

УДК 502.51:528.8:556.18(477.87)

¹Глух О.С., к.х.н., доц.  0000-0002-5725-1981;¹Заяць Я.Р., студ.;¹Симканич О.І., к.х.н., доц.  0000-0002-9948-1742;¹Мільович І.-М. І. асп.;¹Шварц Р.Р. асп.  0009-0003-2560-3975;^{2,3}Молнар-Бабіля Д.І., к.х.н., доц.  0000-0003-1063-013X.

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ GOOGLE EARTH ENGINE ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕВТРОФІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОСХОВИЩАХ ЗАКАРПАТТЯ

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000,
м. Ужгород, вул. Підгірна 46;

²Закарпатський угорський університет ім. Ф. Ракоці II, 90202,
м. Берегово, пл. Кошута, 6;

³Мукачівський державний університет, 89600, м. Мукачеве, вул. Ужгородська 26;
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

Моніторинг стану водних екосистем набуває особливого значення в умовах зростання антропогенного навантаження та кліматичних змін, які призводять до посилення евтрофікаційних процесів у внутрішніх водоймах. Закарпатська область, що вирізняється складним рельєфом, значною кількістю водосховищ і високою біорізноманітністю, є чутливою до гідроекологічних змін. Традиційні методи контролю якості води потребують значних ресурсів і не забезпечують просторової та часової оперативності. Тому актуальним є застосування сучасних методів дистанційного зондування Землі, які дозволяють проводити комплексний аналіз стану водойм на регіональному рівні. Платформа Google Earth Engine (GEE) забезпечує доступ до багаторічних супутникових даних і потужних інструментів для обробки зображень, що робить її ефективним інструментом для виявлення тенденцій у трофічному стані водойм. Використання індексів NDWI, NDVI, TSI та Turbidity дозволяє оцінити просторово-часову динаміку евтрофікаційних процесів без проведення польових вимірювань. Дослідження водосховищ Закарпаття за допомогою таких показників створює основу для розроблення системи екологічного моніторингу, спрямованої на раннє виявлення деградаційних змін у водних екосистемах регіону.

Ключові слова: евтрофікація, водосховища, супутниковий моніторинг, індекс TSI, NDWI, NDVI, Turbidity, Google Earth Engine, Закарпаття.

Закарпатська область вирізняється густою гідрографічною мережею, що належить до басейну річки Тиси, та наявністю значної кількості штучних водних об'єктів – водосховищ і ставків різного призначення. За даними Басейнового управління водних ресурсів річки Тиса та Екологічного паспорта Закарпатської області (2022 р.), на території регіону обліковується дев'ять водосховищ, серед яких три – водосховища місцевого значення (крім комплексних) і понад 140 ставків, що використовуються переважно для риборозведення та зрошення [1, 2].

Водночас у наукових і картографічних джерелах спостерігається певна невизначеність у номенклатурі водосховищ: окремі водойми можуть мати різні назви залежно від джерела (Держводагентство, БУВР, місцеві управління водного господарства, Google Earth, OpenStreetMap тощо). Це пояснюється тим, що частина водосховищ має статус “місцевих” або “ставів-водосховищ”, які офіційно не внесені до державного кадастру як комплексні споруди, проте виконують важливі

регіональні функції – водорегулювання, водопостачання, рекреацію й риборозведення.

Для дослідження евтрофікаційних процесів у цьому дослідженні використано дев'ять найбільш репрезентативних водойм

області, відібраних за стабільністю водного дзеркала на супутникових знімках Sentinel-2 (2019–2025 рр.) та наявністю відкритих картографічних і текстових джерел.

Таблиця 1. Водосховища Закарпаття.

№	Назва водосховища	Координати центру (GEE, WGS-84)	Примітка
1	Вільшанське	48°22'45"N 23°38'10"E	офіційне енергетичне водосховище Теребле-Ріцької ГЕС [3]
2	Бобовищенське	48°31'40"N 22°38'57"E	назва за місцевим ужитком [4]
3	Форнош	48°21'49"N 22°45'32"E	назва за місцевим ужитком [4]
4	Пістрялово	48°22'13"N 22°48'50"E	альтернативна назва “Мочи́ла” [4]
5	Залужжя	48°22'13"N 22°51'52"E	локальна назва “Бабі́чка” [4]
6	Горбок	48°18'43"N 22°53'12"E	офіційно згадується у звітах про якість води [5]
7	Виноградівське	48°10'31"N 23°01'35"E	назва за місцевим ужитком [6]
8	Андріївка	48°32'09"N 22°33'15"E	офіційно згадується як “Андріївське водосховище” [7]
9	Боронява	48°07'54"N 23°22'20"E	назва за місцевим ужитком [8]

Штучні водосховища Закарпаття виконують багатофункціональну роль: вони залучаються до регулювання стоку та зниження паводкових ризиків у Карпатському регіоні, де часті інтенсивні зливи формують високу повеневу небезпеку [9]; забезпечують енергетичні потреби (зокрема, Вільшанське/Теребле-Ріцьке водосховище як частина дериваційної ГЕС впливає на гідробіоту та режим води [10]); підтримують рекреаційні види використання (рибальство, купання), що засвідчено локальними гідроекологічними дослідженнями на регіональних водоймах [11]; а в контексті водної безпеки та посушливих періодів розглядаються як резервуари для водопостачання й зрошення на тлі кліматичних змін [12]. Сукупно ці функції роблять водосховища критично важливою інфраструктурою для еколого-економічної стійкості Закарпаття.

Дослідження евтрофікації водосховищ Закарпаття має особливе значення, оскільки саме поєднання природних умов гірського та передгірного рельєфу, інтенсивного стоку з дрібних карпатських басейнів і

гідротехнічного регулювання річок створює складну динаміку водообміну та акумуляції біогенних речовин. Водосховища регіону, які виконують водоенергетичні, протипаводкові, рибогосподарські та рекреаційні функції, приймають поверхневий стік з територій із підвищеним антропогенним навантаженням – сільськогосподарських угідь, населених пунктів, гірничо-лісових зон [13]. Унаслідок цього відбувається надходження нітрогену, фосфору та органічних сполук, що активізує розвиток фітопланктону та знижує прозорість води. Зміни у гідрологічному режимі, зокрема сезонне коливання рівнів, слабка проточність і тривалі періоди застою води, посилюють процеси евтрофікації та деградації водних екосистем [14]. Вивчення цих процесів за допомогою супутникових індексів дозволяє простежити взаємозв'язок між станом водозбору, гідротехнічними параметрами та екологічною якістю водойм, що є основою для розроблення ефективних стратегій управління водними ресурсами регіону.

Для кожного з дев'яти водосховищ у середовищі Google Earth Engine (GEE) було визначено регіон інтересу (ROI) – полігон,

створений вручну шляхом векторизації контурів водного дзеркала на основі високоякісних супутникових зображень Sentinel-2. ROI застосовувався до всіх знімків колекції Sentinel-2 MSI Level-2A за період 2019–2025 рр. Обробка часових рядів включала фільтрацію зображень за просторовими межами ROI, часовим інтервалом з 1 червня по 31 серпня, а також за показником хмарності не вище 20%. Після маскування хмар і тіней формувалася медіанний літній композит для кожного року, який забезпечував репрезентативне середнє значення без випадкових спотворень. На основі цих композитів розраховувалися індекси NDWI, NDVI, TSI та Turbidity, що відображають різні аспекти стану водних екосистем: NDVI – рівень розвитку прибережної та водної рослинності, NDWI – водність і прозорість середовища, та TSI – ступінь трофності водойм.

Normalized Difference Water Index (NDWI) – показник водності, що визначається як

$$NDWI = \frac{B_{Green} - B_{NIR}}{B_{Green} + B_{NIR}},$$

де B_{Green} – відбиття у зеленому спектральному діапазоні; B_{NIR} – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – індекс рослинності навколо водойм:

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{Red}}{B_{NIR} + B_{Red}},$$

де B_{Red} – відбиття у червоному спектральному діапазоні; B_{NIR} – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні.

Trophic State Index by Chlorophyll-a (TSI(CHL)) оцінює рівень трофності водойми на основі концентрації хлорофілу-а, який є показником розвитку фітопланктону та потенційного «цвітіння» води. Для його обчислення використовуються канали B_{Red} (≈ 665 нм) та B_{NIR} (≈ 705 нм) супутникових даних, оскільки відбиття в червоному діапазоні чутливе до хлорофілу-а, а в ближньому інфрачервоному (NIR) – сигнал рослинності й водної поверхні значно нижчий, що дозволяє надійно виділити спектральну різницю і конструювати індекс $NDCI = (B_5 - B_4) / (B_5 + B_4)$, з якого емпірично оцінюється концентрація хлорофілу-а.

$$TSI = 9.81 \ln \left(200 \times \frac{B_{Red} - B_{NIR}}{B_{Red} + B_{NIR}} + 20 \right) + 30.6$$

де B_{Red} – відбиття у червоному спектральному діапазоні; B_{NIR} – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні.

Turbidity index – співвідношення відбиттів зеленого (канал B_{Green}) до червоного (B_{Red}) спектра, яке використовується як індикатор каламутності води:

$$Turbidity = \frac{B_{Green}}{B_{Red}},$$

де B_{Green} – відбиття у зеленому спектральному діапазоні; B_{Red} – відбиття у червоному спектральному діапазоні.

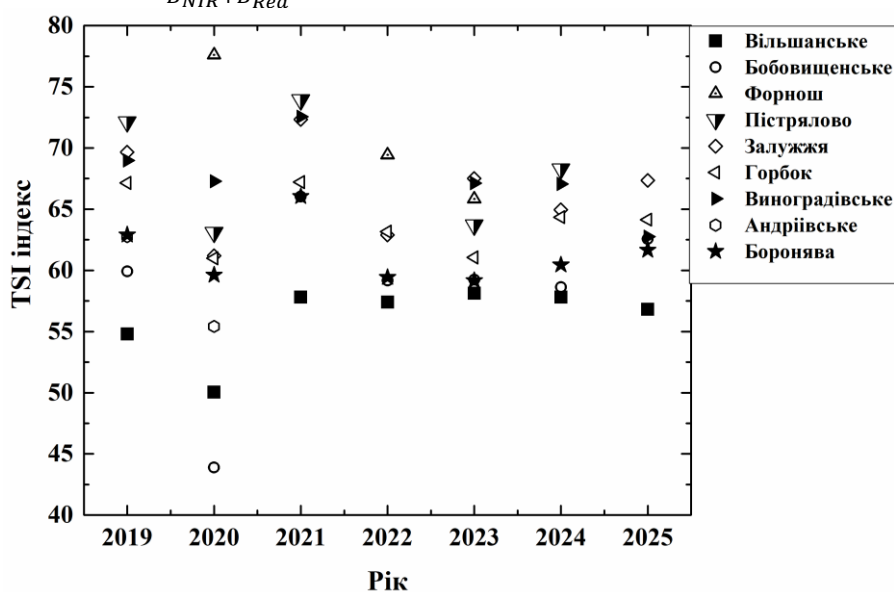


Рис. 1. Динаміка індексу трофності (TSI) у водосховищах Закарпатської області за 2019–2025 рр.

Індекс TSI використано для оцінювання тенденцій евтрофікації та загального екологічного стану водосховищ. На Рис.1. представлено його зміну за період 2019–2025 рр., що дозволяє простежити міжрічні коливання показників і виявити напрями розвитку процесів трофності.

Класифікація рівнів евтрофікації за індексом TSI охоплює такі категорії: ультраоліготрофний ($TSI < 47$), оліготрофний ($47 \leq TSI \leq 52$), мезотрофний ($52 < TSI \leq 59$), еутрофний ($59 < TSI \leq 63$), супереутрофний ($63 < TSI \leq 67$) та гіпертрофний ($TSI > 67$) [15]. Упродовж 2019–2025 рр. значення індексу TSI засвідчують коливання трофічного стану водосховищ Закарпаття в межах мезо- та супереутрофічного рівнів. Найвищі показники зафіксовано у водоймах Форнош ($TSI = 77,6$ у 2020 р.) та Пістрялово ($TSI = 73,9$ у 2021 р.), що відповідає гіпертрофічному стану з надмірною концентрацією біогенних речовин. Для більшості водосховищ характерне різке зростання трофії у 2020–2021 рр., ймовірно, зумовлене поєднанням природних гідрологічних коливань (зниження водності, застійні умови, підвищення температури) та антропогенних впливів – поверхневим зливом з орних земель і стоками, що містять азот і фосфор. Такі умови сприяли розвитку фітопланктону, накопиченню хлорофілу та зниженню прозорості води.

На цьому тлі Вільшанське водосховище вирізняється найнижчими значеннями TSI протягом усього періоду досліджень, що вказує на відносно нижчий рівень трофності порівняно з іншими водосховищами регіону. Це пов'язано з його морфометричними особливостями – більшими глибинами та значним об'ємом (приблизно 24 млн м³), а також розташуванням у верхів'ї річки Тересні з менш інтенсивним сільськогосподарським використанням територій та активним водообміном, який зменшує час перебування води й обмежує накопичення біогенів.

Нижче наведено коротку характеристику стану кожного водосховища з урахуванням досліджених показників.

Бобовищенське водосховище

Демонструє високу чутливість до гідрологічних змін і опадів. У 2020 р. спостерігалася аномалія – різке зростання NDWI до 0,6766 та зниження NDVI до 0,2129, що вказує на покращення прозорості при

зменшенні фітопланктонної біомаси. У 2021 р. зафіксовано пік трофності ($TSI = 66,02$), а в подальші роки – поступове зниження NDWI до 0,1221, що свідчить про погіршення прозорості води.

Вільшанське водосховище

Стан водойми близький до мезотрофного ($TSI \approx 50–58$). Основною проблемою є прогресуюче зниження прозорості: NDWI зменшився з 0,4007 у 2019 р. до 0,156 – 0,168 у 2022–2025 рр. Високий NDVI у 2019 р. (0,6360) відображає інтенсивний розвиток водоростей на початку досліджуваного періоду.

Водосховище Форнош

Максимальне значення TSI (77,61 у 2020 р.) відповідає гіпертрофному стану. Надзвичайно низькі NDWI (0,1005 у 2022 р. і 0,1019 у 2023 р.) вказують на критичну втрату прозорості, що підтверджується підвищеною каламутністю та високою концентрацією органічних речовин.

Водосховище Пістрялово

Схильне до критичної евтрофікації ($TSI = 73,92$ у 2021 р.). У 2020 р. спостерігалася контрастна аномалія – NDWI 0,640 при низькому NDVI 0,161, що свідчить про тимчасове покращення прозорості. Після цього, у 2021–2024 рр., зафіксовано падіння NDWI до 0,104 – 0,108 та стабільно високий TSI (63,7–68,3), що вказує на посилення евтрофічних процесів.

Водосховище Залужжя

Водойма має стабільно високий рівень евтрофії ($TSI 72,32$ у 2021 р.). Також, у 2020 р. зафіксовано різке падіння NDVI (–0,168), що відображає короточасне пригнічення фітопланктону. Індекс NDWI послідовно зменшується до 0,1049–0,1070 у 2024–2025 рр., що свідчить про зниження прозорості й накопичення завислих часток.

Водосховище Горбок

Характеризується стабільним евтрофічним станом ($TSI 60,9–67,2$) без різких коливань. У 2020 р. зафіксовано період очищення (NDWI 0,588), однак у 2023–2024 рр. прозорість істотно знизилася (NDWI 0,1281), що відображає збільшення каламутності та зменшення водності.

Виноградівське водосховище

Є одним із найактивніших за «цвітінням» води: NDVI сягав 0,722 (2019) і 0,706 (2021). Високий TSI (72,55 у 2021 р.)

підтверджує інтенсивну евтрофікацію та масовий розвиток фітопланктону. Попри деяке зниження NDVI у 2023–2025 рр., водойма зберігає еутрофний статус ($TSI \approx 62$ –67).

Водосховище Андріївка

У 2021 р. зафіксовано рекордний NDVI (0,733), що свідчить про найвищу концентрацію фітопланктону серед усіх водойм. Це відповідає піку евтрофікації. У наступні роки відзначається поступове зниження NDVI, що може свідчити про часткову стабілізацію екологічного стану водойми.

Водосховище Боронява

Перебуває у стабільно евтрофічному стані (TSI 66,03 у 2021 р.). У 2020 р. спостерігалася аномалія очищення (NDWI 0,568), однак із 2022 р. фіксується стале зниження прозорості до NDWI 0,1053 у 2024

р., що вказує на погіршення гідрооптичних властивостей і зростання каламутності.

Для всіх дев'яти водосховищ Закарпатської області були побудовані просторові карти розподілу чотирьох індексів – TSI , NDVI, NDWI та Turbidity – за весь досліджуваний період 2019–2025 рр. Карти відображають просторову неоднорідність трофічного стану водойм, інтенсивність «цвітіння» води, рівень водності та ступінь каламутності. Вони дають змогу виявити характерні зони евтрофікації, просторові градієнти прозорості та зміни біопродуктивності упродовж часу. З метою ілюстрації подано приклад Вільшанського водосховища за 2025 рік (рис. 2), яке є найбільшим серед досліджених та добре відображає типові просторові закономірності розподілу індексу.

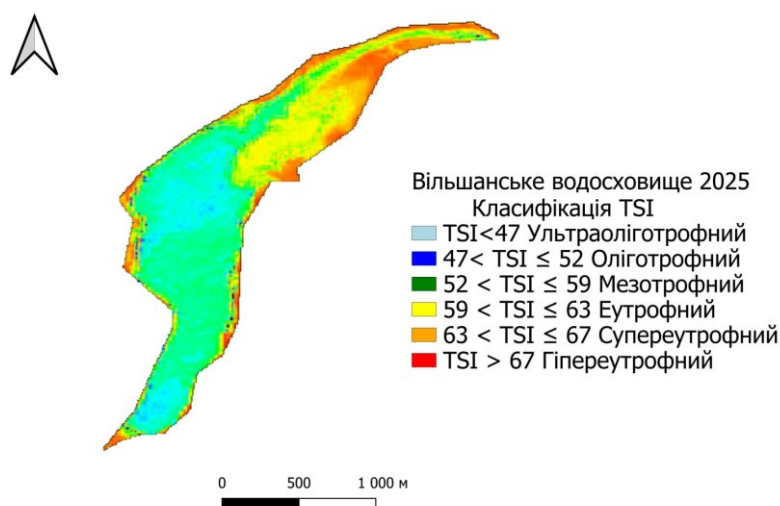


Рис. 2. Просторовий розподіл індексу трофічного статусу (TSI) Вільшанського водосховища у 2025 р.

На мапі простежується чіткий градієнт трофічного стану: від мезотрофних і еутрофних зон у центральній частині водойми до гіпертрофних ділянок у прибережних північній та південній частинах. Посилений розвиток евтрофії в прибережній зоні зумовлений поєднанням кількох чинників – мілководністю, зниженням швидкості течії, акумуляцією завислих часток і органічних речовин, а також надходженням біогенних

елементів із прибережних ґрунтів і дрібних приток. Ці ділянки характеризуються підвищеною температурою та фотосинтетично активним шаром, що сприяє розвитку фітопланктону й «цвітінню» води. Для решти водосховищ спостерігаються подібні просторові закономірності, з певними варіаціями у ступені трофності залежно від площі, глибини та характеру антропогенного навантаження.

Отримані результати підтверджують ефективність дистанційного моніторингу для оцінки трофічного стану водойм. Використання супутникових індексів дозволяє оперативно виявляти просторові та часові зміни якості води, зокрема процеси евтрофікації, і може слугувати основою для оптимізації управління водними ресурсами та планування природоохоронних заходів у регіоні.

Список використаних джерел

1. БУВР Тиси. Водні ресурси області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: buvrtysa.gov.ua/newsite/?page_id=17003.
2. Екологічний паспорт Закарпатської області 2022. / Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської ОДА. — Ужгород, 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ecozakarp.gov.ua/wp-content/nd/2022_ecopassport.pdf.
3. Karpatium. Вільшанське водосховище [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://karpatium.com.ua/vodni-resursy/vilshanske-vodoskhovyshche>.
4. Мукачівська районна державна адміністрація. Про безпеку на водних об'єктах говорили у Мукачівській РДА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mukrayon.gov.ua/novyna/pro-bezpeku-na-vodnyh-obyektah-govoryly-u-mukachivskiy-rda>.
5. БУВР Тиси. Звіт «Якість води у водосховищі Горбок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?p=8780>.
6. Офіс оперативного управління водними ресурсами. Проект Плану управління річковим басейном Дунаю (Нижній Дунай) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://oouvr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/Н.Дунай_ПУРБ_25122022-ПРОЕКТ.pdf.
7. Закарпатський рибоохоронний патруль. Про результати рейдів з охорони водних біоресурсів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zk.darg.gov.ua/index.php?content_id=630&lang_id=1&lp=29.
8. Боронява. Вікіпедія, вільна енциклопедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Боронява>.
9. Semenova I., Ovcharuk V., Goptsiy M. Regional atmospheric circulation and patterns associated with extreme floods in the Ukrainian Carpathians. *Meteorol. Appl.* 2025, 32(5). e70111. Doi: 10.1002/met.70111.
10. Mykitchak T. Influence of the Tereble-Ritska hydroelectric power station on the invertebrate hydrobiont communities (the Ukrainian Carpathians). *Sci. Princip. Biodivers. Conserv.* 2015, 6. 249–262.
11. Роман Л. Ю. Оцінка якості вод водосховища «Роман-Потік» села Горбок Іршавського району Закарпаття. *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Хімія.* 2017, 1(37). 99-105.
12. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. “Ukraine’s water security under pressure: Climate change impacts on hydrology and resources.” *Environmental Advances.* 2024, 9. 100190. Doi: 10.1016/j.envadv.2024.100190.
13. Dumitran G. E., Vuta L. I., Popa B., Popa F. Hydrological Variability Impact on Eutrophication in a Large Romanian Border Reservoir, Stanca–Costesti. *Water* 2020, 12(11). 3065. Doi: 10.3390/w12113065.
14. Wang X., Chen Y., Yuan Q., Xing X., Hu B., Gan J., Zheng Y., Liu Y. Effect of river damming on nutrient transport and transformation and its countermeasures. *Front. Mar. Sci.* 2022, 9. 1078216. Doi: 10.3389/fmars.2022.1078216.
15. Martins I. A. Determination of the Trophic State Index (TSI) using remote sensing techniques. *Limnetica* 2020, 39(2). 539–553. Doi: 10.23818/limn.39.35.

Стаття надійшла до редакції: 28.10.2025 р.

USING GOOGLE EARTH ENGINE DATA FOR MONITORING EUTROPHICATION PROCESSES IN THE RESERVOIRS OF ZAKARPATTIA REGION

¹Glukh O.S., ¹Zayats Ya.R., ¹Symkanych O.I., ¹Milovych I.-M.I.,
¹Shvarts R.R., ^{2,3}Molnar-Babilya D.I.

*Uzhhorod national university. 88000. Uzhhorod. Pidhirna str.46;
1Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian University,
Kossuth Sq. 6, 90200, Beregovo,
Mukachevo State University, Uzhhorodska str.26, 89600, Mukachevo,
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua*

Monitoring the condition of aquatic ecosystems is becoming increasingly important under growing anthropogenic pressure and climate change, which intensify eutrophication processes in inland waters. The Zakarpattia region, characterized by complex relief, numerous reservoirs, and high biodiversity, is particularly sensitive to hydroecological changes. Traditional methods of water quality control are resource-intensive and lack spatial and temporal efficiency. Therefore, the application of modern remote sensing techniques is highly relevant, as they enable comprehensive large-scale assessments of water bodies. The Google Earth Engine (GEE) platform provides access to long-term satellite datasets and advanced image processing tools, making it an effective instrument for detecting trends in the trophic state of reservoirs. The use of indices such as NDWI, NDVI, TSI, and Turbidity allows for evaluating the spatiotemporal dynamics of eutrophication without field measurements. The study of Zakarpattia reservoirs using these indicators contributes to the development of an integrated environmental monitoring system aimed at the early detection of degradation processes and the prevention of ecological imbalance in the region's aquatic ecosystems.

Keywords: eutrophication, reservoirs, satellite monitoring, TSI index, NDWI, NDVI, Turbidity, Google Earth Engine, Zakarpattia region.

References

1. BUVR Tysy. Vodni resursy oblasti [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://buvrtya.gov.ua/newsite/?page_id=17003. (in Ukr).
2. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Zakarpatskoi ODA. Ekolohichniy pasport Zakarpatskoi oblasti 2022. Uzhhorod, 2023 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://ecozakarp.gov.ua/wp-content/nd/2022_ecopasport.pdf. (in Ukr).
3. Karpatium. Vilshanske vodoskhovyshe [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://karpatium.com.ua/vodni-resursy/vilshanske-vodoskhovyshe>. (in Ukr).
4. Mukachivska raionna derzhavna administratsiia. Pro bezpeku na vodnykh ob'ekтах hovoryly u Mukachivskii RDA [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://mukrayon.gov.ua/novyna/pro-bezpeku-na-vodnyh-obyektah-govoryly-u-mukachivskiy-rda>. (in Ukr).
5. BUVR Tysy. Zvit «Yakist vody u vodoskhovyschi Horbok» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://buvrtya.gov.ua/newsite/?p=8780>. (in Ukr).
6. Ofis operatyvnoho upravlinnia vodnymi resursamy. Proiekt Planu upravlinnia richkovym baseinom Dunai (Nyzhnii Dunai) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://oouvr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/Н.Дунай_ПУРБ_25122022-ППОЕКТ.pdf. (in Ukr).
7. Zakarpatskyi rybokhoronnyi patrol. Pro rezultaty reidiv z okhorony vodnykh bioresursiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://zk.darg.gov.ua/index.php?content_id=630&lang_id=1&lp=29. (in Ukr).
8. Boroniava. Vikipediia, vilna entsyklopediia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Боронява>. (in Ukr).
9. Semenova I., Ovcharuk V., Goptsiy M. Regional atmospheric circulation and patterns associated with extreme floods in the Ukrainian Carpathians. *Meteorol. Appl.* 2025, 32(5). e70111. Doi: 10.1002/met.70111.
10. Mykitchak T. Influence of the Tereble-Ritska hydroelectric power station on the invertebrate hydrobiont communities (the Ukrainian Carpathians). *Sci. Princip. Biodivers. Conserv.* 2015, 6. 249–262.
11. Roman L. Yu. Otsinka yakosti vod vodoskhovyscha «Roman-Potik» sela Horbok Irshavskoho raionu Zakarpattia. *Nauk. visn. Uzhhorod. un-tu. Ser. Khimiia.* 2017, 1(37). 99–105. (in Ukr.)
12. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine's water security under pressure: Climate change impacts on hydrology and resources. *Environ. Adv.* 2024, 9. 100190. Doi: 10.1016/j.envadv.2024.100190.
13. Dumitran G. E., Vuta L. I., Popa B., Popa F. Hydrological variability impact on eutrophication in a large Romanian border reservoir, Stanca–Costesti. *Water* 2020, 12(11). 3065. Doi: 10.3390/w12113065.
14. Wang X., Chen Y., Yuan Q., Xing X., Hu B., Gan J., Zheng Y., Liu Y. Effect of river damming on nutrient transport and transformation and its countermeasures. *Front. Mar. Sci.* 2022, 9. 1078216. Doi: 10.3389/fmars.2022.1078216.
15. Martins I. A. Determination of the Trophic State Index (TSI) using remote sensing techniques. *Limnetica* 2020, 39(2). 539–553. Doi: 10.23818/limn.39.35.