

КОНСТРУКТИВНА ГЕОГРАФІЯ І ГЕОЕКОЛОГІЯ

УДК 504.455+005:65.01+528.88

DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.18>

Василь ФЕСЮК, Ірина НЕТРОБЧУК, Олександр ДУБРОВИК

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ОЗЕР ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ
(НА ПРИКЛАДІ ОЗЕРА ЗАСВІТСЬКЕ)

В статті досліджуються морфометричні та гідрологічні особливості озера Засвітського, геоекологічний стан його водозбору. Проаналізовано масштаби евтрофікаційних процесів в озері та їх динаміка. Проведено порівняння особливостей евтрофікації досліджуваного озера з іншими озерами Волинського Полісся. Запропоновано заходи запобігання та зменшення евтрофікації.

Ключові слова: озеро, водозбір озера, лімносистема, геоекологічний стан водозбору, евтрофікація озера, заходи запобігання та зменшення евтрофікації озер.

Постановка науково-практичної проблеми. Волинське Полісся є унікальним природним регіоном України, який відомий своїми численними озерами. Ці природні водойми мають велике екологічне, рекреаційне та господарське значення. Але внаслідок інтенсивної господарської діяльності, забруднення та дії інших антропогенних чинників багато озер зазнають евтрофікації. Надмірне збагачення водойм поживними речовинами спричинює бурхливий розвиток водоростей, погіршення якості води та порушення екологічної рівноваги. Дослідження евтрофікації озер Волинського Полісся є актуальною науково-практичною проблемою, що потребує комплексного вивчення та розробки ефективних заходів для запобігання та контролю цього процесу. Зокрема, необхідно провести моніторинг стану озер, визначити рівень евтрофікації та виявити основні чинники, що її спричиняють (надходження біогенних сполук із поверхневим стоком, ерозія ґрунтів тощо). А також розробити практичні рекомендації та заходи для запобігання та зменшення евтрофікації.

Актуальність і новизна дослідження. Стан озер Волинського Полісся останнім часом погіршується. Сприяє тому інтенсивний антропогенний вплив. Найбільшою мірою, сільське господарство, осушувальна меліорація, стік з селитебних територій та стихійних сміттєзвалищ. Також останнім часом суттєво впливають глобальні зміни клімату. Вони сприяють не лише зменшенню водності озер, але й інтенсифікації евтрофікаційних процесів. Новизна дослідження полягає у спробі оцінити рівень евтрофікації одного з озер Волинського Полісся (оз. Засвітського) методами ДЗЗ та порівняти його з іншими озерами.

Зв'язок теми статті з важливими науково-практичними завданнями. Тематика статті пов'язана із напрямками поліпшення стану довкілля Волинської області, окресле-

ними у Стратегії розвитку Волинської області на період до 2027 р., Регіональній екологічній програмі «Екологія 2023-26», а також НДР 0122U000943 «Оцінка гідроекологічного стану і регіональні проблеми раціонального використання та охорони вод Волинської області», що виконується на кафедрі фізичної географії Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Аналіз останніх публікацій за темою дослідження. Питання евтрофікації озер, чинників, що на неї впливають, досить добре висвітлені у вітчизняній та закордонній науковій літературі. Варто згадати роботи А. Raike et al. [11] про динаміку концентрацій фосфору, азоту та хлорофілу у фінських річках та озерах, А. N. Sharpley et al. [12] про визначення екологічно безпечного рівня фосфору в ґрунті і ландшафтах, А. Martin, G.D. Cooke [10] про ризики для здоров'я при споживанні води з евтрофікованих джерел, І. Р. Kovalchuk, V. A. Martyniuk, V. Šeirienė [9] про басейново-ландшафтний підхід до охорони та оптимізації стану озер національних парків та [8] про методологію і досвід ландшафтно-лімнологічних досліджень озерно-басейнових систем України. Евтрофікація озер Волинського Полісся досліджена в роботах В.В. Коніщука, М.В. Христецької [1], зокрема, про евтрофікацію озер біосферного резервату «Шацький», В.О. Фесюка, С.В. Полянського, Т.В. Копитюк [5] про евтрофікацію Турського озера, М.Й. Шевчука, О.Г. Сергушка про евтрофікацію озер Волинської області. Застосування методів ДЗЗ для оцінки евтрофікованості апробовано в роботах О.В. Томченко [3] про багатокритеріальну оптимізацію матеріалів ДЗЗ та наземних даних для оцінки екологічного стану Київського водосховища, В.О.Фесюка, І.М. Нетробчук, М.М.Алексійчука [4] про оцінку евтрофікованості оз. Велике методами дистанційного зондування Землі.

Викладення основного матеріалу. Евт-

рофікація – це процес збільшення біологічної продуктивності та трофності водойм через надходження поживних речовин, насамперед сполук нітрогену та фосфору. Найпоширенішими ознаками евтрофікації водойм є [7]:

- "цвітіння" води влітку через вибуховий розвиток водоростей;
- посилення росту вищої водної рослинності;
- раптове збільшення продукування органічної речовини;
- зменшення концентрації кисню у глибших шарах водойми та загибель донних організмів;
- порушення газового режиму взимку під кригою, що призводить до зимової загибелі риби;
- зниження органолептичних властивостей води.

Евтрофікація може бути викликана як природними, так і антропогенними чинниками. Зазвичай, головною причиною евтрофікації є надлишкове надходження біогенних речовин із стічними вод урбанізованих територій або стоками з сільськогосподарських угідь. Глобальні зміни клімату теж збільшують масштаби евтрофікаційних процесів. Наприклад [5]:

- підвищення температури водної поверхні сприяє інтенсифікації евтрофікаційних процесів та "цвітінню" водойм, оскільки водорості швидше розмножуються за вищих температур;
- збільшення повторюваності та інтенсивності повеней і паводків посилює змив біогенних речовин з водозборів у водойми;
- зміни режиму випадання опадів спричиняють зміни об'єму поверхневого стоку, а отже й надходження біогенних речовин у водойми із ним;
- аридизація клімату зумовлює обміління водойм, а отже й зниження можливості по розбавленню забруднюючих речовин у водоймах.

Найчастіше для оцінки евтрофікації озер застосовують такі показники [2]:

1. Підвищені концентрації сполук фосфору та нітрогену у воді є одночасно ознакою і причиною евтрофікації.
2. Прозорість води, концентрація хлорофілу та біомаса фітопланктону дозволяють оцінити інтенсивність "цвітіння" води.
3. Зниження концентрації розчиненого кисню у придонних шарах води та донних відкладах свідчить про органічне забруднення та евтрофікацію.
4. Індекси трофності (Карлсона, Марасева і т.д) дозволяють оцінити рівень трофності водойми та її екологічний стан.

5. Індекси сапробності (Пантле-Букка тощо) теж використовуються для оцінки стану водойми на основі видового складу організмів, що живуть у ній. Зазвичай, у водоймах з низьким ступенем евтрофікації живуть організми, які потребують більше кисню для життєдіяльності, наприклад, деякі види риб, молюски. У водоймах з високим рівнем евтрофікації переважають організми, які можуть пристосуватися до низьких концентрацій кисню, наприклад, певні види водоростей та бактерій.

З метою дослідження та оцінки евтрофікаційних процесів, що відбуваються у водоймах, найчастіше застосовують дві групи методів. Перша включає методи безпосереднього вимірювання, проведені в складі експедиційного дослідження. Вони передбачають відбір гідробіологічних, гідрохімічних проб та їх наступний аналіз. Для гідробіологічної оцінки евтрофікації водойми найчастіше використовують індекс сапробності за методом Пантле-Букка у модифікації Сладечека (Sladecsek, 1971) [2]:

$$S = \frac{\sum SJ}{\sum J}, \quad (1)$$

де S – сапробність знайденого індикаторного таксону (від 0 до 4); J – його індикаторна вага (від 1 до 4).

Розрахунки здійснюються по таблиці видів-індикаторів забруднення. Чисельність кожного такого виду множиться на його індикаторну вагу, сумується і ділиться на суму індикаторних ваг. Розраховані значення індексу сапробності інтерпретують наступним чином: 1,0-1,5 – олігосапробна зона; 1,5-2,5 – β-мезосапробна зона; 2,5-3,5 – α-мезосапробна зона, 3,5-4,0 – полісапробна зона.

Друга велика група методів – методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). В наш час вони широко застосовуються для оцінки евтрофікації водойм. Вони передбачають використання матеріалів ДЗЗ, в основному, супутникових знімків як джерела не лише візуальної інформації у видимому спектрі зйомки, але й для спектрального аналізу. Супутникові знімки містять багато спектрів зображення. Наприклад, знімки місії Sentinel-2 містять 12 каналів. Це дозволяє одержувати статистичні оцінки зображення і аналізувати їх з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірності [4].

Оцінка динаміки "цвітіння" водойм за матеріалами ДЗЗ передбачає наступні етапи:

1. Відбір мультиспектральних супутникових знімків озера з високим просторовим (10-30 м) і часовим (щотижневим) розрізненням протягом вегетаційного періоду. Найчастіше застосовують знімки місії Sentinel-

2 чи Landsat-8, оскільки остання має тепловий канал. Це важливо для дослідження кореляції між ступенем евтрофікації та температурою поверхні водойми.

2. Розрахунок вегетаційних індексів. Їх налічується досить багато. Найпопулярнішими є: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований різницевий індекс рослинності, EVI (Enhanced Vegetation Index) – покращений індекс рослинності, CI (Chlorophyll Index) – індекс вмісту хлорофілу, AI (Algo Index) – індекс розвитку водоростей.

3. Візуалізація даних, побудова графіків динаміки значень індексів по акваторії водойми за період спостереження. Виділення максимальних значень, їх просторової і часової локалізації.

4. Картування найбільш евтрофікованих ділянок водойми. Ідентифікація джерел надходження біогенів.

5. Порівняння з евтрофікованістю для інших водойм, наприклад, для сусідніх, еталонних водойм або водойм-аналогів.

В нашій роботі для оцінки евтрофікованості озера використані індекси NDVI та NDAI. Перший з них – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований різницевий індекс рослинності, кількісний показник фотосинтетично-активної біомаси найчастіше використовують для оцінки евтрофікаційних процесів у водоймах. Значення індексу змінюється в діапазоні від -1 до 1. Від’ємні значення індексу NDVI свідчать про наявність води у вигляді хмар, снігу; близькі до нуля значення (-0,1 до 0,1) відповідають ділянкам із відсутнім рослинним покривом. Значення від 0,2 до 0,9 свідчать про активну вегетацію (в т.ч. і у водних об’єктах).

Популярність індексу NDVI для кількісної оцінки інтенсивності вегетації пояснюється його зрозумілістю, очевидною фізичною суттю та простотою розрахунку [3]. На сьогодні розроблено багато онлайн-сервісів, які дозволяють провести розрахунки цього індексу. Наприклад, веб-додаток EO Browser, розроблений Європейською космічною агенцією (ESA). В ньому алгоритм розрахунку індексу втілений в інтерфейсі. Це дозволяє переглянути серії синтетичних зображень за певні дати на певну територію.

Для досліджень евтрофікації вибрано декілька озер. Одне з них розглянемо детальніше. Це озеро Засвітське. Воно знаходиться на північному заході Рівненської області, в Варашському (Зарічненському за старим адміністративно-територіальним устроєм) районі, на південь від с. Млин і на північний захід від оз. Нобель.

Територія належить до Зарічненського (Нижньостирського) фізико-географічного району Верхньоприп’ятської фізико-географічної області. Також тут створено у 2019 р. Нобельський національний природний парк.

Озеро Засвітське має типову для невеликих карстових водойм Волинського Полісся грушоподібну форму, розширену в північній частині. Схили улоговини озера круті. Дно переважно піщане, в прибережній зоні північно-східної частини водойми – піщано-мулисте. Береги високі, не заболочені, складені переважно піщаними відкладами. Вища водна рослинність (рогоз, очерет, комиш) вузькою смугою шириною 15-25 м простягається вздовж східного та південного берегів [9]. Загалом рослинністю покрито близько 10% мілководдя. На берегах поширено лучне різнотрав’я та деревна рослинність (сосна, вільха, береза). У західній та північно-західній частині озера тераси обладнано пляж. Площа водойми – 22 га, довжина – 620 м, середня ширина – 350 м, максимальна глибина – 16 м, середня глибина – 12,5 м, довжина берегової лінії – 1,75 км, об’єм озера – 5045,6 тис. м³. Живиться озеро, насамперед, атмосферними опадами та підземними водами мергельно-крейдяного горизонту сенон-туронського ярусу. Середньорічний модуль стоку становить 4 дм³/км². Озеро безстічне. В статті [9] описано, що під час проведення підводних досліджень водолазами встановлено наявність карстової лійки на дні озера, де відбувається розвантаження підземних вод.

Ландшафтно-екологічний стан водозбору сприятливий, потенційно небезпечні об’єкти відсутні, з півночі, сходу і півдня озеро оточене сосновим лісом, а з західної і північно-західної сторони знаходяться обладнані невеликі пляжі. Вода озера досить чиста. Нормативи ГДК для водойм рибогосподарського використання перевищуються лише за показником біологічного споживання кисню на 28% та вмістом цинку у 3,1 рази [9].

Динаміка індексу NDVI протягом теплового періоду змінюється наступним чином: значення індексу зростають із початком переходу середньодобової температур через 0°C, максимальні значення досягаються в кінці липня – початку серпня, а потім значення знижуються аж до початку морозів. Характерним, для прикладу, є 2022 р. Вже 1.04.2022 р NDVI набуває невеликих додатних значень до 0,1 (рис. 1). Це є ознакою початку вегетаційних процесів у озері. До середини травня значення індексу підвищуються до 0,1-0,2, в східній частині озера, де знаходиться появ гігрофітів, до 0,3, в північній частині озера чітко промальовується обмі-

лина із невеликими від’ємними значеннями індексу. Вона буде помітна на супутникових знімках протягом всього теплого періоду. До кінця місяця значення NDVI для більшої частини водойми знову знижуються до 0. В кінці червня значення індексу зростають до 0,1 і знов знижуються. В першій декаді липня вода очищується

від водоростей, індекс набуває від’ємних значень (до -1), що відповідає чистій воді. В серпні-вересні значення індексу змінюються в інтервалі (-0,1; -0,5). Тобто для оз. Засвітського протягом теплого періоду властиві дуже низькі значення NDVI.

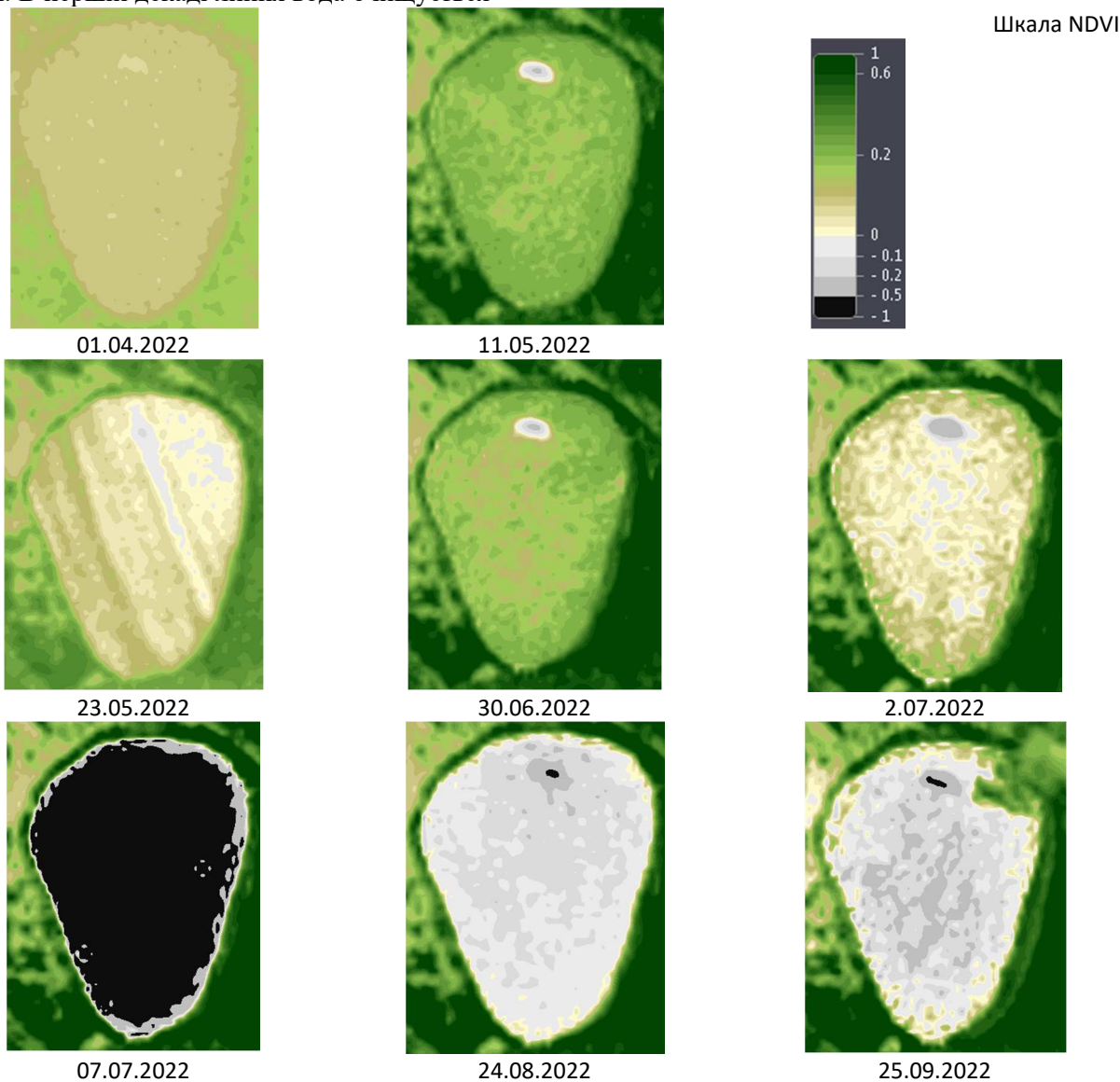


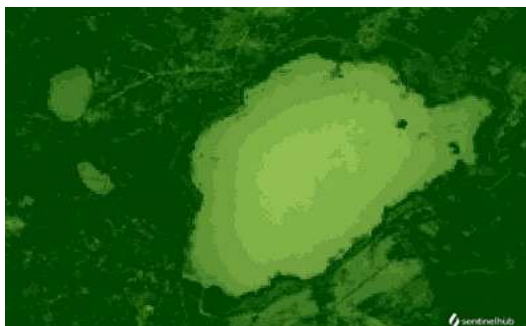
Рис. 1. Зміна NDVI водної поверхні озера Засвітське протягом теплого періоду 2022 р. за даними ресурсу sentinel-hub.com (під знімками – дати)



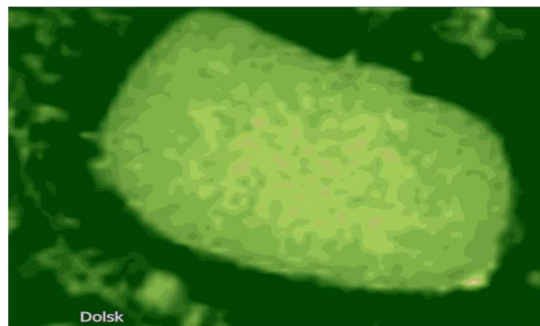
Рис. 2. Динаміки індексу NDVI поверхні води оз. Засвітське за 1 місяць (зліва) та 1 рік (справа), розрахована за даними ресурсу sentinel-hub.com

Значення NDVI фактично протягом весни-осені 2022 р. не зростали понад 0,2 (рис. 2). Навіть за період кінець серпня – початок вересня, протягом якого, як правило, проявляється максимальна евтрофікація поліських озер, для Засвітського індекс NDVI не піднімався вище

0,25, а протягом другої декади серпня взагалі дорівнював 0. В той же ж час протягом теплового періоду для окремих озер Полісся NDVI може досягати 0,6-0,7 [4,5]. Наприклад, на рис. 3 наведено результати розрахунку NDVI водної поверхні озер Турського і Дольського.

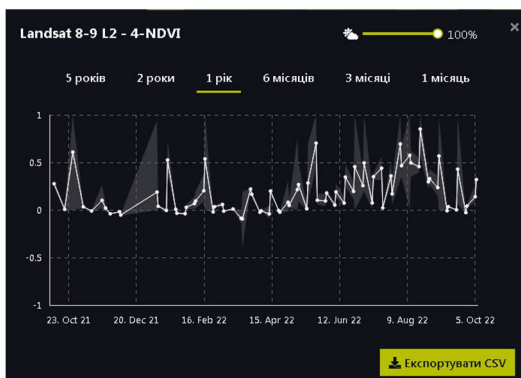


Оз. Турське, 21.08.2020 р.

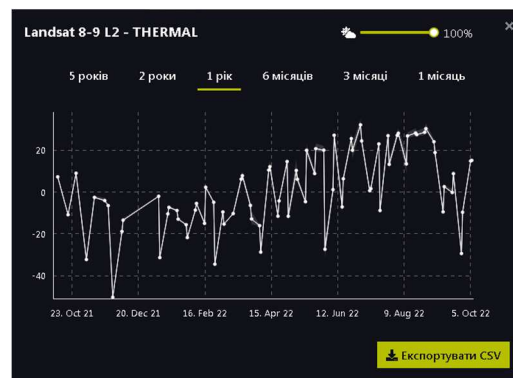


Дольське озеро, 24.08.2022 р.

Рис. 3. Індекс NDVI водної поверхні окремих озер Волинського Полісся розрахований за даними ресурсу sentinel-hub.com



Індекс NDVI



Канал Thermal

Рис. 4. Порівняння динаміки індексу NDVI та температури поверхні води Турського озера за 1 рік, розрахована за даними супутникової місії Landsat-8 ресурсу sentinel-hub.com

В роботі [5] детально проаналізована динаміка індексу NDVI для Турського озера за 2017-21 рр. Проявляється наступна закономірність: ще в травні евтрофікація практично відсутня, значення NDVI від'ємні -0,1-0,2, для деяких ділянок навіть -0,2-0,5, в червні показники NDVI зростають, з'являються окремі ділянки поверхні озера із додатними значеннями NDVI. З року в рік площі цих ділянок змінюються, наприклад, у 2017-18 р.р. – це досить незначні за площею ділянки, переважно, в центральній частині озера, біля східного та північного берегів, а у 2019-2021 рр. – ці ділянки займають вже значно більші площі (у 2019 р. – 20% площі водної поверхні, у 2020 р. – 50%, у 2021 р. – понад 70%). В липні значення NDVI далі зростають, практично для всього озера вони додатні, в окремі роки (2018 р.) досягають 0,1-0,2, в окремі (2017 р., 2021 р.) більше ніж 0,5. Пікові значення NDVI припадають на кінець серпня, початок вересня. Значення NDVI для більшої частини водойми в той час перевищують 0,5. В

окремі роки фіксуються аномально високі значення NDVI саме в цей час. Наприклад, 21.08.2021 р. значення індексу в межах акваторії варіювали в межах 0,6-0,9, чітко видно формування концентричних зон прояву евтрофікації, які поширюються від усіх берегів до центральної найглибшої частини озера, де значення показника NDVI найменші. Така ж тенденція мала місце і у 2022 р. (рис. 4). В другій половині вересня озеро звільняється від водоростей. Іноді, наприклад, у 2017 р. навіть вкінці вересня зберігаються ще окремі островки підвищеної евтрофікованості озера, особливо, біля північного берегу.

Тому для оз. Засвітського (рис. 2) порівняно із Турським озером характерна відносно низька евтрофікація (<0,2), що свідчить про дуже чисту воду та хороший екологічний стан.

При аналізі внутрішньорічної динаміки індексу NDVI для оз. Засвітське (рис. 5) чіткої сезонності не виявлено. Це відрізняє досліджуване озеро від багатьох інших озер Волинсь-

кого Полісся, де така сезонна динаміка проявляється дуже чітко. Там фіксується чітка залежність між евтрофікацією і температурою

поверхні води. Чим вища температура, тим вищі значення NDVI.

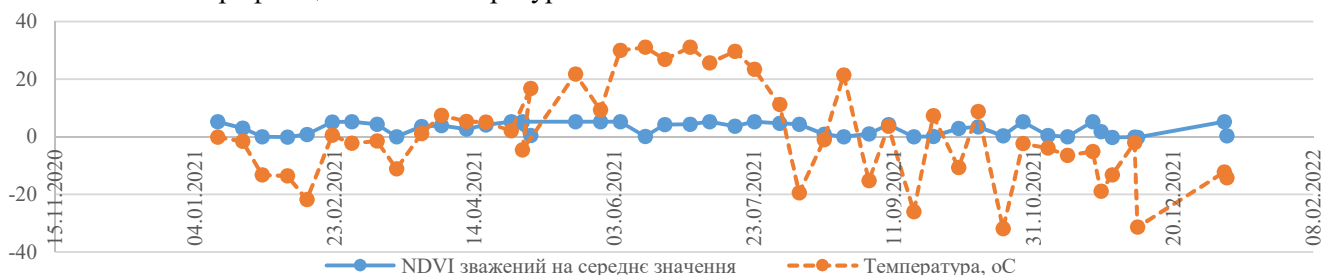


Рис. 5. Порівняння динаміки зважених значень NDVI і температури поверхні води оз. Засвітського за 2021-22 р.р. за даними sentinel-hub.com

Розраховано коефіцієнт кореляції між евтрофікацією і температурою поверхні води для оз. Засвітське. Для цього співставлялись не абсолютні значення NDVI та температури, а їх зважені значення, тобто поділені на середні арифметичні значення. Розрахований коефіцієнт кореляції становить 0,41. Для прикладу, за матеріалами В.О. Фесюка, С.В. Полянського та Т.В. Копитюк (2022), для оз. Турського розрахований за цією ж методикою коефіцієнт кореляції становить 0,88 [5]. Це свідчить про наявність дуже високої кореляції, яка пояснюється особливостями озер. Турське дуже велике за розмірами (1285 га), проте мілке (середня глибина 2 м), добре прогрівається, є частиною меліоративної системи, оточене сільськогоспо-

дарськими угіддями, з яких виносяться в озеро біогенні компоненти (сполуки нітрогену, фосфору). Навпаки, Засвітське – невелике, але глибоке карстове озеро із потужним підземним підживленням, чистою водою. Тому зв’язок між евтрофікацією і температурою поверхні води слабший.

Окрім NDVI існують й інші індекси для оцінки евтрофікованості водойм. Наприклад, в роботі О.В. Томченко [3] з цією метою запропоновано використовувати інший індекс – NDAI (Normalized Difference Algae Index) – нормалізований різницевий індекс водоростей. Його особливістю є акцент на діагностику процесу заростання водойми водоростями, визначення стадій цього процесу.

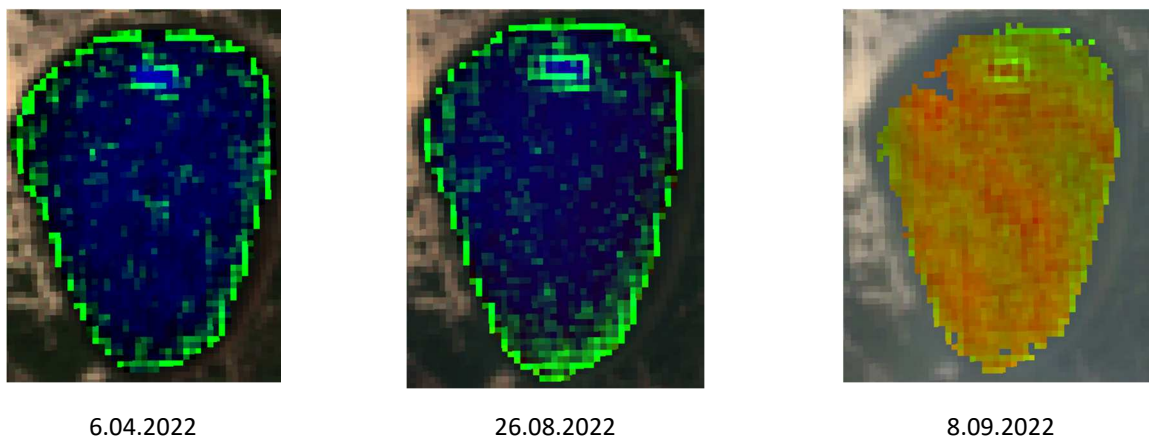


Рис. 6. Зміна індексу NDAI протягом теплого періоду 2022 р. для оз. Засвітське за даними ресурсу sentinel-hub.com (дати під фрагментами)

Для аналізу використано знімки місії Sentinel-2 (атмосферна корекція L2A) за теплий період 2022 р. Значення індексу залежить від щільності вищої водної рослинності та візуалізується застосуванням різних кольорів (рис. 6). Чистій воді відповідає голубий колір, акваторії з низькою щільністю водних рослин чи водоростей – бірюзовий; середньою щільністю – зелений колір, найвищою щільністю – жовтий та помаранчевий. Сама ж вода водойми візуалі-

зується коричневим, червоним або фіолетовим кольорами залежно від величини каламутності [3].

Індекс NDAI дозволяє ліпше прослідкувати сезонність вегетаційних процесів в оз. Засвітському. На початку квітня розвиток вегетаційних процесів йде від поясу напівзатоплених гідрофітів вздовж берегів водойми, охоплює острівне підняття на півночі озера. Влітку інтенсивність вегетаційних процесів зростає,

досягаючи піку в вересні. Про це свідчать переважачі жовто-оранжеві відтінки на знімку за той період. Згодом рослинність відмирає і процес повторюється в новому вегетаційному циклі.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Порівняння результатів дослідження евтрофікованості озера Засвітське з іншими озерами Волинського Полісся дозволило встановити наступні закономірності:

- для даного озера властивий відносно низький рівень евтрофікованості, індекс NDVI досягає максимальних значень 0,2 протягом усього теплового періоду, натомість для інших озер значення індексу суттєво вищі;
- не встановлено чіткої сезонності розподілу індексу NDVI, для більшості ж озер така закономірність дуже чітко простежується;
- значення коефіцієнта кореляції між зваженими значеннями NDVI та температурою становить 0,41, натомість, наприклад, для оз. Турське – 0,88;
- індекс NDAI дозволяє чіткіше прослідкувати сезонність вегетаційних процесів в оз. Засвітському, ніж NDVI.

Та не дивлячись на відносно невисокий ступінь евтрофікованості оз. Засвітське, сама

проблема евтрофікації для озер Волинського Полісся є дуже гострою. Її актуальність зростає внаслідок глобальних змін клімату. Для боротьби з евтрофікацією водойм використовують відновлювальні та профілактичні заходи. Перші передбачають [2]:

- зниження концентрації біогенних елементів у водоймі;
- поглиблення дна для збільшення об'єму гіполімніону;
- вилучення біогенних сполук, задепонованих сапропелем;
- регулярний спуск водосховищ;
- хімічну обробку для зв'язування та осадження біогенних елементів;
- реаерацію водойм;
- механічне видалення фітомаси, в т.ч. з використанням риб-меліораторів.

До профілактичних методів відноситься [2]:

- контроль скиду біогенних речовин;
- додаткове очищення поверхневого стоку, що потрапляє у водойму, від біогенних речовин, наприклад, шляхом використання попередніх відстійників (біоставків);
- екологічно безпечне стійке водокористування на водозборі.

Література:

1. Конішук В.В., Христецька М.В. Екологічна оцінка евтрофікації озер біосферного резервату «Шацький». Агроекологічний журнал. 2023. № 3. С. 62-70.
2. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами: навчальний посібник. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
3. Томченко О.В. Використання методу багатокритеріальної оптимізації матеріалів ДЗЗ та наземних даних для оцінки екологічного стану Київського водосховища. Екологічна безпека та природокористування. 2014. Вип. 15. С. 31-39.
4. 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.
5. 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.
6. Шевчук М.Й., Сергущко О.Г. Евтрофікація озер Волинської області. Агроекологічний журнал. 2017. № 1. С. 16-21.
7. Eutrophication. URL: <https://www.open.edu/openlearn/natureenvironment/environmental-studies/eutrophication/content-section-0?active-tab=content-tab>
8. Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.A. Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine. Geography and Natural Resources. 2015. Vol. 36. Issue 3. P. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372815030117>
9. Kovalchuk I. P., Martyniuk V. A., Šeiriene V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2023. Вип. 53. С. 239-254.
10. Martin A., Cooke G.D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. Lake Line. 14. 24-26.
11. Raika A., Pietilainen, O.P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A., Vuorenmaa, J. (2003). Trends of phosphorus, nitrogen, and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-2000. The Science of the Total Environment. 310. 47-59.
12. Sharpley A.N., Daniel T.C., Sims J.T., Pote D.H. (1996). Determining environmentally sound soil phosphorus levels. Journal of Soil and Water Conservation. 51.160-166.

References:

1. Konishhuk V.V., Xry'stecz'ka M.V. Ekologichna ocinka evtrofikaciyi ozer biosfernogo rezervatu «Shacz'ky'j». Agroekologichny'j zhurnal. 2023. # 3. S. 62-70.
2. Tomil'ceva A.I., Yacy'k A.V., Mokin V.B. Ekologichni osnovy upravlinnya vodny'my' resursamy': navchal'ny'j posibny'k. Ky'yiv: Insty'tut ekologichnogo upravlinnya ta zbalansovanogo pry'rodokory'stuvannya, 2017. 200 s.
3. Tomchenko O.V. Vy'kory'stannya metodu bagatokry'terial'noyi opty'mizaciyi materialiv DZZ ta nazemny'x dany'x dlya ocinky' ekologichnogo stanu Ky'yivs kogo vodoxovy'sha. Ekologichna bezpeka ta pry'rodokory'stuvannya. 2014. Vyp. 15. S. 31-39.
4. Fesyuk V.O., Netrobchuk I.M., Aleksijchuk M.M. Ocinka evtrofikovanosti ozera Vely'ke metodamy' dy'stancijnogo

- zonduvannya Zemli. Problemy` ximiyi ta stalogo rozvy`tku. 2023. 1. S. 83-88.
5. Fesyuk V. O., Polyans`ky`j S. V., Kopy`tyuk T. V. Metody`ka ta prakty`chna implementaciya zastosuvannya dany`x DZZ dlya monitory`ngu evtrofikaciyi vodojm (na pry`kladi Turs`kogo ozera). Naukovi zapy`sky` TNPU imeni Volody`my`ra Gnatyuka. Seriya: geografiya. # 1. 2022. C. 159-166.
 6. Shevchuk M.J., Sergushko O.G. Evtrofikaciya ozer Voly`ns`koyi oblasti. Agroekologichny`j zhurnal. 2017. # 1. S. 16-21.
 7. Eutrophication. URL: <https://www.open.edu/openlearn/natureenvironment/environmental-studies/eutrophication/content-section-0?active-tab=content-tab>
 8. Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.A. Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine. Geography and Natural Resources. 2015. Vol. 36. Issue 3. P. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372815030117>
 9. Kovalchuk I. P., Martyniuk V. A., Seirienė V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. Visny`k Charkivs`kogo nacional`nogo universy`tetu imeni V.N. Karazina. Seriya «Geologiya. Geografiya. Ekologiya». 2023. Vy`p. 53. S. 239-254.
 10. Martin A., Cooke G.D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. Lake Line. 14. 24-26.
 11. Raike A., Pietilainen, O.P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A., Vuorenmaa, J. (2003). Trends of phosphorus, nitrogen, and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-2000. The Science of the Total Environment. 310. 47-59.
 12. Sharpley A.N., Daniel T.C., Sims J.T., Pote D.H. (1996). Determining environmentally sound soil phosphorus levels. Journal of Soil and Water Conservation. 51.160-166.

Abstract:

Vasyl FESYUK, Iryna NETROBCHUK, Oleksandr DUBROVYK. STUDYING THE EUTROPHICATION OF LAKES IN VOLYN POLISSYA (ON THE EXAMPLE OF LAKE ZASVITSKE)

Many diverse lakes are a natural phenomenon of Volyn Polissya. They are of great ecological, recreational and economic importance. As a result of intensive economic activity, pollution and other anthropogenic factors, many lakes are subject to eutrophication. Excessive enrichment of water bodies with nutrients causes the rapid development of algae, deterioration of water quality and disruption of ecological balance. Global climate change has also had a significant impact on this process in recent years. Lake Zaslitske was chosen for the study. It is located in the north-west of Rivne Oblast, in the Varash district, south of the village of Mlyn and north-west of Lake Nobel. It is part of the Nobel National Nature Park. The area of the lake is 22 hectares. Is 620 m long, 350 m wide, has a maximum depth of 16 m, an average depth of 12.5 m, a coastline of 1.75 km and a capacity more than 5 million m³. The lake is fed primarily by atmospheric precipitation and groundwater from. The ecological condition of the watershed is favorable, there are no potentially dangerous objects, the lake is surrounded by pine forests to the north, east and south, and there are equipped small beaches on the western and northwestern sides. The lake water is quite clean. Concentrations of pollutants are exceeded only by the indicator of biological oxygen consumption by 28% and zinc content by 3.1 times. The NDVI and NDAI indices were used to assess the eutrophication of the lake. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is a quantitative indicator of photosynthetically active biomass most often used to assess eutrophication processes in water bodies. The value of the index varies from -1 to 1. Negative values of the NDVI index indicate the presence of water in the form of clouds and snow; values close to zero (-0.1 to 0.1) correspond to areas with no vegetation cover. Values from 0.2 to 0.9 indicate active vegetation (including in water bodies). NDAI (Normalized Difference Algae Index) is used to diagnose the process of algae overgrowth in a water body and determine the stage of this process. NDVI values increase with the beginning of the transition of the average daily temperature through 0°C, with maximum values reached in late July - early August. Subsequently, the values decrease until the onset of frost. For example, on April 1, 2022. NDVI acquires small positive values up to 0.1. By mid-May, the index values rise to 0.1-0.2. In the eastern part of the lake, where hygrophytes are found, it increases to 0.3. By the end of the month, the NDVI values for most of the reservoir drop again to 0. At the end of June, the index values increase to 0.1 and decrease again. In the first decade of July, the water is cleared of algae. The index acquires negative values (up to -1), which corresponds to clean water. In August-September, the index values vary in the range (-0.1; -0.5). The NDAI index allows us to better trace the seasonality of vegetation processes in the lake. In early April, the development of vegetation processes begins from the belt of semi-flooded hygrophytes along the shores of the reservoir, covering the island rise in the north of the lake. In summer, the intensity of vegetation processes increases, reaching a peak in September. Subsequently, the vegetation dies off and the process repeats in a new vegetation cycle.

Keywords: lake, lake catchment area, limnosystem, geo-ecological state of the catchment area, lake eutrophication, measures to prevent and reduce lake eutrophication.

Надійшла 17. 10. 2023р.