



УДК 582.26/.27:504.61:355.01](282)(477.41)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.10>

ФІТОПЛАНКТОН ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ МАЛОГО ВОДОСХОВИЩА

Ю. С. Шелюк¹, Д. І. Кошмеринська², О. П. Житова³

У роботі обговорюються деякі актуальні питання можливості застосування фітопланктону для оцінки якості вод малих водосховищ на прикладі Житомирського водосховища за результатами досліджень 2023–2024 рр. та раніше опублікованими авторськими даними за 2004–2007 рр. і 2008–2017 рр.

Встановлено, що після очищення русла р. Тетерів у 2022 р. у Житомирському водосховищі переважають планктонно-бентосні (37,0% від числа індикаторних видів) і планктонні (36,6%) форми водоростей. За температурною приуроченістю перевагу мають евритермні водорості й форми, приурочені до помірного температурного режиму, а також теплолюбні види водоростей (відповідно 47,2%, 27,3% і 18,6%). Зростання частки термофілів за останнє десятиліття значною мірою зумовлене кліматичними змінами. За відношенням водоростей до умов реофільності та насичення вод киснем переважають індиференти (67,3%). Серед індикаторів галобності значну перевагу мають олігогалоби-індиференти – 70,2%, за відношенням до рН – індиференти (46,8%) й алкаліфіли (37,9%). Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,4%) та сапроксенів (25,7%). За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин встановлено пріоритет індикаторів II класу якості вод (53,0%), при цьому статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%).

За більшістю досліджуваних гідрохімічних, гідрофізичних і гідробіологічних показників (біомасою, інтенсивністю фотосинтезу, продукційно-деструкційним коефіцієнтом) Житомирське водосховище можна віднести II–III класу якості вод.

Встановлено тенденцію до зрівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22\pm 0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів та спускання води з ниж-

¹ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

² учениця 9 класу
(Ліцей № 24, м. Житомир)
e-mail: dashakoshmerynskaya@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3069-598X

³ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: elmi1969@meta.ua
ORCID: 0000-0003-2572-4163

нього б'єфу водосховища через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та полютантів у складі донних комплексних сполук.
Загалом упродовж 2023–2024 рр. у товщі води Житомирського водосховища виявлено 173 види водоростей, представлених 181 внутрішньовидовим таксоном, включно з тими, що містять номенклатурний тип виду, із 8 відділів.

Ключові слова: фітопланктон, якість води, Житомирське водосховище, первинна продукція, сапробність.

PHYTOPLANKTON AS AN INDICATOR OF THE STATE OF THE WATER ECOSYSTEM OF A SMALL RESERVOIR

Yu. S. Sheliuk, D. I. Koshmerynska, O. P. Zhitova

The paper discusses some topical issues of the possibility of using phytoplankton to assess the water quality of small reservoirs using the example of Zhytomyrsky according to the results of research in 2023–2024. and previously published author's data for 2004–2007 and 2008–2017. It was established that after cleaning the river bed Teteriv in 2022 in the Zhytomyr Reservoir, planktonic-benthic (37.0% of the number of indicator species) and planktonic (36.6%) forms of algae prevail. In terms of temperature limitation, eurythermic algae and forms that are limited to a moderate temperature regime, as well as thermophilic algae species (47.2%, 27.3% and 18.6%, respectively) have an advantage. The increase in the share of thermophilic forms over the last decade is probably the result of climate change. In relation to algae to the conditions of rheophilicity and saturation of water with oxygen, indifferents prevail (67.3%). Among the indicators of haloness, oligohalob-indifferents have a significant advantage – 70.2%, in relation to pH – indifferents (46.8%) and alkaliphiles (37.9%). The analysis of the level of organic pollution according to the Watanabe system showed the dominance of Eurysaprobies (63.4%) and saproxenes (25.7%). Based on saprobiological indicators of algae indicators of various types of pollutants, the priority of class II indicators of water quality was established (53.0%), while class III indicators were also statistically significant (37.8%). According to hydrochemical, hydrophysical and hydrobiological parameters (biomass, photosynthesis intensity, production-destruction coefficient), the Zhytomyr Reservoir mostly corresponds to the II–III class of water quality. A tendency to balance production and destruction processes ($A/R=1.22\pm 0.08$) in 2023–2024 was established. after carrying out works on cleaning the bed of the Teteriv River and draining water from the lower basin of the reservoir due to the removal of an excess of dead autochthonous organic matter and pollutants in the bottom complex compounds. In general, during 2023–2024 in the water column of the Zhytomyr Reservoir, 173 species of algae, represented by 181 intraspecific taxa, including those containing the nomenclatural type of the species, from 8 divisions were found.

Key words: phytoplankton, water quality, Zhytomyr Reservoir, primary products, saprobity.

Вступ

Особливістю сучасного підходу до оцінки екологічного стану водних екосистем є пріоритетне значення біоти. Це положення загальноприйняте в країнах Європейської спільноти і законодавчо закріплене у Воднорамокцій директиві Європейського Союзу 2000/60/ЄС (Водна..., 2006; Терміни..., 2015). Концепцією директиви насправді є індикація із наданням переваги біотичній складовій. Абіотичні чинники належать до системи екологічної індикації стану водних об'єктів як складова частина, що забезпечує життєдіяльність біоти. Така орієнтація оцінки екологічного стану зумовлена тим, що в екосистемі чинники середовища вза-

ємопов'язані; у водні об'єкти надходить досить широкий спектр полютантів, значну частку яких не можна кількісно визначити, тому на перший план виходить саме реакція біотичних компонентів (угруповань або окремих видів гідробіонтів) на комплексний вплив абіотичних чинників (Сталий..., 2016).

Особливу чутливість до антропогенного навантаження мають урбанізовані водойми. Надходження у них господарсько-побутових та дренажних вод, змивів із міських територій, приміських сільськогосподарських угідь тощо призводить до хронічної стресової ситуації усіх компонентів водних екосистем, що, безумовно, впливає на складну

систему трофічних зв'язків гідробіонтів. Отже, під час розробки системи управління річковими басейнами та обґрунтування конкретних заходів щодо їх раціонального використання, відтворення та охорони важлива роль належить оцінці екологічного стану водних екосистем (Афанасьєв та ін., 2015, Проєкт..., 2024).

Особливо нагальними є подібні дослідження для антропогенно змінених унаслідок зарегулювання річок та створених на них малих водосховищ.

Мета роботи – здійснити оцінку сучасного екологічного стану малого водосховища на прикладі Житомирського водосховища за індикаторними характеристиками водоростей, кількісними параметрами розвитку їх угруповань, інтенсивністю первинної продукції фітопланктону та співвідношенням інтенсивності продукційно-деструкційних процесів.

Матеріал і методи

Житомирське водосховище було створене на р. Тетерів у 1964 р. Знаходиться у м. Житомир (50°14'12" пн. ш., 28°36'26" сх. д.). Водойма має довжину греблі 145 м і висоту 22 м, площу водного дзеркала 390 га, повний об'єм 13 млн м³, помірний водообмін (відношення об'єму стоку через гідрузол до повного об'єму водосховища) – 0,29 (Мокрицький, 1999).

Альгологічні проби відбирали упродовж вегетаційних сезонів 2023–2024 рр. на двох стаціонарних станціях на Житомирському водосховищі стандартними методами (Методи..., 2006). Для їх камерального опрацювання використовували камеру Нажотта об'ємом 0,05 см³. Визначення систематичного складу водоростей проводили за загальновідомими правилами (Tsarenko et al., 2006, 2009, 2011) відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2024). Індекс Шеннона (Ignatiades, 2020) визначали за біомасою фітопланктону, оскільки вона є показником реалізованої перинної продукції (Shelyuk, 2019, 2024).

Інтенсивність фотосинтезу фітопланктону A_{max} та деструкцію органічної речовини R визначали кисневою модифікацією склянового методу на горизонті максимального фотосинтезу згідно з раніше описаними методиками у попередніх роботах (Shelyuk & Shcherbak, 2018; Shelyuk, 2019).

Біоіндикаційний аналіз проведено з урахуванням індикаторних характеристик водоростей, представлених у моногра-

фії Софії Барінової (Barynova et al., 2006) та рекомендацій, наведених у роботі (Cupertino et al., 2019).

Гідрохімічні та гідрофізичні аналізи були виконані в контрольно-вимірвальній лабораторії КП «Житомирводоканал» (свідоцтво про реєстрацію № 64 від 21.10.2013 р.) і на кафедрі ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Результати

Аналіз отриманих результатів досліджень показав, що Житомирське водосховище за прозорістю належить до II класу якості вод. За вмістом розчиненого у воді кисню та величиною перманганатної окислюваності досліджувана водойма відповідає II класу якості вод, за концентрацією загального заліза – III класу, за критеріями забруднення сольового складу прісних вод (за концентрацією хлоридів) – II класу. За вмістом амонійного і нітритного нітрогену Житомирське водосховище належить до II класу якості вод, за вмістом нітратного нітрогену й фосфору фосфатів його можна віднести до III класу.

Порівняння отриманих за 2023–2024 рр. гідрохімічних показників із літературними даними (Shelyuk & Shcherbak, 2018) дозволило встановити основні тенденції їх змін. Так, значення рН упродовж 2005–2024 рр. були в межах 6,84–9,27, кольоровості – 12–67°. Найвищі середні значення рН фіксували в 2007 р. (8,18±0,01), найнижчі – в 2015 (7,69±0,02), кольоровості води – в 2008 та 2010 роках (49,2±0,15° і 49,1±0,11°), найнижчі – у 2017 р. (21,1±0,08°). Уміст нітратного нітрогену залишався у межах 0,02–9,21 мг N/дм³, нітритного – 0,001–0,103 мг N/дм³, амонійного – 0,05–0,90. Найвищі середні значення нітратного нітрогену відмічали у 2012 р. (1,88±0,04 мг N/дм³) та 2015 р. (1,81±0,03 мг N/дм³). У 2016 р. спостерігали найнижчі середні значення нітратного (0,04 мг N/дм³) і нітритного нітрогену (0,005±0,001 мг N/дм³).

Динаміка амонійного нітрогену за роками досліджень характеризувалася стрибкоподібними змінами. Найвищі його середні значення відмічали в 2013 р. (0,55±0,01 мг N/дм³) і 2017 р. (0,48±0,01 мг N/дм³), найнижчі – в 2009 р. (0,18±0,01 мг N/дм³). Аналіз змін температури води водойми за період 2005–2024 рр. указує на тенденцію до її підвищення майже на 1°C. Середньорічна температура води Житомирського водосховища сягає 14,21±0,23°C. Подібна тенденція є загальною

для водойм Європи. Закономірність зміни температури води Житомирського водосховища за десятирічний період описується рівнянням $y(t)=14,1891+0,9887 \cdot \log_{10}(x)$, де x – роки.

Лужність води була в межах 2,52–3,51 мг N/дм³ за максимальних значень у 2006, 2010 та 2014 рр. Загальна жорсткість найменшою була у 2016 р. ($3,75 \pm 0,18$ мг/дм³), а найбільшою – у 2007 та 2024 рр. ($4,34$ і $4,38$ відповідно).

Загалом за вмістом специфічних речовин токсичної дії (міді, цинку, марганцю, свинцю) вода Житомирського водосховища належить до II–IV класу якості вод. За концентрацією міді і цинку водойма належить до II класу якості вод, за вмістом свинцю – до III класу. Періодично спостерігали підвищений уміст кадмію та марганцю (IV клас якості вод).

Найвищі середні значення вмісту загального заліза фіксували впродовж 2005–2007 рр. ($0,71 \pm 0,001$ мг /дм³), а найнижчі – 2015–2016 рр. ($0,32 \pm 0,001$ мг/дм³). Загальний вміст кремнію ($Si_{\text{зар}}$) у воді Житомирського водосховища впродовж десяти років спостережень був у межах $1,4$ – $7,9$ мг/дм³.

Упродовж 2023–2024 рр. у товщі води Житомирського водосховища виявлено 173 види водоростей, представлених 181 внутрішньовидовим таксоном, включно з тими, що містять номенклатурний тип виду, із 8 відділів: Cyanobacteria – 21 вид, представлений 24 внутрішньовидовими таксонами – 12,1% від загального числа видів, Euglenozoa – 16 (17 в.в.т.) – 9,2%, Ochrophyta – 11 (11) – 6,4%, Bacillariophyta – 54 (55) – 31,3%, Miozoa – 7 (7) – 4,0%, Cryptophyta – 1 (1) – 0,6%, Chlorophyta – 60 (63) – 34,7%, Charophyta – 3 (3) – 1,7%. Провідними були відділи зелених, діатомових, синьо-зелених та еугленових водоростей. Пропорція флори становила 1:1,4:2,3:2,6.

Порівняння отриманих даних щодо таксономічної структури фітопланктону Житомирського водосховища із відомостями, наведеними Ю.С. Шелюк за результатами досліджень 2004–2018 рр. (Shelyuk, 2024) показала появу у складі фітопланктону водосховища двох нових для Українського Полісся видів, які є індикаторами теплих вод, – *Navicula ambigua* Ehr., *Pinnularia acrosphaeria* W. Sm., а також видів, раніше ідентифікованих на незарегульованих ділянках р. Тетерів, – *Ceratium hexacanthum* Gouret; *Peridinium raciborskii* Woloszynska,

Palmellopsis gelatinosa Korshikov, *Treubaria planctonica* (G.M.Smith) Korshikov, *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg. Загалом відмічено зростання числа видів водоростей, а також посилення флористичної ролі харових. Зазначені зміни, вірогідно, є наслідком впливу на водну екосистему як природних чинників (змін клімату, особливо аномально спекотного літа 2024 р.), так і діяльності людини, зокрема спускання води нижнього б'єфу водосховища у 2022 р. Останнє було зумовлено військовими діями на території України. Ситуацію, що склалася в таких умовах, вдало використано задля очищення русла р. Тетерів.

Порівняльний аналіз таксономічного складу Житомирського водосховища представлено в табл. 1.

Родовий коефіцієнт, розрахований для фітопланктону Житомирського водосховища, становив 2,3. Провідними родами впродовж вегетаційних сезонів у водосховищі були *Cyclotella* – 9%, *Trachelomonas* Ehrenb. – 6%, *Nitzschia* Hassal, *Chlamydomonas* Ehrenb. і *Navicula* Bory – по 5%, *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald – 4%, *Kephyrion* Pascher і *Peridinium* Ehrenb. – по 3%, які мали пріоритет у видовому багатстві водойми і становили 40% усього її видового і внутрішньовидового багатства фітопланктону.

У сезонному розподілі водоростей водойми спостерігали найбільшу видову представленість у другій половині літа – на початку осені. В усі сезони провідна роль у формуванні флористичного багатства водойми належала відділам Chlorophyta, Bacillariophyta та Euglenozoa, у літньо-осінній період третю позицію за видовим багатством займали Cyanobacteria.

Максимальну частоту трапляння у водоймі мали: *Cyclotella kuetzingiana* Thw. (86, 82%), *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (71%), *Chlamydomonas globosa* J. Snow (66%), *Trachelomonas volvocina* Ehrenb. (51%), *Gomphosphaeria apponina* Kütz. (54%), *Hippodonta lueneburgensis* (Grunow) Lange-Bert., D.Metzeltin et A.Witkowski in Lange-Bert. (по 53%), *Nitzschia pusilla* Grunow, *Tabularia fasciculata* (C.Agardh) D.M.Williams et Round (по 51%), *Coelastropherium kuetzingianum* Nägeli (49%), *Peridinium cinctum* (O.F.Müll) Ehrenb. (48%), *Monoraphidium arcuatum* (Korschikov) Hindak (по 45%), *Acutodesmus acuminatus* Lagerh (40%).

Кількісні показники розвитку водоростей планктону Житомирського водо-

Таблиця 1

Таксономічний склад фітопланктону Житомирського водосховища у різні періоди досліджень

Відділи	Період дослідження		
	2004–2007 рр.	2008–2017 рр.	2023–2024 рр.
Cyanobacteria	<u>21 (21)</u> 17,8	<u>13 (13)</u> 11,9	<u>21 (24)</u> 12,1
Euglenozoa	<u>7 (7)</u> 5,9	<u>13 (17)</u> 11,9	<u>16 (17)</u> 9,2
Ochrophyta	<u>8 (8)</u> 6,8	<u>7 (8)</u> 6,4	<u>11 (11)</u> 6,4
Bacillariophyta	<u>31 (31)</u> 26,5	<u>29 (30)</u> 26,7	<u>54 (55)</u> 31,3
Miozoa	<u>7 (7)</u> 5,9	<u>5 (5)</u> 4,6	<u>7 (7)</u> 4,0
Cryptophyta	<u>1 (1)</u> 0,8	<u>2 (2)</u> 1,8	<u>1 (1)</u> 0,6
Chlorophyta	<u>43 (43)</u> 36,4	<u>40 (40)</u> 36,7	<u>60 (63)</u> 34,7
Charophyta	–	–	<u>3 (3)</u> 1,7
Всього	<u>118 (118)</u> 100,0	<u>109 (115)</u> 100,0	<u>173 (182)</u> 100

Примітка. Над рискою – кількість видових таксонів в абсолютному вираженні, під рискою – те ж у %.

сховища упродовж 2023–2024 рр. коливалися у досить широких межах. Його середні значення чисельності та біомаси сягали відповідно $3,791 \pm 0,05$ млн кл/дм³ та $2,183 \pm 0,045$ г/м³. Середня чисельність весняного фітопланктону становила $3,24 \pm 0,05$ млн кл/дм³, біомаса – $0,47 \pm 0,02$ г/м³; літнього – $13,89 \pm 0,14$ млн кл/дм³ та $4,56 \pm 0,11$ г/м³; осіннього – $4,21 \pm 0,10$ млн кл/дм³ і $3,85 \pm 0,09$ г/м³. За біомасою фітопланктону якість води водойми відповідає III класу якості вод категорії «слабко забруднені».

Загалом структуроутворюючими відділами у формуванні біомаси фітопланктону у водосховищі навесні були Bacillariophyta, Chlorophyta та Euglenozoa, улітку – Cyanobacteria, Chlorophyta Miozoa, восени – Chlorophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria, а взимку – Bacillariophyta, Chlorophyta й Miozoa.

У формуванні домінуючого комплексу досліджуваної водойми найвищі частки мали зелені (40% від загальної біомаси фітопланктону), діатомові (38%), синьо-зелені (11%), евгленові водорості (6%). Усього за вегетаційний сезон 2023–2024 рр. було ідентифіковано 66 видів-домінантів. Значне інформаційне різноманіття таких видів зумовлює стійкість екосистеми до антропогенного навантаження.

На основі встановленого видового складу планктонних водоростей проведено біоіндикаційний аналіз. Ідентифіковані водорості є індикаторами якості вод за такими показниками, як місце існування, рН, солоність, реофільність та насичення води киснем, рівень органічного забруднення (сапробність) і трофності, температура води. Часто кожен із виявлених видів був індикатором декількох показників.

Біоіндикаційний аналіз, проведений із урахуванням індикаторних характеристик водоростей за відношенням до місцеперебування (рис. 1А), показав, що у водосховищі переважають планктонно-бентосні (38,0% від числа індикаторних форм) і планктонні (35,9%) мешканці. Частка бентосних видів сягала 19%.

За відношенням фітопланктону до течучості вод та насичення їх киснем переважали індиференти (68,1%), частка водоростей, приурочених до стоячих вод і незначного вмісту кисню, була меншою (28,1%), ще менше ідентифіковано видів, приурочених до текучих вод із високим умістом кисню (2,1%), а також аерофілів (1,1%). Такий розподіл видів-індикаторів течучості вод і насичення киснем пояснюється специфікою гідрологічних і морфометричних умов малого водосховища як водойми зі сповільненим водообміном (рис. 1Б).

За температурною приуроченістю (рис. 1Б) домінували евритермні форми й приурочені до помірного температурного режиму, й також теплолюбні види (відповідно 46,9%, 28,0% і 19,2%). Зростання

частки термофілів за останнє десятиріччя, найвірогідніше, є наслідком глобальних змін клімату.

За відношенням до галобності (рис. 1Г) переважали олігогалоби-індифе-

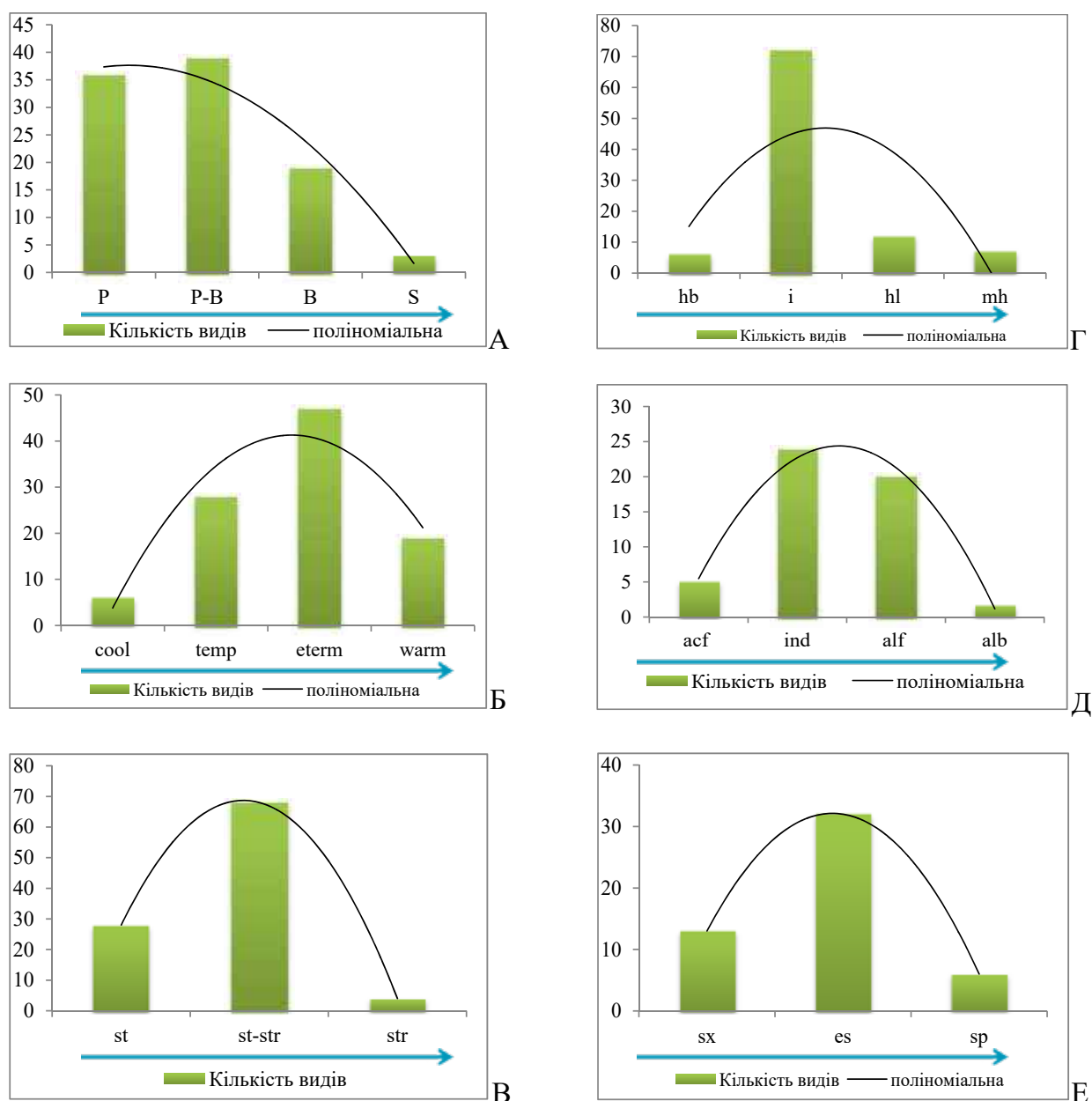


Рис. 1. Співвідношення водоростей-індикаторів екологічних умов у Житомирському водосховищі

Примітка: А – співвідношення індикаторів місця перебування (В – бентосні; Р-В – планктонно-бентосні; Р – планктонні; S – ґрунтові, наземні субстрати); Б – температурних умов (warm – теплолюбні, cool – холодолюбні, temp – помірного діапазону та/або індиверентні, eterm – евритермні); В – насиченості вод киснем та реофільності (st – стоячі, st-str – повільно текучі та / або індиверентні, str – швидко текучі); Г – індикаторів галобності (ph – полігалоби, mh – мезогалоби, i – олігогалоби-галофіли, hl – олігогалоби-галофіли, hb – олігогалоби-галофоби); Д – рН середовища (ind – індиверентні, alf – алкаліфіли: alb – алкалібіонти, acf – ацидофіли); Е – рівня органічного забруднення за Ватанабе (sx – сапроксени, sp – сапрофіли, es – еврисапроби). Стрілка на графіках указує на посилення дії чинника середовища

ренти – 71,4%. Помітною була й частка галофілів (11,8%) та мезогалобів (8,9%), а також галофобів (5,2%). За відношенням до рН (рис. 1Д) переважали індіференти (47,9%), алкаліфіли (39,8%). Частка ацидофілів становила 10,1%, алкалібіонтів (3,2%).

Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,8%) та сапротоксенів 24,7%, що свідчить про помірне органічне забруднення Житомирського водосховища на сучасному етапі функціонування його екосистеми (рис. 1Е).

За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин, що дозволяють характеризувати якість водного середовища й інтегровано оцінити екологічний стан водної екосистеми, встановлено переважання індикаторів II класу якості вод (53,0%). Водночас статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%) (рис. 2). Відомо, що до 80-х років минулого століття у Житомирському водосховищі здебільшого переважали індикатори I-II класу якості вод (Васенко і Верніченко, 1981). Наприкінці XX – на початку XXI ст. спостерігалось погіршення якості води, зокрема через посилення органічного забруднення. Так, упродовж 2005–2020 рр. фіксували переважання індикаторів III класу якості вод у Житомирському водосховищі (Shelyuk, 2024). Отримані результати вказують на тенденцію в останні роки щодо зменшення рівня органічного забруднення «Житомирського моря».

Індекс сапробності за біомасою водоростей склав 1,9 (II клас якості вод). Оцінка

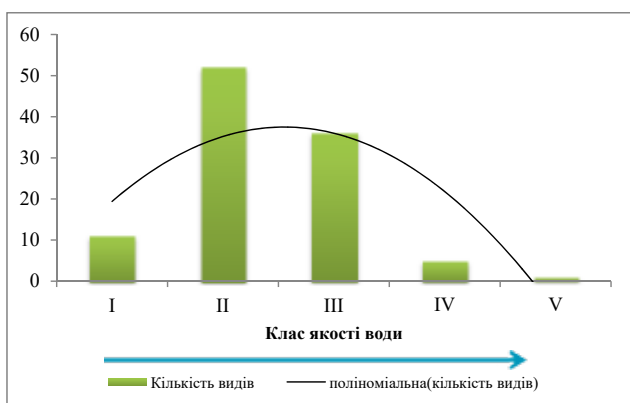


Рис. 2. Співвідношення кількості індикаторів класів якості води

Примітка: стрілка позначає напрям погіршення якості вод

інформаційного різноманіття, зроблена за індексом Шеннона (H_B) вказує на переважання полідомінантної структури фітопланктону водосховища. Середнє його значення за вегетаційний сезон становить $2,24 \pm 0,05$ біт/мг, при цьому цей показник упродовж весни склав $2,16 \pm 0,08$, літа – $1,99 \pm 0,08$, осені – $2,41 \pm 0,11$ біт/мг. Трохи вищі значення індексу Шеннона у літній період у порівнянні з даними, наведеними авторкою за результатами досліджень 2004–2018 рр., можна пояснити більшим різноманіттям угруповання водоростей через зниження інтенсивності цвітіння *Cyanobacteria*. Найвірогіднішою причиною таких змін стало очищення русла Тетерева внаслідок спускання води нижнього б'єфу водосховища у 2022 р.

Досліджуваній водоймі властива висока інтенсивність продукційно-деструкційних процесів, причини якої детально описані у попередніх публікаціях (табл. 2).

Встановлено, що на сучасному етапі функціонування екосистема Житомирського водосховища за інтенсивністю фотосинтезу фітопланктону відповідає III класу якості вод ($A=3,85 \pm 0,1$ мг / дм³).

Індекс самоочищення / самозабруднення (A/R) упродовж останніх десяти років коливався в межах 0,62–6,59 із максимумами у 2015 і 2021 роках. Встановлено ефект урівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22 \pm 0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів у межах акваторії Житомирського водосховища у 2022 році через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та політантів у складі донних комплексних сполук. За значеннями продукційно-деструкційного коефіцієнту досліджувана водойма наразі відповідає II класу якості вод.

Зміни продукції і деструкції органічної речовини в сезонному аспекті у Житомирському водосховищі були такими. Навесні з активізацією розвитку фітопланктону відбувалося зростання інтенсивності фотосинтезу, проте весняний максимум фіксували лише в травні. Від початку березня до початку квітня інтенсивність деструкції була вищою за первинну продукцію, весняний максимум деструкції припадав на кінець березня, потім інтенсивність деструкційних процесів послабилася. Подальше зниження інтенсивності деструкційних процесів відбувалося нерівномірно, періодично спостерігалася незначна інтенсифікація

Таблиця 2

Граничні та середні $X \pm m_x$ показники первинної продукції та деструкції органічної речовини, A/R -коефіцієнти Житомирського водосховища (за даними досліджень 2023–2024 рр.)

ΣA	ΣR	A_{max}	R	A/R
$\frac{1,27-8,07}{4,22 \pm 0,12}$	$\frac{1,21-7,64}{3,13 \pm 0,23}$	$\frac{0,96-6,10}{3,85 \pm 0,10}$	$\frac{1,04-5,93}{3,32 \pm 0,06}$	$\frac{0,74-4,93}{1,22 \pm 0,06}$

Примітка: $\Sigma A, \Sigma R$ вимірювали в г $O_2/m^2 \cdot$ добу; A_{max}, R – в мг $O_2/dm^3 \cdot$ добу. У чисельнику наведено граничні, у знаменнику – середні значення досліджуваних показників

деструкційних процесів. Упродовж літа та до середини осені переважно відмічали досить високу інтенсивність продукційних процесів після осіннього їх максимуму, який спостерігали у кінці жовтня. Інтенсивність фотосинтезу знижувалася у часі, досягаючи мінімальних значень у середині листопада. Осінній максимум деструкції відмічали на початку листопада.

У часовому розподілі продукційно-деструкційного коефіцієнту на поверхневих горизонтах $A/R < 1$ спостерігали у березні та в кінці листопада за порівняно низької інтенсивності первинної продукції; упродовж вегетаційного сезону із середини квітня до кінця осені переважно $A/R > 1$. Співвідношення інтегральних показників інтенсивності фотосинтезу і дихання $\Sigma A / \Sigma R$ вказує на автотрофну направленість метаболізму (середнє значення $\Sigma A / \Sigma R$ було в межах $1,11 \pm 0,06$).

Обговорення

Найвні у науковій літературі класифікації водосховищ вирішували конкретні завдання, але не завжди давали вичерпну характеристику водосховищам. Класифікація водних екосистем України за категоріями та класами, які об'єктивно відображають їхні фізико-хімічні, морфометричні, режимні, гідробіологічні характеристики, була запропонована фахівцями Інституту гідробіології НАН України (Методи..., 2006).

Проте на сьогодні є необхідність у подальшому уточненні класифікаційної системи водосховищ у зв'язку з посиленням охорони вод. При цьому слід враховувати, що стан водних екосистем визначається як досить сталими параметрами (площа, глибина, рельєф дна, рівневий режим, проточність, льодовий і температурний режими тощо), так і варіативними характеристиками водних мас та гідробіонтів.

Найважливішим нормативним документом, що регламентує оцінку екологічного стану водних об'єктів, є Директива 2000/60 ЄС Європейського парламенту і Ради Європи

(Водна..., 2006) щодо впорядкування діяльності спільноти в галузі водного господарства. Ми спробували запропонувати варіант комплексної класифікації малого водосховища на прикладі Житомирського водосховища:

1) за морфологічними ознаками:
а) за характером рельєфу – рівнинне;
б) за виглядом – озерно-русьове;
в) за складом води – прісне;
г) за особливостями режиму – зарегульоване;

за морфометричними ознаками:
а) за площею поверхні – мале (до 10 км²);
б) за площею затопленої зони – мале (до 10 км²);

в) за повним об'ємом – мале (до 0,5 км³);
г) за корисним об'ємом – мале (до 0,05 км³);
д) за максимальною глибиною – дуже мілке – (до 5 м);

2) за гідрологічними ознаками:
а) за тривалістю льодоставу – з середньою тривалістю льодоставу (2–6 місяців);
б) за температурою води (середня величина за літній період, °С) – з помірною температурою води (19–23 °С);

3) за ознаками, що характеризують водообмін:

а) за стратифікацію – стратифіковане;
б) за вертикальною циркуляцією – з помірною вертикальною стратифікацією (при вертикальному перемішуванні 2 рази в рік);

в) за характером регулювання – з багаторічним характером регулювання;

г) за характером водообміну (за відношенням об'єму стоку через гідровузол до повного об'єму водосховища) – із сповільненим водообміном (до 0,1);

4) за ознаками, що характеризують господарсько-економічне значення:

а) за напрямком використання – промислового водопостачання.

За гідробіологічними показниками: у результаті проведеного біоіндикаційного аналізу встановлено, що загалом у товщі води водосховища переважають планктонні

форми, індиверенти за відношенням до рН, рівня солоності води та насичення її киснем і реофільності, евритермні за відношенням до температури. Вода водосховища за рівнем органічного забруднення за сапробністю належить до II класу якості вод («досить чисті»), за системою Ватанабе встановлено помірно органічне забруднення. У товщі води переважають види-космополіти за географічним поширенням.

За функціональними показниками фітопланктону (біомаса, інтенсивність фотосинтезу, продукційно-деструкційний коефіцієнт) Житомирське водосховище здебільшого відповідає II–III класу якості вод.

Висновки

Проаналізовано можливості застосування фітопланктону для оцінки якості вод малих водосховищ на прикладі Житомирського водосховища.

Встановлено, що після очищення русла р. Тетерів у Житомирському водосховищі переважають планктонно-бентосні (37,0% від числа індикаторних видів) і планктонні (36,6%) форми водоростей. За температурною приуроченістю перевагу мають евритермні водорості й форми, приурочені до помірного температурного режиму, а також теплолюбні види водоростей (відповідно 47,2, 27,3 і 18,6%). Зростання частки теплолюбних форм за останнє десятиліття, віро-

гідно, є результатом змін клімату. За відношенням водоростей до умов реофільності та насичення вод киснем переважають індиверенти (67,3%). Серед індикаторів галобності значну перевагу мають олігогалофи-індиверенти – 70,2%, за відношенням до рН – індиверенти (46,8%) й алкаліфіли (37,9%). Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,4%) та сапроксенів 25,7%. За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин встановлено пріоритет індикаторів II класу якості вод (53,0%), при цьому статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%).

За гідрохімічними, гідрофізичними і гідробіологічними показниками (біомаса, інтенсивність фотосинтезу, продукційно-деструкційний коефіцієнт) Житомирське водосховище здебільшого відповідає II–III класу якості вод.

Встановлено тенденцію до врівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22\pm 0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів та спускання води з нижнього б'єфу водосховища через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та поліютантів у складі донних комплексних сполук.

Список використаної літератури

- Афанасьев С.О., Бабчук В.С., Бонь О.В., Васильев С.В. та ін. Терміни та визначення водних Директив Європейського Союзу. Київ : Інтерсервіс, 2015. 32 с.
- Васенко О.Г., Верніченко Г.А. Комплексне планування та управління водними ресурсами. Київ : Ін-т географії НАН України, 2001. 367 с.
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ : Твій формат, 2006. 240 с.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
- Мокрицький Г.П. Водопровід Житомира. Житомир : Волинь, 1999. 96 с.
- Проект Стратегії сталого розвитку України до 2030 року від 07.07.2018 р. № 9015 [Електронний ресурс]. URL: UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf (дата звернення 29.12.2024)
- Сталий розвиток [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/.2016> (дата звернення 14.01.2025).
- Barynova S.S., Medvedeva L.A., Anisymova O.V. Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio, 2006. 498 с.
- Cupertino A., Gücker B., Rückert G., Figueredo C. C. Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators*. 2019. № 101. P. 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054>.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020 [Електронний ресурс] URL: <http://www.algaebase.org> (дата звернення 30.03.2024).
- Ignatiades L. Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Mar. Biodivers*. 2020. № 50 (4). P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4>.

Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiol. Journal*. 2018. Vol. 54. № 3. P. 10–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3>.

Shelyuk Yu.S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiol. Journal*. 2019. Vol. 55. № 4. P. 38–54. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40>.

Shelyuk Yu.S. Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*. 2024. № 26 (3). P. 273–284. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50>.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Cyanoprocarota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2006. Vol. 1. 713 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Bacillariophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2009. Vol. 2. 413 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Chlorophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2011. Vol. 3. 511 p.

References

Afanas'yev, S.O., Babchuk, V.S., Bon', O.V., & Vasylyev, S.V. (2015). Terminy ta vyznachennya vodnykh Dyrektyv Yevropeys'koho Soyuzu [Terms and definitions of water Directives of the European Union]. Kyiv : Interservice [in Ukrainian].

Vasenko, O.H. & Vernichenko, H.A. (2001). Kompleksne planuvannya ta upravlinnya vodnymy resursamy [Integrated planning and management of water resources]. Kyiv : Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].

Vodna Ramkova Dyrektyva YES 2000/60/YES. (2006). Osnovni terminy ta yikh vyznachennya [EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Basic terms and their definitions]. Kyiv : Your format [in Ukrainian].

Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevykh vod (2006). [Methods of hydroecological research of surface waters] / ed. Romanenko, V.D. Kyiv : LOHOS [in Ukrainian].

Mokrytskyi, G.P. (1999). Vodoprovod Zhytomyra. Zhytomyr : Volyn [Zhytomyr water supply]. Zhytomyr : Volyn [in Ukrainian].

Proekt Stratehii staloho rozvytku Ukrayiny do 2030 roku until 2030 dated 07.07.2018 No. 9015 (2018) [Draft Strategy for Sustainable Development of Ukraine until 2030 dated 07.07.2018 No. 9015] [Electronic resource] URL: [UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf](https://undp.org/publications/undp-strategy-v06-optimized.pdf) (access date 29.12.2024) [in Ukrainian].

Stalyy rozvytok (2016). [Sustainable development] [Electronic resource]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (access date 14.01.2025) [in Ukrainian].

Barynova, S.S., Medvedeva, L.A., & Anisymova, O.V. (2006). Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio [in English].

Cupertino, A., Gücker, B., Rückert, G., & Figueredo, C. (2019). Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators*, 101, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054> [in English].

Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <http://www.algaebase.org> (access date 30.03.2024) [in English].

Ignatiades, L. (2020). Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Mar. Biodivers*, 50 (4), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4> [in English].

Shelyuk, Yu.S., & Shcherbak, V.I. (2018). Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiol. Journal*, 54 (3), 10–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3> [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2019). Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiol. Journal*, 55 (4), 38–54. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40> [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2024). Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*, 26 (3), 273–284. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50> [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2006). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Цянопрокарйота, Еугленопхйта, Схрысопхйта, Хантопхйта, Рафідопхйта, Фаеопхйта, Дінопхйта, Схрытопхйта, Глаукоцхстопхйта, and Родопхйта*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 1 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2009). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Васіларіопхйта*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2011). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Схlorопхйта*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 3 [in English].

Отримано: 28.01.2025

Прийнято: 10.02.2025