

КОНСТРУКТИВНА ГЕОГРАФІЯ І ГЕОЕКОЛОГІЯ

УДК 504.455+005:65.01+528.88

DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.1.20>

Василь ФЕСЮК, Сергій ПОЛЯНСЬКИЙ, Тетяна КОПИТЮК

МЕТОДИКА ТА ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДЗЗ
ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДОЙМ (НА ПРИКЛАДІ ТУРСЬКОГО
ОЗЕРА)

В статті розглянуто теоретико-методологічні та практичні аспекти дослідження евтрофікації водойм з використанням методів дистанційного зондування Землі. Проаналізовано чинники, що впливають на евтрофікацію водойм, можливості їх геоекологічного моніторингу з використанням ДЗЗ. Запропоновано комплекс заходів зменшення евтрофікації води та поліпшення гідроекологічного стану водойми на прикладі Турського озера (водосховища-накопичувача Турської осушувальної системи).

Ключові слова: озеро, евтрофікація озера, дослідження евтрофікації водойм з використанням методів дистанційного зондування Землі, заходи зменшення евтрофікації та поліпшення сучасного гідроекологічного стану Турського озера.

Постановка науково-практичної проблеми. Евтрофікація природних і штучних водойм на сьогодні є чинником, що суттєво погіршує їх гідроекологічний стан, можливості використання водойм у господарських цілях (водозабезпеченні, рибному господарстві, рекреації тощо), можливості надання екосистемних послуг природними комплексами, знижує біорізноманітність, створює загрози органічному світу водойм, а іноді й екологічній безпеці. Евтрофікація, за своєю суттю, є природним процесом. Вона проявляється не лише зараз, але й постійно. Загальний тренд цього процесу – повільне, поступове підвищення трофності водойми, яке з часом приводить до перетворення озера у болото. Нині в межах Волинської області є багато озер, які перебувають на різних стадіях цього процесу – окремі на початковій, а окремі (Нечимне, Мале, Рудно) і на фінальній стадії. Особливо чутливі до цього процесу невеликі, мілкі льодовикові чи заплавні озера із торфовим дном і низькими берегами.

Актуальність і новизна дослідження. Останнім часом в природний хід цього процесу активно втручається людина. Збільшується використання мінеральних добрив у с/г, фосфатовмісних синтетичних миючих засобів у побуті населення, що сприяє збільшенню виведення азоту і фосфору у водойми, інтенсифікації евтрофікації. Свій вплив чинять також зміни клімату. Зростання температури повітря, а для Волинської області за останні десятиліття вона зросла на 2,2°C, прискорює евтрофікацію. Зміна режиму випадання опадів з обложного на зливовий на фоні підвищення температури повітря приводить до зменшення рівня води в озерах, їх обміління, а це – збуджуючий чинник розвитку евтрофікації. Отже, прискорена евтрофікація природних та

штучних водойм Волинської області є актуальною гідроекологічною проблемою, а розробка шляхів зменшення та запобігання цьому процесу – важливим завданням, що стоїть перед органами місцевої влади, населенням та секторами економіки.

Зв'язок теми статті з важливими науково-практичними завданнями. Тематика статті є не лише актуальною з наукової точки зору, але й тісно пов'язана із напрямками поліпшення стану довкілля Волинської області, визначеними у Стратегії розвитку Волинської області на період до 2027 р., Регіональній екологічній програмі «Екологія 2016-22».

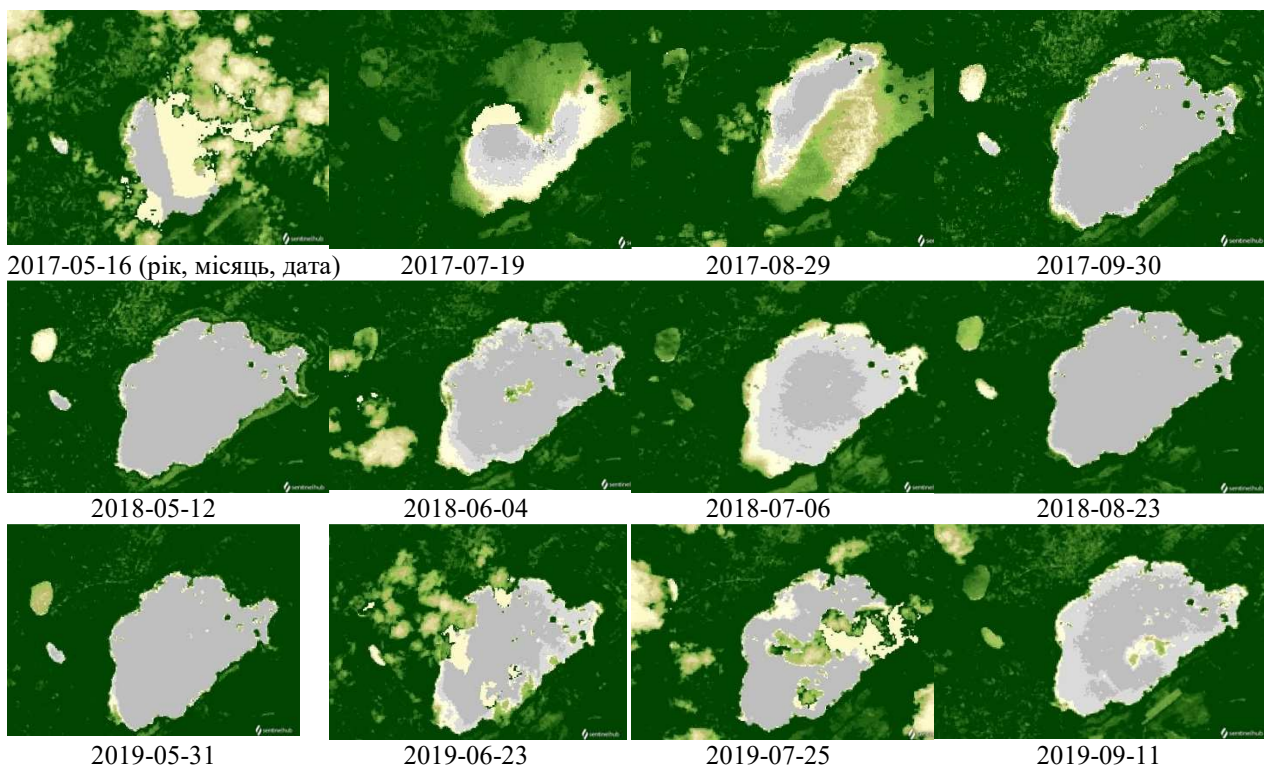
Аналіз останніх публікацій за темою дослідження. Початок наукового вивчення озер Полісся пов'язують із роботою Західної експедиції по осушенню боліт під керівництвом І.І. Жилінського (1873-1897 р.р.), працями П.А. Тутковського (1900-1912 р.р.), Г.Є. Бельського (1903 р.). В рамках роботи Бюро меліорації Полісся польськими вченими С. Ленцевичем, Е. Рюле, Є. Кондрацьким (1927-30 р.р.) було обстежено понад 70 поліських озер. Масштабні дослідження озер Волині проводились на кафедрі фізичної географії Волинського національного університету імені Лесі Українки Я.О. Мольчаком та Л.В. Ільїним [2]. Серед найсвіжіших робіт, що присвячені гідроекологічному стану поверхневих водних об'єктів Волинської області, варто відзначити колективну монографію [5]. Аспекти впливу осушувальної меліорації на стан водних об'єктів Волинської області оцінені у монографії Ф.В. Зузука, З.К.Карпюк, Л.К. Колошко [1]. Також питання геоекологічного стану водних об'єктів Волинської області, в т.ч. й озер, розглядаються у колективній монографії «Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного

стійкого розвитку Волинської області» за редакцією В.О. Фесюка [6]. Однак більшість досліджень озер у Волинській області були присвячені вивченню саме Шацьких озер. Комплексних досліджень інших волинських озер, а їх налічується в області 238, бракує. Це створює проблеми для їх наступного раціонального використання та охорони. Дослідженню евтрофікації озер присвячено багато праць європейських і американських дослідників [10, 12]. Питання оцінки якості водного середовища різноманітних водойм з використанням даних ДЗЗ розглянуті в працях О.Д. Федоровського, А.В. Хижняка, О.В. Томченко та інших дослідників [7-9].

Викладення основного матеріалу. Для оцінки інтенсивності евтрофікаційних процесів у Турському озері використано дані ДЗЗ, зокрема, за космічними знімками Landsat-8 визначено вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований різницевий індекс рослинності, кількісний показник фотосинтетично-активної біомаси. Методика оцінки інтенсивності евтрофікаційних процесів у Турському озері за матеріалами ДЗЗ наступна: з допомогою застосування EO-browser ресурсу sentinel-hub.com здійснювався відбір супутникових знімків Landsat-8-9 L1 та L2 за період з 1.05.2017 р. до 1.10.2021 р.р. (рис. 1). Дані Landsat-8-9 L1 враховують відбиття атмосфери та температуру яскравості атмо-

сфери. Дані пройшли кілька етапів обробки, включаючи геометричні та радіометричні покращення. Дані Landsat-8-9 L2 генеруються з вхідних даних колекції L1, відповідають обмеженню сонячного Zenітного кута <76 ° і містять необхідні допоміжні дані для створення науково життєздатного продукту [11].

Дати знімків залежать від періодичності охоплення території супутниковою зйомкою (в спеціальній літературі це називається часовою розрізненістю), хмарності (для аналізу відбирались знімки із хмарністю <20%). Ресурс sentinel-hub.com є офіційним і безкоштовним сервісом Європейського космічного агентства (ESA). Додаток EO Browser надає доступ до повного архіву знімків супутників Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Landsat 5, 7 і 8 від ESA, глобального покриття продуктів Landsat 8, Envisat Meris, MODIS, Proba-V і GIBS в одному місці та дозволяє переглядати та порівнювати зображення з повною роздільною здатністю з цих джерел [11]. Для цього потрібно зареєструватись, перейти до області, яка цікавить (AOI – Area of interest), вибрати джерело даних (супутник, місію), часовий діапазон, ступінь покриття неба хмарами та отримати відповідні дані у вигляді супутникового знімку. EO Browser дозволяє переглянути і зберегти знімки в різних комбінаціях каналів, в т.ч. і в комбінації для NDVI.



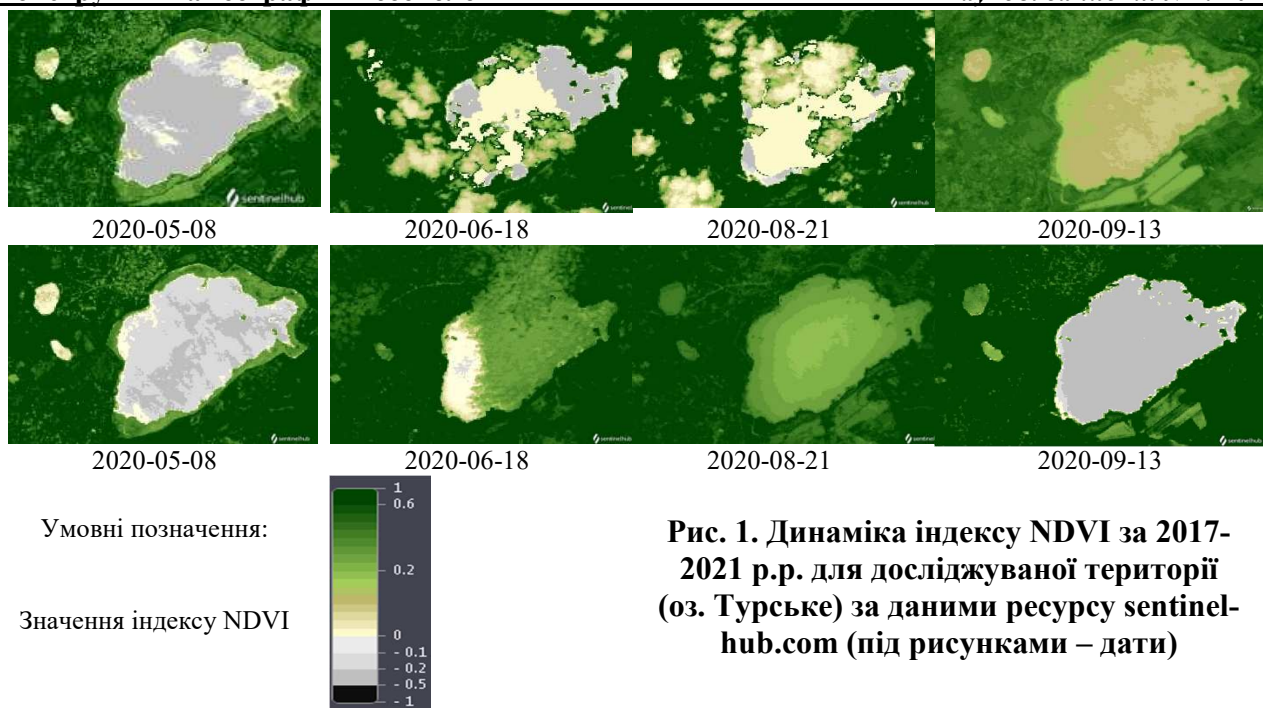


Рис. 1. Динаміка індексу NDVI за 2017-2021 р.р. для досліджуваної території (оз. Турське) за даними ресурсу sentinel-hub.com (під рисунками – дати)

Нормований різницевий індекс рослинності (NDVI) є простим, але ефективним індексом для кількісної оцінки стану зеленої рослинності. Він ґрунтується на тому, що рослини по різному відбивають світло на певних довжинах хвилі. Діапазон значень NDVI – від -1 до 1 [11]. Від'ємні значення NDVI (наближаються до -1) відповідають воді. Значення, близькі до нуля (від -0,1 до 0,1), зазвичай, відповідають безплідним ділянкам суші (скелі, пісок або сніг). Низькі позитивні значення (від 0,2 до 0,4) свідчать про не дуже високу інтенсивність вегетації, а високі значення (близько до 1) вказують на хороший стан рослинності і високий вегетаційний потенціал. В останні роки NDVI широко застосовується і для оцінки ступеня евтрофікації водойм [7-9]. Сприяє цьому можливість диференціації значень NDVI на знімку, що дозволяє виділяти окремі, відмінні між собою ділянки води та берегів, вкритих рослинністю. В межах водної поверхні можна також виділити окремі ділянки, що відрізняються інтенсивністю вегетації, а отже й величиною NDVI. Їх площа та поширення змінюються по сезонах і залежать, насамперед, від температури води, а також від віддаленості від берегу, про що свідчить формування концентричних зон рослинності.

Аналізуючи супутникові знімки поверхні озера за 2017-21 р.р. (рис. 1), слід відмітити, що для евтрофікації водойми характерна внутрішньорічна динаміка, яка, особливо, проявляється влітку. Так, фактично для кожного з проаналізованих років проявляється наступна закономірність: ще в травні евтрофікація практично відсутня, NDVI для поверхні озера стано-

вить -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. В розрізі років ці ділянки мають різні площі. Наприклад, у 2017-18 р.р. – це досить незначні ділянки, переважно в центральній частині озера, біля східного та північного берегів, а у 2019-2021 р.р. – займають вже значні площі. Зокрема, у 2019 р. – 20% площі водної поверхні, у 2020 р. – 50%, у 2021 р. – більше 70%.

В липні значення NDVI продовжують зростати, фактично для всієї водної поверхні вони додатні, в окремі роки (2018 р.) досягають 0,1-0,2, в окремі (2017, 2021 р.р.) 0,5 і більше.

На пік значення NDVI виходять в серпні-на початку вересня, для більшої частини водойми вони перевищують 0,5, а іноді й більше. В окремі роки фіксуються аномально високі значення NDVI саме в цей час. Наприклад, 21.08.2021 р. вся акваторія озера на супутниковому знімку забарвлена в зелені кольори, причому чітко видно формування концентричних зон прояву евтрофікації, які поширюються від усіх берегів до центральної найглибшої частини озера, де значення показника NDVI найменші (0,2).

Починаючи з другої половини вересня значення індексу зменшуються, водойма звільняється від водоростей, вони відмирають, осідають на дно і формують органічну складову сапропелю. Хоча в окремі роки (2017 р.) навіть вкінці вересня зберігаються ще окремі острівки підвищеної евтрофікованості озера, особливо, біля північного і східного берегів.

Аналіз багаторічної динаміки (2017-21

р.р.) евтрофікованості озера (рис. 2) не дозволив виявити чітку тенденцію до збільшення з часом. Єдине, що можна стверджувати: показ-

ники NDVI були мінімальними в 2019 р., а максимальних значень набували у 2017 і 2021 р.р.

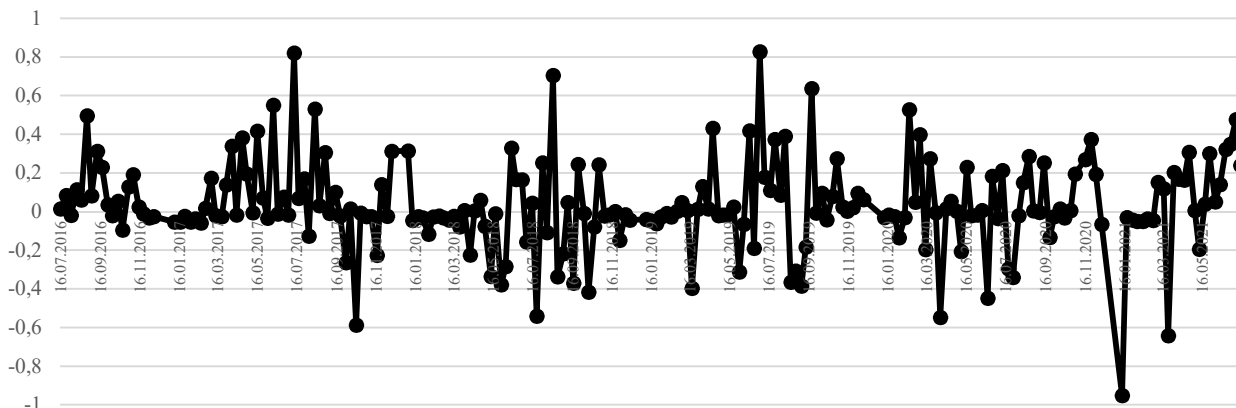


Рис. 2. Динаміка індексу NDVI за період 2016-2021 р.р. для поверхні водойми за даними ресурсу sentinel-hub.com

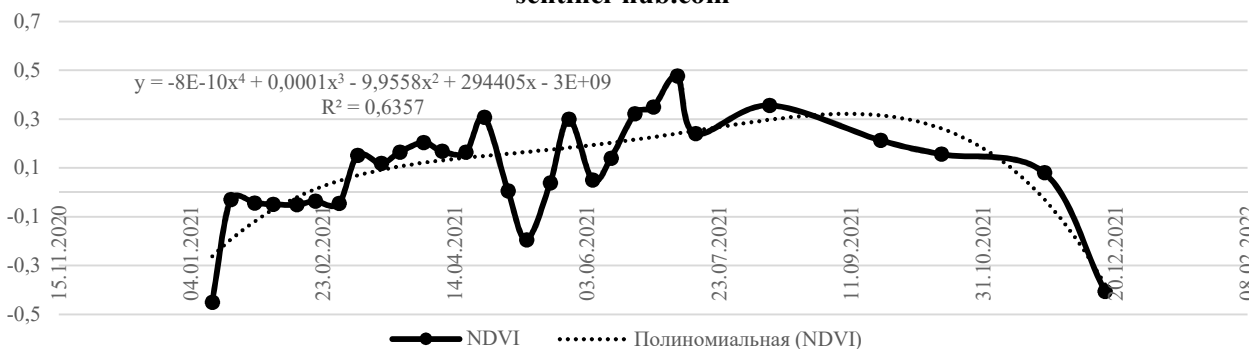


Рис. 3. Внутрішньорічна динаміка індексу NDVI за 2021 р. для поверхні водойми за даними ресурсу sentinel-hub.com

Аналіз внутрішньорічної динаміки показника NDVI (рис. 3) чітко демонструє сезонність динаміки досліджуваного показника. Максимальні значення показника (>0,3) фіксуються в липні-серпні, мінімальні (<0) – в листопаді-січні. Емпірична залежність за 2021 р. більш-менш прийнятно апроксимується поліномом 4-го порядку із коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,64$. Тобто майже на 2/3 інтенсивність евтрофікації зумовлена саме підвищенням температури води.

Висновок про найвищий взаємозв'язок інтенсивності евтрофікації саме з температурою води підтверджує і рис. 4. На ньому зображені графіки динаміки індексу NDVI та температури поверхні води Турського озера за однакові періоди (5 років, 1 рік (2021 р.) і 3 місяці (літній період 2021 р.)). Хоча, на перший погляд, чіткої кореляції немає. Проте слід врахувати інерційність показника NDVI. Він змінюється набагато повільніше, ніж температура. Крім того в порівнянні не враховано час доби, в який здійснювалась супутникова зйомка, деякі знімки не використовувались для аналізу, оскільки

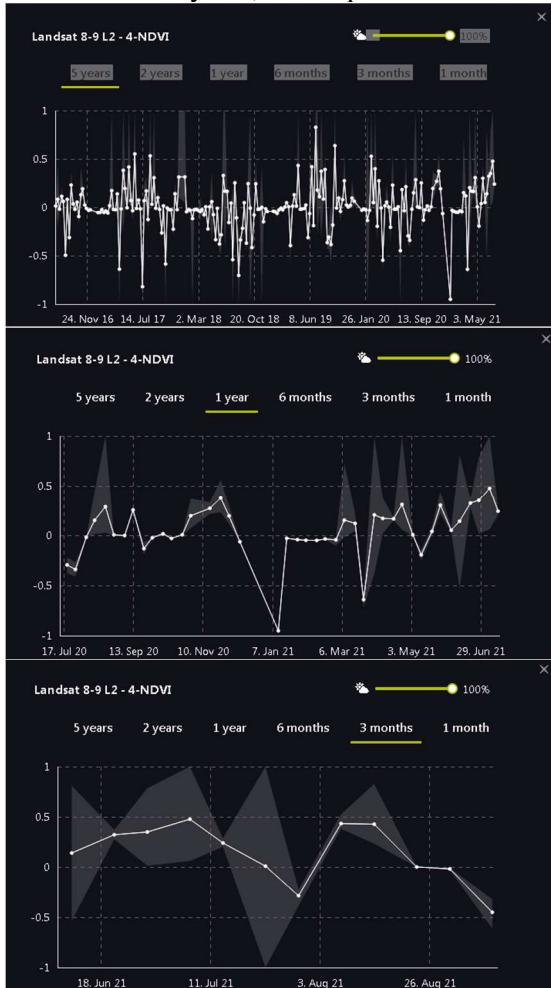
включити їх не дозволив високий рівень хмарності (>30%).

Тому виконана спроба співставити не абсолютні значення температури та NDVI, а їх зважені значення. Для цього використано найпростіший метод зважування – ділення на середнє арифметичне значення для відповідних показників. Це дозволило привести два часові ряди (температура та NDVI) до співставного вигляду. На рис. 5 чітко фіксується висока часова кореляція між досліджуваними показниками. Розрахований коефіцієнт кореляції становить 0,88, що свідчить про високу щільність зв'язку.

Озеро Турське знаходиться на південному заході Турської меліоративної системи, фактично є водосховищем-накопичувачем. Його довжина становить 5,6 км, найбільша ширина – 3,2 км, площа – 1285 га, середня глибина 2 м, найбільша – 9,5 м. В зв'язку з невеликою глибиною, озеро зазнає інтенсивних евтрофікаційних процесів. У центральній частині озера дно піщане, біля берегів замулене. Береги низькі, торф'яністі. З південно-західного боку в нього впадає меліоративний канал Заболотівської осушуваль-

ної системи, а з другого боку бере початок Турський канал. Амплітуда коливання рівня води при спрацюванні корисного рівня водосховища – 0,8 м. Рівень води регулюється спеціальною гідротехнічною спорудою у верхній частині Турського каналу. Більшість авторів схиляються до думки, що озеро має льодовикове

походження. Хоча при таких значних розмірах воно може підживлюватись карстовими джерелами, внаслідок перетоку напірних вод через водонапір, а також атмосферними опадами і притоком поверхневих вод з Заболотівської осушувальної системи [1].

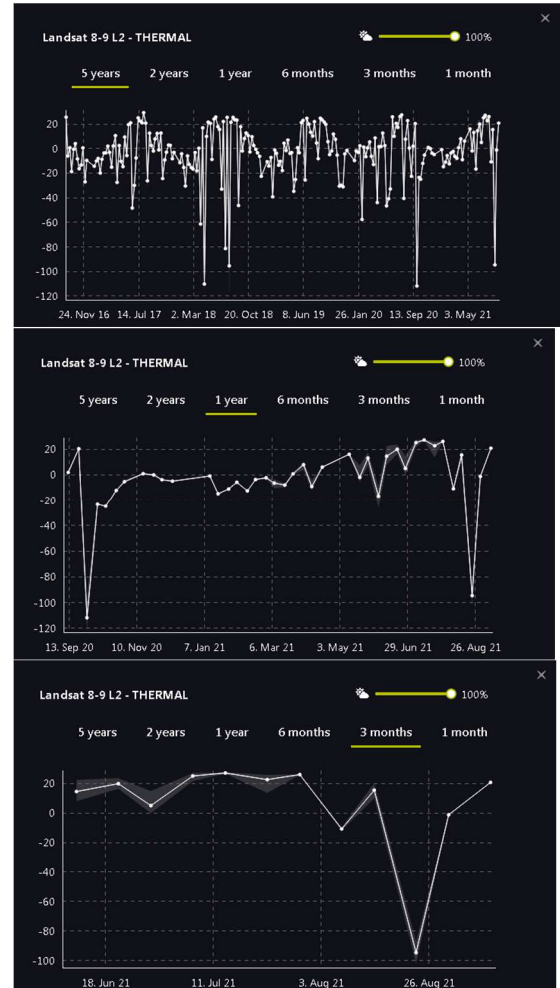


NDVI

За період 5 років

За період 1 рік

За період 3 місяці



Температура

Рис. 4. Порівняння динаміки індексу NDVI та температури поверхні води Турського озера за різні періоди за даними ресурсу sentinel-hub.com

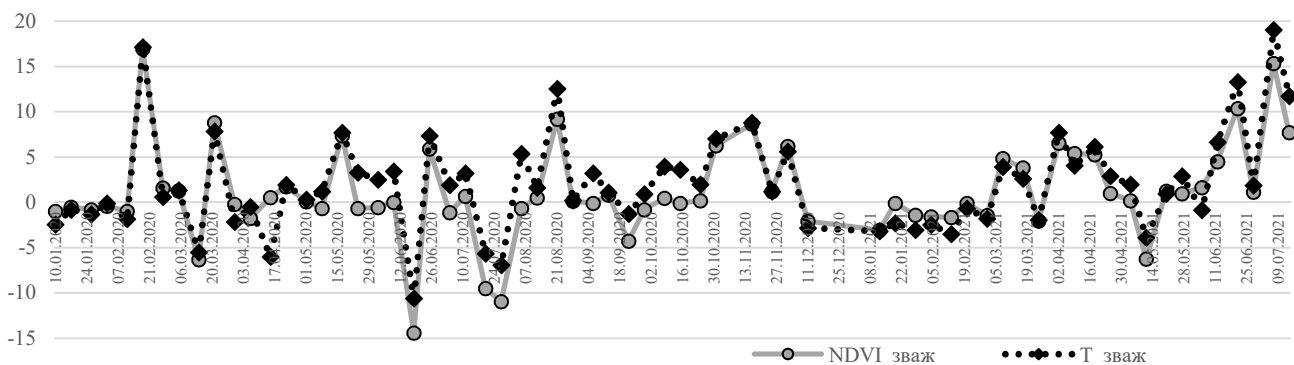


Рис. 5. Порівняння динаміки зважених значень NDVI і температури поверхні води Турського озера за 2020-21 р.р. за даними sentinel-hub.com

Нормальний підпірний рівень Турського водосховища (найвищий проектний підпі-

рний рівень водойми, який може підтримуватися у нормальних умовах експлуатації) стано-

вить 156,5 м. Форсований підпірний рівень (найвищий проектний підпірний рівень водойми, який допускається при пропуску паводків високої забезпеченості (як правило, більше 1% забезпеченості)), становить 156,8 м. Рівень мертвого об'єму (мінімальний рівень водойми при спрацюванні корисного об'єму за умов нормальної експлуатації) становить 155,7 м. Об'єм водосховища при нормальному підпірному рівні становить 21,5 млн.м³, при форсованому – 25,52 млн.м³, при рівні мертвого об'єму – 10,8 млн.м³, корисний об'єм водосховища – 10,64 млн.м³, витрати на випаровування – 5,184 млн.м³, на фільтрацію – 1,405 млн.м³ [4].

Окрім температури на інтенсивність евтрофікації озера впливають й азотовмісні та фосфоровмісні сполуки, які потрапляють у водойму із стоком з сільськогосподарських угідь, ферм, селитебних територій. Величина виносу цих речовин не оцінювалась. Турське озеро оточене сільськими населеними пунктами з заходу, півдня і півночі. В них відсутнє централізоване водопостачання і водовідведення, вивезення сміття, виникають стихійні сміттєзвалища. Зі сходу та північного заходу озеро межує із сільськогосподарськими угіддями Турської осушувальної системи, в межах якої не дотримуються норми щодо співвідношення орних земель, пасовищ і сіножатей, вносяться мінеральні добрива, отрутохімікати, стимулятори росту тощо. Також інтенсивність евтрофікації прискорює чинник часу, або природнього старіння озера, що зумовлює накопичення сапропелю, збільшення кількості органіки у воді, а отже й трюфності водойми. І, насамкінець, негативний вплив чинять і глобальні зміни клімату. Зокрема, стійке підвищення температури повітря для зони Полісся вище, ніж для інших природних зон України (2,2° C), аридизація ландшафтів зумовлена не зменшенням кількості опадів, а зміною характеру їх випадання із обложного на зливовий. Вплив цих чинників на евтрофікацію Турського озера нами детально не вив-

чався і не оцінювався, оскільки він є предметом зовсім інших ґрунтовних гідроекологічних досліджень.

Повертаючись до досліджень евтрофікації водних об'єктів із застосуванням методів ДЗЗ, варто зазначити, що на сьогодні існує багато напрямів таких досліджень. В нашому дослідженні для оцінки ступеня евтрофікації використовувався індекс NDVI. Проте вітчизняні та закордонні науковці використовують й інші індекси. Наприклад, в роботі О.Д. Федоровського, А.В. Хижняка, О.В. Томченко (2021) розглядається застосування з цією метою індексу NDAI (Normalized Difference Algae Index) – нормалізованого різницевого індексу водоростей, який дозволяє виявити наявність процесу заростання водойми водоростями та стадії його розвитку [9]:

$$NDAI = \frac{I_G + 2I_{NIR} - I_B - I_R + 0.5}{I_G + 2I_{NIR} + I_B + I_R}, \quad (1)$$

де I_B , I_G , I_R , I_{NIR} – інтенсивність спектрального відбиття в синьому, зеленому, червоному (видимому) та ближньому інфрачервоному каналах.

Для виявлення у водоймі водоростей використані зображення з супутника Sentinel-2 (з атмосферною корекцією L2A). Щільність рослинності або водоростей у воді класифікується шляхом застосування різних кольорів до диференціації індексу (рис. 6). Блакитний колір позначає воду, а бірюзовий – місця з меншою густиною водних рослин або водоростей; яскраво-зелений колір – середню щільність водоростей, жовті області – найвищу щільністю цих видів. Каламутна вода забарвлюється в коричневий, червоний або фіолетовий кольори пропорційно величині мутності. Індекс NDAI дозволяє ідентифікувати водні рослини та водорості у водоймах, оскільки виділяє ці простори, а решта території візуалізується в природних кольорах (True Colors).

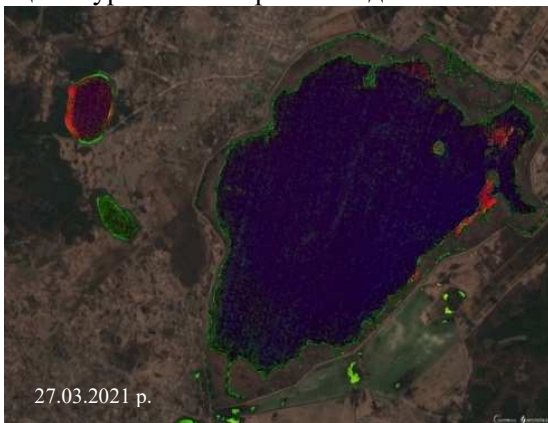


Рис. 6. Зміна індексу NDAI навесні та літтку 2021 р. для досліджуваної території за даними ресурсу sentinel-hub.com

Аналізуючи знімки з індексом NDAI (рис. 6) видно, що на першому знімку (27.03.2021 р.) ідентифікується вода в природних кольорах (True Colors), а також червоним та фіолетовим кольором відображаються ділянки каламутної води, які утворюються під час наповнення озера водами від сніготанення в межах Турської осушувальної системи. Натомість на другому знімку чітко видно, що вода всього озера ідентифікується в яскраво-зеленому кольорі, що свідчить про середню щільність розвитку водоростей, а в північній і північно-західній частині видно темно-жовті області, що свідчить про найвищу щільність розвитку водоростей саме там. Отже, отримані результати аналізу супутникових знімків за індексом NDAI добре корелюють із детально проаналізованим вище індексом NDVI.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Окрім температури на інтенсивність евтрофікації озера впливають й азотовмісні та фосфоровмісні сполуки, які потрапляють у водойму із стоком з сільськогосподарських угідь, ферм, селитебних територій. Турське озеро оточене сільськими населеними пунктами з заходу, півдня і півночі. В них відсутнє централізоване водопостачання і водовідведення, вивезення сміття, виникають стихійні сміттєзвалища. Зі сходу та північного заходу озеро межує із сільськогосподарськими угіддями Турської осушувальної системи, в ме-

жах якої не дотримуються норми щодо співвідношення орних земель, пасовищ і сіножатей, вносяться мінеральні добрива, отрутохімікати, стимулятори росту тощо. Також інтенсивність евтрофікації прискорює чинник часу, або природнього старіння озера, що зумовлює накопичення сапропелю, збільшення кількості органіки у воді, а отже й тропності водойми.

Також не слід забувати про такий чинник, як глобальні зміни клімату. Підвищення температури повітря протягом останніх десятиліть також прискорює евтрофікацію та погіршення гідроекологічного стану озера.

Отже, підсумовуючи вітчизняний та закордонний досвід боротьби з евтрофікацією водойм, можна запропонувати заходи поліпшення гідроекологічного стану Турського озера:

- зменшення надходження поживних речовин у водойму;
- дотримання режиму використання водоохоронних зон (буферних смуг);
- механічне видалення рослин із прибережної частини озера та меліоративних каналів;
- підвищення рівня екологічної освіченості і свідомості громадян;
- інвентаризація стану меліоративної мережі, дотримання регламентів її використання;
- протидія глобальним кліматичним змінам та адаптація до них.

Література:

1. Зузук Ф.В., Колошко Л.К., Карпюк З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона: монографія. Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.
2. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: лімно-географічна характеристика. Луцьк: Настир'я, 2000. 140 с.
3. Кірсева І.Ю. Гідроекологія. Київ: ЦУЛ, 2018. 664 с.
4. Паспорт Турського водосховища. Ратне: Ратнівське МРУВГ. 2015. 8 с.
5. Поверхневі води Волині: колективна монографія / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
6. 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.
7. Томченко О.В. Використання методу багатокритеріальної оптимізації матеріалів ДЗЗ та наземних даних для оцінки екологічного стану Київського водосховища. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. Київ, 2014. Вип. 15. С. 31-39.
8. Томченко О.В., Луценко П.В. Исследование динамики зарастания Киевского водохранилища с использованием ГИС/ДЗЗ-технологий. Мониторинг окружающей среды: сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Брест: БГУИМ. А. С. Пушкина, 2013. Ч. 1. С. 146-148.
9. 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.
10. Martin, A., Cooke, G.D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. Lake Line. 14. 24-26.
11. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). URL: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=13&lat=57.72&lng=-157.83&themeId=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=https%3A%2F%2Fservices.sentinel-hub.com%2Fogc%2Fwms%2F42924c6c-257a-4d04-9b8e-36387513a99c&datasetId=S2L1C&fromTime=2020-09-28T00%3A00%3A00.000Z&toTime=2020-09-28T23%3A59%3A59.99=3_NDVI
12. 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.

References:

1. Zuzuk F.V., Koloshko L.K., Karpiuk Z.K. Osusheni zemli Volynskoi oblasti ta yikh okhrona: monohrafiia. Lutsk: VNU im. Lesi Ukrainky, 2012. 294 s.
2. Ilin L.V., Molchak Ya.O. Ozera Volyni: limno-heohrafichna kharakterystyka. Lutsk: Nastyria, 2000. 140 s.
3. Kirieieva I.Iu. Hidroekolohiia. Kyiv: TsUL, 2018. 664 s.

4. Pasport Turskoho vodoshkovyshcha. Ratne: Ratnivske MRUVH. 2015. 8 s.
5. Poverkhnevi vody Volyni: kolektyvna monohrafiia / za red. Ya.O. Molchaka. Lutsk: Teren, 2019. 344 s.
6. Suchasnyi ekolohichnyi stan ta perspektyvy ekolohichno bezpechnoho stiikoho rozvytku Volynskoi oblasti: kolektyvna monohrafiia. / za red. V. O. Fesiuka. K.: TOV «Pidpriemstvo «Vi En Ei», 2016. 316 st.
7. Tomchenko O.V. Vykorystannia metodu bahatokryterialnoi optymizatsii materialiv DZZ ta nazemnykh danykh dlia otsinky ekolohichnogo stanu Kyivskoho vodoshkovyshcha. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia: zb. nauk. prats. Kyiv, 2014. Vyp. 15. S. 31-39. Mol'chak Ya.O. Lutsk: suchasnyy ekolohichnyy stan ta problemy. Ya.O. Mol'chak, V.O. Fesyuk, O.F. Kartava. – Lutsk: RVV LDTU, 2003. – 488 st.
8. Tomchenko O.V., Lucenko P.V. Issledovanie dinamiki zarastaniia Kievskogo vodohranilishha s ispol'zovaniem GIS/DZZ-tehnologii. Monitoring okruzhajushhej srede: sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Brest: BGUim. A. S. Pushkina, 2013. Ch. 1. S. 146-148. Fesyuk V.O. Lutsk: stalyy rozvytok i sotsial'no-ekolohichni problemy. / V.O. Fesyuk. – Lutsk: RVV LNTU, 2013. – 304 s.
9. Fedorovskyi O. D., Khyzhniak A. V., Tomchenko O.V. Otsinka yakosti vodnoho seredovyschcha miskykh vodoim z vykorystanniam metodiv systemnogo analizu na osnovi kompleksuvannia danykh DZZ. Kosmichna nauka i tekhnolohiia. 2021. T. 27. № 5. S. 11-18.
10. Martin, A., Cooke, G.D. (1994). Health risks in eutrophic water supplies. Lake Line. 14. 24-26.
11. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). URL: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=13&lat=57.72&lng=-157.83&themeId=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=https%3A%2F%2Fservices.sentinel-hub.com%2Fogc%2Fwms%2F42924c6c-257a-4d04-9b8e-36387513a99c&datasetId=S2L1C&fromTime=2020-09-28T00%3A00%3A00.000Z&toTime=2020-09-28T23%3A59%3A59.99=3_NDVI
12. 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.

Abstract:

Vasyl FESYUK, Serhii POLIANSKYI, Tetiana KOPYTYUK. METHODS AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR MONITORING OF EUTROPHICATION OF RESERVOIR (ON THE EXAMPLE OF TURKISH LAKE)

The article considers theoretical, methodological and practical aspects of the study of eutrophication of water bodies using remote sensing. Factors influencing eutrophication of reservoirs, possibilities of their geoecological monitoring with the use of remote sensing are analyzed. Over a long period of time, slowly and evolutionarily, lakes naturally change their state from oligotrophic to eutrophic and even dystrophic. However, in the XX century accelerated anthropogenic eutrophication of many lakes, other bodies of water and watercourses around the world. The main reason for this was the increased use of nitrogen fertilizers and the discharge of municipal wastewater containing phosphates from household synthetic detergents. To estimate the intensity of eutrophication processes in Turske Lake, we used remote sensing data, in particular, the vegetation index NDVI. The method of estimating the intensity of eutrophication processes in Turske Lake on the basis of remote sensing is as follows: using the EO-browser resource sentinel-hub.com was selected satellite images Landsat-8-9 L2 for the period from 1.05 to 1.10.2017-2021. The images were then analyzed to establish relationships and relationships between NDVI index values, temperature, NDVI index dynamics during the warm season, year, 5-year period, and the influence of other factors on the eutrophication process. The following regularity of intra-annual dynamics of the NDVI index has been established: in May eutrophication is practically absent, in June NDVI indicators increase, some parts of the lake surface with positive NDVI values appear. In July, NDVI values continue to rise. NDVI peaks in August or early September. In some years, abnormally high NDVI values are recorded at this time. Starting from the second half of September, the values of the index decrease, the reservoir is released from algae, they die, settle to the bottom and form an organic component of sapropel. Although in some years, even in late September, there are still some islands of high eutrophication of the lake, especially near the northern and eastern shores. Analysis of the long-term dynamics (2017-21) of eutrophication of the lake did not reveal a clear tendency to increase over time. NDVI indicators were the lowest in 2019, and the maximum values were acquired in 2017 and 2021. The density of the relationship between weighted temperature values and NDVI was analyzed. The correlation coefficient is 0.88. This is a fairly high level of correlation. In addition to temperature, the intensity of eutrophication of the lake is also influenced by nitrogen-containing and phosphorus-containing compounds that enter the reservoir with runoff from agricultural lands, farms and residential areas. Global climate change is also having a negative impact. A set of measures to reduce eutrophication and improve the hydroelectric condition of Turske Lake is proposed, which includes the following measures: reducing the supply of nutrients to the reservoir, compliance with the use of water protection zones, mechanical removal of plants from the lake and reclamation canals, environmental awareness and awareness the state of the reclamation network, compliance with regulations for its use, adaptation to global climate change.

Key words: lake, eutrophication of the lake, research of eutrophication of reservoirs using methods of remote sensing, measures to reduce eutrophication and improve the current hydroecological condition of the Turske Lake.

Надійшла 28.03.2022р.