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Основні етапи застосування NDVI для моніторингу евтрофікації озер:

- отримання супутникових знімків території дослідження з відповідним просторовим, спектральним та часовим розрізненням;
- розрахунок NDVI для кожного пікселя зображення;
- аналіз просторового розподілу NDVI, тобто виявлення ділянок з високими значеннями, які відповідають зонам інтенсивного "цвітіння" води;
- кореляція отриманих NDVI-карт з даними наземних вимірювань вмісту біогенних речовин, хлорофілу, прозорості води для калібрування моделі.

Саме такий підхід дає змогу ефективно виявляти і картографувати зони евтрофікації в межах акваторій озер, що складно виконати наземними методами. Власне це й робить дані ДЗЗ незамінним інструментом для моніторингу стану озер та управління водними ресурсами.

Індекс NDVI для даних супутника Sentinel-2 розраховується за наступною формулою [45]:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}, \quad (3.2)$$

де: B8 – значення відбиття в 8-му каналі (ближній інфрачервоний діапазон) Sentinel-2, B4 – значення відбиття в 4-му каналі (червоний діапазон) Sentinel-2.

Аналізуючи супутникові знімки за різні дати з розрахованими значеннями NDVI (рис. 3.1) чітко видно:

- сезонну динаміку значень індексу протягом року, значення закономірно зростають з початку вегетаційного сезону до вересня, а потім зменшуються, що свідчить про очищення води;
- різний характер перебігу евтрофікаційних процесів для різних озер, одні з них більш уражені евтрофікацією, про що свідчать вищі значення індексу у раніші терміни, інші – менше уражені, відповідно вищі значення індексу спостерігаються у пізніші періоди.



Ще одним ефективним інструментом для моніторингу стану водойм є індекс NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index). Він також тісно пов'язаним з процесами евтрофікації. На відміну від NDVI, який відображає загальну кількість зеленої рослинності, NDCI більш специфічно оцінює концентрацію хлорофілу у воді. Формула розрахунку NDCI має вигляд [46]:

$$NDCI = \frac{B3 - B4}{B3 + B4}, \quad (3.3)$$

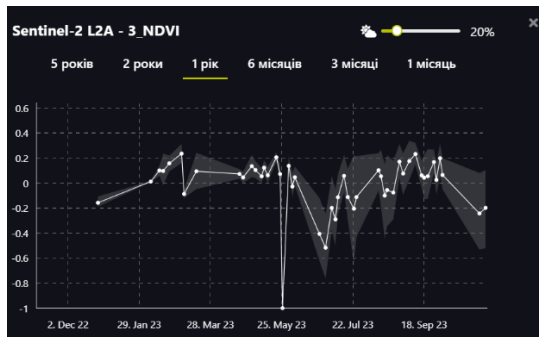
де: B3 – значення відбиття в зеленому діапазоні Sentinel-2, B4 – значення відбиття в червоному діапазоні Sentinel-2.

Високі значення NDCI вказують на підвищену концентрацію хлорофілу та, відповідно, активний розвиток фітопланктону у водоймі, що є ознакою евтрофікації [46].

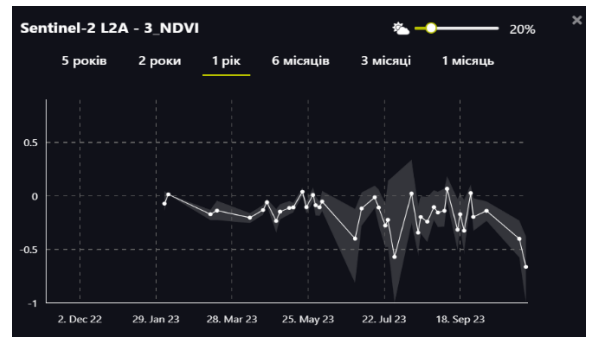
Основні етапи застосування NDCI для моніторингу евтрофікації озер аналогічні як і для індексу NDVI.

Аналізуючи сезонну динаміку індексу NDVI (рис. 3.3) слід відмітити, що для різних озер вона суттєво відрізняється. Так, наприклад, для оз. Линовець протягом року максимальні додатні значення індексу не перевищують 0,3 на початку березня та з кінця червня до кінця серпня. Вкінці травня значення індексу досягає -1, це мінімальне значення для всіх озер. Протягом червня-початку серпня значення індексу також від'ємні (до -0,5). Весь інший період – значення знаходяться в інтервалі від -0,2 до 0,2.

Для оз. Луки значення індексу протягом року або від'ємні в інтервалі -0,1;-0,6 або близькі до нуля. Додатні значення характерні лише в кінці травня, липня та весь серпень, досягають максимум 0,1. Для озера властива дуже низька варіабельність значень індексу. При цьому відсутні екстремальні значення індексу, характерні для окремих озер, наприклад, для попереднього озера.



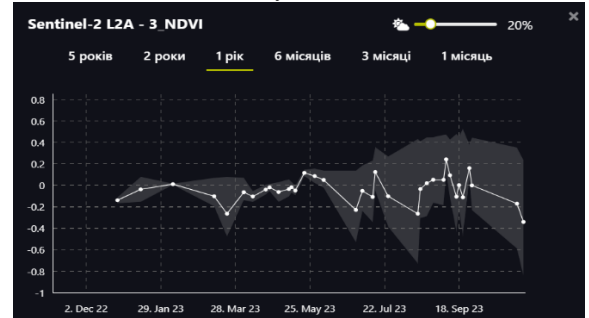
Линовець



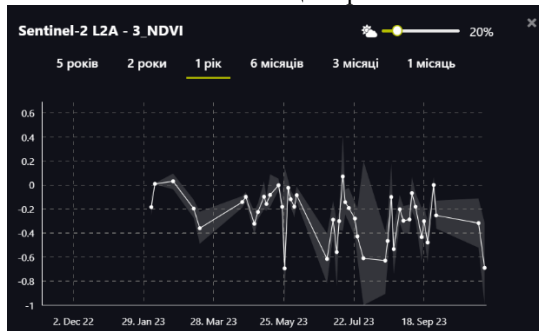
Луки



Люцимер



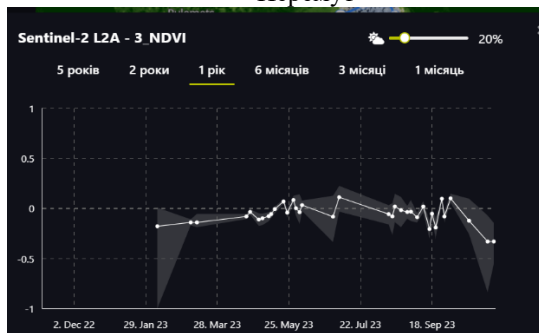
Острiв'янське



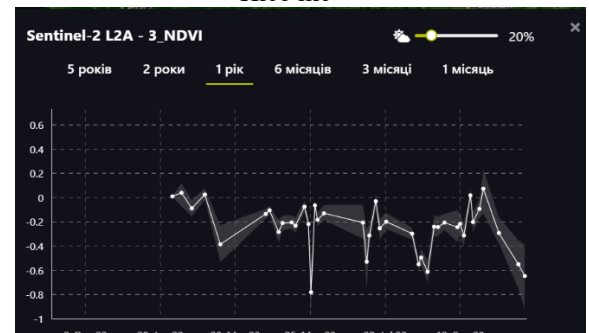
Перемут



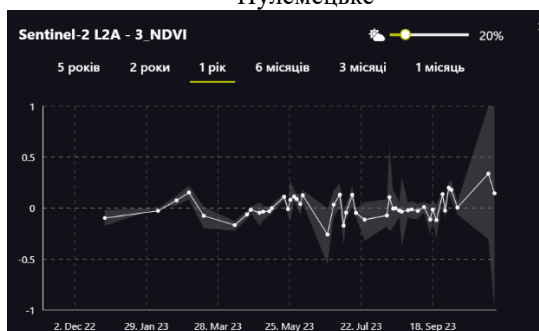
Пiсочне



Пулемецьке



Чорне Велике



Свiтязь

Рис. 3.3. Графіки внутрішньорічної динаміки індексу NDVI досліджуваних озер протягом 2023 р. за даними <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Схоже ситуація із внутрішньорічною динамікою індексу і для озера Люцимер. Тут теж протягом року переважають від'ємні значення індексу в інтервалі до  $-0,4$ . Додатні значення ( в інтервалі  $0,1; 0,15$ ) зафіксовано в кінці березня, травня і серпня.

Для Острів'янського озера тенденції внутрішньорічного розподілу індексу зовсім інші. З початку року і аж до кінця травня значення індексу знаходяться близько до нуля, проте набувають невеликих від'ємних значень (до  $-0,2$ ) лише в останній декаді березня. Натомість з початку червня аж до початку жовтня переважають невеликі додатні значення індексу ( $0,1; 0,2$ ). Вони перериваються від'ємними значеннями (до  $-0,2$ ) лише на початку липня і в середині серпня.

Озеро Перемут відноситься до групи озер із більшими значеннями індексу у внутрішньорічному його розподілі, більшою варіабельністю індексу. З початку року аж до початку серпня характерні невеликі додатні значення індексу (до  $0,15$ ), які переривались від'ємними значеннями індексу в інтервалі від  $-0,1$  до  $-0,7$  в середині березня, квітня та в кінці травня. З початку серпня і аж до кінця року значення, переважно від'ємні в інтервалі  $(-0,6;0)$ .

Досить схожа динаміка індексу і для озера Пісочне. Додатні значення в інтервалі  $(0;0,2)$  характерні з початку року і аж до кінця липня, перериваючись від'ємними в березні-квітні (до  $-0,5$ ) і кінці червня (до  $-0,2$ ). Також від'ємні значення в інтервалі до  $-0,8$  характерні з кінця липня і аж до кінця серпня, дещо перериваючись додатними на початку вересня і знов опускаючись до кінця року.

Для оз. Пулемецьке характерна одна із найнижчих варіабельностей значення індексу NDVI. З початку року до останньої декади травня вони від'ємні, досягаючи  $-0,1$ . Далі характерні додатні значення в інтервалі  $(0,1;0,2)$  аж до кінця жовтня, перериваючись лише в кінці вересня невеликими від'ємними значеннями. Згодом в листопаді вони знов змінюються на від'ємні.

Чорне Велике відноситься до групи озер із більшими значеннями індексу та більшою їх амплітудою у внутрішньорічному розподілі індексу. Невеликі

додатні значення індексу (до 0,05) характерні в лютому, згодом значення індексу переходять через 0 і лише в жовтні переходять знов набувають додатних значень (до 0,1). Весь інший час значення від'ємні, причому абсолютні мінімуми зафіксовані 25 травня (-0,8), 1 липня (-0,55) і 1 серпня (-0,6).

Для Світязя внутрішньорічна динаміка індексу схожа на озеро Пулемецьке. Індекс набуває додатних значень з лютого (до 0,2), знов опускаючись нижче 0 протягом березня-квітня. Далі аж до жовтня превалюють значення в інтервалі (0;0,2), короткочасно перериваючись невеликими від'ємними значеннями в червні і липні.

В більш узагальненому вигляді виявлені тенденції представлені на рис. 3.4.

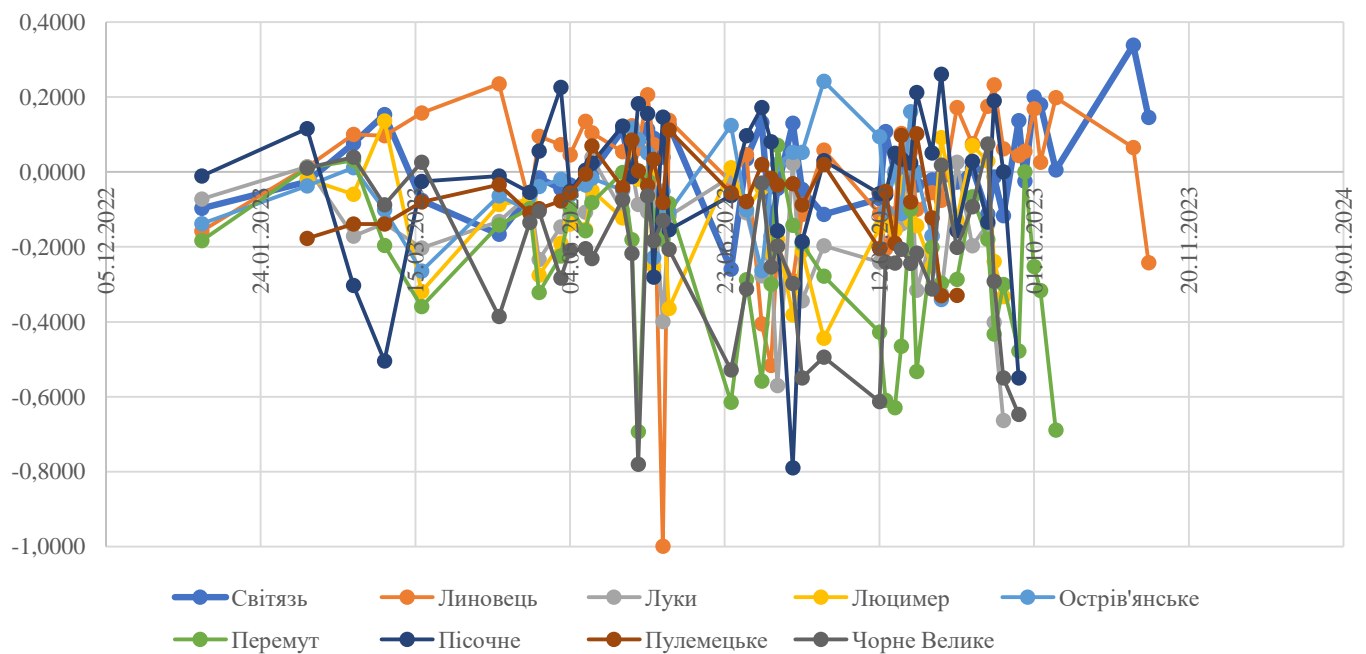


Рис. 3.4. Порівняльна внутрішньорічна динаміка індексу NDVI досліджуваних озер протягом 2023 р.

Також досить цікавим є аналіз виявлених тенденцій річного ходу індексу NDVI для окремих озер. На рис. 3.5 представлені розраховані значення

коефіцієнта кореляції річного ходу індексу NDVI озер та озера Світязь, яке вибране еталонним. Оскільки є найбільшим і найвідомішим.

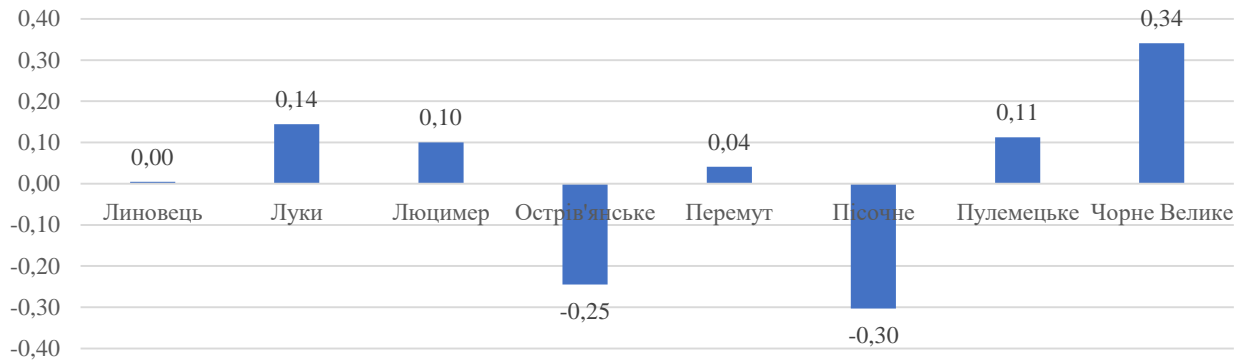


Рис. 3.5. Коефіцієнти кореляції річного ходу індексу NDVI окремих озер із оз. Світязь

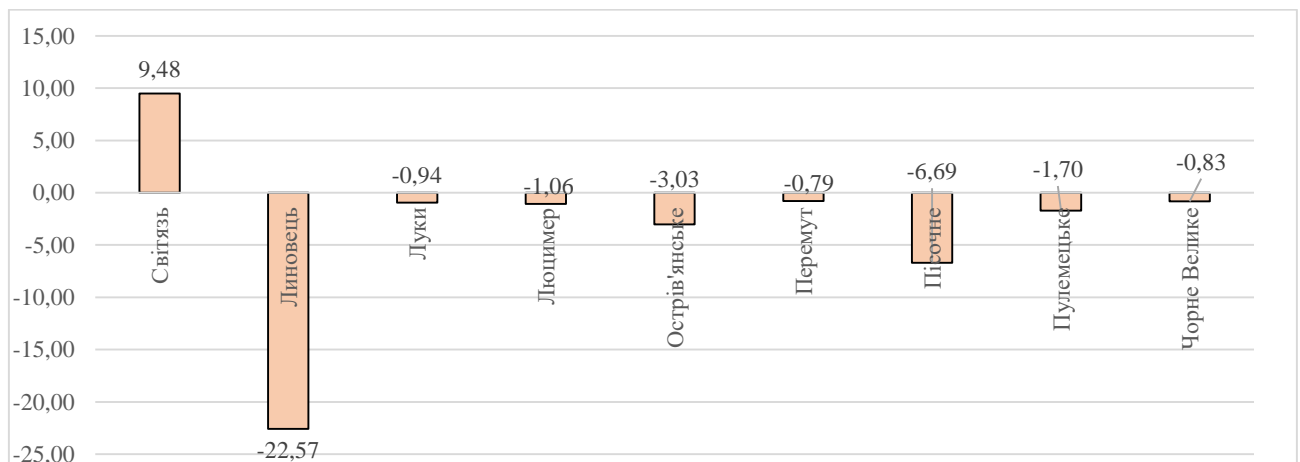


Рис. 3.5. Коефіцієнт варіації (%) річного ходу індексу NDVI окремих озер

Як видно, досліджувані озера за цим показником можна згрупувати в 3 групи: з практично відсутнім зв'язком (Перемут, Пулемецьке, Люцимер, Луки, Линовець), слабким додатним (Чорне Велике), слабким від'ємним (Острів'янське, Пісочне). Такий розподіл озер дозволяє сформулювати тезу, що

на річний хід процесів евтрофікації меншою мірою впливають фізико-географічні умови, а більшою – розміри озер, їх глибина, здатність екосистеми протидіяти евтрофікаційним процесам.

На рис. 3.5 зображено розподіл коефіцієнт варіації для річного ходу індексу NDVI окремих озер. Існує умовне розмежування: якщо коефіцієнт варіації  $< 33\%$ , то сукупність вважається однорідною, у протилежному випадку – неоднорідною. Як видно з діаграми сукупність є однорідною, за значеннями коефіцієнта варіації всі досліджувані озера можна поділити на 3 групи:

- озера Луки, Люцимер, Перемут і Пулемецьке, Чорне Велике є досить близькими, значення коефіцієнта варіації не перевищують  $2\%$ ;
- озера Острів'янське, Пісочне і Світязь мають вищі значення коефіцієнта варіації, проте вони не перевищують  $10\%$ ;
- озеро Линовець серед усіх озер знаходиться окремо, коефіцієнт варіації тут становить  $22,57\%$ , що свідчить про значну більшу варіацію показників внутрішньорічного ходу NDVI.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що рівень евтрофікованості досліджуваних озер є не високим. Навіть в найбільш гарячі літні місяці для всіх озер індекс NDVI не перевищує  $0,2$ , а для деяких (Світязь, Луки, Перемут, Пулемецьке) ще менший. Значною мірою це зумовлено особливостями озер, зокрема, карстовим походженням, значними глибинами та площами водного дзеркала, високою стійкістю їх екосистем, а також порівняно невисоким рівнем господарського освоєння, зокрема, сільськогосподарського використання території Шацького національного природного парку. Проте навіть для відносно благополучних в екологічному відношенні озер починає відчуватись вплив глобальних змін клімату на стан озерних екосистем, в т.ч. і на евтрофікаційні процеси водоймах. Тому настільки важливою є розробка комплексу заходів зменшення евтрофікованості та поліпшення екологічного стану Шацьких озер.

## РОЗДІЛ 4.

### ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКОВАНOSTІ ТА ПОЛІПШЕННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ШАЦЬКИХ ОЗЕР

Враховуючи особливий статус Шацьких озер як важливого компоненту довкілля Шацького національного природного парку, який є частиною трилатератного біосферного резервату Західне Полісся, а також необхідність протидії глобальній зміні клімату, для зменшення евтрофікації та покращення екологічного стану озер необхідне впровадження комплексу природоохоронних заходів (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Заходи зменшення евтрофікованості та поліпшення екологічного стану Шацьких озер

З метою скорочення надходження біогенних речовин у водні об'єкти необхідно: провести модернізацію системи очистки стічних вод у населених

пунктах та базах відпочинку, розташованих на берегах озер. Такий проект наразі вже реалізується. За інформацією з сайту Шацької селищної ради триває реалізація проекту «Покращення екологічної ситуації у Шацькому національному природному парку шляхом каналізування населених пунктів навколо озера Світязь» в рамках Програми транскордонного співробітництва Польща-Білорусь-Україна 2014-2020. Проект передбачає: будівництво каналізаційної мережі у західній частині смт Шацьк, с. Гаївка, с. Мельники та каналізаційних очисних споруд в смт Шацьк, будівництво каналізаційної мережі та системи очистки стічних вод у с. Світязь, будівництво каналізаційної мережі та системи очистки стічних вод у с. Пульмо [31]. Також дуже важливим є впровадження новітніх технологій, які дозволяють ефективно видаляти сполуки азоту та фосфору зі стічних вод. Ще одним напрямком, перспективним для зменшення надходження біогенних речовин у водні об'єкти, є обмеження використання мінеральних добрив у сільському господарстві на землях, що прилягають до озер та стимулювання місцевих фермерів та сільськогосподарських підприємств до переходу на органічне землеробство, використання природних добрив, запровадження технологій глибокої очистки стоків з тваринницьких ферм, розташованих на прилеглих територіях, а також застосування сучасних систем біологічної та фізико-хімічної очистки відходів [4].

Наступним заходом є відновлення природних водоохоронних зон. Вони виконують функції природних фільтрів, затримують потоки поживних речовин, важких металів та інших забруднюючих речовин до водойм. Відновлення природних водоохоронних зон доцільно проводити шляхом створення нових водно-болотних масивів на деградованих або порушених землях, що прилягають до озер або ренатуралізації не використовуваних осушувальних систем та їх повторного заболочення (ренатуралізації). Це дозволить розширити площі природних фільтруючих екосистем. У межах водоохоронних зон навколо озер парку потрібно обмежити господарську діяльність, заборонити розорювання



земель, випас худоби, використання добрив тощо. Також варто провести роботи з очищення та реконструкції природних водотоків, що впадають до озер, для покращення їх дренажних властивостей [7].

Моніторинг гідрологічного режиму озер Шацького парку та регулювання рівня води в озерах сприятиме створенню кращих умов для самовідновлення озерних екосистем. Відновлення природних гідрологічних зв'язків між окремими озерами, порушених внаслідок господарської діяльності, забезпечить покращення водообміну між водоймами. Частково це вже реалізовано, 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. Також важливими заходами регулювання гідрологічного режиму озер є обмеження забору води з озер для господарських потреб, особливо у посушливі періоди, коли можливе істотне зниження рівня, організація системи моніторингу та раннього попередження про загрозові гідрологічні ситуації (повені, посухи тощо) для оперативного реагування [5].

Збереження біорізноманіття також чинить свій вклад у підвищення стійкості озерних систем та їх здатності до самовідновлення. Для цього потрібно відновлювати чисельність зникаючих видів риби (щука, лящ, сом, вугор) шляхом зариблення та обмеження промислового вилову [7], охороняти та відновлювати популяції рідкісних водних рослин (латаття біле, глечики жовті, сальвінія плаваюча), а, особливо, водорості кладофори, які відіграє величезну роль в очистці води, оберігати та нарощування чисельність рідкісних видів водоплавних птахів, що гніздяться та мешкають на Шацьких озерах (лебідь-шипун, журавель сірий, чапля біла), створювати штучні нерестовища, нагульні та зимувальні ділянки для гідробіонтів, розширювати мережу заповідних зон і заказників у межах Шацького НПП для охорони найбільш цінних ділянок [14].

Посилення природоохоронного контролю передбачає розширення штату інспекторів Шацького НПП для посилення контролю за дотриманням

природоохоронного законодавства, використання сучасних методів моніторингу стану озер, в т.ч. дистанційні та автоматизовані системи спостереження, створення спеціалізованої екологічної лабораторії на базі ШНПП для регулярного аналізу проб води, донних відкладів, біоти, організація ефективної системи реагування та оперативного усунення виявлених порушень і загроз, посилення співпраці з правоохоронними органами для притягнення порушників до відповідальності.

Адаптація до наслідків зміни клімату в останній час є нагальною вимогою охорони природи. Вона включає: оцінку можливих кліматичних ризиків для Шацьких озер, зокрема, підвищення температури води, зміни гідрологічного режиму, збільшення частоти екстремальних погодних явищ; розробку плану адаптації екосистеми Шацьких озер до очікуваних кліматичних змін, що включатиме заходи з регулювання рівня води, збереження водно-болотних угідь, управління рибними ресурсами тощо; впровадження "зелених" технологій в громаді для зниження викидів парникових газів, наприклад, перехід на відновлювані джерела енергії, енергоефективні будівлі; збільшення площ лісових насаджень, відновлення порушених лісових та болотних екосистем, які забезпечують поглинання та утримання вуглецю; розробка заходів підвищення стійкості гідроекосистем до кліматичних змін шляхом підвищення біорізноманіття, створення "зелених поясів" навколо озер.

Інструментом для реалізації вищеперерахованого є економічні та фінансові механізми природоохоронної діяльності. А саме: запровадження системи екологічних платежів та штрафів за забруднення, скид неочищених стічних вод, понаднормове використання ресурсів із наступним спрямуванням цих надходжень на фінансування природоохоронних заходів; розробка схем екологічного страхування для покриття ризиків, пов'язаних з можливими аваріями, стихійними лихами тощо; створення "зелених" інвестиційних фондів для залучення коштів бізнесу на реалізацію природоохоронних проектів на

досліджуваній території, посилення грантової діяльності для отримання міжнародної технічної та фінансової допомоги на реалізацію заходів з покращення екологічного стану Шацьких озер; ширше впровадження "екологічного туризму" як джерела фінансування природоохоронної діяльності в межах парку.

Останнім за порядком, проте далеко не останнім за значенням заходом є екологічна освіта та просвітництво, які передбачають:

- розширення мережі еколого-освітніх центрів на території Шацького НПП для проведення навчальних програм, тренінгів, екскурсій;
- запровадження спеціальних освітніх курсів (факультативів) у школах регіону, присвячених цінності та охороні Шацьких озер;
- поширення серед місцевого населення та відпочивальників інформаційних матеріалів щодо правил поведінки на території парку, бережливого ставлення до природи;
- проведення регулярних екологічних акцій, толок за участю громадськості;
- залучення місцевих жителів, туристів, рекреантів до природоохоронних ініціатив через волонтерські програми.

Реалізація запропонованого вище комплексу заходів дозволить значно підвищити ефективність зусиль з покращення екологічного стану унікальних Шацьких озер, сприятиме збереженню їхньої цінності як частини Шацького національного природного парку – одного з найбільших природоохоронних об'єктів Західної України та частини трилатератного біосферного резервату «Західне Полісся».

## ВИСНОВКИ

1. Евтрофікація озер є серйозною екологічною проблемою, яка впливає на функціонування озерних екосистем у всьому світі. Основною причиною надмірного збагачення озер поживними речовинами є антропогенний вплив. Основними чинниками, що зумовлюють антропогенну евтрофікацію, є: скид стічних вод, змив добрив із сільськогосподарських угідь, промислові та побутові стоки, викиди автотранспорту тощо. Зміни клімату, які спостерігаються в останні десятиліття, можуть суттєво впливати на процеси евтрофікації в озерних екосистемах.

Під час евтрофікації в озері, як водоймі із сповільненим водообміном, відбуваються складні фізико-хімічні та біологічні процеси. Надходження поживних речовин, зокрема, сполук азоту і фосфору, стимулює бурхливий розвиток фітопланктону, макрофітів та інших водних рослин. Це спричинює зростання первинної продукції, загущення вод, зниження прозорості та дефіцит кисню через інтенсивне дихання рослин і розклад відмерлої органічної речовини. Поступово накопичуються донні відклади, для розкладу яких додатково потрібен кисень, його концентрація зменшується, іноді практично до нуля, виникають несприятливі умови для риб і донних організмів.

2. Шацьке поозер'я – унікальний природний комплекс на північному заході України, у Волинській області. Цей регіон характеризується високою концентрацією озер карстового і льодовикового походження, мальовничими ландшафтами та багатим біологічним різноманіттям.

Внутрішні води досліджуваної території представлені гідрографічною мережею басейнів Західного Бугу та Прип'яті, а також 30 озерами в межах їх водозборів. Басейн Західного Бугу охоплює територію Шацького поозер'я, де розташовані дві його притоки – рр. Копаївка та Рита. Загальна довжина р. Західний Буг становить 815 км, площа басейну – 73300 км<sup>2</sup>. Ділянка Західного

Бугу від витoku до с. Литовеж (гідропост найближчий до р. Прип'ять) має довжину 213 км та площу басейну 6740 км<sup>2</sup>, із похилом річки 0,8‰. Західний Буг є правою притокою р. Вісли. Басейн Прип'яті в межах Шацького поозер'я представлений притоками Тенетиска, Вижівка та Нережа, що впадає в оз. Велике Згоранське. Сама р. Прип'ять протікає через колишні Любомльський, Старовижівський та Ратнівський райони (за старим адміністративно-територіальним устроєм) Волинської області.

Шацьке поозер'я – унікальне поєднання великої кількості озер надзвичайно різноманітних за походженням, розмірами та глибиною. Тут налічується понад 30 озер загальною площею близько 6,5 тис. га. Найбільшими є: Світязь, Пулемецьке, Луки, Пісочне, Облапське, Кримне. Живлення озер змішане – атмосферними, ґрунтовими та поверхневими водами. Вода в них прозора та чиста. За походженням озера поділяються на: карстово-тектонічні, суфозійно-карстові та заплавні. За режимом рівнів води вони поділяються на дві групи: з стабільним положенням рівня та з вираженими сезонними і внутрішньосезонними коливаннями. Більшість озер малі за розмірами (площа менше 10 км<sup>2</sup>) та помірним водообміном, що свідчить про їх автохтонний характер і вимагає регіонально-локального підходу до їх використання та охорони. Більшість озер мають округлу або овальну форму з рівною береговою лінією. Деякі озера (Світязь, Пулемецьке) мають складну улоговину з декількома карстовими лійками, асиметричною формою та виходами крейди на берегах.

Карстові озера, здебільшого, займають безстічні улоговини з незначним поверхневим водозбором. Їх береги піщані, часто з торфовими відкладами, а дно на мілинах піщане, тверде, а в ділянках карстових лійок – мулисте. Окремі озера перебувають на стадії замулення та заростання.

За джерелами живлення озера Шацького поозер'я поділяються: атмосферно-напірного (Чорне Велике, Світязь, Люцимир), атмосферно-ґрунтового (Пулемецьке, Острів'янське, Луки) та атмосферно-притокового

живлення (Кримне). За водним балансом озера Шацького поозер'я поділяються на стічні та безстічні. Стічні озера, крім випаровування, мають втрати через поверхневий і підземний стік. Безстічні озера не мають втрат за рахунок підземного та поверхневого витоків. Час повного заміщення води в озерах коливається від 1,1 року (Кримне) до 7-8 років (Світязь).

Окрім значної міжнародної ролі як частини трилатератного біосферного резервату, Шацьке поозер'я відіграє також ключову роль як ядро екологічної мережі міжнародного значення і як водно-болотне угіддя міжнародного значення "Шацькі озера" – територія Смарагдової мережі Європи UA 0000025 "Шацький національний природний парк". Тут мешкає 57 видів рослин тварин, поширено 27 видів оселищ, занесених в додатки до Бернської конвенції. Район Шацьких озер також є важливою територією для збереження птахів.

Більша частина Шацького поозер'я знаходиться в межах Шацької ТГ. На території громади відсутні великі підприємства. Також відсутні значні забруднювачі довкілля. Фактично основними забруднювачами є сільське господарство та комунальна сфера. Загалом чисельність населення громади має тенденцію до зменшення. Близько 15% працездатного населення працює за кордоном.

3. За екологічною оцінкою якості води можна поділити досліджувані озера на 4 групи:

1. Оз. Перемут ( $I_e = 3,03$ ), – II клас, 2-3 категорія, за природним станом води «добрі», за ступенем чистоти – «чисті», «досить чисті».

2. Оз. Люцимер ( $I_e = 3,64$ ) – III клас, 3-4 категорія, за природним станом води «добрі», «задовільні», за ступенем чистоти – «чисті», «слабозабруднені».

3. Оз. Світязь ( $I_e = 4,07$ ), Пулемецьке ( $I_e = 4,1$ ) – III клас, 4-5 категорія, за природним станом – «задовільні», «посередні», за ступенем чистоти – «забруднені», «помірно забруднені».

4. Оз. Луки ( $I_e = 4,38$ ), Пісочне ( $I_e = 4,43$ ), Линовець ( $I_e = 4,67$ ), Чор не

Велике ( $I_e = 0,08$ ) – III клас, 5 категорія, за природним станом – «задовільні», «посередні», за ступенем чистоти – «забруднені», «помірно забруднені».

У 2020 р. порівняно із 2009 р. за трофо-сапробіологічними показниками якість води погіршилась через надмірне рекреаційне використання озер та збільшення концентрації органічних забрудників у їх воді.

Рівень евтрофікованості досліджуваних озер є не високим. Навіть в найбільш гарячі літні місяці для всіх озер індекс NDVI не перевищує 0,2, а для деяких (Світязь, Луки, Перемут, Пулемецьке) ще менший. Значною мірою, це зумовлено особливостями озер, зокрема, карстовим походженням, глибинами та площами водного дзеркала, високою стійкістю їх екосистем, а також порівняно невисоким рівнем господарського освоєння, зокрема, сільськогосподарського використання території Шацької ТГ. Проте навіть для відносно благополучних в екологічному відношенні озер починає відчуватись вплив глобальної зміни клімату на стан озерних екосистем, в т.ч. і на евтрофікаційні процеси у водоймах. Тому настільки важливою є розробка комплексу заходів зменшення евтрофікованості та поліпшення гідроекологічного стану Шацьких озер.

4. Для зменшення евтрофікації та покращення екологічного стану озер необхідне впровадження комплексу природоохоронних заходів, які передбачають:

- скорочення надходження біогенних речовин;
- відновлення природних водоохоронних зон;
- регулювання рівня води в озерах;
- збереження біорізноманіття;
- посилення природоохоронного контролю;
- адаптацію до наслідків змін клімату;
- економічні та фінансові механізми природоохоронної діяльності;
- екологічну освіту та просвітництво.

## 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. Атлас Волинської області / за ред. Ф.В. Зузука. М.: Комітет геодезії і картографії СРСР, 1991. 42 с.
3. 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.
4. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Основи гідроекології: теорія й практика: навч. посіб. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 365 с.
5. Водні ресурси Шацького НПП. URL: <http://shpark.com.ua/doslidzhuy/pryroda-parku/vodoymy/>
6. Водний кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР).1995. № 24. ст. 189.
7. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне: Волинські обереги. 1999. 347 с.
8. Зуб Л.М. Оцінка екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальних біотопів. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2012. №9. С. 337-343
9. Зузук Ф. В., Веремчук Б.О. Особливості провідних меліоративних систем Волинської області. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2008. № 5. С. 36-41.
10. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси 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.
11. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси 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.
  12. Ільїн Л. В., Мольчак Я. О. Озера Волині: Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
  13. 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.
  14. Карпюк З. К., Фесюк В. О., Антипюк О. В. Природно-заповідний фонд Волинської області: альбом-каталог. К.: ОК-Поліграф, 2018. 136 с.
  15. Карпюк З. К., Фесюк В. О. Природоохоронні мережі Волинської області. Луцьк: Терен, 2021. 212 с.
  16. 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 1-4, 2022) Edmonton, Canada. International Science Group. 2022. С. 42-45.
  17. 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.
  18. Комплексний план просторового розвитку Шацької громади. URL: <https://shsrada.gov.ua/kompleksnij-plan-teritorii-shackoi-selischnoi-teritorialnoi-gromadi-09-42-08-13-12-2021/>
  19. Коніщук В. В., Христецька М. В. Екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький». Агроекологічний журнал. 2023. №3. С. 62-70.

20. 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>
21. Кукурудза С.І. Природно-ресурсний потенціал Шацького національного природного парку. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 1994. 144 с.
22. Мартинюк В.О., Зубкович І.В., Андрійчук С.В. Регіональна геоecологічна оцінка озер Українського Полісся. Регіональні геоecологічні проблеми в умовах сталого розвитку. Збірник наукових праць III Міжнар. наук.-практ. конференції (Рівне, 18-20.10.2018). 2018. С. 78-86.
23. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Розробники: Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксінок О.П., Яцик А.В. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
24. Назарук К. М., Хамар І. С. Структура угруповань зоопланктону озера Пісочне Шацького національного природного парку як показник його евтрофікації. Біологічні Студії. 2011. Том 5. №1. С. 131-140.
25. Науковці Інституту сільського господарства Полісся провели дослідження змін клімату у центральній частині Правобережного Полісся, їх впливу на сільське господарство. URL: [http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT\\_ID=6834](http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=6834)
26. Поверхневі води Волині: колективна монографія / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
27. Полянський С.В. Ренатуралізація меліорованих гідроморфних ґрунтів Шацького району. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2014. №11. С. 69-74.
28. Природа Волинської області / за ред. К.І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1975. 176 с.
29. Природа Західного Полісся, прилеглого до Хотиславського кар'єру: монографія / за ред. Ф. В. Зузука. Луцьк: Вежа, 2014. 246 с.

30. Програма охорони навколишнього природного середовища Шацької селищної територіальної громади на 2023-2025 роки. URL: [https://rada.info/upload/users\\_files/04334235/5e8149287e6ad2f604d1085ce31c3938.pdf](https://rada.info/upload/users_files/04334235/5e8149287e6ad2f604d1085ce31c3938.pdf)
31. Проєкт каналізування населених пунктів навколо озера Світязь на стадії завершення. URL: <https://shsrada.gov.ua/hid-budivnictva-2022-rik-10-14-52-14-01-2022/>
32. 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](http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS)
33. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
34. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія. / за ред. В. О. Фесюка. К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2016. 316 ст.
35. Федоровський О. Д., Хижняк А. В., Томченко О. В. Оцінка якості водного середовища міських водойм з використанням методів системного аналізу на основі комплексування даних ДЗЗ. Космічна наука і технологія. 2021. Т. 27. № 5. С. 11-18.
36. Фесюк В. О., 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.
37. 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.
38. В. О. Фесюк, І. М. Нетробчук, С. В. Полянський, Д. Я. Довган. Особливості сучасного стану евтрофікації Шацьких озер. Український журнал природничих наук. 2024. № 8. С. 279-288
39. Шацька селищна об'єднана територіальна громада. URL: <https://hromada.canactions.com/shatska/>

40. Шевчук М. Й., Сергушко О.Г. Евтрофікація озер Волинської області. Агроекологічний журнал. 2017. № 1. С. 16-21.
41. 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.
42. Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання: монографія. Луцьк: Надстир'я, 1996. 384 с.
43. Elser J.J., Bracken M.E.S., Cleland E.E. et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. Ecology Letters. 2007. Vol. 10, No. 12. P. 1135-1142.
44. 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.
45. NDVI. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=16&lat=51.06328&lng=24.8132&themeId=DEFAULT-24T23%3A59%3A59.999Z>
46. Normalized Difference Chlorophyll Index/ URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndci/>
47. Scheffer M. The Ecology of Shallow Lakes. London: Chapman & Hall. 2015. 385 p.
48. Schindler D.W. The enigma of eutrophication: the productivity paradox in lakes. Israel Journal of Chemistry. 2012. Vol. 52, No. 2. P. 105-116.
49. Smith V.H., Joye S.B., Howarth R.W. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography. 2006. Vol. 51, No. 1. P. 351-355.
50. Wetzel R.G. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.