



УДК 582.26/27

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.13>

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ СТУБЕЛКА ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФІТОПЛАНКТОНУ

І. В. Ковальова<sup>1</sup>, І. А. Суходольська<sup>2</sup>

Фітопланктон, як первинна ланка трофічного ланцюга, швидко реагує на кліматичні, гідрологічні, гідрохімічні та інші зміни, що відбуваються у водній екосистемі. Миттєва реакція фітопланктону, що відображається у перебудові структурно-функціональних параметрів (видового багатства, співвідношення відділів, кількості видів, індексу Шеннона, середньої маси клітин, домінантів та субдомінантів), дозволяє об'єктивно оцінити якість води та стан водної екосистеми. Метою роботи було оцінити якість води р. Стубелка за видами-індикаторами фітопланктону. У статті проаналізовано сезонні зміни фітопланктону р. Стубелка та виявлено 109 видів водоростей, представлених 111 внутрішньовидовими таксонами із 8 відділів, 14 класів, 32 порядків, 43 родин та 75 родів. Показано, що фітопланктон р. Стубелка формують відділи *Vacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (27,9%), *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%).

Встановлено, що біомаса фітопланктону варіює від 0,21 мг/дм<sup>3</sup> (жовтень) до 1,04 мг/дм<sup>3</sup> (червень), а чисельність – від 714 тис. кл/дм<sup>3</sup> (жовтень) до 3424 тис. кл/дм<sup>3</sup> (серпень). Індекс Шеннона змінюється за біомасою від 3,97 біт/мг до 4,80 біт/мг, а за чисельністю – від 3,15 біт/екз до 4,74 біт/екз. У річці переважає полідомінантна структура фітопланктону. За індексом сапробності (1,55–2,04) вода р. Стубелка змінюється від  $\alpha$ -олігосапробної до  $\beta$ -мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Ядро фітопланктону р. Стубелка формують бентосні та планктонно-бентосні види, повільнотекучі за насиченням води киснем і реофільністю, індіференти за відношенням до галобності та температури води. Переважають індіференти та алкаліфіли за відношенням до рН. Виявлено найбільшу кількість видів-автотрофів, що витримують підвищені концентрації нітрогеновмісних органічних сполук. За рівнем трофності мезоевтрофні види становлять 41%. Види-індикатори органічного забруднення води (за системою Ватанабе) переважно представлені еврисапробами (помірно забруднені води), а за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) найбільша кількість бета-мезосапробіонтів. Встановлено, що вода р. Стубелка за рівнем органічного забруднення згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

**Ключові слова:** види-індикатори, видове багатство, сапробність, біомаса, чисельність, річка.

<sup>1</sup> здобувачка PhD зі спеціальності 101 – Екологія  
(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)  
e-mail: [ilona.basaraba@rshu.edu.ua](mailto:ilona.basaraba@rshu.edu.ua)  
ORCID: 0000-0001-6720-0419

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри екології, географії та хімії  
(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)  
e-mail: [iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua](mailto:iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua)  
ORCID: 0000-0001-7502-3061

## EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE STUBELKA RIVER ACCORDING TO PHYTOPLANKTON INDICATORS BY

I. V. Kovalova, I. L. Sukhodolska

*Phytoplankton, as the primary link of the trophic chain, quickly reacts to climatic, hydrological, hydrochemical and other changes occurring in the aquatic ecosystem. The immediate reaction of phytoplankton, which is reflected in the restructuring of structural and functional parameters (species richness, ratio of departments, number of species, Shannon's index, average cell mass, dominants and subdominants), allows the most accurate assessment of water quality and the state of the aquatic ecosystem. The aim of the study was to assess the water quality of the Stubelka River by phytoplankton indicator species. The article analyzes the seasonal changes of the phytoplankton of the Stubelka River and reveals 109 species of algae, represented by 111 intraspecific taxa, 8 divisions, 14 classes, 32 orders, 43 families, and 75 genera. It is shown that the phytoplankton of the Stubelka River is formed by Bacillariophyta (46.8% of the total number of species), Chlorophyta (27.9%), Cyanobacteria (8.1%) and Euglenozoa (8.1%). It was established that the biomass of phytoplankton varies from 0.21 mg/dm<sup>3</sup> (October) to 1.04 mg/dm<sup>3</sup> (June), and the number – from 714 thousand cells/dm<sup>3</sup> (October) to 3424 thousand cells/dm<sup>3</sup> (August). The Shannon index varies by biomass from 3.97 b/mg to 4.80 b/mg, and by abundance – from 3.15 b/c to 4.74 b/c. The polydominant structure of phytoplankton prevails in the river. According to the saprobicity index (1.55–2.04), the water of the Stubelka River varies from the  $\alpha$ -oligosaprobic to the  $\beta$ -mesosaprobic zone and corresponds to the II-III quality classes (clean, moderately polluted). The core of the phytoplankton of the Stubelka River is formed by benthic and planktonic-benthic species that are slow-flowing in terms of water saturation with oxygen and rheophilicity, and are indifferent in relation to water content and temperature. Indifferents and alkaliphiles predominate in relation to pH. The largest number of autotrophic species that can withstand high concentrations of nitrogen-containing organic compounds was found. According to the level of trophicity, mesoeutrophic species make up 41%. Species-indicators of organic water pollution (according to the Watanabe system) are mainly represented by eurysamples (moderately polluted waters), and according to the Pantle-Book system (in the modification of Sladeczek), the largest number of beta-mesosaprobionts. It was established that the water of the Stubelka River belongs to the III quality class (moderately polluted) in terms of the level of organic pollution.*

**Key words:** indicator species, species richness, saprobity, biomass, abundance, river.

### Вступ

Вплив антропогенного забруднення на водні екосистеми оцінюють за різними показниками, проте, обов'язково враховують автотрофну ланку – фітопланктон. Доцільність використання фітопланктону як ефективного індикатора стану водойми детально обґрунтована багатьма авторами (Van Dam et al., 1994; Varinova et al., 2015; Varinova et al., 2019; Eliaszk-Kowalska et al., 2022; Vilous et al., 2023; Shelyuk, 2023). Без сумніву, структура угруповань фітопланктону перебудовується внаслідок коливань хімічного складу води та конкурентної взаємодії між видами різних відділів за ресурси середовища. Зміни кількості видів, співвідношення відділів, сапробності, індексу Шеннона, середньої маси клітин, домінантного комплексу водоростей, а також розподілу видів, що є індикаторами місцезростань, насиченості води киснем і реофільності, галобності, рН середовища, температурних умов, типу живлення, відношення до кількості нітрогенвмісних орга-

нічних сполук, органічного забруднення дозволяють детально вивчити та проаналізувати якість води будь якого водного об'єкту, в тому числі і р. Стубелка. Для цієї річки практично відсутні дані про таксономічний склад фітопланктону, а також якісні та кількісні показники його розвитку, що ускладнює оцінювання багаторічних змін стану водойми за показниками водоростей.

Метою роботи було оцінити якість води р. Стубелка за видами-індикаторами фітопланктону.

### Матеріал і методи

Річка Стубелка протікає Здолбунівським, Дубенським та Рівненським районами Рівненської області. Площа водозабору р. Стубелка становить 1350 км<sup>2</sup>, а загальна довжина – 86 км. Річка неглибока, на окремих ділянках складає 1,2–1,5 м (Коротун і Коротун, 1996).

Для визначення фітопланктону р. Стубелка (50°28'12.4"N 25°58'03.9"E) щомісяця відбирали проби води (червень–жовтень 2022 р.) на глибині 0,2–0,3 м. Усього

було відібрано 15 альгологічних проб. Проби фіксували 40% розчином формальдегіду. Після відстоювання проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм<sup>3</sup>. Камеральна обробка проб здійснювалася з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, Німеччина). Підрахунок клітин здійснено з використанням камери Нахотта об'ємом 0,02 мл. Підрахунок біомаси водоростей здійснювали загальноприйнятим розрахунково-об'ємним методом (Щербак, 2002). Для ідентифікації водоростей використовували загальновідомі визначники і довідники. Таксономічна номенклатура планктонних водоростей представлена відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2023). Оцінку якості води за фітопланктоном проведено згідно (Методи..., 2006; Varinova et al., 2019). Сапробіологічна оцінка якості води зроблена за методом Пантле-Букк у модифікації Сладечека (Sladecsek, 1973). Біоіндикаційний аналіз здійснено з урахуванням індикаторних характеристик водоростей (Van Dam et al., 1994; Varinova et al., 2019).

### Результати

Фітопланктон р. Стубелка представлений 109 видами (111 внутрішньовидовими таксонами (в.в.т.) із 8 відділів (*Bacillariophyta* 51(52), *Chlorophyta* 30(31), *Cyanobacteria* 9(9), *Euglenozoa* 9(9), *Ochrophyta* 5(5), *Miozoa* 3(3), *Streptophyta* 1(1) та *Cryptophyta* 1(1)), 75 родів, 43 родин, 32 порядків та 14 класів (рис. 1).

Найбільшою кількістю видів вирізнялися відділи *Bacillariophyta* (46,8% загаль-

ної кількості видів) та *Chlorophyta* (27,9%). На другому місці відділи *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%), а на третьому – *Ochrophyta* (4,5%). Решта видів відділів представлені наступним чином: *Miozoa* (2,7%), *Streptophyta* (0,9%) та *Cryptophyta* (0,9%). Найвищий родовий коефіцієнт виявлено у *Bacillariophyta* (1,8) та *Euglenozoa* (1,5).

У червні фітопланктон р. Стубелка представлений 50 (51) видами та в.в.т. із 8 відділів. Кількість видів зменшується до 38 видів та 6 відділів у липні, проте, у серпні зростає до 40 видів. У вересні кількість видів становить 41, які належать до 7 відділів. Фітопланктон р. Стубелка у жовні представлений лише 25(26) видами та в.в.т. 4 відділів.

Біомаса фітопланктону р. Стубелка досягає максимального значення у червні (1,04 мг/дм<sup>3</sup>), а мінімального – у жовтні (0,21 мг/дм<sup>3</sup>). Якість води за біомасою фітопланктону змінюється від II класу до III класу. Найвищу чисельність зафіксовано у серпні (3424 тис. кл/дм<sup>3</sup>), а найнижчу – у жовтні (714 тис. кл/дм<sup>3</sup>). Безумовно вищі показники чисельності та біомаси виявлені влітку, а нижчі – восени (рис. 2).

Складність структури угруповань альгофлори відображає індекс видового різноманіття Шеннона. Значення індексу за чисельністю змінюється від 3,15 біт./екз. (липень) до 4,74 біт./екз. (червень). За біомасою індекс Шеннона варіює від 3,4 біт./мг (серпень) до 4,8 біт./мг (червень, липень) (рис. 3).

Високі показники індексу Шеннона за чисельністю та біомасою вказують на полі-

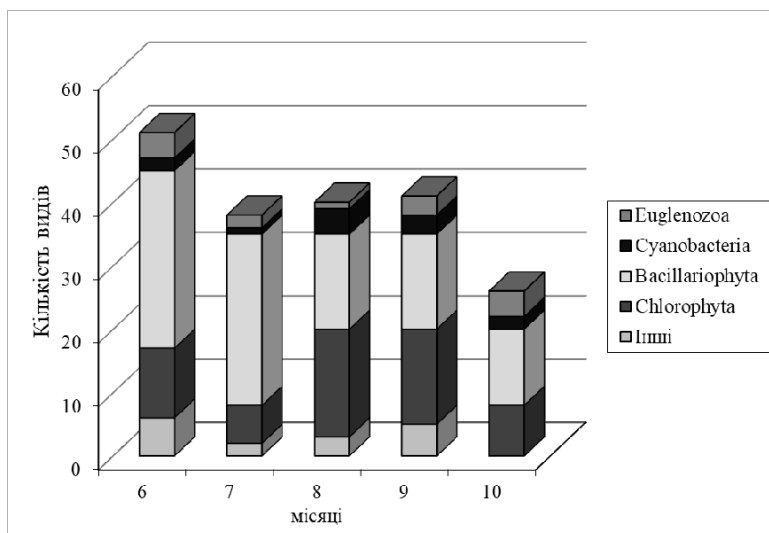


Рис. 1. Зміна видового багатства фітопланктону р. Стубелка

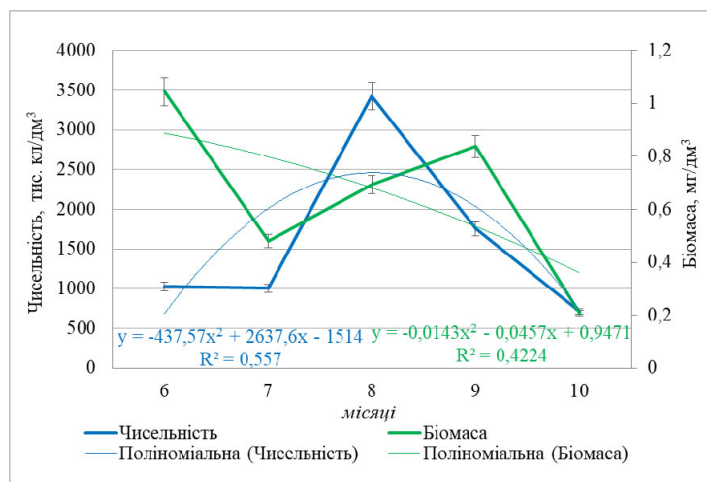


Рис. 2. Зміна численності та біомаси фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р.,  $R^2$  – величина достовірності апроксимації)

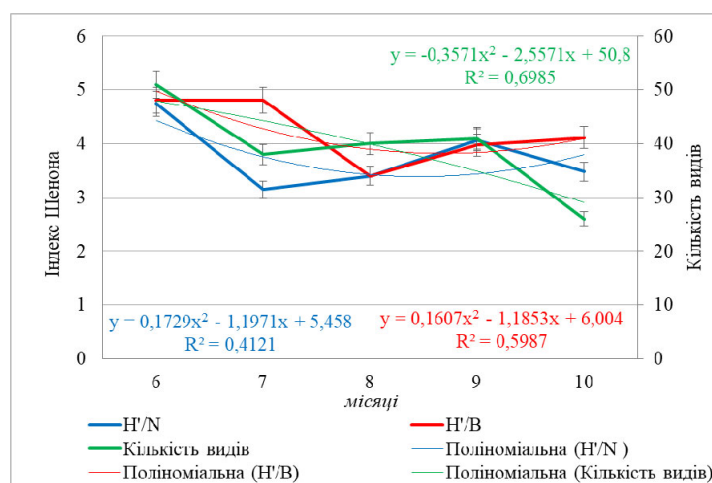


Рис. 3. Зміна індексу Шеннона за чисельністю і біомасою та кількість видів фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р.,  $R^2$  – величина достовірності апроксимації)

домінантну структуру угруповань фітопланктону р. Стубелка. Найчастіше домінанти та субдомінанти за чисельністю представлені видами відділів *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*. Найбільшою чисельністю вирізняється *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, що домінує впродовж липня–жовтня (10,9–51,7%). За біомасою види домінанти та субдомінанти представлені видами відділів *Miozoa*, *Vacillariophyta* та *Euglenozoa*. Висока біомаса виявлена у виду відділу *Miozoa* – *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (25,4–30,3%).

Індекс сапробності варіює від 1,55 у серпні до 2,04 у червні. За індексом сапробності вода р. Стубелка змінюється від  $\alpha$ -олігосапробної до  $\beta$ -мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Зниження загальної

кількості видів у липні та жовтні не призводить до суттєвого зниження індексу сапробності, що свідчить про інтенсивність процесів окиснення розчинених органічних речовин. Індекс сапробності знижується зі збільшенням видового багатства у червні, серпні та підвищується за умови зменшення загальної кількості видів у липні та жовтні. Відсутність різких коливань індексу сапробності свідчить про оптимальні умови інтенсивності процесів окиснення розчинених речовин та здатність річки до самоочищення від органічного забруднення (рис. 4).

Оцінка зміни структури фітопланктону оцінюється за середньою масою клітин, що вираховується за співвідношенням між біомасою та загальною чисельністю (B/N) (Pugnetti et al., 2004). Планктонні водорості р. Стубелка мають найбільшу середню масу

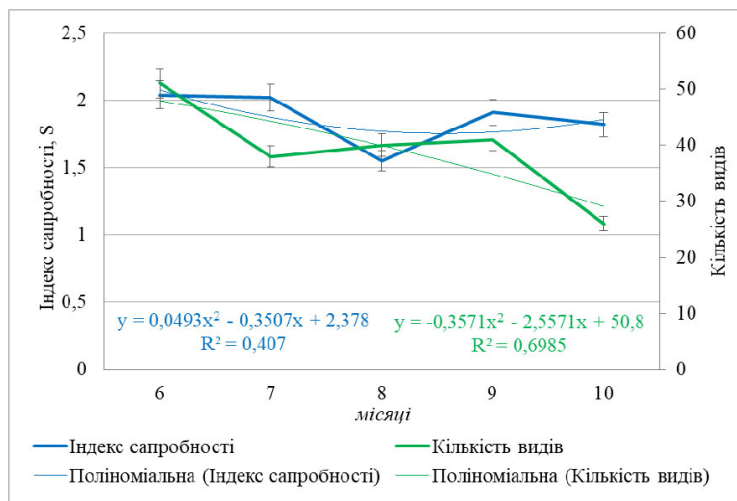


Рис. 4. Зміна індексу сапробності (S) та кількість видів фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р.,  $R^2$  – величина достовірності апроксимації)

клітин у червні за найвищого значення загальної біомаси. У серпні зафіксовано найнижчу середню масу клітин водоростей за найвищих показників чисельності. Середня маса клітин у жовтні також невисока, що може бути пов'язано з найнижчою чисельністю, біомасою та кількістю видів за весь період дослідження (рис. 5).

Фітопланктон чутливо реагує на зміну хімічного складу води, тому за його видами-індикаторами визначають забруднення чи чистоту водної екосистеми. Види-індикатори розташовано за порядком збільшення їхнього індикаторного значення, які на рисунках показано стрілками (рис. 6).

Для 83 видів-індикаторів місцезростає (74,4% від загального видового багатства) встановлено біотопічну приуроченість.

Найбільший відсоток становлять планктонно-бентосні (35%) та бентосні (29%) форми. Планктонні види становлять 19%. Крім того, у річці зустрічаються види, що проживають в різних середовищах і належать одночасно до планктонно-бентосних, епіфітних та планктонно-бентосних, ґрунтових (13% та 2%). Представниками перших є види відділу *Chlorophyta* – *Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg, *Coelastrum astroideum* De Notaris, *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald, *Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, *Desmodesmus opoliensis* (P.G.Richter) E.Hegewald, *Schroederia spiralis* (Printz) Korshikov, *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová, *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová,

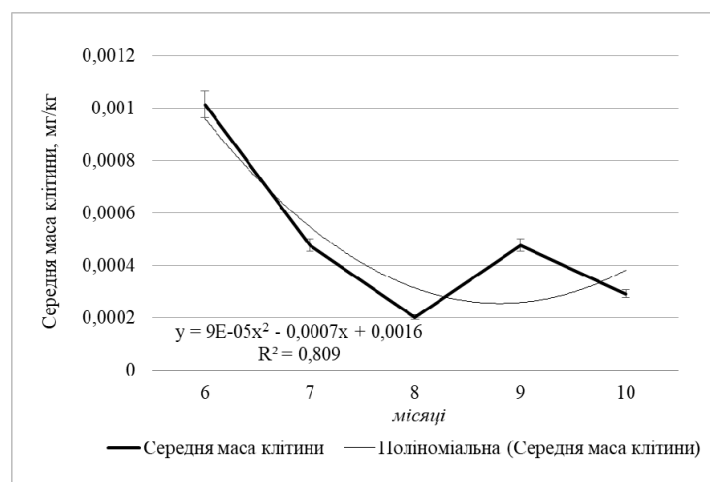


Рис. 5. Зміна середньої маси клітин фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р.,  $R^2$  – величина достовірності апроксимації)

*Willea apiculata* (Lemmermann) D.M. John, M.J. Wynne & P.M. Tsarenko, *Oocystis submarina* Lagerheim та *Lemmermannia triangularis* (Chodat) C. Bock & Krienitz. Представниками других є види відділу *Cyanobacteria* – *Microcystis pulverea* (H.C. Wood) Forti та *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli (рис. 6 А).

Індикаторами реофільності (проточності) і насичення води киснем є 66 видів (59,4% від загального видового багатства). Найбільш представлені види-індикатори повільнотекучих вод (76%). Відсоток видів-індикаторів стоячих вод становить 14, а швидкотекучих

вод складає 9. Також виявлено один аерофільний вид – *C. turgidus* (рис. 6 В).

Серед 73 видів, які є індикаторами галобності у фітопланктоні р. Стубелка переважають прісноводні види індиференти (82%). Галофіли і галофоби становлять 8% та 4%. Галофіли представлені трьома видами *Cyanobacteria* – *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *C. turgidus*, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg та *Navicula veneta* Kützing. Серед галофобів виявлено наступні

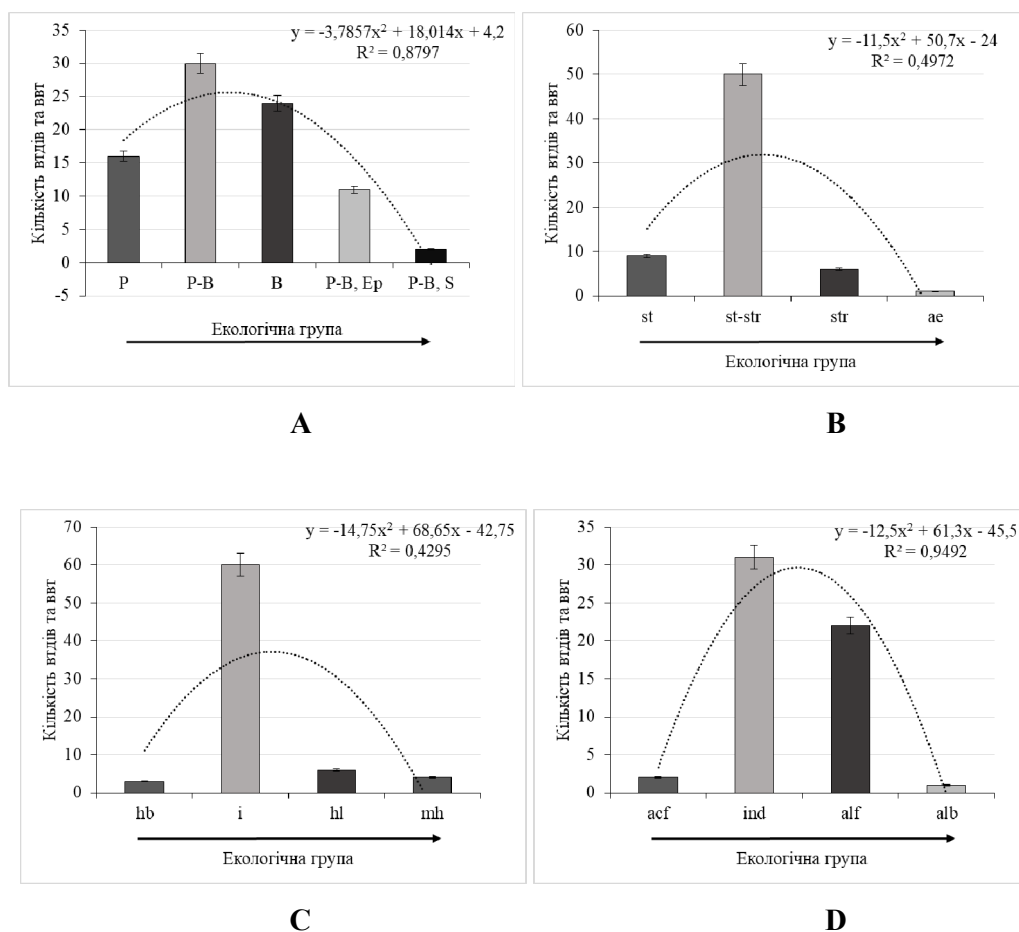
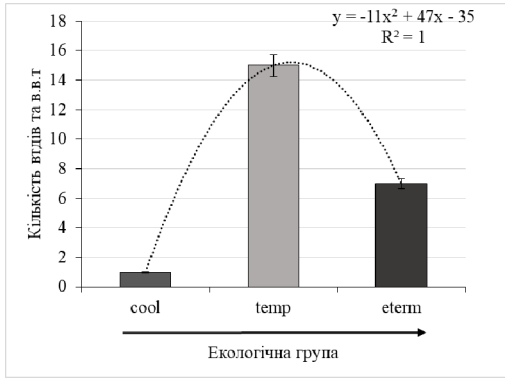
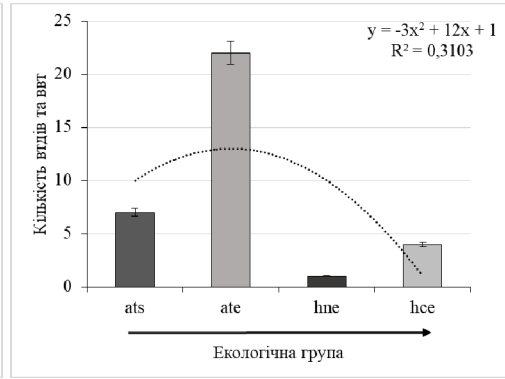


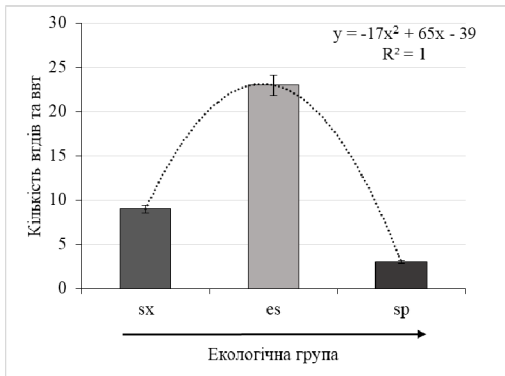
Рис. 6. Розподіл видів та в.в.т. водоростей, що є індикаторами: А – місцезростань (В – бентосні; Р-В – планктонно-бентосні; Р – планктонні; Ep – епіфітні; S – ґрунтові); В – насиченості води киснем та реофільності (st – стоячі; str – швидкотекучі; st-str – повільнотекучі та/або індиференти; ae – аерофільні); С – галобності (hb – галофоби; i – індиференти; hl – галофіли; mh – мезогалофи; oh – олігогалофи); D – рН середовища (acf – ацидофіли; ind – індиференти; alf – алкаліфіли; alb – алкалібійонти); Е – температурних умов (cool – холодолюбні; temp – помірного діапазону та/або індиференти; etern – евритермні; warm – теплолюбні); F – типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук (НОС): (ats – автотрофи, що розвиваються за низької концентрації НОС; ate – автотрофи, що витримують підвищені концентрації НОС; hne – факультативні гетеротрофи, які розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації НОС; hse – облігатні гетеротрофи, які розвиваються у воді за підвищених НОС); G – органічного забруднення



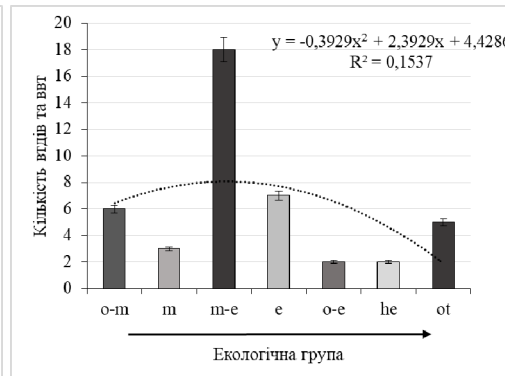
**E**



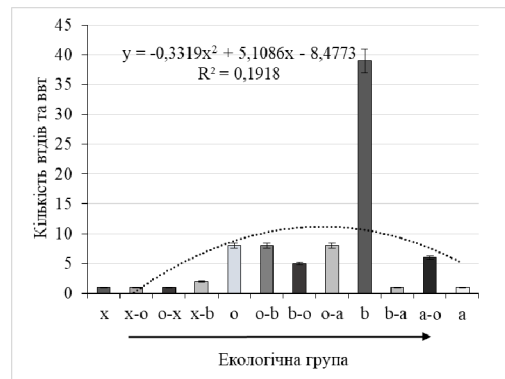
**F**



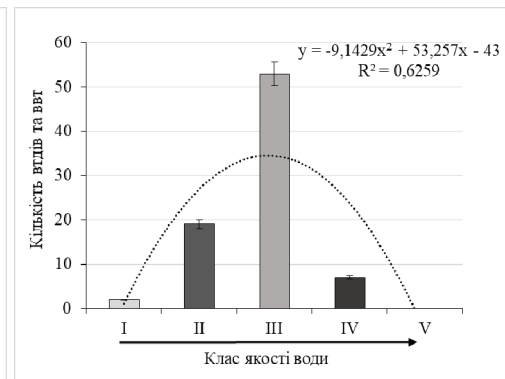
**G**



**H**



**I**



**J**

вод (за системою Ватанабе): sx – сапроксени (чисті води); es – еврисапроби (помірно забруднені води); sp – сапрофіли (забруднені води); H – рівня трофності (ot – оліготрофні види; om – оліго-мезотрофні; m – мезотрофні; me – мезо-евтрофні; e – евтрофні; o-e – широкої амплітуди трофності; he – гіпертрофні); I – органічного забруднення (за системою Пантле-Бук у модифікації Сладчека): x – ксеносапробіонти; x-o – ксено-олігосапробіонти; o-x – оліго-ксеносапробіонти; x-b – ксено-бета-мезосапробіонти; o – олігосапробіонти; o-b – оліго-бета-мезосапробіонти; x-a – ксено-альфа-мезосапробіонти; b-o – бета-олігосапробіонти; o-a – оліго-альфа-мезосапробіонти; b – бета-мезосапробіонти; b-a – бета-альфа-мезосапробіонти; a-o – альфа-олігосапробіонти; b-p – бета-полісапробіонти; a – альфа-мезосапробіонти; p-a – полі-альфа-мезосапробіонти; a-b – альфа-бета-мезосапробіонти; p – полісапробіонти; i – і-еусапробіонти; m – m-еусапробіонти); J – класи якості води;  $R^2$  – величина достовірності апроксимації.

види – *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot та *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve. Відсоток мезогаобів становить 5. Серед них два види *Euglenozoa* – *Euglena granulata* (G.A.Klebs) F.Schmitz, *Monomorphina pyrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky та два види *Bacillariophyta* – *Tryblionella hungarica* (Grunow) Frenguelli і *Prestauroneis protracta* (Grunow) Kulikovskiy & Glushchenko (рис. 6 С).

Індикатори активної реакції середовища (рН) представлені 56 видами водоростей (50,5% від загального видового багатства), з яких 55% індиференти, 39% алкаліфіли, 4% ацидофіли (*Eunotia arcus* Ehrenberg, *F. tenera*) та 2% алкаліобіонти (*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal) (рис. 6 D).

Водоростей-індикаторів температурного режиму зафіксовано 23 (20,7% від загального видового багатства). Водорості помірного діапазону представлені 15 (65%) видами. Евритермні представлені 7 (30%) видами. Холодолюбні представлені 1 (4%) видом відділу *Bacillariophyta* – *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst (рис. 6 E).

У р. Стубелка виявлено 34 види, які є індикаторами типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук. Загалом, переважають автотрофи (65%), які витримують підвищені концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. Друге місце займають автотрофи (21%), що розвиваються за низької концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. Третє місце належить obligатним гетеротрофам (12%), які розвиваються у воді за підвищених концентрацій нітрогенвмісних органічних речовин. Четверте місце займають факультативні гетеротрофи (3%), що розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. До факультативних гетеротрофів належить *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, а до obligатних гетеротрофів види відділу *Bacillariophyta* – *Nitzschia acicularis* (Kützing) W.Smith, *Nitzschia paleacea* (Grunow) Grunow, *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith та *Mayamaea atomus* (Kützing) Lange-Bertalot (рис. 6 F).

Водоростей-індикаторів органічного забруднення зафіксовано 35 (31,5% від загального видового багатства). З них найбільший відсоток складають еврисапроби (66%), що свідчить про помірне забруднення води. Серед індикаторів чистих вод виявлено дев'ять видів (26%) – *Nitzschia dissipata* (Kützing) Rabenhorst, *Cymboplectra lata*

(Grunow ex Cleve) Krammer, *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck, *Placoneis gastrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky, *F. tenera*, *Diatoma vulgare* Bory, *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing, *Iconella biseriata* (Brébisson) Ruck & Nakov та *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing. Серед видів сапробілів зафіксовано три види (9%) – *Nitzschia gracilis* Hantzsch, *N. palea* та *T. hungarica* (рис. 6 G).

Індикатори трофності представлені 44 видами (39,6% від загального видового багатства). Найбільший відсоток складають мезоевтрофні види (41%). Відсоток олігомезотрофних, евтрофних та оліготрофних видів становить 14, 16 та 11 відповідно. Серед оліготрофних видів зафіксовано *Caloneis dubia* Krammer, *Navicula semen* Ehrenberg, *Neidium hitchcockii* (Ehrenberg) Cleve, *N. iridis* та *Lindavia bodanica* (Eulenstein ex Grunow) T.Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson. Виявлено по 2 види з широкою амплітудою трофності (*Navicula cryptocephala* Kützing та *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère) та гіпертрофні (*N. palea* та *M. atomus*). До мезотрофних видів (9%) належать *A. flos-aquae*, *Closterium acutum* Brébisson, *N. gracilis* та *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch (рис. 6 H).

Водоростей, що є індикаторами сапробності, за системою Пантле-Бук у модифікації Сладечека, налічується у р. Стубелка 81 вид (73% від загального видового багатства). Найбільший відсоток складають бета-мезосапробіонти – 39%. По 10% становлять види олігосапробіонти, оліго-бета-мезосапробіонти та оліго-альфа-мезосапробіонти. Відсоток альфа-олігосапробіонтів, бета-олігосапробіонтів та ксено-бета-мезосапробіонтів складає 7, 6 та 2. Ксеносапробіонти, ксено-олігосапробіонти, оліго-ксеносапробіонти, бета-альфа-мезосапробіонти та альфа-мезосапробіонти виявлені по 1 виду (рис. 6 I).

Виявлені види-індикатори тієї чи іншої зони самоочищення віднесено до відповідних класів якості води. Індикаторні види розділились на 4 класи якості води. Вершина лінії тренду вказує на III клас якості води, як найбільш представлений видами-індикаторами (65%). Види-індикатори II класу якості води становлять 23%. Індикатори I класу якості води становлять 2% (*E. arcus*, *L. bodanica*). Види-індикатори IV класу якості води (9%) представлені – *E. granulata*, *N. acicularis*, *N. palea* (Kützing) W.Smith, *T. hungarica*, *M. atomus*, *N. veneta* та *Nitzschia sublinearis* Hustedt (рис. 6 J).



Вода р. Стубелка за рівнем органічного забруднення згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

### Обговорення

Оцінювання стану водних екосистем за видами-індикаторами здійснено багатьма авторами (Barinova et al., 2015; Barinova et al., 2016; Barinova et al., 2019; Eliaszkowalska et al., 2022; Shcherbak et al., 2023; Bilous et al., 2023; Shelyuk, 2023). Вони аналізують переваги і недоліки індикаційних підходів. Насамперед зазначають точність дослідження якості води за видами, що підтверджується також результатами хімічного аналізу різних компонентів водних об'єктів. Водночас для багатьох видів фітопланктону екологічні характеристики представлені частково або взагалі відсутні, що потребує подальшого уточнення та доповнення з обов'язковим врахуванням умов конкретної водної екосистеми (Oksiyuk et al., 2011). Зміна умов середовища існування та специфічність екологічних вимог завжди призводить до перебудови показників чисельності, біомаси, домінантів, субдомінантів, співвідношення відділів, видового багатства, зникнення одних видів та появою інших (Sereda, 2016; Barinova et al., 2019; Eliaszkowalska et al., 2022; Bilous et al., 2023; Shcherbak et al., 2023).

У воді р. Стубелка за чисельністю домінують п'ять видів *Cyanobacteria* та один вид *Chlorophyta* – *A. flos-aquae* (12,2%), *S. acustris* (10,9–51,7%), *M. aeruginosa* (23,9%), *M. pulvereae* (25,7%), *Oscillatoria agardhii* Gomont (19,5%) та *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (10,1%). За біомасою домінують види відділів *Euglenozoa*, *Bacillariophyta* та *Miozoa*. Кожен з видів відділів *Euglenozoa* та *Bacillariophyta* домінує лише впродовж одного місяця, що вказує на швидкі зміни умов їхнього середовища. Найбільшу біомасу має вид-домінант відділу *Miozoa* – *C. hirundinella*. Так, його біомаса становить 30,3% (серпень) та 25,4% (вересень).

Більшість ідентифікованих видів фітопланктону належать до планктонно-бентосних, бентосних та планктонних форм. Проте виявлення планктонно-бентосних, епіфітних форм свідчить про важливу роль гідродинаміки як чинника регуляції видової структури фітопланктону р. Стубелка. При індикації умов насиченості води киснем та проточності переважають види, що характерні для повільнотекучих вод із середнім

рівнем кисню. Індикатори активної реакції середовища в переважній більшості представлені видами, що існують за рН 6–7 та 7–8. Значна кількість алкаліфілів вказує на лужність води р. Стубелка, яка взимку ще більше зростає (8,1–10,5). Присутність холодолюбного виду влітку (червень, липень) може бути пов'язана з недосконалістю системи індикації за даним показником, оскільки температура води в річці варіювала у межах 19–24°C. Науковці зазначають про доцільність зміни підходів щодо оцінки екосистеми за видами-індикаторами температурних умов (Oksiyuk et al., 2011; Barinova et al., 2019). Відповідно до кількості еврисапробів вода р. Стубелка має помірне органічне забруднення. Зміни видів-індикаторів за типом живлення свідчать про вплив антропогенного навантаження, однак, переважання автотрофів забезпечує ефективні процеси самоочищення та підтримку стабільності водної екосистеми.

Для води р. Стубелка характерний середній рівень трофності, оскільки переважають мезо-евтрофні види. Водночас, періодично формуються оліго-мезотрофні та евтрофні умови, а якість води змінюється від чистої до забрудненої. Загалом у воді р. Стубелка переважають види-індикатори помірного рівня забруднення. Аналіз класу якості води р. Стубелка свідчить про присутність індикаторів чотирьох класів, проте, найбільш представлені види 3 та 2 класу (помірно забруднені та чисті).

### Висновки

У воді р. Стубелка ідентифіковано 109 видів водоростей, представлених 111 внутрішньовидовими таксонами, що належать до 75 родів, 43 родин, 32 порядків, 14 класів, 8 відділів. Найбільш чисельними є *Bacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (27,9%), *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%). Чисельність фітопланктону р. Стубелка варіює від 714 тис. кл/дм<sup>3</sup> (жовтень) до 3424 тис. кл/дм<sup>3</sup> (серпень), а біомаса від 0,21 мг/дм<sup>3</sup> (жовтень) до 1,04 мг/дм<sup>3</sup> (червень). Якість води за біомасою фітопланктону змінюється від II класу до III класу. Індекс Шеннона за біомасою складає 3,97–4,80 біт/мг, а за чисельністю 3,15–4,74 біт/екз. За індексом сапробності вода р. Стубелка змінюється від α-олігосапробної до β-мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Основу флористичного списку альгофлори р. Стубелка формують планктон-

но-бентосні та бентосні види, повільнотекучі за насиченням води киснем і реофільністю, індіференти за відношенням до галобності та температури води. За відношенням до рН переважають індіференти та алкаліфіли. Найбільший відсоток видів представлений автотрофами, що витримують підвищені концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. За рівнем трофності переважають

мезоевтрофні види. Серед видів-індикаторів органічного забруднення вод (за системою Ватанабе) найбільше еврисапробів (помірно забруднені води), а за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) – бета-мезосапробіонтів. За рівнем органічного забруднення вода р. Стубелка згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

### Список використаної літератури

- Коротун І.М., Коротун А.К. Географія Рівненської області: природа, населення, господарство, екологія: навчальний підручник. Рівне, 1996. 380 с.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
- Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–48.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 1: Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл. *Альгологія*. 2023. 33(3). 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>.
- Barinova S.S., Klochenko P.D., Belous Y.P. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: Methods and prospects. *Hydrobiol. Journal*. 2015. 51(6). 3–21. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i6.10>.
- Barinova S., Romanov R. Charophytes Locality in the Ga'aton River, Lower Galilee, Israel. *Journal of Biology and Life Science*. 2016. Vol.7. №1. 94–109. <https://doi.org/10.5296/jbls.v7i1.7815>.
- Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives. Haifa, Kiev: University of Haifa Publisher, 2019. 367 p.
- Bilous O.P., Wojtal A.Z., Ivanova N.O., Burova O.V., Barinova S., Maystrova N.V., Polishchuk O., Curtean-Bănăduc A., Tsarenko P.M. Indication of Long-Term Changes of Algae Communities in a Hydrologically Transformed Estuary Sasyk, Black Sea, Ukraine. *Water*. 2023. 15. 2078. <https://doi.org/10.3390/w15112078>.
- Eliasz-Kowalska M., Wojtal A.Z., Barinova S. Influence of Selected Environmental Factors on Diatom  $\beta$  Diversity (*Bacillariophyta*) and the Value of Diatom Indices and Sampling Issues. *Water*. 2022. 14. 2315. <https://doi.org/10.3390/w14152315>.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 15.01.2023).
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Karpezo Yu.I. Microphytobenthos as bioindicator of state of aquatic ecosystems. *Hydrobiol. Journal*. 2011. Vol. 47(1). 72–85. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i1.70>.
- Pugnetti A., Acri F., Alberighi L., Barletta D., Bastianini M., Bernardi-Aubry F., Berton A., Bianchi F., Socal G., Totti C. Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*. 2004. Vol. 20. №6. P. 399–409. <https://doi.org/10.1080/02757540412331294902>.
- Shelyuk Yu.S. Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*. 2023. 25 (2). P. 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30>.
- Sereda T.N. Phytopotamoplankton of River Systems: Retrospective Review of Investigations, Search for Methodic Approaches. *Hydrobiol. Journal*. 2016. Vol. 52(6). 33–42. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i6.40>.
- Sladeček V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnol*. 1973. V. 7. №1/4. P. 1–218.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 1994. 28. P. 117–133.

**References (translated & transliterated)**

- Korotun, I.M., & Korotun, L.K. (1996). *Heohrafiia Rivnenskoï oblasti: pryroda, naselennia, hospodarstvo, ekolohiia: navch. Pidruchnyk* [Geography of the Rivne region: nature, population, economy, ecology: study guide]. Rivne [in Ukrainian].
- Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological research of surface waters] (2006). / za red. V. D. Romanenka. Kyiv : LOHOS [in Ukrainian]
- Shcherbak, V.I. (2002). *Metody doslidzhen fitoplanktonu. Metodychni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ekosystem* [Methods of phytoplankton research. Methodological bases of hydrobiological studies of aquatic ecosystems]. Kyiv [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoskhovyshcha. Povidomlennia 1: Taksonomichne, ekolohichne riznomanittia ta prostorovi rozpodil [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Report 1: Taxonomic, ecological diversity and spatial patterns]. *Algologia*, 33(3), 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147> [in Ukrainian].
- Barinova, S.S., Klochenko, P.D., & Belous, Y.P. (2015). Algae as indicators of the ecological state of water bodies: Methods and prospects. *Hydrobiol. Journal*. 51(6). 3–21. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i6.10> [in English].
- Barinova, S., & Romanov, R. (2016). Charophytes Locality in the Ga'aton River, Lower Galilee, Israel. *Journal of Biology and Life Science*, Vol.7, №1, 94–109. <https://doi.org/10.5296/jbls.v7i1.7815> [in English].
- Barinova, S.S., Bilous, O.P., & Tsarenko, P.M. (2019). Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives. Haifa, Kiev: University of Haifa Publisher [in English].
- Bilous, O.P., Wojtal, A.Z., Ivanova, N.O., Burova, O.V., Barinova, S., Maystrova, N.V., Polishchuk, O., Curtean-Bănăduc, A., & Tsarenko, P.M. (2023). Indication of Long-Term Changes of Algae Communities in a Hydrologically Transformed Estuary Sasyk, Black Sea, Ukraine. *Water*, 15, 2078. <https://doi.org/10.3390/w15112078> [in English].
- Eliaszk-Kowalska, M. Wojtal, A.Z., & Barinova, S. (2022). Influence of Selected Environmental Factors on Diatom  $\beta$  Diversity (*Bacillariophyta*) and the Value of Diatom Indices and Sampling Issues. *Water*, 14, 2315. <https://doi.org/10.3390/w14152315> [in English].
- Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2023). AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <https://www.algaebase.org> (access date 15.01.2023) [in English].
- Oksiyuk, O.P., Davydov, O.A., & Karpezo, Yu.I. (2011). Microphytobenthos as bioindicator of state of aquatic ecosystems. *Hydrobiol. Journal*. Vol. 47(1). 72–85. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i1.70> [in English].
- Pugnetti, A., Acri, F., Alberighi, L., Barletta, D., Bastianini, M., Bernardi-Aubry, F., Berton, A., Bianchi, F., Socal, G., & Totti C. (2004). Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 20(6), 399–409. <https://doi.org/10.1080/02757540412331294902> [in English].
- Sereda, T.N. (2016). Phytopotamoplankton of River Systems: Retrospective Review of Investigations, Search for Methodic Approaches. *Hydrobiol. Journal*. Vol.52(6), 33–42. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i6.40> [in English].
- Shelyuk, Yu.S. (2023). Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*, 25(2), 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30> [in English].
- Sladeček, V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnol*, 71/4, 1–218 [in English].
- Van, Dam H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 28, 117–133 [in English].

Отримано: 04.12.2023

Прийнято: 15.12.2023