

УДК 502.51(282)

<https://doi.org/10.31713/vs4202518>

Суходольська І. Л. [1; ORCID ID: 0000-0001-7502-3061],

к.б.н., доцент

¹Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

ФІТОПЛАНКТОН ЯК ПРИРОДНИЙ ІНДИКАТОР ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ, ЗОНИ РИЗИКУ ТА СТІЙКОСТІ ОЗЕРА ЗАДОВЖЕ (НОБЕЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРИРОДНИЙ ПАРК)

У статті наведено зміни показників фітопланктону (таксономічний склад, чисельність, біомаса, доміанти) оз. Задовже, а також проаналізовано екологічний стан, зони ризику та стійкість гідроекосистеми відповідно до розвитку індикаторних видів. Виявлено, що впродовж 2022–2025 рр. (серпень) фітопланктон оз. Задовже представлений 74 (76 ввт.) видами, з 57 родів, 40 родин, 29 порядків та 12 класів, 5–8 відділів. Основне таксономічне багатство фітопланктону формують відділи *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Cyanobacteria*. Показано, що високої чисельності досягають види *Cyanobacteria*. Проте активного цвітіння води не зафіксовано, оскільки за біомасою впродовж дослідження домінує *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin (35,7%–77,4%). Загальна біомаса впродовж 2022–2025 рр. становить 0,0305–0,6872 мг/дм³, а чисельність – 127–5614 тис. кл./дм³. Екологічний стан оз. Задовже за біомасою фітопланктону переважно відповідає критерію «відмінний», а за чисельністю – «добрий».

У фітопланктоні оз. Задовже переважають планктонні та планктонно-бентосні форми, індиференти (за рН, галобністю, насиченістю води киснем та реофільністю), еврисапроби (за органічним забрудненням вод згідно з системою Ватанабе). За трофністю найбільш представлені мезоевтрофні (2022–2023 рр.), мезотрофні (2024 р.) види, а також оліго-мезотрофні, мезотрофні та мезоевтрофні (2025 р.). За типом живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук переважають автотрофи, що витримують підвищені концентрації НОС. Серед індикаторів сапробності за системою Пантле – Бук у модифікації Сладечека найбільш численна група бета-мезосапробіонти (2022–2023 рр.), оліго-альфа-мезосапробіонти (2024 р.) та олігосапробіонти і бета-мезосапробіонти (2025 р.). Показано, що за рівнем органічного забруднення відповідно до системи Пантле – Бук (в модифікації Сладечека) якість води оз. Задовже у 2022–2024 рр. переважно відповідає III класу (помірно забруднена), а у 2025 р. – II та III класу (чиста, помірно забруднена). Зона ризику для оз. Задовже впродовж досліджень змінюється в напрямку природно чисті

↔ самоочищення до природного фону ↔ загроза. За показниками фітопланктону оз. Задовже оцінено як стійку екосистему.

Ключові слова: видове багатство; біомаса; чисельність; стійкість екосистеми; види-індикатори; якість води; зони ризику; зона самоочищення; загроза.

Постановка проблеми. За показниками фітопланктону прослідковують зони ризику для гідроекосистем (природно чисті ↔ самоочищення ↔ загроза ↔ ризик ↔ криза → катастрофа), визначають стадії змін (зворотні ↔ порогові → незворотні зміни), оцінюють якість води, інтенсивність самоочищення, стійкість, спрямованість деградаційних процесів та ін. Пріоритетність вивчення фітопланктону для з'ясування механізмів підтримки стійкості гідроекосистем насамперед зумовлена їхньою високою чутливістю до зміни середовища існування. Миттєвий відгук водоростевих угруповань фіксує навіть мінімальне забруднення гідроекосистеми. За індивідуальною чутливістю видів найчастіше визначають категорії стійкості до органічного забруднення, нітрогенвмісних органічних сполук, трофності, насичення води киснем і реофільності, рН середовища та температури води. Також особлива увага при оцінюванні стійкості гідроекосистем приділяється видовому багатству та домінуючому комплексу фітопланктону. Оскільки зникнення окремих видів чи раптове їхнє зменшення, а також домінування представників відділу *Cyanobacteria*, суттєво ускладнює підтримку цілісності гідроекосистеми [1; 2; 3]. Безумовно, кожен водний об'єкт потребує детального вивчення, оскільки зміни показників фітопланктону часто зумовлені просторовим розміщенням озер та відповідно і різною дією екологічних чинників. Інформація щодо структури фітопланктону конкретного водного об'єкту враховує регіональні відмінності у планктонних угрупованнях і дозволяє чітко регулювати підходи до оцінювання забруднення, природних змін (наприклад, пов'язаних зі старінням водойми), проявів евтрофікації, а також можливостей відновлення та збереження озер [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фітопланктон використовують як індикатор температурних умов (зокрема спричинених зміною клімату) [5], надходження поживних речовин [6], раннього сповіщення про органічне забруднення [7], відображення комплексного впливу абіотичних та біотичних чинників [8]. При вивченні стійкості гідроекосистем акцентують увагу на вивченні

структурно-функціональних особливостей фітопланктону озер природоохоронних територій [9; 10; 11; 12]. Порушення стійкості озер найчастіше відбуваються внаслідок посиленої туристичної діяльності (особливо влітку), що потребує реалізації відповідних заходів для нормалізації їхнього екологічного стану. До водних об'єктів природоохоронних територій належить оз. Задовже (Нобельський національний природний парк). Однак дані про планктонні угруповання озера у літературних джерелах відсутні. Саме тому, ідентифікація фітопланктону оз. Задовже у часовому інтервалі дозволяє не лише навести відомості щодо флори водоростей, але і прослідкувати сукцесійні зміни, визначити якість води за видами-індикаторами та об'єктивно оцінити стан стійкості об'єкту.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – вивчити видове багатство, чисельність, біомасу, домінуючий склад, індикаторні особливості видів фітопланктону оз. Задовже в літній період. Основне завдання полягає оцінюванні стійкості гідроекосистеми за якістю води гідроекосистеми відповідно до розвитку видів-індикаторів.

Матеріали та методи досліджень. Озеро Задовже має карстове походження. Його глибина, на окремих ділянках, складає 19 м. Площа водного дзеркала оз. Задовже становить 0,60 км². Дно та береги озера піщані. Серед вищої водної рослинності добре представлені *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton natans* L. та інші.

Проби води для визначення показників фітопланктону відбирали з глибини 0,2–0,3 м шляхом наповнення пластикових ємностей об'ємом 0,5 дм³ з подальшим консервуванням формаліном. Концентрували проби після відстоювання до об'єму 0,05–0,1 дм³. Визначення видового складу, біомаси та чисельності (камеральна обробка проб) здійснено з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, (Germany)). Підрахунок клітин проводили за допомогою камери Насотта об'ємом 0,02 см³ (в трьох повторностях). Розрахунково-об'ємним методом визначали біомасу [13]. Таксономічну номенклатуру водоростей наведено за міжнародним електронним каталогом *AlgaeBase* [14]. Індикаторні особливості видів фітопланктону зазначені відповідно до літературних джерел [2; 3].

Виклад основного матеріалу дослідження. В літній період у складі фітопланктону оз. Задовже впродовж 2022–2025 рр. ідентифіковано 74 види водоростей, представлених 76

внутрішньовидовими таксонами із номенклатурним типом виду включно (ввт.), що належать до 57 родів, 40 родин, 29 порядків, 12 класів, 8 відділів. Найбагатший у флористичному відношенні склад фітопланктону виявлено у 2022 р., а найбідніший – у 2025 р. (таблиця).

Таблиця

Таксономічний склад озерного фітопланктону
(серпень, 2022–2025 рр.)

Відділи	2022	2023	2024	2025
<i>Chlorophyta</i>	<u>13 (13)</u> 28,3	<u>5 (5)</u> 15,2	<u>3 (4)</u> 20,0	<u>2 (2)</u> 22,2
<i>Bacillariophyta</i>	<u>15 (15)</u> 32,6	<u>17 (17)</u> 51,5	<u>4 (5)</u> 31,3	<u>3 (3)</u> 33,3
<i>Cyanobacteria</i>	<u>6 (6)</u> 13,0	<u>5 (5)</u> 15,2	<u>3 (3)</u> 18,8	<u>2 (2)</u> 22,2
<i>Streptophyta</i>	<u>5 (5)</u> 10,9	–	<u>2 (2)</u> 12,5	–
<i>Ochrophyta</i>	<u>2 (2)</u> 4,3	<u>1 (1)</u> 3,0	–	–
<i>Euglenozoa</i>	<u>2 (2)</u> 4,3	<u>3 (3)</u> 9,1	–	<u>1 (1)</u> 11,1
<i>Miozoa</i>	<u>2 (2)</u> 4,3	<u>2 (2)</u> 6,1	<u>2 (2)</u> 12,5	<u>1 (1)</u> 11,1
<i>Cryptophyta</i>	<u>1 (1)</u> 2,2	–	–	–
Всього:	<u>46 (46)</u> 100	<u>33 (33)</u> 100	<u>14 (16)</u> 100	<u>9 (9)</u> 100

Примітка: чисельник – кількість видових таксонів в абсолютному вираженні (у дужках наведене число внутрішньовидових таксонів із номенклатурним типом виду включно), знаменник – виражено у %

Фітопланктон оз. Задовже у 2022 р. налічує 46 видів, які належать до 8 відділів. Найбільш представлені відділи *Bacillariophyta* (32,6% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (28,3%) та *Cyanobacteria* (13,0%). Домінують за чисельністю у 2022 р. види відділу *Cyanobacteria* – *Microcystis pulverea* (H.C.Wood) Forti (56,1%) та *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (18,5%), а за біомасою – вид відділу *Miozoa* – *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin (35,7%).

У 2023 р. ідентифіковано 33 види фітопланктону з 6 відділів. Найкраще представлені відділи *Bacillariophyta* (51,5%), *Chlorophyta* (15,2%) та *Cyanobacteria* (15,2%). За чисельністю домінують види

відділу *Cyanobacteria* – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (17,7%), *Anabaena* sp. (11,3%), *Lyngbya* sp. (30,5%), а за біомасою *Miozoa* – *C. hirundinella* (77,4%).

Фітопланктон оз. Задовже у 2024 р. представлений 14 (16 ввт.) видами з 5 відділів. З них найбільшу кількість видів зафіксовано у відділі *Bacillariophyta* (31,3%), *Chlorophyta* (20,0%) та *Cyanobacteria* (18,8%). Домінують за чисельністю види відділу *Cyanobacteria* – *Merismopedia tranquilla* (Ehrenberg) Trevisan (11,0%), *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák (26,4%) та *A. flos-aquae* (33,0%), а за біомасою – *C. hirundinella* (69,5%).

Найменша кількість видів впродовж всього періоду досліджень виявлена у серпні 2025 р. Зокрема, фітопланктон представлений лише 9 видами з 5 відділів. Найбільшу кількість видів налічує відділ *Bacillariophyta* (33,3%), а найменшу – *Miozoa* (11,1%) та *Euglenozoa* (11,1%). За чисельністю домінують представники *Cyanobacteria* – *S. lacustris* (63,0%) та *Anabaena* sp. (11,8%), а за біомасою вид *Miozoa* – *C. hirundinella* (57,4%), *Euglenozoa* – *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg (12,3%) та *Bacillariophyta* – *Fragilaria crotonensis* Kitton (11,8%).

Впродовж 2022–2024 рр. прослідковується монодомінування за біомасою виду *C. hirundinella* (35,7%–77,4%). Проте у 2025 р., незважаючи на невелику кількість видів, зафіксована полідомінантна структура фітопланктону за біомасою.

Чисельність впродовж 2022–2025 рр. варіює від 127 тис. кл./дм³ до 5614 тис. кл./дм³, а біомаса – від 0,0305 мг/дм³ до 0,6872 мг/дм³ (рис. 1).

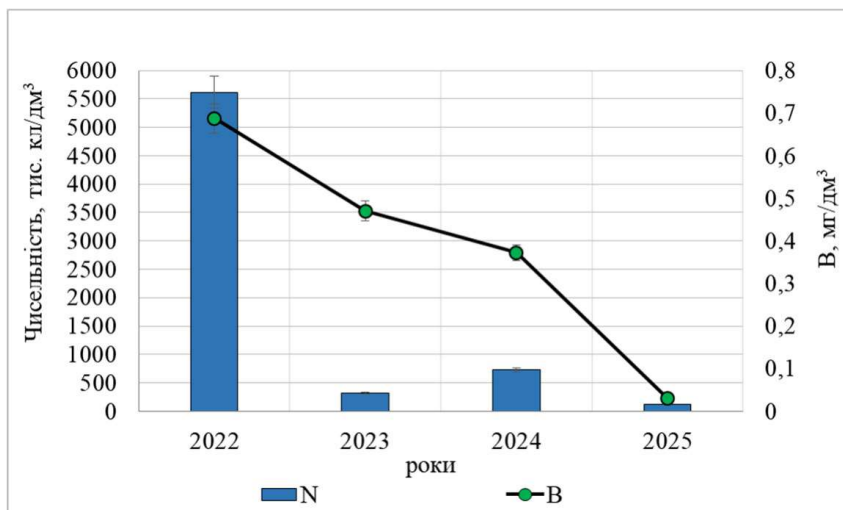


Рис. 1. Чисельність та біомаса фітопланктону оз. Задовже (2022–2025 р., серпень)

У 2022 р. біомаса складає 0,6872 мг/дм³, а чисельність – 5614 тис. кл./дм³. За біомасою фітопланктону екологічний стан оз. Задовже відповідає критерію «добрий», а за чисельністю – «задовільний». Основна біомаса сформована внаслідок розвитку видів відділу *Bacillariophyta* (35,7%) та *Miozoa* (36,7%), а чисельність – домінуванням видів *Cyanobacteria* (83,8%), що спричинило погіршення екологічного стану води.

Загальна біомаса у 2023 р. становить 0,4702 мг/дм³, а чисельність – 311 тис. кл./дм³. За біомасою фітопланктону екологічний стан оз. Задовже у серпні відповідає критерію «відмінний», а за чисельністю – «добрий». На показники біомаси найбільше впливає монодомінування за біомасою *C. hirundinella* (вид приурочений до олігосапробної зони). Так, відсоток участі відділу *Miozoa* у формуванні загальної біомаси складає 79,7.

Біомаса у 2024 р. складає 0,3726 мг/дм³, а чисельність – 728 тис. кл./дм³. Як і в попередньому році за біомасою фітопланктону екологічний стан озера «відмінний», а за чисельністю – «добрий». У 2024 р. на чисельність найбільше впливають види відділу *Cyanobacteria* (70,3%), а на біомасу – відділу *Miozoa* (71,2%). Біомаса сформована *C. hirundinella* (індикатором чистої води).

Загальна біомаса у 2025 р. складає 0,0305 мг/дм³, а чисельність – 127 тис. кл./дм³. Екологічний стан озера «відмінний» як за чисельністю, так і за біомасою. Біомаса переважно сформована видами відділів *Miozoa* (57,4%) та *Bacillariophyta* (22,4%), а чисельність – видами *Cyanobacteria* (74,8%).

За значенням індексу сапробності у серпні 2023 р. (1,50) та 2025 р. (1,24) вода відповідає II класу якості (чиста) та належить до олігосапробної зони самоочищення. Впродовж серпня 2022 р. (1,66) та 2024 р. (1,67) за індексом сапробності вода відповідає III класу якості (помірно забруднена) – альфа-мезосапробна зона.

Розподіл видів та ввт. водоростей за біотопічною приуроченістю наведено на рисунку 2. У 2022 р. угруповання водоростей переважно представлені планктонними – 11 (33,3%) та планктонно-бентосними – 11 (33,3%) формами, у 2023 р. – планктонно-бентосними 8 (36,4%), планктонними 6 (27,3%) та 6 (27,3%) бентосними, у 2024 р. – планктонними 5 (38,5%) та планктонно-бентосними 5 (38,5%), а у 2025 р. – планктонними 4 (67,7%).

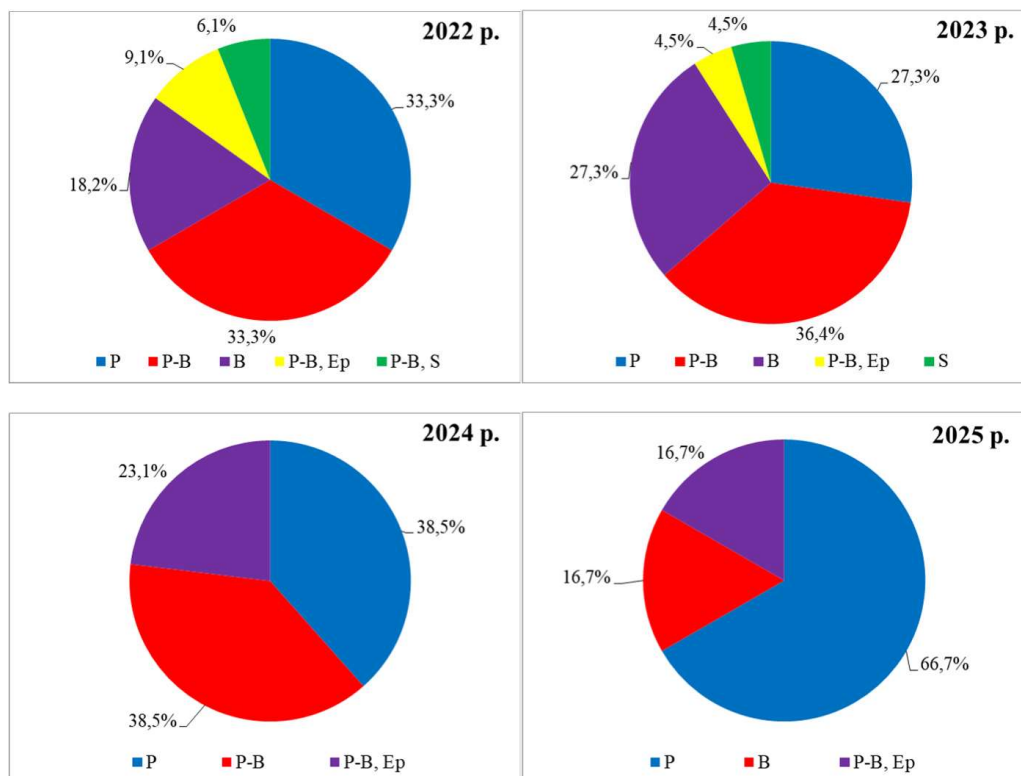


Рис. 2. Розподіл видів та ввт. водоростей за біотопічною приуроченістю (P – планктонні; P-B – планктонно-бентосні; B – бентосні; Ep – епіфітні; S – ґрунтові)

Серед індикаторів солоності у воді оз. Задовже впродовж 2022–2025 рр. домінували індиференти. Також зафіксовані галофоби у 2022 р. (*Rhabdoderma lineare* Schmidle & Lauterborn) та 2024 р. (*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot). Серед галофілів виявлені у 2022 р. – *M. aeruginosa*, *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkovsky та *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, у 2023 р. – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg та *S. pupula*, у 2024 р. – *A. flos-aquae* та *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek (рис. 3).

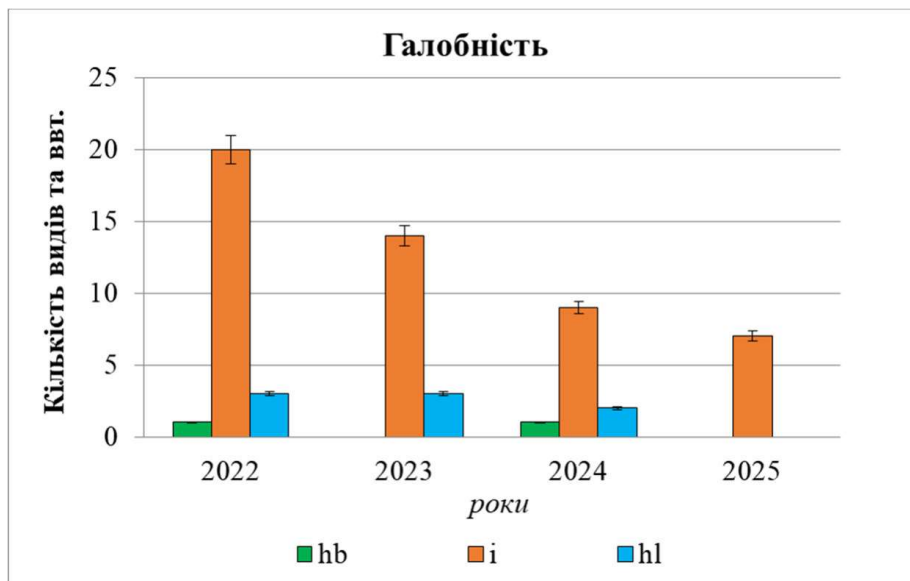


Рис. 3. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами галобності (солоності) (hb – галофоби; i –індиференти; hl –галофіли)

Індикатори активної реакції середовища (рН) переважно представлені видами-індиферентами. Лише у 2024 р. виявлені індикатори трьох груп – ацидофіли, індиференти та алкаліфіли, що свідчить про зміну рН. Серед видів ацидофілів виявлено *F. tenera*. Алкаліфіли представлені одним видом – *S. meneghinianus* (рис. 4).

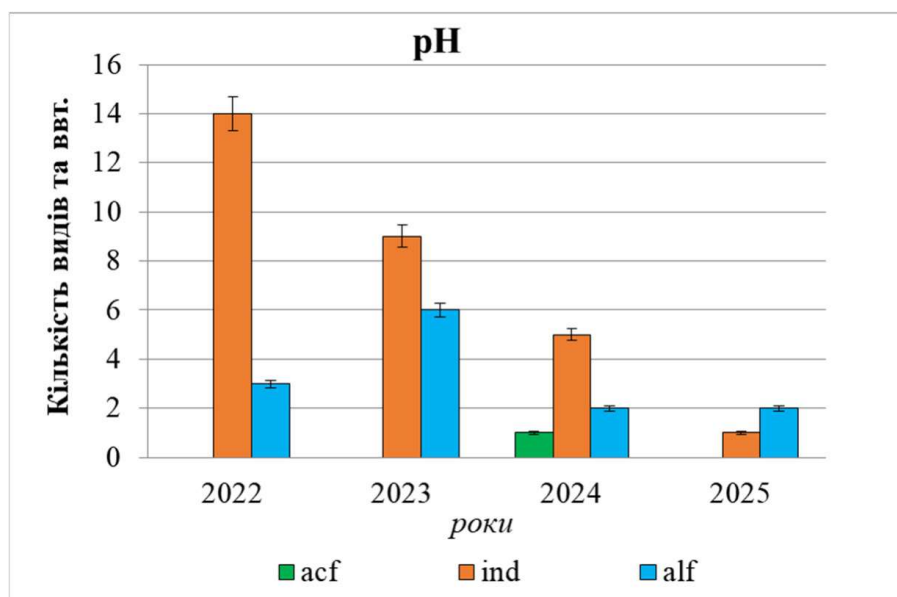


Рис. 4. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами рН середовища (acf – ацидофіли; ind – індиференти; alf – алкаліфіли; alb – алкалібіонти)

При визначенні органічного забруднення оз. Задовже впродовж 2022–2025 рр. виявлено переважання еврисапробів – індикаторів помірно забрудненої води (рис. 5).

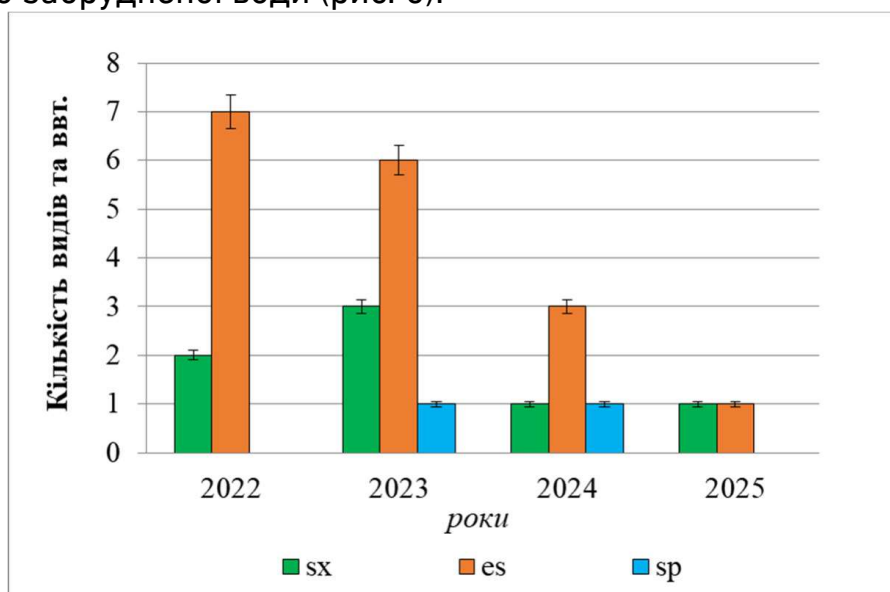


Рис. 5. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами органічного забруднення за Ватанабе (sx – сапроксени; es – еврисапроби; sp – сапрофіли)

Індикація рівня органічного забруднення за Ватанабе оз. Задовже у 2022 р. виявила чітке переважання групи еврисапробів. Серед них зафіксовані наступні види: *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst, *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *Tabularia tabulata* (C.Agardh) Snoeijs, *Caloneis bacillum* (Grunow) Cleve, *Navicula cryptocephala* Kützing та *Navicula radiosa* Kützing. Індикатори чистої води (сапроксени) представлені 2 видами (*S. pupula* та *Asterionella formosa* Hassall).

У 2023 р. серед індикаторів помірно забрудненої води (еврисапробів) виявлено 6 видів – *C. placentula*, *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg, *N. cryptocephala* та *Navicula radiosa* Kützing. Індикатори чистої води представлені 3 видами (*S. pupula*, *Epithemia sorex* Kützing та *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing), а забрудненої води (сапрофіли) лише 1 (*Caloneis silicula* (Ehrenberg) Cleve).

Еврисапроби у 2024 р. налічують 3 види. Серед них *U. acus*, *N. cryptocephala* та *F. crotonensis* Kitton. Сапроксени представлені *F. tenera*, а сапрофіли – *S. meneghinianus*.

У 2025 р. виявлено вид-індикатор чистої води – *A. formosa* та помірно забрудненої води – *F. crotonensis*.

Щодо аналізу рівня трофності оз. Задовже, то у 2022–2023 рр. виявлено чітке переважання групи мезоевтрофні. Також у 2022 р. добре представлені оліго-мезотрофні види (*R. lineare*, *G. angustatum*, *G. parvulum* та *A. formosa*). Серед мезотрофних видів виявлені – *Closterium acutum* Brébisson та *Staurostrum tetracerum* Ralfs ex Ralfs, з евтрофних – *M. aeruginosa*, а з широкою амплітудою трофності – *N. cryptocephala* (рис. 6).

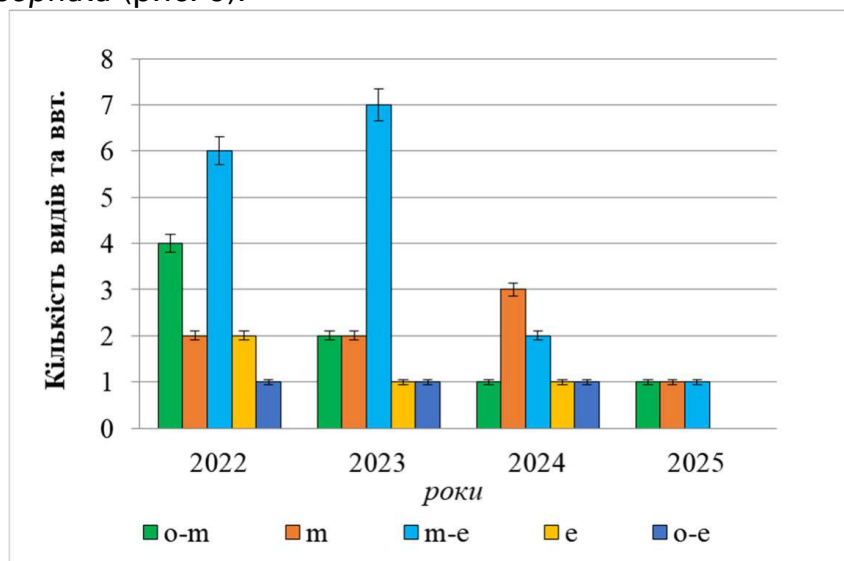


Рис. 6. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами рівня трофності (o-m – оліго-мезотрофні; m – мезотрофні; m-e – мезоевтрофні; e – евтрофні; o-e – широкої амплітуди трофності)

У 2023 р. серед мезоевтрофних видів зафіксовано – *Cuspidothrix issatschenkoi* (Usachev) P.Rajaniemi, Komárek, R.Willame, P. Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen, *C. placentula*, *N. viridula*, *N. radiosa*, *S. pupula*, *E. sorex* та *A. ovalis*, а з евтрофних – *N. acicularis*. Оліго-мезотрофні види представлені – *C. silicula* та *Staurosira inflata* (Heiden) A. Rusanov, Ács, E. Morales & Ector. У 2023 р., як і в 2022 р., виявлено вид з широкою амплітуди трофності – *N. cryptocephala*.

Найбільша кількість видів у 2024 р. виявлена серед мезотрофних. Вони представлені наступними видами – *A. flos-aquae*, *S. tetracerum* та *F. crotonensis*. Також зафіксовано мезоевтрофні – *M. tranquilla*, *S. lacustris*, оліго-мезотрофні – *F. tenera*, евтрофні – *S. meneghinianus* та види з широкою амплітудою трофності – *N. cryptocephala*.

У 2025 р. мезоевтрофні види представлені *S. lacustris*, мезотрофні – *Fragilaria crotonensis* Kitton, а оліго-мезотрофні – *A. formosa*.

Індикатори насиченості води киснем та реофільності налічують 23 види у 2022 р., 15 – у 2023 р., 10 – у 2024 р. та 6 – у 2025 р. Найбільший відсоток видів повільнотекучих вод або індиферентів. Зокрема, серед індиферентів виявлено 18 видів у 2022 р., 12 – у 2023 р., 8 – у 2024 р. та 5 – у 2025 р. Види стоячих вод представлені 3 видами у 2022 р. (*Pandorina morum* (O. F. Müller) Bory, *Oocystis submarina* Lagerheim та *S. pupula*), 2 – у 2023 р. (*C. silicula* та *S. pupula*), 1 – у 2024 р. (*S. meneghinianus*) та 1 – у 2025 р. (*O. submarina*). Види приурочені до швидкотекучих вод налічують по 1 виду впродовж 2022–2024 р. Серед них *G. parvulum* (2022 р.), *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch (2023 р.) та *F. tenera* (2024 р.). Також у 2022 р. зафіксовано аерофільний вид – *C. turgidus* (рис. 7).

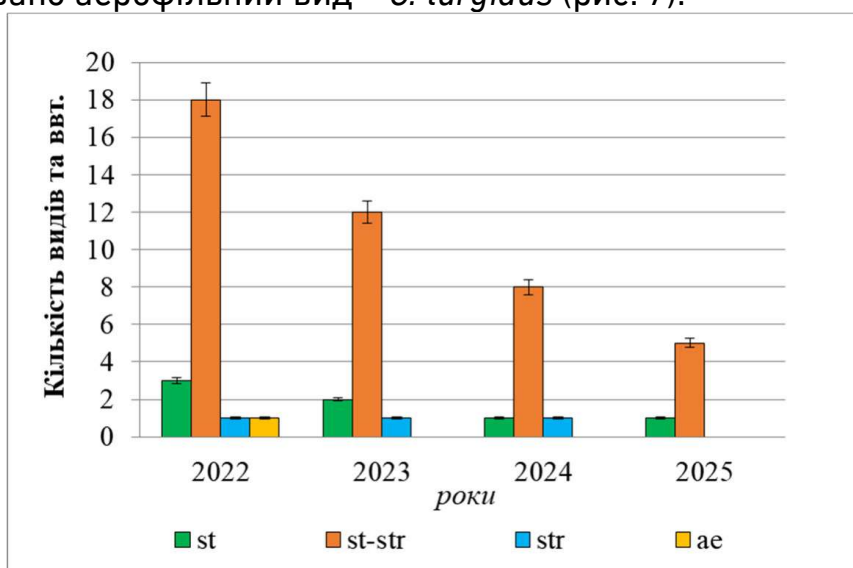


Рис. 7. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами насиченості води киснем та реофільності (st – стоячі; str – швидкотекучі; st-str – повільнотекучі та/або індиференти; ae – аерофільні)

Види-індикатори типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук впродовж дослідження найбільш численно представлені автотрофами, що витримують підвищені концентрації НОС (рис. 8). Серед них *C. placentula*, *N. radiosa*, *S. pupula* (2022–2023 рр.), *N. cryptocephala* (2022–2025 рр.), *A. formosa* (2022 р., 2025 р.), *F. crotonensis* (2024–2025 рр.) та *N. viridula* та *A. ovalis* (2023 р.). Серед автотрофів, що розвиваються за низької концентрації НОС виявлені *C. bacillum* (2022 р.), *C. silicula* та *E. sorex* (2023 р.), а також

F. tenera (2024 р.). Загалом, переважання автотрофів забезпечує ефективні процеси самоочищення та підтримку стійкості водної екосистеми.

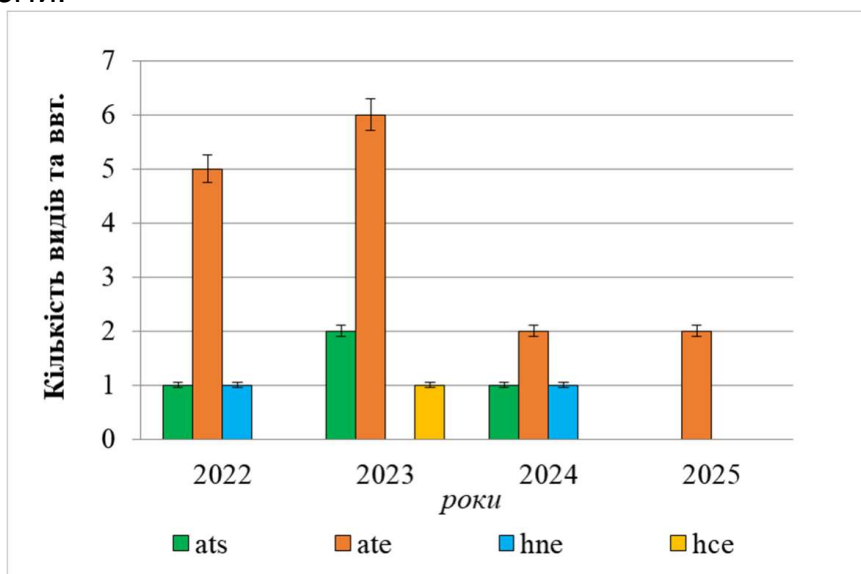


Рис. 8. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук (НОС): ats – автотрофи, що розвиваються за низької концентрації НОС; ate – автотрофи, що витримують підвищені концентрації НОС; hne – факультативні гетеротрофи, які розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації НОС; hce – облігатні гетеротрофи, які розвиваються у воді за підвищених НОС

У 2023 р. виявлено єдиний впродовж досліджень облігатний гетеротроф, що розвивається у воді за підвищених НОС – *N. acicularis*.

З факультативних гетеротрофів, які розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації НОС, виявлено види *G. parvulum* (2022 р.) та *S. meneghinianus* (2024 р.).

Найбільш численна група серед індикаторів сапробності за системою Пантле-Бук у модифікації Сладчека представлена бета-мезосапробіонтами у 2022–2023 рр., оліго-альфа-мезосапробіонтами у 2024 р. та олігосапробіонтами і бета-мезосапробіонтами у 2025 р. (рис. 9).

Виявлені в оз. Задовже види, які є індикаторами різних зон самоочищення, належать до трьох класів якості води (II, III та IV).

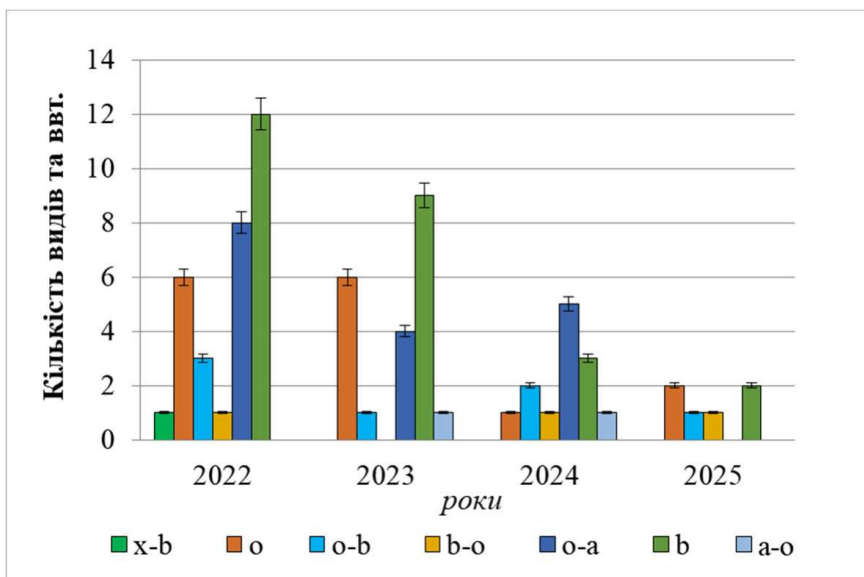


Рис. 9. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами органічного забруднення (за системою Пантле-Бук у модифікації Сладечека): x-b – ксено-бета-мезосапробіонти; o – олігосапробіонти; o-b – оліго-бета-мезосапробіонти; b-o – бета-олігосапробіонти; o-a – оліго-альфа-мезосапробіонти; b – бета-мезосапробіонти; a-o – альфа-олігосапробіонти

У 2022 р. зафіксовано 31 вид (67,4% від загального видового багатства), що належать до II та III класу якості води. У 2023 р. виявлено 21 вид (63,6%), що відповідають II, III та IV класу якості води. Також у 2024 р. виявлено 13 видів (92,9%) II, III та IV класу якості. До індикаторів IV класу якості у 2023 р. належить вид *N. acicularis*, а в 2024 р. – *S. meneghinianus*. У 2025 р. види індикатори II та III класу якості води представлені 6 видами (66,7%) (рис. 10).

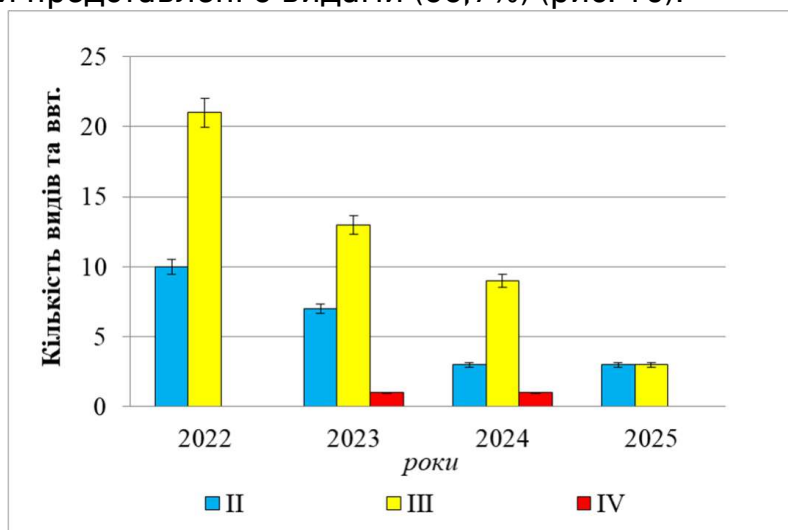


Рис. 10. Розподіл видів та ввт. водоростей, що є індикаторами класу якості води (II, III та IV)

За рівнем органічного забруднення згідно системи Пантле – Бук (в модифікації Сладечека) вода оз. Задовже впродовж серпня (2022–2024 рр.) переважно відповідає III класу якості (помірно забруднена). У 2025 р. чіткого розподілу не виявлено, оскільки однаково представлені індикатори II та III класу якості води (чиста, помірно забруднена). Зона ризику для озера впродовж 2022–2025 рр. (серпень) змінюється наступним чином: природно чисті ↔ самоочищення до природного фону ↔ загроза. Загалом, за показниками фітопланктону оз. Задовже оцінено як стійку екосистему, що здатна повертатися в попередній стан після дії чинників середовища.

Висновки. У складі фітопланктону оз. Задовже впродовж 2022–2025 рр. (серпень) виявлено 74 (76 ввт.) види водоростей з 12 класів, 29 порядків, 40 родин та 57 родів. Фітопланктон оз. Задовже налічує у 2022 р. 46 (46) видів та ввт., у 2023 р. – 33 (33), у 2024 р. – 14 (16), а у 2025 р. – 9 (9). Співвідношення видів представлених у відділах розподіляється наступним чином: 2022 р. – *Bacillariophyta* > *Chlorophyta* > *Cyanobacteria*, 2023–2025 р. – *Bacillariophyta* > *Chlorophyta* = *Cyanobacteria*.

За чисельністю впродовж 2022–2024 рр. домінують види відділу *Cyanobacteria*, а за біомасою – відділу *Miozoa*. У 2025 р. за чисельністю домінують представники *Cyanobacteria*, а за біомасою відділу *Miozoa*, *Euglenozoa* та *Bacillariophyta*. Висока біомаса впродовж 2022–2025 рр. виявлена у *C. hirundinella* (35,7%–77,4%).

Впродовж 2022–2025 рр. чисельність змінюється від 127 тис. кл./дм³ до 5614 тис. кл./дм³, а біомаса коливається від 0,0305 мг/дм³ до 0,6872 мг/дм³. За біомасою фітопланктону екологічний стан оз. Задовже впродовж досліджень переважно відповідає критерію «відмінний», а за чисельністю – «добрий».

За біотопічною приуроченістю угруповання водоростей найбільш виражено представлені планктонними та планктонно-бентосними формами. У фітопланктоні оз. Задовже переважають індиференти (за галобністю, рН та насиченістю води киснем, реофільності), еврисапроби – помірно забруднені води (за органічним забрудненням вод – за системою Ватанабе), мезоевтрофні (2022–2023 рр.), мезотрофні (2024 р.) та однаковою мірою представлені оліго-мезотрофні, мезотрофні та мезоевтрофні у 2025 р. (за трофністю). За типом живлення та відношення до кількості нітрогенвісних органічних сполук найбільш численно представлені автотрофи, що

витримують підвищені концентрації НОС. Індикатори сапробності за системою Пантле – Бук у модифікації Сладечека представлені бета-мезосапробіонтами (2022–2023 рр.), оліго-альфа-мезосапробіонтами (2024 р.) та олігосапробіонтами і бета-мезосапробіонтами (2025 р.).

Вода оз. Задовже за рівнем органічного забруднення згідно з системою Пантле – Бук (в модифікації Сладечека) переважно відповідає III класу якості (помірно забруднена) впродовж 2022–2024 рр. У 2025 р. якість води відповідає II та III класу (чиста, помірно забруднена).

За показниками фітопланктону зони ризику для оз. Задовже впродовж 2022–2025 рр. (серпень) змінюється в напрямку природно чисті ↔ самоочищення до природного фону ↔ загроза.

Отримані в літній період оригінальні дані дослідження фітопланктону свідчать про важливу роль цих альгогруповань у формуванні біорізноманіття оз. Задовже та підтримання його стійкості.

1. Hou T., Lu S., Shao J., Dong X., Yang Z., Yang Y., ... Lin Y. Assessment of planktonic community diversity and stability in lakes and reservoirs based on eDNA metabarcoding – A case study of Minghu National Wetland Park, China. *Environmental Research*. 2025. Vol. 271. P. 121025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121025>.
2. 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.
3. 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.
4. Qu S., Zhou J. Phytoplankton community structure and water quality assessment in Xuanwu Lake, China. *Front. Environ. Sci*. 2024. Vol. 11. P. 1303851. URL: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1303851>.
5. Tong Y. D., Xu X. W., Qi M., Sun J. J., Zhang Y. Y., Zhang W., et al. Lake warming intensifies the seasonal pattern of internal nutrient cycling in the eutrophic lake and potential impacts on algal blooms. *Water Res*. 2021. Vol. 188. P. 116570. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116570>.
6. Rock L. A., Fetzer W. W., Patterson L. S., Sillen S. J., Steg R., Walters A. W., Collins S. M. Spatiotemporal drivers of water quality and phytoplankton communities in a cyanobacteria-dominated reservoir provide management insights. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2025. Vol. 197(7). P. 795. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14258-1>.
7. Essa D. I., Elshobary M. E., Attiah A. M., Salem Z. E., Keshta A. E., Edokpayi J. N. Assessing phytoplankton populations and their relation to water parameters as early alerts and biological indicators of the aquatic pollution. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 159. P. 111721.
8. Щербак В. І., Семенюк Н. Є., Давидов О. А., Козійчук Е. Ш. Особливості біотопічної приуроченості водоростей водної товщі прісноводних гідроєкосистем різного типу. *Альгологія*. 2025. Вип. 35(2). С. 104–127. URL: <https://doi.org/10.15407/alg35.02.104>.
9. Dimitrova R., Nenova E., Uzunov B., Shishiniova M., Stoyneva, M. Phytoplankton abundance and structural parameters of the critically endangered protected area Vaya Lake (Bulgaria). *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2014. Vol. 28(5). P. 871–877.

10. Климюк В. М., Барінова С. С., Лялюк Н. М. Біоіндикаційний аналіз солоних озер РЛП Слов'янський курорт за фітопланктоном. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014. Т. 2(33). С. 70–80. **11.** Шелюк Ю. С. Використання структурно-функціональних характеристик фітопланктону для оцінки якості вод об'єктів природно-заповідного фонду України (на прикладі Дідового озера). *Екологічні науки*. 2022. Вип. 40. С. 33–37. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.6>. **12.** Sukhodolska I. L., Basaraba I. V. Seasonal Dynamics of Algal Flora of Lake Zaslavtske (Rivne Region, Ukraine). *International Journal on Algae*. 2023. Vol. 25, Issue 4. P. 353–364. URL: <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i4.40>. **13.** Щербак В. І. Методи досліджень фітопланктону. *Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем*. Київ, 2002. С. 41–48. **14.** Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2025. URL: <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 10.09.2025).

REFERENCES:

1. Hou T., Lu S., Shao J., Dong X., Yang Z., Yang Y., ... Lin Y. Assessment of planktonic community diversity and stability in lakes and reservoirs based on eDNA metabarcoding – A case study of Minghu National Wetland Park, China. *Environmental Research*. 2025. Vol. 271. P. 121025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121025>. **2.** 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. **3.** 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. **4.** Qu S., Zhou J. Phytoplankton community structure and water quality assessment in Xuanwu Lake, China. *Front. Environ. Sci*. 2024. Vol. 11. P. 1303851. URL: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1303851>. **5.** Tong Y. D., Xu X. W., Qi M. Sun J. J. Zhang Y. Y., Zhang W., et al. Lake warming intensifies the seasonal pattern of internal nutrient cycling in the eutrophic lake and potential impacts on algal blooms. *Water Res*. 2021. Vol. 188. P. 116570. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116570>. **6.** Rock L. A., Fetzer W. W., Patterson L. S., Sillen S. J., Steg R., Walters A. W., Collins S. M. Spatiotemporal drivers of water quality and phytoplankton communities in a cyanobacteria-dominated reservoir provide management insights. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2025. Vol. 197(7). P. 795. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14258-1>. **7.** Essa D. I., Elshobary M. E., Attiah A. M., Salem Z. E., Keshta A. E., Edokpayi J. N. Assessing phytoplankton populations and their relation to water parameters as early alerts and biological indicators of the aquatic pollution. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 159. P. 111721. **8.** Shcherbak V. I., Semeniuk N. Ye., Davydov O. A., Koziichuk E. Sh. Osoblyvosti biotopichnoi pryurochenosti vodorostei vodnoi tovshchi prysnovodnykh hidroekosystem riznoho typu. *Alholohiia*. 2025. Vyp. 35(2). S. 104–127. URL: <https://doi.org/10.15407/alg35.02.104>. **9.** Dimitrova R., Nenova E., Uzunov B., Shishiniova M., Stoyneva, M. Phytoplankton abundance and structural parameters of the critically endangered protected area Vaya Lake (Bulgaria). *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2014. Vol. 28(5). P. 871–877. **10.** Klymiuk V. M., Barynova S. S., Lialiuk N. M. Bioindykatsiyni analiz solonykh ozer RLP Slovianskyi kurort za fitoplanktonom. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2014. Т. 2(33). С. 70–

80. **11.** Sheliuk Yu. S. Vykorystannia strukturno-funktsionalnykh kharakterystyk fitoplanktonu dlia otsinky yakosti vod ob'ektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy (na prykladi Didovoho ozera). *Ekolohichni nauky*. 2022. Vyp. 40. S. 33–37. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.6>. **12.** Sukhodolska I. L., Basaraba I. V. Seasonal Dynamics of Algal Flora of Lake Zasvitske (Rivne Region, Ukraine). *International Journal on Algae*. 2023. Vol. 25, Issue 4. P. 353–364. URL: <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i4.40>. **13.** Shcherbak V. I. Metody doslidzhen fitoplanktonu. *Metodychni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ekosystem*. Kyiv, 2002. S. 41–48. **14.** Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2025. URL: <https://www.algaebase.org> (data zvernennia: 10.09.2025).

Sukhodolska I. L. [1; ORCID ID: 0000-0001-7502-3061],

Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹*Rivne State University for the Humanities, Rivne*

PHYTOPLANKTON AS A NATURAL INDICATOR FOR ECOLOGICAL STATE, RISK ZONE AND RESILIENCE OF LAKE ZADOVZHE (THE NOBEL NATIONAL NATURE PARK)

The study presents changes in phytoplankton indicators (taxonomic composition, abundance, biomass, dominants) of Lake Zadovzhe, and also analyzes hydroecosystem ecological state, risk zones and resilience in accordance with the development of indicator species. It has been found that during 2022–2025 (August) phytoplankton of Lake Zadovzhe was represented by 74 (76 intraspecific taxa) species), from 57 genera, 40 families, 29 orders and 12 classes, 5–8 divisions. The main taxonomic richness of phytoplankton is formed by the divisions *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* and *Cyanobacteria*. It has been shown that *Cyanobacteria* species reach high abundance. However, active water blooms were not recorded, since *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin (35.7%–77.4%) dominates in biomass. During 2022–2025, the total biomass is 0.0305–0.6872 mg/dm³, and the number is 127–5614 thousand cells/dm³. The ecological state of Lake Zadovzhe in terms of phytoplankton biomass mainly meets the criterion of “excellent”, and in terms of number it is “good”.

In the phytoplankton of Lake Zadovzhe, planktonic, planktonic and benthic forms, indifferent (by pH, halophyte, water oxygen saturation and rheophilicity), eurysaprobic (by organic water pollution according to the Watanabe system) prevail. In terms of trophicity, mesoeutrophic (2022–2023), mesotrophic (2024) species are most represented, as well as oligo-mesotrophic, mesotrophic and meso-eutrophic (2025). In terms of type of

nutrition and ratio to the amount of nitrogen-containing organic compounds, autotrophs that withstand elevated concentrations of NCC prevail. Among the saprobity indicators according to the Pantle – Buk system in the Sladечek modification, the most numerous group is β -mesosaprobionts (2022–2023), oligo- α -mesosaprobionts (2024) and oligosaprobionts and β -mesosaprobionts (2025). It has been highlighted that within the level of organic pollution according to the Pantle – Buk system (in the Sladечek modification), in 2022–2024, the water quality of Lake Zadovzhe mainly corresponds to class III (moderately polluted), and in 2025 it corresponds to class II and III (clean, moderately polluted). During the research the risk zone for Lake Zadovzhe changes in the direction of naturally clean \leftrightarrow self-purification to natural background \leftrightarrow threat. According to phytoplankton indicators, Lake Zadovzhe is assessed as a resilient ecosystem.

Keywords: species richness; biomass; abundance; ecosystem resilience; indicator species; water quality; risk zones; self-purification zone; threat.

Отримано: 03 листопада 2025 року
Прорецензовано: 10 листопада 2025 року
Прийнято до друку: 28 листопада 2025 року