



УДК 556.55(477.82)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.29>

ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕВТРОФІКАЦІЇ ШАЦЬКИХ ОЗЕР

В. О. Фесюк¹, І. М. Нетробчук², С. В. Полянський³, Д. Я. Довган⁴

Шацькі озера – це група з понад 30 мальовничих озер на північному заході України, в межах Шацького національного природного парку. Ці озера мають важливе значення як оселище для численних рідкісних та зникаючих видів рослин і тварин, занесених до Червоної книги України та міжнародних природоохоронних реєстрів. Як і інші озера в наш час вони зазнають евтрофікації. Це спричинює зниження якості води, вмісту кисню, «цвітіння» води, погіршення умов існування гідробіонтів. В той же ж час Шацькі озера є одним із найвідоміших рекреаційних регіонів України.

Актуальність роботи полягає у необхідності оцінки евтрофікованості озер та її впливу на їх раціональне використання та охорону.

Метою статті є оцінка евтрофікованості Шацьких озер, визначення чинників, що впливають на ступінь евтрофікації, розробка заходів зниження евтрофікованості озер та поліпшення їх гідрологічного стану.

Використано методи збору матеріалів, їх статистичної обробки, дистанційного зондування Землі, картографічний, експертних оцінок.

Встановлено, що рівень евтрофікованості досліджуваних озер не високий. Навіть в літній період для більшості озер NDVI не перевищує 0,2. Для окремих (Світязь, Луки, Перемут, Пулемецьке) цей показник ще нижчий. Це зумовлено особливостями озер: карстовим походженням, значними глибинами та площами водного дзеркала, високою стійкістю їх екосистем, порівняно невисоким

¹ доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: fesyuk@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3954-9917

² кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: netrobchuk.iryua@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8633-7426

³ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: polianskyi.serhiy@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8666-7695

⁴ магістрант кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: den16dov@gmail.com
ORCID: 0009-0005-6255-2032

рівнем господарського освоєння. Хоча евтрофікація і незначна, але відчувається вплив глобальної зміни клімату на стан озерних екосистем. Цей вплив буде зростати в майбутньому. Тому дуже важливою є розробка заходів зменшення евтрофікованості та поліпшення фії гідроекологічного стану Шацьких озер.

Ключові слова: озеро, лімносистема, гідроекологічний стан озера, евтрофікація, чиники евтрофікації, заходи зменшення евтрофікації.

FEATURES OF THE CURRENT STATE OF EUTROPHICATION OF SHATSK LAKES

V. O. Fesyuk, I. M. Netrobchuk, S. V. Polyansky, D. Y. Dovgan

The Shatsk Lakes are a group of more than 30 picturesque lakes in northwestern Ukraine, within the Shatsk National Nature Park. These lakes are important as a habitat for numerous rare and endangered species of plants and animals listed in the Red Data Book of Ukraine and international conservation registers. Like other lakes, they are currently experiencing eutrophication. This leads to a decrease in water quality, oxygen content, water blooms, and deterioration of the living conditions for aquatic life. At the same time, the Shatsk Lakes are one of the most famous recreational regions of Ukraine. The relevance of the work lies in the need to assess the eutrophication of lakes and its impact on their rational use and protection.

The purpose of the article is to assess the eutrophication of the Shatsk Lakes, to determine the factors that determine the degree of eutrophication, to develop measures to reduce the eutrophication of the lakes and improve their hydroecological condition.

The methods used were data collection, statistical processing, remote sensing, cartographic, and expert assessment.

It was found that the level of eutrophication of the studied lakes is not high. Even in summer, for most lakes, the NDVI does not exceed 0.2. For some (Svityaz, Luky, Peremut, Pulemetske), this index is even lower. This is due to the peculiarities of the lakes: karst origin, significant depths and areas of the water mirror, high stability of their ecosystems, and a relatively low level of economic development. Although eutrophication is insignificant, the impact of global climate change on the state of lake ecosystems is felt. This impact will increase in the future. Therefore, it is very important to develop measures to reduce eutrophication and improve the hydroecological status of the Shatsk Lakes.

Key words: lake, limnosystem, hydroecological state of the lake, eutrophication, eutrophication factors, measures to reduce eutrophication.

Вступ

Багато озер зазнають інтенсивної евтрофікації через надлишкове надходження поживних речовин, переважно азоту та фосфору, до водойм. Це призводить до «цвітіння» води, зниження кисневого режиму та загибелі гідробіонтів. Основними причинами такого явища є надмірне застосування добрив у сільському господарстві, а також скид неочищених стічних вод із території населених пунктів, сільськогосподарських угідь та тваринницьких ферм, а також стоки з стихійних сміттевалищ. Евтрофікація спричиняє деградацію унікальних озерних екосистем та загрожує існуванню рідкісних видів. Погіршення якості води негативно впливає на рекреаційне використання озер та знижує їх рибопродуктивність, завдає економічних збитків.

Дослідження евтрофікації озер широко висвітлені в науковій літературі. Так, зокрема, це питання детально розгляда-

ється в монографії (Wetzel, 2001). У роботі (Smith et al., 2006) досліджено особливості евтрофікації прісноводних і морських екосистем, у статті (Schindler, 2012) розглядається парадокс продуктивності озер, у (Elser et al., 2007) проведено глобальний аналіз обмеження азоту та фосфору первинних продуцентів у прісноводних, морських та наземних екосистемах, у (Gulati & van Donk, 2002) проаналізовано основні аспекти відновлення озер у Нідерландах.

Значна увага в науковій літературі приділяється і дослідженню евтрофікації Шацьких озер. У роботі (Конішук & Христецька, 2023) проведена екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький», у роботі (Арсан та ін., 2012) висвітлено результати еколого-токсикологічних досліджень озерних екосистем Шацького НПП, у статті (Зуб, 2012) проведено оцінку екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів акваль-

них біотопів, у (Ковальчук, 2022) досліджено трансформацію водних об'єктів Шацького поозер'я за результатами оцінки антропогенного навантаження на поверхневі води, а у роботі (Ковальчук, 2008) проаналізовано рівень антропогенного навантаження на природні комплекси стаціонарними джерелами забруднення Шацького НПП, у (Назарук, 2011) вивчено структуру угруповань зоопланктону озера Пісочне як показник його евтрофікації.

Аналіз наявних наукових праць показує, що, незважаючи на значну кількість досліджень, вивчення проблеми евтрофікації Шацьких озер має фрагментарний характер. Залишається низка питань, які потребують подальшого вивчення, зокрема, щодо впливу евтрофікації на рекреаційне використання озер та прогнозування наслідків глобальних кліматичних змін на рівень евтрофікації цих водойм. Таким чином, подальші комплексні наукові дослідження в цьому напрямку є важливими та актуальними.

Мета статті: оцінка евтрофікованості Шацьких озер, визначення чинників, що визначають ступінь евтрофікації, розробка заходів зниження евтрофікованості озер та поліпшення їх гідроекологічного стану. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити особливості природних умов Шацького поозер'я;
- проаналізувати чинники, що впливають на евтрофікацію озер;
- оцінити сучасний стан евтрофікованості озер;
- обґрунтувати шляхи зменшення евтрофікації озер та поліпшення їх гідроекологічного стану.

Матеріал і методи

Інформаційною базою роботи були матеріали 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 на 2023–25 рр.), матеріали електронних картографічних сервісів та онлайн-сервісів для обробки супутникових знімків, літературні джерела.

Гідроекологічна оцінка проведена згідно з Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (Романенко та ін., 1998). Для оцінки ступеня евтрофікованості використано методи дистанційного зондування Землі. Статистична обробка даних гідроеколо-

гічного моніторингу проведена методами: дескриптивної статистики, кореляційного аналізу, оцінки варіації.

Результати та обговорення

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 значним біологічним різноманіттям. Територія сформувалася під впливом четвертинного зледеніння, для неї типовим є горбистий, місцями горбисто-западинний рельєф з переважанням кінцево-моренних гряд, озових пасом, западин та котловин озер. Гідрогеологічні умови регіону визначаються його розташуванням у північно-західній частині Волино-Подільського артезіанського басейну, в зоні інтенсивного розвантаження підземних вод, що зумовлює підвищений поверхневий і підземний стік. Формування поверхневих і підземних вод Шацького поозер'я є результатом взаємодії різноманітних абіотичних та біогенних чинників (Зузук, 2014).

Клімат Шацького поозер'я сприятливий для розвитку рекреації, характеризується м'якою зимою, теплим літом та більш-менш рівномірним розподілом опадів протягом року.

Окрім важливого значення як частина трилатерального біосферного резервату, Шацьке поозер'я також виконує ключову роль як ядро міжнародної екологічної мережі та як водно-болотне угіддя міжнародного значення. Тут представлено 57 видів рослин і тварин та 27 видів оселищ, занесених до Бернської конвенції. Район Шацьких озер є також важливою територією для збереження птахів (Карпюк і Фесюк, 2021).

На відносно невеликій території сформувалось унікальне поєднання великої кількості озер, які надзвичайно різноманітні за походженням, розмірами та глибиною. Тут налічується понад 30 озер загальною площею близько 6,5 тис. га, серед яких найбільшими є Світязь, Пулемецьке, Луки, Пісочне, Кримне.

Живлення озер змішане, вони отримують води з атмосферних, ґрунтових та поверхневих джерел. Вода в них прозора та чиста. За походженням озера поділяються на карстово-тектонічні, суфозійно-карстові та заплавні. Залежно від режиму рівня води, вони поділяються на дві групи: з стабільним положенням рівня та з вираженими сезонними й внутрішньосезонними коли-

ваннями. Більшість озер є малими за розмірами, мають помірний водообмін, що вказує на їх автохтонність.

Донні відклади озер представлені, переважно, змішаними типами сапропелів органо-вапнякового, вапнякового та органо-залізного складу, а також значними запасами кластогенних відкладів органо-піщаного та органо-глинистого типів.

Морфометричні особливості озерних улоговин впливають на гідрологічні та гідрохімічні характеристики водойм. Більшість озер мають округлу або овальну форму з рівною береговою лінією, для окремих (Світязь, Пулемецьке) характерна складна улоговина з декількома карстовими лійками, асиметричною формою та виходами крейди на берегах (Ільїн, 2008).

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

За джерелами живлення озера Шацького поозер'я поділяються на три групи: атмосферно-напірного живлення (Чорне Велике, Світязь, Люцимер), атмосферно-грунтового живлення (Пулемецьке, Острів'янське, Луки) та атмосферно-притокового живлення (Кримне) (Зузук, 2014).

За водним балансом озера регіону поділяються на стічні та безстічні. Стічні озера, крім випаровування, мають втрати на поверхневий і підземний стік. Безстічні озера не мають втрат за рахунок підземного та поверхневого витоку.

Розрахунки водного балансу озер Шацького поозер'я, 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). Ці дані свідчать про різний режим водообміну в озерах регіону (Зузук, 2014).

Господарське освоєння досліджуваної території невисоке. Більша частина Шацького поозер'я знаходиться в межах Шацької територіальної громади. В межах громади відсутні великі підприємства та значні забруднювачі довкілля. Практично основними забруднювачами є сільське господарство та комунальна сфера. Понад 80% ТГ знаходиться в межах Шацького національного природного парку, який і створений для охорони Шацької групи озер. На теренах громади наразі пов-

ністю чи частково знаходяться озера: Світязь, Люцимер, Чорне, Кругле, Довге, Карасинець, Соминець, Пісочне, Кримне, Перемут, Плотиччя, Озерце, а також кілька менших озер. В структурі використання земель ТГ на лісовкриті землі припадає 53,1%, сільськогосподарські землі – 39,4%, луки і пасовища – 1,8%, інші землі (в т.ч. селитебні) – 5,7%.

Лише 6% мешканців селища Шацьк забезпечено каналізацією та водопостачанням. Але зараз реалізується міжнародний проект по каналізуванню населених територій поблизу озер, а тому з часом більшість мешканців будуть забезпечені цими послугами. На території громади організовано збір та вивезення твердих побутових відходів з приватних домогосподарств на полігон захоронення селища Шацьк.

Меліоративні системи на теренах громади морально застарілі, фізично зношені, потребують реконструкції чи ренатуралізації.

Екологічну оцінку якості води можна провести лише для тих озер, де проводився гідроекологічний моніторинг. Екологічна оцінка якості води виконана згідно Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (Романенко та ін., 1998) в роботі (Ковальчук, 2022).

За її результатами по блоку показників соляового складу I категорією якості оцінюється вода оз. Люцимер, IV – оз. Пісочне, Перемут, Линовець; VI і VII категорією – оз. Світязь, Пулемецьке, Луки, Чорне Велике. За трофо-сапробіологічними показниками вода оз. Пулемець і Перемут оцінена II класом і II категорією, оз. Світязь, Люцимер, Луки, Чорне Велике – III класом і IV категорією; оз. Пісочне – III класом і V категорією. За вмістом специфічних речовин води озер оцінено: оз. Перемут – II класу III категорії, оз. Світязь, Люцимер, Пулемецьке, Лука і Чорне Велике – III класу IV категорії, оз. Пісочне – III класу V категорії, оз. Линовець – III класу VI категорії.

За сумарним екологічним індексом (I_e) в роботі (Ковальчук, 2022) озера класифіковані на групи:

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

2. Оз. Люцимер ($I_e = 3,64$) – III клас, III–IV 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, IV-V 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, V категорія, за природним станом – «задовільні», «посередні», за ступенем чистоти – «забруднені», «помірно забруднені».

Оцінка евтрофікованості Шацьких озер та її динаміки проведена методами дистанційного зондування Землі. Зокрема, проведено дослідження евтрофікації озер з використанням індексу NDVI (рис. 1), NDCI (рис. 2), внутрішньорічної динаміки індексу NDVI протягом 2023 р. (рис. 3).

Використання індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки евтрофікації озер найбільш поширене. Він дозволяє ефективно оцінювати рівень евтрофікації озер, 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 (NDVI).

Основні етапи застосування індексу NDVI для моніторингу евтрофікації озер:

1. Отримання супутникових знімків дослідженої території з необхідними характеристиками (просторове, спектральне та часове розрізнення).

2. Розрахунок значень NDVI для кожного пікселя зображення.

3. Аналіз просторового розподілу NDVI з метою виявлення ділянок з високими значеннями, які відповідають інтенсивному «цвітінню» води.

4. Кореляція отриманих карт NDVI з даними наземних вимірювань вмісту біогенних речовин, хлорофілу, прозорості води для калібрування моделі.

Такий підхід дозволяє ефективно виявляти і картографувати зони евтрофікації в межах озерних акваторій, що складніше здійснити лише наземними методами.

Також для моніторингу стану водойм використовується індекс NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index). Цей індекс також тісно корелює з процесами евтрофікації (див. рис. 2). Якщо NDVI відображає загальну кількість зеленої рослинності, то NDCI конкретніше оцінює концентрацію хлорофілу у воді. Високі значення NDCI вказують на підвищену концентрацію хлорофілу, а отже активний розвиток фітопланктону у водоймі, що є ознакою евтрофікації. Основні етапи застосування NDCI для

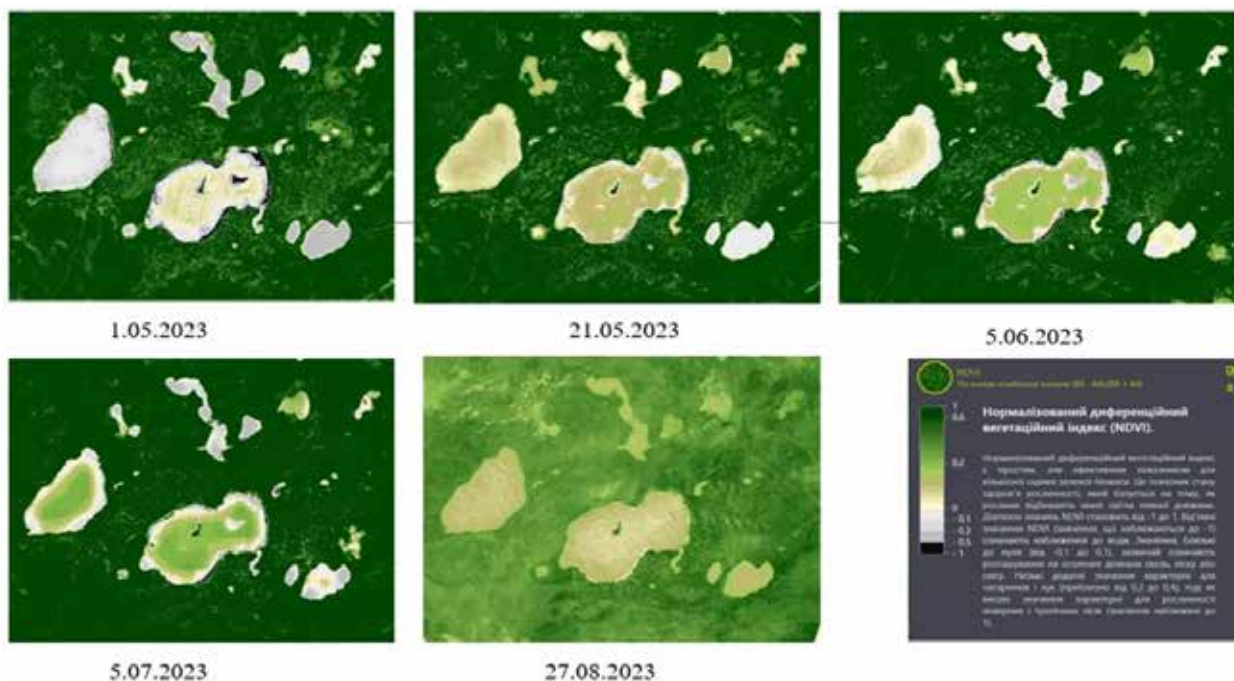


Рис. 1. Фрагменти різночасових супутникових знімків із розрахованими значеннями NDVI для досліджуваних озер

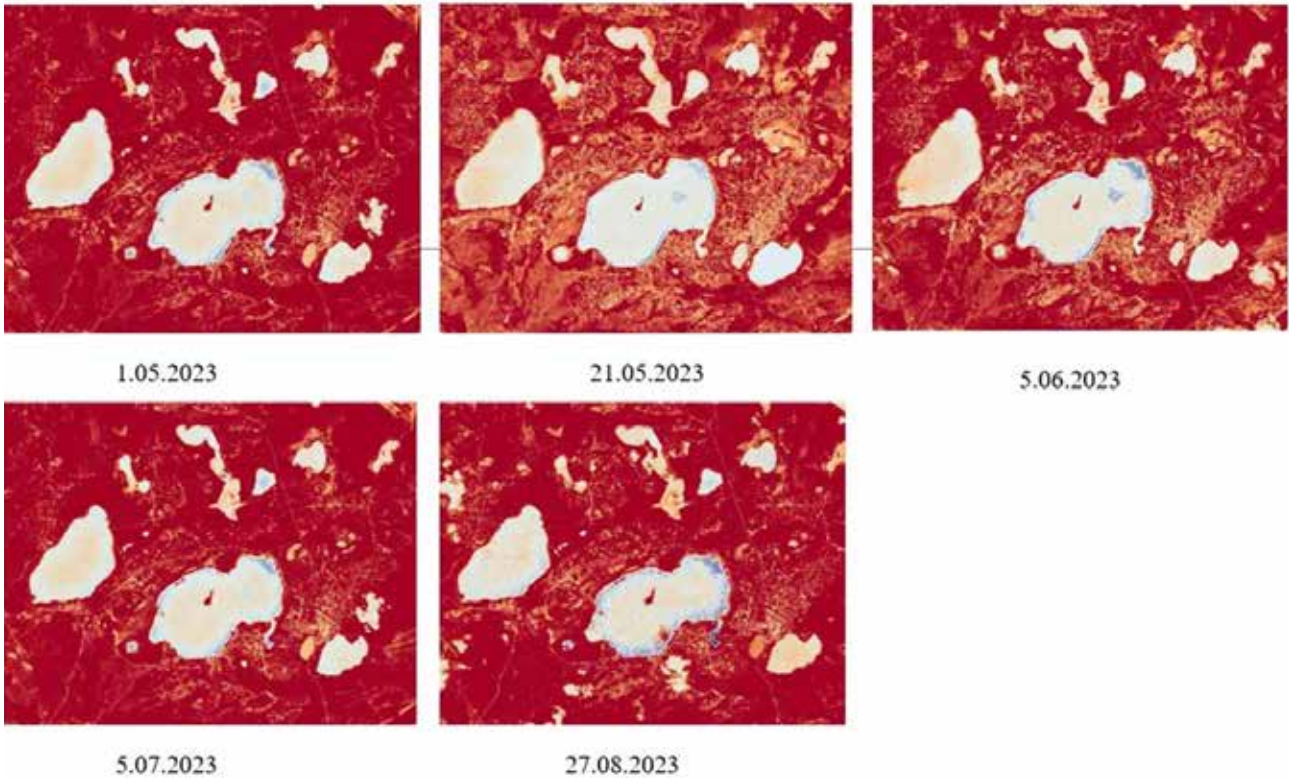


Рис. 2. Фрагменти різночасових супутникових знімків із розрахованими значеннями NDCI для досліджуваних озер

моніторингу евтрофікації озер аналогічні як і для NDVI.

Сезонна динаміка індексу NDVI (див. рис. 3) для різних озер суттєво відмінна. Так, наприклад, для оз. Линовець у внутрішньорічному розподілі максимальні додатні

значення індексу не перевищують 0,3 на початку березня та з кінця червня до кінця серпня. В кінці травня значення індексу досягає -1, що є мінімальним значенням для всіх озер. Протягом червня-початку серпня значення індексу також від'ємні (до -0,5).

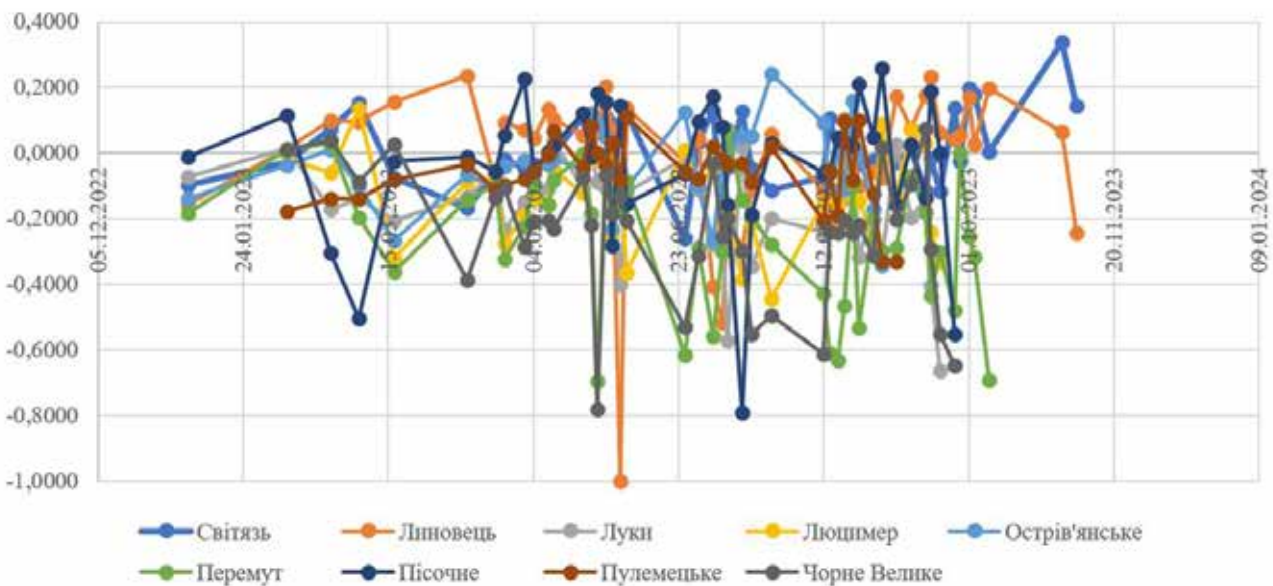


Рис. 3. Порівняльна внутрішньорічна динаміка індексу NDVI досліджуваних озер протягом 2023 р.

Протягом всього іншого часу характерні значення 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.

Аналогічний характер внутрішньорічної динаміки індексу характерний і для оз. Люцимер. Протягом року переважають від'ємні значення індексу в інтервалі до -0,4. Додатні значення (0,1-0,15) характерні в кінці березня, травня і серпня.

Зовсім інші тенденції властиві для оз. Острів'янське. Від січня і аж до кінця травня характерні значення індексу близькі до 0, вони набувають невеликих від'ємних значень (до -0,2) лише в останній декаді березня. Від початку червня до початку жовтня характерні додатні значення індексу (0,1; 0,2), які перериваються від'ємними значеннями (до -0,2) лише на початку липня і в середині серпня.

Для оз. Перемут властиві вищі значення індексу у внутрішньорічному розподілі, вища їх варіабельність. Від січня до початку серпня характерні невеликі додатні значення індексу (до 0,15), які переривались від'ємними значеннями індексу (-0,1; -0,7) в середині березня, квітня та в кінці травня. З початку серпня і аж до грудня переважають від'ємні значення в інтервалі (-0,6;0).

Схожою є динаміка NDVI для оз. Пісочне. Невеликі додатні значення (0;0,2) характерні від січня до кінця липня, перериваються від'ємними в березні-квітні (до -0,5) і в кінці червня (до -0,2). Від'ємні значення (до -0,8) властиві з кінця липня до кінця серпня, дещо зростаючи до додатних на початку вересня і знов опускаючись до кінця року.

Для оз. Пулемецьке властива чи не найнижча варіабельність значень NDVI серед усіх озер. Від початку січня до кінця травня вони від'ємні, до -0,1. Згодом до кінця жовтня – додатні (0,1;0,2), перериваються в кінці вересня невеликими від'ємними значеннями. Згодом в листопаді вони знов знижуються до значень < 0.

Для внутрішньорічного розподілу індексу у воді оз. Чорне Велике характерні вищі значення індексу та їх амплітуда. Додатні

значення (до 0,05) характерні в лютому, згодом опускаються нижче 0 і лише в жовтні знов набувають додатних значень (до 0,1). Абсолютні мінімуми зафіксовані 25 травня (-0,8), 1 липня (-0,55) і 1 серпня (-0,6).

Внутрішньорічна динаміка індексу для Світязя схожа на Пулемецьке. Додатні значення характерні з лютого (до 0,2), опускаються нижче 0 протягом березня-квітня. До жовтня переважають значення в інтервалі (0;0,2), перериваючись невеликими від'ємними значеннями в червні і липні.

Цікавим є аналіз виявлених тенденцій річного ходу індексу NDVI для окремих озер. За розрахованими значеннями коефіцієнта кореляції річного ходу індексів NDVI досліджуваних озер та озера Світязь, яке вибране еталонним як найбільше і найвідоміше, досліджувані озера можна поділити на 3 групи: з практично відсутнім зв'язком (Перемут, Пулемецьке, Люцимер, Луки, Линовець), слабким додатним (Чорне Велике), слабким від'ємним (Острів'янське, Пісочне). Можна зробити висновок, що на річний хід процесів евтрофікації меншою мірою впливають фізико-географічні умови, а більшою – розміри озер, їх глибина, здатність гідроекосистеми протидіяти евтрофікаційним процесам.

Також розраховані коефіцієнти варіації для річного ходу індексу NDVI окремих озер. Для всіх озер коефіцієнт варіації < 33%, сукупність однорідна. За значеннями коефіцієнта варіації досліджувані озера можна поділити на 3 групи:

Луки, Люцимер, Перемут, Пулемецьке, Чорне Велике – досить близькі, коефіцієнт варіації не перевищує 2%;

Острів'янське, Пісочне і Світязь мають значення коефіцієнта варіації в інтервалі 2–10%;

Линовець – коефіцієнт варіації 22,57%, що свідчить про значну більшу варіацію показників внутрішньорічного ходу NDVI.

Висновки

Встановлено, що рівень евтрофікованості досліджуваних озер не високий. Навіть влітку для більшості озер NDVI не перевищує 0,2, а для окремих (Світязь, Луки, Перемут, Пулемецьке) ще нижчий. Загалом це зумовлено особливостями озер, зокрема, карстовим походженням, значними глибинами та площами водного дзеркала, високою стійкістю їх гідроекосистем, порівняно невисоким рівнем господарського освоєння, перш за все, сільськогосподарського використання території Шацького національного природ-

ного парку. Проте навіть для відносно благополучних в екологічному відношенні озер відчувається вплив глобальної зміни клімату на стан озерних екосистем, в т.ч. і на евтрофікаційні процеси водоймах. Тому дуже важливою є розробка заходів зменшення евтрофікованості та поліпшення гідроекологічного стану Шацьких озер. Вони мають

включати: 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.

Список використаної літератури

Арсан О.М., Ситник Ю.М., Горбатюк Л.О., Куля 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.

Зуб Л.М. Оцінка екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальної біоти. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2012. № 9. С. 337–343.

Зузок Ф.В. Природа Західного Полісся, прилеглої до Хотиславського кар'єру : монографія. Луцьк : Вежа, 2014. 246 с.

Ільїн А.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.

Карпюк З.К., Фесюк В.О. Природоохоронні мережі Волинської області. Луцьк : Терен, 2021. 212 с.

Ковальчук С.В. Аналіз рівня антропогенного навантаження на природні комплекси стаціонарними джерелами забруднення Шацького національного природного парку (ШНПП). *Вісник НУВГП*. 2008. № 2 (42). ч. 1. С. 35–42.

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.

Коніщук В.В., Христецька М.В. Екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький». *Агроекологічний журнал*. 2023. № 3. С. 62–70.

Мольчак Я.О. Поверхневі води Волині: колективна монографія. Луцьк : Терен, 2019. 344 с.

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.

Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ : Символ-Т, 1998. 28 с.

Фесюк В.О. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області : колективна монографія. Київ : ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2016. 316 с.

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. № 12. P. 1135–1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>.

Gulati R.D., van Donk E. Lake restoration with special reference to lakes in the Netherlands: a review. *Hydrobiologia*. 2002. Vol. 478. № 1–3. P. 73–106. <https://doi.org/10.1023/A:1021092427559>.

NDVI. [Електронний ресурс]. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=16&lat=51.06328&lng=24.8132&themeId=DEFAULT-24T23%3A59%3A59.999Z> (дата звернення 10.04.2024).

Normalized Difference Chlorophyll Index. [Електронний ресурс]. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndci/> (дата звернення 10.04.2024).

Scheffer M. *The Ecology of Shallow Lakes*. London : Chapman & Hall. 2015. 385 p.

Schindler D.W. The enigma of eutrophication: the productivity paradox in lakes. *Israel Journal of Chemistry*. 2012. Vol. 52. № 2. P. 105–116.

Smith V.H., Joye S.B., Howarth R.W. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*. 2006. Vol. 51. № 1. P. 351–355. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351.

Wetzel R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego : Academic Press, 2001. 1006 p.

References (translated & transliterated)

- Arsan, O.M., Sytnyk, Yu.M., Horbatiuk, L.O., & Kuklia, I.H. (2012). Ekolooho-toksykologichni doslidzhennia ozernykh ekosystem Shatskoho natsionalnogo pryrodnoho parku: orhanichni toksychni rehovyny u vodi [Ecological and toxicological studies of lake ecosystems of the Shatsk National Nature Park: organic toxic substances in water]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii* [Nature of Western Polissia and the surrounding areas], 9, 325–328 [in Ukrainian].
- Zub, L.M. (2012). Otsinka ekolohichnoho stanu oz. Svitiaz za bahatorichnoiu dynamikoiu roslynnykh kompleksiv akvalnykh biotopiv [Assessment of the ecological state of Lake Svitiaz by long-term dynamics of plant complexes of aquatic habitats]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii* [Nature of Western Polissia and the surrounding areas], 9, 337–343 [in Ukrainian].
- Zuzuk, F.V. (2014). Pryroda Zakhidnoho Polissya, prylehloho do Khotyslavs'koho kar'yeru : monohrafiya [The nature of Western Polissia, adjacent to the Khotislavsky quarry : monograph]. Luts'k : Vezha [in Ukrainian].
- Ilin, L.V. (2008). Limnokompleksy Ukrainskoho Polissia : monohrafiia: Pryrodnycho-heohrafichni osnovy doslidzhennia ta rehionalni zonomirnosti [Limnocomplexes of Ukrainian Polissya : monograph: Natural and geographical foundations of research and regional patterns]. Luts'k : Vezha Volyn. nats. un-tu im. Lesi Ukrayinky [in Ukrainian].
- Karpiuk, Z.K., & Fesiuk, V.O. (2021). Pryrodookhoronni merezhi Volynskoi oblasti [Nature protection networks of Volyn region]. Luts'k [in Ukrainian].
- Kovalchuk, S.V. (2008). Analiz rivnia antropohennoho navantazhennia na pryrodni kompleksy statsionarnymi dzherelamy zabrudnennia Shatskoho natsionalnogo pryrodnoho parku (ShNPP) [Analysis of the level of anthropogenic load on natural complexes by stationary sources of pollution in the Shatsk National Nature Park]. *Visnyk NUVHP* [Bulletin of the NUWGP], 2 (42), 35–42 [in Ukrainian].
- Kovalchuk, S.V. (2022). Transformatsiia vodnykh ob'ektiv Shatskoho poozeria za rezultatamy otsinky antropohennoho navantazhennia na poverkhnevi vody [Transformation of water bodies of the Shatsk Lake based on the results of anthropogenic load assessment on surface waters]. *The 6th International scientific and practical conference "Multidisciplinary scientific notes. Theory, history and practice" (November 1-4, 2022) Edmonton, Canada. International Science Group*, 42–45 [in Ukrainian].
- Konishchuk, V.V., & Khrystetska, M.V. (2023). Ekolohichna otsinka evtrofikatsii ozer biosferneho rezervatu «Shatskyi» [Ecological assessment of eutrophication of lakes in the Shatsky Biosphere Reserve]. *Ahroekolohichni zhurnal* [Agroecological journal], 3, 62–70 [in Ukrainian].
- Molchaka, Ya.O. (2019). Poverkhnevi vody Volyni: kolektyvna monohrafiia [Surface waters of Volyn: a collective monograph]. Luts'k [in Ukrainian].
- Nazaruk, K.M., & Khamar, I.S. (2011). Struktura uhrupuvan zooplanktonu ozera PISOCHNE Shatskoho natsionalnogo pryrodnoho parku yak pokaznyk yoho evtrofikatsii [The structure of zooplankton communities of Lake PISOCHNE in Shatsk National Nature Park as an indicator of its eutrophication]. *Biologichni Studii* [Biological Studies], 5 (1), 131–140 [in Ukrainian].
- Romanenko, V.D., Zhukinskyi, V.M., Oksiiuk, O.P., & Yatsyk, A.V. (1998). Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevnykh vod za vidpovidnymi katehoriiami [Methodology for environmental assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv, Symvol-T [in Ukrainian].
- Fesiuk, V.O. (2016). Suchasnyi ekolohichnyi stan ta perspektyvy ekolohichno bezpechnoho stiikoho rozvytku Volynskoi oblasti: kolektyvna monohrafiia [Current ecological state and prospects for environmentally safe sustainable development of Volyn region: a collective monograph]. Kyiv [in Ukrainian].
- Elser, J.J., Bracken, M.E.S., & Cleland, E.E. et al. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10 (12), 1135–1142 <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x> [in English].
- Gulati, R.D., & van Donk E. (2002). Lake restoration with special reference to lakes in the Netherlands: a review. *Hydrobiologia*, 478 (1–3), 73–106 <https://doi.org/10.1023/A:1021092427559> [in English].
- NDVI. [Electronic resource]. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=16&lat=51.06328&lng=24.8132&themeId=DEFAULT-24T23%3A59%3A59.999Z> (access date 10.04.2024) [in English].
- Normalized Difference Chlorophyll Index. [Electronic resource]. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndci/> (access date 10.04.2024) [in English].

Scheffer, M. (2015). *The Ecology of Shallow Lakes*. London : Chapman & Hall. [in English].

Schindler, D.W. (2012). The enigma of eutrophication: the productivity paradox in lakes. *Israel Journal of Chemistry*, 52 (2), 105–116 [in English].

Smith, V.H., Joye, S.B., & Howarth, R.W. (2006). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 51 (1), 351–355 https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351 [in English].

Wetzel, R.G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego : Academic Press, 1006 [in English].

Отримано: 26.04.2024

Прийнято: 06.05.2024