

## ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТОРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФІТОПЛАНКТОНУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЕКОСИСТЕМИ

Суходольська І.Л.

Рівненський державний гуманітарний університет  
вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне  
[iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua](mailto:iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua)

У статті наведено результати досліджень показників фітопланктону оз. Задовже впродовж червня–жовтня 2024 р. Фітопланктон озера налічує 53 види водоростей, які представлені 55 внутрішньовидовими таксонами. Ідентифіковані види належать до 48 родів, 31 родини, 24 порядків, 13 класів та 8 відділів. Флористичний спектр планктонних водоростей сформовано відділами *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Charophyta* > *Ochrophyta* = *Euglenozoa* > *Miozoa* = *Cryptophyta*. Показано, що в домінуючий комплекс за біомасою входять види відділів *Miozoa* та *Bacillariophyta*, а за чисельністю – *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* та *Miozoa*. Для озера характерна переважно полідомінантна структура фітопланктону. Встановлено, що більшість родів представлено по одному виду, лише окремі по два (*Desmodesmus* (Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, *Lepocinclis* Perty, *Staurastrum* Meyen ex Ralfs, *Navicula* Bory, *Fragilaria* Lyngbye) та три (*Cosmarium* Raciborski). Зафіксовано високі показники розвитку *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, що свідчить про низьке органічне забруднення та високу якість води.

Флористичне ядро альгофлори оз. Задовже впродовж червня–жовтня 2024 р. формують переважно планктонні та планктонно-бентосні види, індивідуальні щодо відношення до насичення води киснем та реофільності, рН середовища і галобності. Більшість видів приурочені до помірного діапазону температури. За рівнем трофності найбільш виражені мезотрофні та мезоевтрофні види. Показано, що за типом живлення та відношенням до кількості нітрогенвмісних органічних сполук представлені тільки види автотрофи. Переважають індикатори чистої води – сапроксени. За органічним забрудненням води за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечка) найбільш численна група бета-мезосапробіонтів та оліго-альфа-мезосапробіонтів. За індикаторними особливостями видів фітопланктону вода оз. Задовже варіює від II до III класу якості (чиста та помірно забруднена), що свідчить про добрий екологічний стан екосистеми. *Ключові слова*: видове багатство, домінанти, індикатори, озеро, якість води, екологічний стан, фітопланктон, зона сапробності

### The use of phytoplankton indicator characteristics in assessing the ecological status of an ecosystem. Sukhodolska I.

This article presents the results of phytoplankton studies conducted in Lake Zadovzhe from June to October 2024. The lake's phytoplankton community comprises 53 algal species represented by 55 intraspecific taxa. The identified species belong to 48 genera, 31 families, 24 orders, 13 classes, and 8 phyla. The floristic spectrum of planktonic algae was formed by the divisions *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Charophyta* > *Ochrophyta* = *Euglenozoa* > *Miozoa* = *Cryptophyta*. The dominant biomass was contributed mainly by *Miozoa* and *Bacillariophyta*, while the highest abundance was observed in *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, and *Miozoa*. The phytoplankton structure of the lake is predominantly polydominant. Most genera are represented by a single species, with only a few comprising two (*Desmodesmus* (Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, *Lepocinclis* Perty, *Staurastrum* Meyen ex Ralfs, *Navicula* Bory, *Fragilaria* Lyngbye) or three (*Cosmarium* Raciborski) species. A high abundance of *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing was recorded, indicating low organic pollution and high water quality. The floristic core of Lake Zadovzhe's algal flora during the study period consisted mainly of planktonic and plankton–benthic species, indifferent to oxygen saturation, rheophilicity, pH, and salinity. Most species were associated with a moderate temperature range. In terms of trophic status, mesotrophic and mesoeutrophic species were most prominent. Only autotrophic species were recorded, with no facultative or obligate heterotrophs present. Indicators of clean water (saproxenes) predominated. According to the Pantle–Buk system (modified by Sládeček), the majority of species were beta-mesosaprobionts and oligo–alpha-mesosaprobionts. Based on the indicator characteristics of phytoplankton species, the water quality of Lake Zadovzhe ranged between Class II and Class III (clean to moderately polluted), reflecting a good ecological status of the ecosystem. *Key words*: species richness, dominants, indicators, lake, water quality, ecological status, phytoplankton, saprobity zone

**Постановка проблеми.** На дію стресових умов у водних екосистемах найпершою реагує автотрофна ланка – фітопланктон. Відгук проявляється перебудовою структури фітопланктону, що показує масштаби змін з урахуванням кліматичних особливостей [5, 7, 11]. Індивідуальна чутливість видів фітопланктону до якості води забезпечує постійне їхнє викори-

стання як біоіндикаторів, особливо у ранній діагностиці здоров'я водної екосистеми.

**Актуальність дослідження.** Значне поширення планктонних водоростей у водному середовищі надає цінну інформацію про стан екосистем. Як індикаторні характеристики найчастіше використовують реакцію на температурні умови, рН, насиче-



ність води киснем, солоність, органічне забруднення, трофність, наявність чи відсутність груп водоростей, співвідношення відділів, індекси різноманітності та сапробності, частоту зустрічності тощо [7, 12, 13]. Специфічність видового багатства, домінування видів за чисельністю та біомасою фітопланктону дозволяє розрахувати рівень органічного і нітрогеновмісного забруднення, а також визначити екологічний стан та рівень здатності водної екосистеми до самоочищення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями.** Миттєва реакція фітопланктону на несприятливі впливи надає суттєві переваги його використання як індикатора, особливо у порівнянні з іншими гідробіонтами. Зміна автотрофної ланки дозволяє прослідкувати перебудови нижчих трофічних рівнів та визначити толерантність видів до забруднення. Крім того, живучість гідробіоценозів показує спроможність екосистеми здійснювати трансформацію, міграцію та накопичення речовин, залучених у кругообіг і відповідно свідчить про рівень підтримки її стабільного стану.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виокремлення видів фітопланктону як надійних індикаторів стану середовища дозволяє за їхнім станом, розвитком та особливостями структурно-функціональних показників найбільш точно прослідкувати не лише кліматичні зміни, але і стійкість та вразливість водної екосистеми. Науковці використовують різні критерії для проведення діагностики екосистеми за фітопланктоном [4, 6, 7, 11–13]. Наприклад, у роботі авторів [3] виокремлено найбільш інформативні параметри водоростевих угруповань та запропоновано числові характеристики (видове різноманіття (за вегетаційний сезон, середнє у пробах), надвидове різноманіття (кількість родів), інформаційне різноманіття, коефіцієнт варіації чисельності та біомаси, частка *Cyanophyta* у біомасі,  $\chi$ -,  $\alpha$ -,  $\rho$ -сапробів та індекс сапробності). Застосування представлених значень характеризує насамперед екологічний стан водойм за класами якості води. Ефективність використання фітопланктону як об'єктивного індикатора стану водойми добре обґрунтована у численних працях [3, 4, 6, 7, 11, 12]. Автори переважно акцентують увагу на здатності фітопланктону реагувати на антропогенний вплив та можливостях реєструвати порушення у водному середовищі [10, 12, 13]. Також окремі праці присвячені використанню моделей для розрахунку впливу та попередженню негативних наслідків [8]. Основна складність складання прогнозів, особливо довгострокових, полягає у відсутності систематичних спостережень водних екосистем щодо розвитку видового багатства та інших показників фітопланктону. Відповідно ідентифікація фітопланктону оз. Задовже дозволить зрозуміти закономірності формування флори водоростей, прослідкувати зміни якості

води за видами-індикаторами та оцінити екологічний стан водної екосистеми.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Підходи до оцінки стану водних екосистем наведених в літературних джерелах базуються на вимірюванні порушень самоочисної спроможності, погіршення якості води, втрати біорізноманіття тощо. Для вирішення означених завдань використовують моніторингові спостереження, які дозволяють прослідкувати та прогнозувати негативні впливи. Однак перелік показників включених до програм часто обмежується кількома репрезентативними і не завжди відображає реальний стан водного об'єкту. Згідно Програми державного моніторингу вод окрім хімічних, фізико-хімічних та гідроморфологічних показників включені біологічні (фітопланктон, мікрофітобентос (діатомові), макрофіти, донні макробезхребетні та риби) [1]. Проте в представленому переліку на 2026 р. для багатьох об'єктів, в тому числі і озер (близько 16), вивчення фітопланктону не виконується або проводиться в окремі місяці для чітко визначених водних екосистем. Звісно оз. Задовже не входить в перелік об'єктів моніторингових спостережень, тому важливо продовжувати вивчення складу фітопланктону оз. Задовже для екологічної оцінки водної екосистеми, а в подальшому і створення прогнозів щодо ймовірних змін.

**Новизна.** Встановлено особливості розвитку (видове багатство, домінуючий комплекс, види-індикатори) фітопланктону оз. Задовже впродовж 2024 р., оцінено якість води та екологічний стан водної екосистеми.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження фітопланктону оз. Задовже дозволяє доповнити список ідентифікованих видів, визначити екологічний стан екосистеми та оцінити її стійкість чи вразливість.

**Викладення основного матеріалу.** Озеро Задовже знаходиться в межах Нобельського національного природного парку (Рівненська обл.). Глибина озера на окремих ділянках досягає 19 м. Площа водного дзеркала складає 0,60 км<sup>2</sup>. Озеро має карстова походження.

Проби води для визначення фітопланктону відбирали впродовж червня–жовтня 2024 р. з глибини 0,2–0,3 м. Після наповнення водою пластикових ємностей об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup> проводили консервування з використанням формаліну. Після відстоювання проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм<sup>3</sup>. Камеральну обробку проб здійснювали з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, (Germany)). Клітини рахували в трьох повторностях за допомогою камери Нажотта (об'єм 0,02 см<sup>3</sup>). Біомасу визначали розрахунково-об'ємним методом [2]. Таксономічна номенклатура водоростей представлена згідно міжнародного електронного каталогу *AlgaeBase* [9]. Індикаторні характеристики

планктонних водоростей наведені відповідно до літературних джерел [7, 12].

Впродовж червня–жовтня 2024 р. у складі фітопланктону оз. Задовже. ідентифіковано 53 види водоростей, представлених 55 внутрішньовидовими таксонами із номенклатурним типом виду включно (ввт.), що належать до 48 родів, 31 родини, 24 порядків, 13 класів та 8 відділів (рис. 1).

За чисельністю домінують види *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* та *Miozoa*, а за біомасою – *Miozoa* та *Bacillariophyta*.

Найбільша кількість видів у липні представлена відділом *Chlorophyta*, а у жовтні *Bacillariophyta* (по 23). Варто зауважити, що у червні видів відділу *Cyanobacteria* не було виявлено. Найбільшою кількістю видів представлений рід *Cosmarium* Raciborski (3 види) та *Desmodesmus* (Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, *Lepocinclis* Perty, *Staurastrum* Meyen ex Ralfs, *Navicula* Bory, *Fragilaria* Lyngbye (по 2).

Для оцінювання екологічного стану та якості води оз. Задовже види фітопланктону наведено за порядком зростання їхнього індикаторного значення, що на рисунках зазначено стрілками (рис. 2).

Індикатори місцезростань представлені 41 видом водоростей (74,5% від загального видового багатства). Найбільший відсоток становлять планктонні (34%). На другому місці планктонно-бентосні (29%), а на третьому – планктонно-бентосні, епіфітні (17%). Бентосні налічують лише 6 видів (15%), планктонно-бентосні, ґрунтові – 1 (2%), а ґрунтові – 1 (2%) (рис. 2 А).

Серед індикаторів реофільності і насичення води киснем виявлено 30 видів (54,5% від загального видового багатства). 87% складають види, які є індикаторами повільнотекучих вод з середнім рівнем кисню. 10% видів-індикаторів належать до стоячих

вод з низьким рівнем кисню, а 3% до швидкотекучих вод (рис. 2 В).

Індикатори галобності налічують 36 видів (65,5% від загального видового багатства). Серед них переважають прісноводні види індиференти (86%). Відсоток галофілів становить 8, а галофобів та мезогалобів по 1 виду (по 3%) (рис. 2 С). 23 види (41,8% від загального видового багатства) водоростей проявляють виражену чутливість до активної реакції середовища. Індиференти складають 64%, алкаліфіли – 17%, ацидофіли – 13%, а алкалібіонти – 4% (рис. 2 D). Видів, що реагують на зміну температурного режиму виявлено лише 9 (16,4% від загального видового багатства). З них 56% належать до помірної діапазону температур. 44% характеризуються високою екологічною пластичністю (валентністю) до температурних умов (рис. 2 E).

9 видів (16,4% від загального видового багатства) віднесено до індикаторів типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук (НОС). 56% видів належать до автотрофів, що витримують підвищені концентрації НОС. 44% – це види автотрофи, що розвиваються за низьких концентрацій НОС. Варто зауважити, що облігатних та факультативних гетеротрофів не виявлено (рис. 2 F).

Найбільший відсоток (62) серед видів органічного забруднення води становлять сапроксени. Присутність індикаторів чистої води свідчить про добру її якість. Група еврисапроби (помірно забруднені води) налічує 38% (рис. 2 G).

Індикатори трофності представлені 19 видами (34,5% від загального видового багатства). З них найбільша кількість видів індикаторів мезотрофних (37%) та мезоевтрофних умов (32%). На другому місці олігомезотрофні (21%), а на третьому – евтрофні та широкої амплітуди трофності (по 5%).

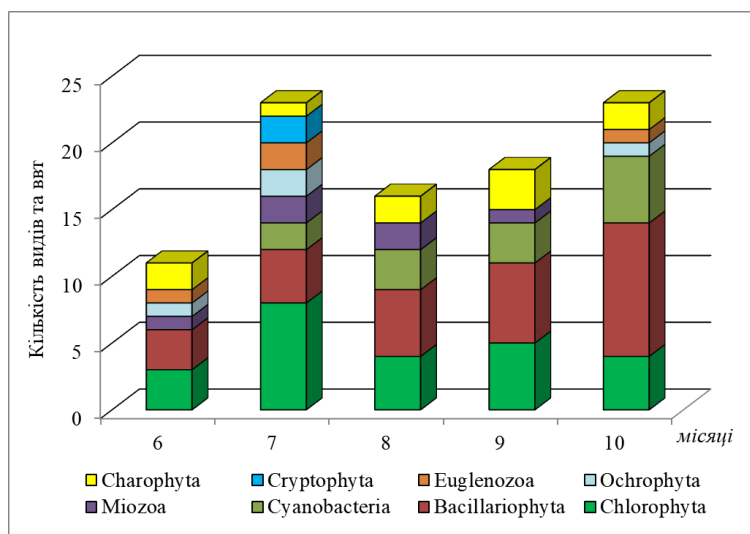
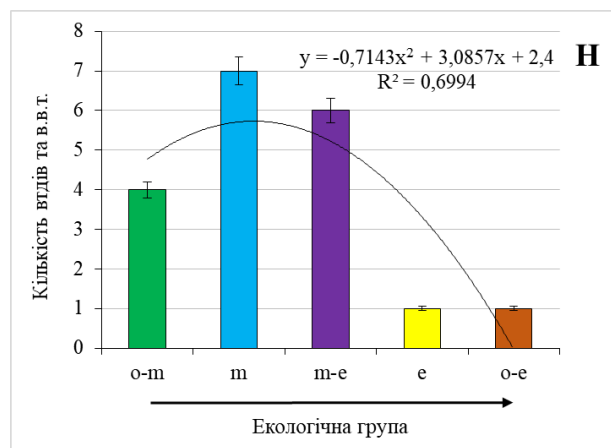
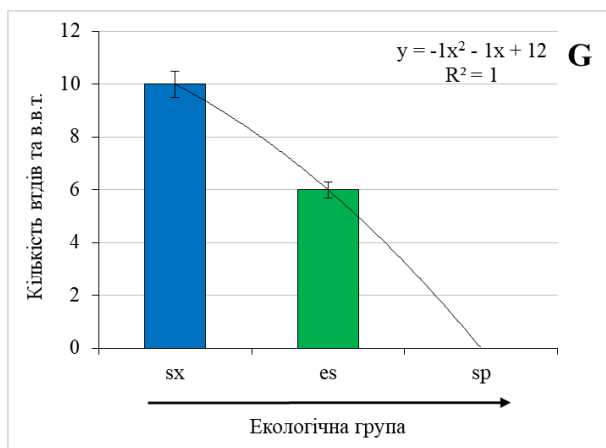
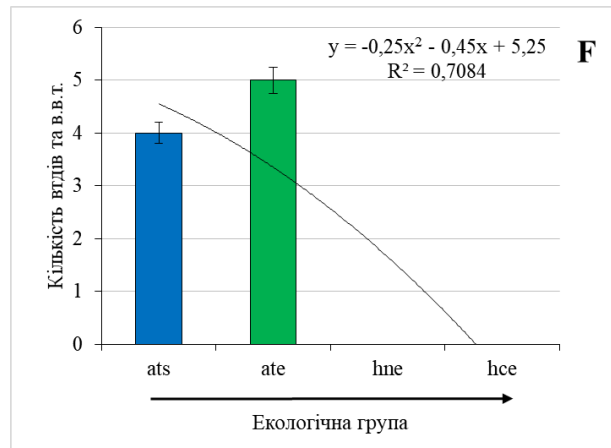
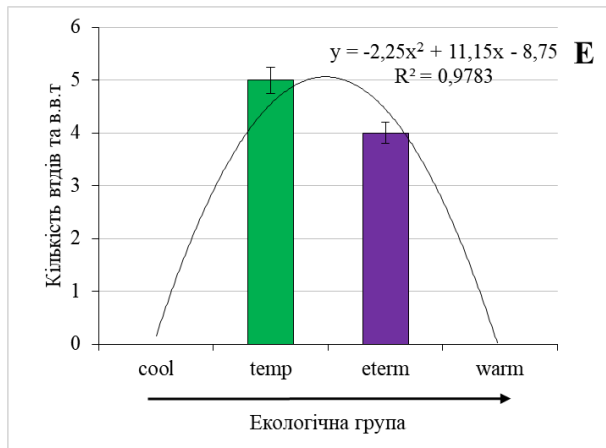
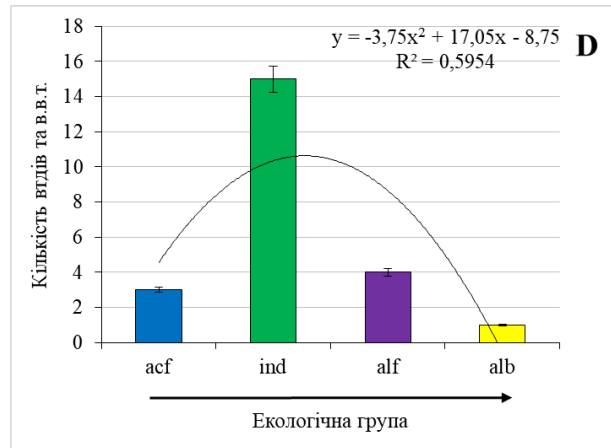
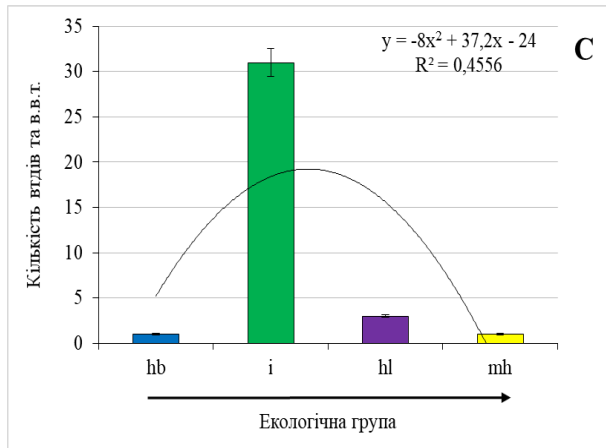
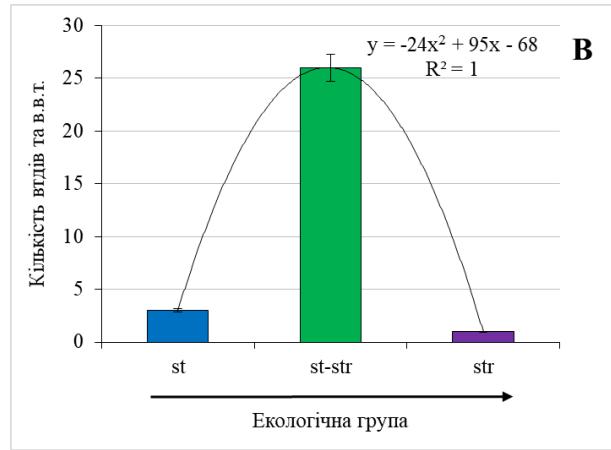
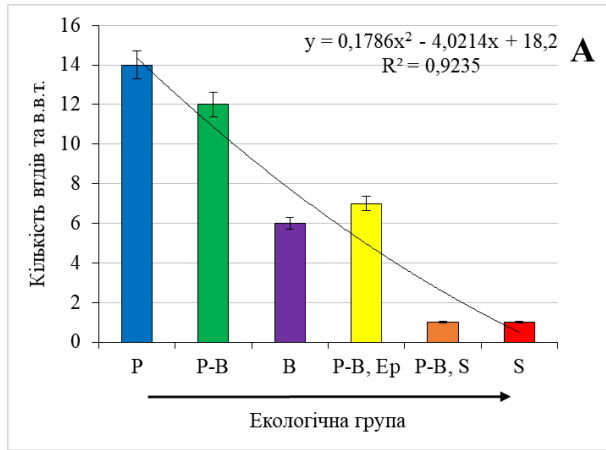
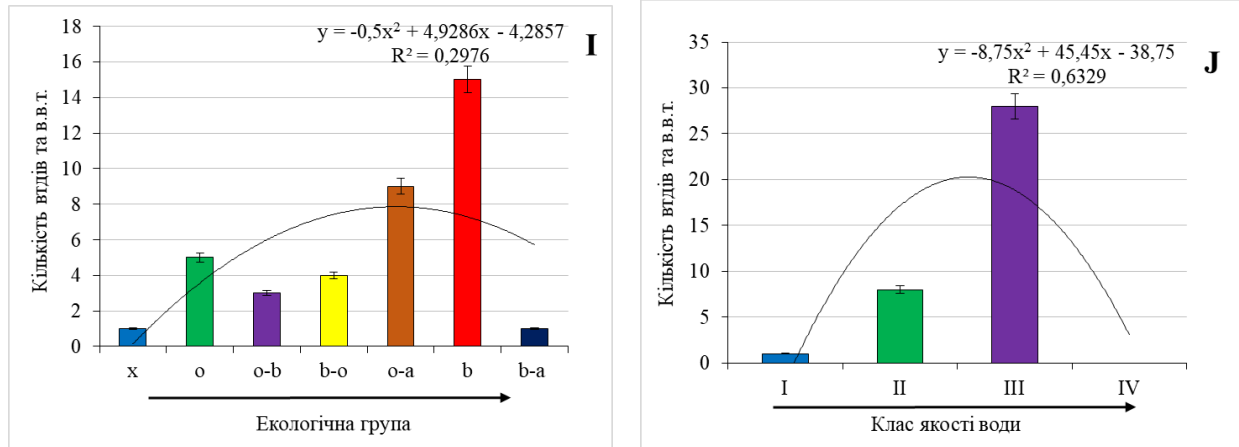


Рис. 1. Зміна видового багатства фітопланктону оз. Задовже (червень–жовтень, 2024 р.)





**Рис. 2. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами:** *A* – місцезростань (*B* – бентосні; *P-B* – планктонно-бентосні; *P* – планктонні; *Ep* – епіфітні; *S* – ґрунтові); *V* – насиченості води киснем та реофільності (*st* – стоячі; *str* – швидкотекучі; *st-str* – повільнотекучі та/або індиферентні; *ae* – аерофільні); *C* – галобності (*hb* – галофоби; *i* – індиферентні; *hl* – галофіли; *th* – мезогалофи; *oh* – олігогалофи); *D* – рН середовища (*acf* – ацидофіли; *ind* – індиферентні; *alf* – алкаліфіли; *alb* – алкалібійонти); *E* – температурних умов (*cool* – холодолюбні; *temp* – помірного діапазону та/або індиферентні; *eterm* – 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); *G* – органічного забруднення вод (за системою Ватанабе): *sx* – сапроксени (чисті води); *es* – еврисапроби (помірно забруднені води); *sp* – сапрофіли (забруднені води); *H* – рівня трофності (*ot* – оліго-мезотрофні; *t* – мезотрофні; *te* – мезо-евтрофні; *e* – евтрофні; *o-e* – широкої амплітуди трофності); *I* – органічного забруднення (за системою Пантле-Бук у модифікації Сладечека): *x* – ксеносапробіонти; *o* – олігосапробіонти; *o-b* – оліго-бета-мезосапробіонти; *b-o* – бета-олігосапробіонти; *o-a* – оліго-альфа-мезосапробіонти; *b* – бета-мезосапробіонти; *b-a* – бета-альфа-мезосапробіонти); *J* – класи якості води;  $R^2$  – величина достовірності апроксимації.

Евтрофний вид *Dolichospermum spiroides* (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek досягає найвищої чисельності у вересні. Чисельність *D. spiroides* складає 70 тис. кл/дм<sup>3</sup> (31,5% від загальної чисельності), що свідчить про погіршення якості води. *Navicula cryptocephala* Kützinger відома як вид широкої амплітуди трофності. Проте для *N. cryptocephala* впродовж дослідження встановлено низькі показники чисельності та біомаси (рис. 2 H).

38 видів (69,0% від загального видового багатства) належать до індикаторів сапробності за системою Пантле-Бук у модифікації Сладечека. Найбільш виражена група бета-мезосапробіонти (39%). На другому місці оліго-альфа-мезосапробіонти (24%), а на третьому – олігосапробіонти (13%). Також виявлені індикатори бета-олігосапробної (11%) та оліго-бета-мезосапробної (8%) зон. Крім того, одним видом (*Lepocinclis tripteris* (Dujardin) V.Marin & M.Melkonian) представлена бета-альфа-мезосапробна зона (помірне забруднення органічними речовинами) (рис. 2 I). Також варто зауважити, що вид *L. tripteris* субдомінує за біомасою (0,0252 мг/дм<sup>3</sup>) лише у липні. До видів ксеносапробіонтів належить *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützinger. Біомаса (24,9–56,1%) та чисельність (13,3–18,9%) *T. fenestrata* суттєво зростає впродовж вересня та жовтня. Високі показники розвитку *T. fenestrata* свідчать про дуже

низьке органічне забруднення, оскільки вид слугує індикатором найвищої якості води.

Виявлені види-індикатори розподілені відповідно до трьох класів якості води. Індикатори I класу якості представлені 1 (2,7%) видом, II класу – 8 (21,6%), а III класу – 28 (75,7%). Більш виражена група індикаторів III класу, проте, присутність видів II класу свідчить про зміну якості води від чистої до помірно забрудненої.

**Головні висновки.** Фітопланктон оз. Задовже впродовж 2024 р. представлений 8 відділами (*Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Charophyta* > *Ochrophyta* = *Euglenozoa* > *Miozoa* = *Cryptophyta*), 13 класами, 24 порядками, 31 родиною та 48 родами. Найбільшою кількістю видів характеризується рід *Cosmarium* (3 види). Домінуючий комплекс фітопланктону за чисельністю сформований видами відділів *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* та *Miozoa*, а за біомасою – *Miozoa* та *Bacillariophyta*.

Флористичний список альгофлори оз. Задовже у 2024 р. переважно складають планктонні та планктонно-бентосні види, індиференти за відношенням до насичення води киснем та реофільності, галобності, рН середовища та помірного діапазону температури води. За типом живлення та відношенням до кількості нітрогенвмісних органічних сполук пред-

ставлені лише види автотрофи (56% та 44% – індикатори підвищеної та низької концентрації НОС). Найбільш виражений за рівнем трофності розвиток мезотрофних та мезоевтрофних видів. У фітопланктоні озера переважають індикатори чистої води – сапроксени. Серед видів-індикаторів органічного забруднення вод за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) найбільша частка бета-мезосапробіонтів та оліго-альфа-мезосапробіонтів. За видами індикаторами вода оз. Задовже змінюється

від II (чиста) до III класу якості (помірно забруднена), що свідчить про високий рівень стійкості екосистеми та добрий екологічний стан.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Виявлені види фітопланктону слугують доповненням списків водоростей озер України. Також отримані результати можуть бути використані для прогнозування стану водних екосистем за розвитком фітопланктону та попередження змін якості води.

### Література

1. Наказ Міністерства економіки, довілля та сільського господарства України від 27.01.2026 № 1250 «Про затвердження Програми державного моніторингу вод». URL: <https://surl.lt/ipvbrv> (дата звернення: 15.04.2026).
2. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. У кн.: *Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем*. Київ, 2002. С. 41–48.
3. Щербак В.І., Семенов Н.Є., Майстрова Н.В. Адаптація методів оцінки екологічного стану водойм мегаполісів України за фітопланктоном і фітомікроперифітоном відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС. *Доповіді Національної академії наук України*. 2009. №10. С. 206–211.
4. Bach L.T., Lohbeck K.T., Reusch T.B., Riebesell U. Rapid evolution of highly variable competitive abilities in a key phytoplankton species. *Nature Ecology & Evolution*. 2018. Vol. 2(4). P. 611–613. URL: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0474-x>
5. Barinova S. On the classification of water quality from an ecological point of view. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 2017. Vol. 2(2). P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555581>
6. Barinova S., Krupa E., Khitrova Y. Phytoplankton Diversity and Bioindication of the Lakes in the Burabay National Natural Park Northern Kazakhstan. *Ecologies*. 2023. Vol. 4. P. 242–268. URL: <https://doi.org/10.3390/ecologies4020017>
7. 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.
8. Beckmann A., Schaum C.E., Hense I. Phytoplankton adaptation in ecosystem models. *Journal of theoretical biology*. 2019. Vol. 468. P. 60–71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.01.041>
9. Guiry M.D., Guiry G.M. *Algae Base*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2024. URL: <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 10.12.2024).
10. Hanžek N., Šiljeg M., Šikić T., Stanković I. Phytoplankton in Deep Lakes of the Dinaric Karst: Functional Biodiversity and Main Ecological Features. *Plants*. 2024. Vol. 13(16). P. 2252. URL: <https://doi.org/10.3390/plants13162252>
11. Teta R., Esposito G., Casazza M., Zappa C. J., Endreny T. A., Mangoni A., ... & Lega M. Bioindicators as a tool in environmental impact assessment: Cyanobacteria as a sentinel of pollution. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2019. Vol.14. 1. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.2495/SDP-V14-N1-1-8>
12. 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. Vol. 28. P. 117–133.
13. Van der Nagel Charlotte, Hannoun Deena, Tietjen Todd. Stable phytoplankton community compositions in Lake Mead (Nevada-Arizona, USA) during two decades of severe drought. *Environmental Science and Ecotechnology*. 2025. 23. 100491.

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026