

ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УПОВІЛЬНЕНОГО ВОДООБМІНУ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФІТОПЛАНКТОНУ

Суходольська І. Л.

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне

iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua

Наведено структурно-функціональні показники угруповань фітопланктону оз. Задовже (червень–жовтень, 2022–2023 рр.). У 2022 р. ідентифіковано 76 (77) видів водоростей, що представлені 77 внутрішньовидовими таксонами (ввт.), а у 2023 р. – 100 видів (105 ввт.) з восьми відділів. Флористичний спектр планктонних водоростей сформовано відділами *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Streptophyta* у 2022 р. та *Bacillariophyta* > *Chlorophyta* > *Cyanobacteria* > *Euglenozoa* у 2023 р. Найвищий показник родового коефіцієнту характерний для відділу *Ochrophyta* (2022 р. – 2,0; 2023 р. – 3,0). Найбільш представлені роди *Navicula* Bory, *Schroederia* Lemmermann, *Staurostrum* Meyen ex Ralfs у 2022 р. та *Nitzschia* Hassall, *Gomphonema* Ehrenberg, *Navicula* Bory, *Sellaphora* Mereschkowsky, *Epithemia* Kützinger, *Trachelomonas* Ehrenberg, *Dinobryon* Ehrenberg, *Mallomonas* Perty у 2023 р. Види зазначених родів найчастіше розвиваються у чистих та помірно забруднених водах, що віддзеркалює оптимальні умови існування та свідчить про достатньо високий рівень стійкості оз. Задовже. Виявлено, що впродовж 2022–2023 рр. високою біомасою вирізняється *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin (27,0–77,5 %). Вид є індикатором олігосапробної зони, що відповідає II класу якості (чиста вода). Показано, що за чисельністю фітопланктону екологічний стан оз. Задовже відповідає категорії «задовільний» (3 бали), а за біомасою змінюється від «відмінного» (5 балів) до «доброго» (4 бали) впродовж 2022 р. У 2023 р. стан води оз. Задовже за чисельністю «добрий» (4 бали), а за біомасою варіює від «доброго» (4 бали) до «відмінного» (5 балів). За загальною біомасою фітопланктону вода оз. Задовже належить до II класу якості (досить чиста). Індекс Шеннона впродовж 2022 р. та 2023 р. знаходиться в межах 1,52–4,00 та 1,79–4,38 біт/мг за біомасою, а за чисельністю – 2,11–3,63 та 2,82–4,45 біт/екз. Індекс сапробності коливається від 1,49 до 2,27 (2022 р., чиста, слабо забруднена вода) та 1,50–1,81 (2023 р., чиста, досить чиста вода). Водна екосистема уповільненого водообміну за дослідженими показниками фітопланктону відповідає високому рівню стійкості. *Ключові слова*: видове багатство, озеро, чисельність, біомаса, домінанти, індикатори стійкості, провідні роди, сапробність, індекс Шеннона.

Assessing the sustainability of slow-flow aquatic ecosystems based on phytoplankton indicators. Sukhodolska I.

The study presents structural and functional indicators of phytoplankton communities of Lake Zadovzhe (June–October, 2022–2023). In 2022, 76 (77) species of algae were identified, represented by 77 intraspecific taxa (tws), and in 2023 – 100 species (105 tws) from eight divisions. The floristic spectrum of planktonic algae was formed by the divisions *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Streptophyta* in 2022 and *Bacillariophyta* > *Chlorophyta* > *Cyanobacteria* > *Euglenozoa* in 2023. The highest indicator of the genus coefficient is characteristic of the division *Ochrophyta* (2022 – 2.0; 2023 – 3.0). The most represented genera are *Navicula* Bory, *Schroederia* Lemmermann, *Staurostrum* Meyen ex Ralfs in 2022 and *Nitzschia* Hassall, *Gomphonema* Ehrenberg, *Navicula* Bory, *Sellaphora* Mereschkowsky, *Epithemia* Kützinger, *Trachelomonas* Ehrenberg, *Dinobryon* Ehrenberg, *Mallomonas* Perty in 2023. The species of these genera most often develop in clean and moderately polluted waters, which reflects the optimal conditions of existence and indicates a sufficiently high level of stability of Lake Zadovzhe. It was found that during 2022–2023 *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin (27.0–77.5 %) was distinguished by high biomass. The species is an indicator of the oligosaprobic zone, which corresponds to the II quality class (clean water). The paper demonstrates that the ecological state of Lake Zadovzhe corresponds to the category of “satisfactory” (3 points) in terms of phytoplankton abundance, and varies from “excellent” (5 points) to “good” (4 points) in terms of biomass during 2022. In 2023, the water state of Lake Zadovzhe is “good” (4 points) in terms of abundance, and varies from “good” (4 points) to “excellent” (5 points) in terms of biomass. In terms of total phytoplankton biomass, the water of Lake Zadovzhe belongs to the II quality class (fairly clean). The Shannon index during 2022 and 2023 is within the range of 1.52–4.00 and 1.79–4.38 bits/mg in terms of biomass, and in terms of abundance – 2.11–3.63 and 2.82–4.45 bits/individual. The saprobity index ranges from 1.49 to 2.27 (2022, clean, slightly polluted water) and 1.50–1.81 (2023, clean, fairly clean water). According to the studied phytoplankton indicators the aquatic ecosystem of slow water exchange corresponds to a high level of stability. *Key words*: species richness, lake, abundance, biomass, dominants, indicators of stability, leading genera, saprobity, Shannon index.

Постановка проблеми. Озера, як гідроекосистеми уповільненого водообміну, характеризуються особливостями походження, утворення, живлення, специфічністю течії, дією та інтенсивністю антропогенного тиску. Окреслені параметри впливають на формування хімічного складу води, стан та роз-

виток біоти у гідроекосистемі. Оцінювання стійкості озерної екосистеми передбачає низку підходів та включає різноманітні індикатори. Проте стійкість водного середовища найкраще відображають структурно-функціональні показники фітопланктону.

Актуальність дослідження. Критичні зміни, що відбуваються у водоймі, звісно можна оцінити порівнявши показники хімічного складу води з нормативними значеннями. Однак про розвиток деградаційних процесів у водоймі свідчить саме стан біоти (фітопланктону, зоопланктону, риби, вищої водної рослинності тощо). Зокрема, під час відчутних змін якості води порушується безпечний розвиток біоти і вона втрачає здатність не лише регулювати середовище свого проживання, але й зумовлює суттєве його погіршення внаслідок повної чи часткової загибелі. Найперше реагує на несприятливі впливи надчутлива автотрофна ланка – фітопланктон. Саме тому, особливий інтерес зосереджений на вивченні кількісних та якісних показників, структури та індивідуальних характеристик видів фітопланктону як індикаторів, що показують реальний стан гідроекосистеми, її стійкість чи вразливість.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. До індикаторів стійкості водних екосистем за фітопланктоном належать чисельність, біомаса, видове багатство, структурна організація домінуючого комплексу, співвідношення відділів *Chlorophyta* : *Bacillariophyta* : *Cyanobacteria*, індекс Шеннона та сапробності тощо. За оптимальних умов проживання зміни відбуваються поступово без виходу гідроекосистеми за певні межі (стійкості). Відгук на стресові умови зумовлює швидку перебудову структурно-функціональних показників фітопланктону. Різка зміна цих характеристик призводить до впливу на весь трофічний ланцюг і повернення до вихідного стійкого положення більш складне чи неможливе. У зазначеному контексті важливо вивчати і враховувати основні причини порушень та шляхом прогнозування стійкості водних систем на основі даних фітопланктону регулювати можливі незворотні зміни чи руйнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінювання стійкості водних екосистем з метою запобігання втрати видового багатства, погіршення якості води, розвитку деградаційних змін, порушень самоочищення спричиняє активне наукове обговорення науковців [2, 3, 5, 6, 8]. Ними розглянуто та запропоновано низку підходів та критеріїв, регуляторних механізмів, які необхідно врахувати, щоб визначити стан стійкості екосистеми та можливість її повернення у вихідний, комфортний для біоти стан. Наприклад, за показниками гідробіонтів (чисельність, біомаса, кількість видів, співвідношення груп) та зміною якості води (концентрація розчиненого кисню, сполук Нітрогену, фосфору, фосфатів тощо) будують діаграми, що відображають швидкість проходження сукцесій за різних екологічних умов [2, 6, 8]. Відповідно такі сукцесійні зміни призводять до виключення тих чи інших видів з водної екосистеми. Водночас раптове перебудова відділів фітопланктону, зникнення видів з угруповання

вже може свідчити про порушення його стійкості. Види, які мають більшу адаптованість, утворюють більш-менш стійке угруповання, проте, воно вже характеризується іншими особливостями та новими умовами проживання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Складність оцінювання стійкості водних екосистем уповільненого водообміну насамперед полягає у відсутності єдиного підходу. Крім того, найбільш дослідженими водними об'єктами залишаються річки. Багато водойм уповільненого водообміну (наприклад, озера) є мало дослідженими не лише за гідрохімічними показниками, але і за видовим багатством фітопланктону. Водночас для оцінки стійкості водної екосистеми оз. Задовже важливо проаналізувати дані за декілька років, щоб розрізнити природні зміни (зокрема пов'язані зі старінням водойми) та ті, які викликані порушенням стійкості.

Новизна. Уперше оцінено стійкість водної екосистеми уповільненого водообміну (оз. Задовже) за структурно-функціональними показниками фітопланктону. Встановлено особливості розвитку (чисельність, біомаса, видове багатство, склад домінуючого комплексу, індекси сапробності та Шеннона) фітопланктону оз. Задовже.

Методологічне або загальнонаукове значення. Оцінювання стану оз. Задовже за фітопланктоном дозволяє визначити його стійкість чи вразливість, сприяє доповненню, до вже існуючих, відомостей про чинники регулювання розвитку біоти.

Викладення основного матеріалу. Озеро Задовже знаходиться у північно-західній частині Рівненської обл. і належить до території Нобельського національного природного парку. Площа водного дзеркала оз. Задовже становить 0,60 км², а глибина досягає на окремих ділянках 19 м. Береги та дно оз. Задовже піщані. З одного боку протяжності озера розташоване с. Заозір'я, а з іншого берега – ліс. Вища водна рослинність досить різноманітна. Добре представлені наступні види: *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Elodea canadensis* Michx., *Stratiotes aloides* L., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton natans* L., *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. та інші.

Для визначення фітопланктону проби води відбирали з глибини 0,2–0,3 м шляхом наповнення пластикових ємностей об'ємом 0,5 дм³ з подальшим консервуванням формаліном. Проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм³ після відстоювання. Камеральна обробка проб, що передбачала визначення видового складу, біомаси та чисельності, проводилась з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, (Germany)). Підрахунок клітин здійснювали за допомогою камери Нажотта об'ємом 0,02 см³. Клітини рахували в трьох повторностях. Розрахунково-об'ємним методом визначали біомасу

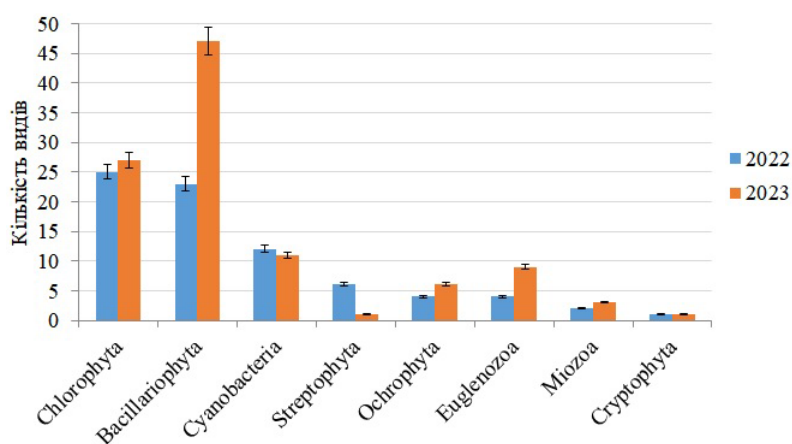


Рис. 1. Таксономічний склад фітопланктону оз. Задовже (2022–2023 рр.)

[4]. Таксономічна номенклатура водоростей наведена згідно міжнародного електронного каталогу *AlgaeBase* [7]. Індикаторні особливості водоростей наведені відповідно до літературних джерел [6].

Фітопланктон оз. Задовже представлений 76 видами (77 внутрішньовидовими таксонами (ввт.)) у 2022 р. та 100 видами (105 ввт.) у 2023 р., які належать до восьми відділів (рис. 1).

За флористичним відношенням найбільш представлені види відділів *Chlorophyta* (32,5 % загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (29,9 %), *Cyanobacteria* (15,6 %) і *Streptophyta* (7,8 %) у 2022 р. та *Bacillariophyta* (44,8 %), *Chlorophyta* (25,7 %), *Cyanobacteria* (10,5 %) і *Euglenozoa* (8,6 %) у 2023 р. Найвищі значення родового коефіцієнту виявлені у відділі *Ochrophyta* (2022 р. – 2,0; 2023 р. – 3,0). Максимальна кількість видів фітопланктону зафіксована у серпні (46) 2022 р. та липні (56) 2023 р. (рис. 2).

У 2023 р. суттєво збільшилася кількість видів відділу *Bacillariophyta* та *Euglenozoa*. Представники відділу *Euglenozoa* є індикаторами органічного забруднення. Однак ідентифіковані у водоймі *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg та *Euglena sp.* домінують за біомасою лише у червні. Впродовж інших місяців є субдомінантами або їхня біомаса та чисельність незначна, тому вони несуттєво впливають на якість води озера.

Відомо, що водні екосистеми з більшим видовим багатством, як правило, стійкіші до зовнішніх впливів. Присутність у воді декількох видів з одного роду свідчить про оптимізацію природних умов. Найвищим видовим багатством впродовж 2022 р. відзначаються роди *Navicula* Bory (3 види) – *Bacillariophyta*, *Schroederia* Lemmermann (3 види) – *Chlorophyta*, *Staurastrum* Meyen ex Ralfs (3 види) – *Streptophyta*. Виявлені види, що належать до роду *Navicula* є індикаторами мезоевтрофних, помірно забруднених вод. Види роду *Schroederia* відносяться до оліго-альфа-мезосапробіонтів і бета-олігосапробіонтів, а види роду *Staurastrum* також належать до бета-олігосапробіонтів і розвиваються в помірно

забрудненій воді. Представленість зазначених видів свідчить про стійкість водної екосистеми.

Під час ідентифікації фітопланктону у 2023 р. найбільшим видовим багатством характеризуються роди *Nitzschia* Hassall (6 видів), *Gomphonema* Ehrenberg (5 видів), *Navicula* Bory (4 види), *Sellaphora* Mereschowsky (3 види), *Epithemia* Kützinger (3 види) – *Bacillariophyta*, *Trachelomonas* Ehrenberg (4 види) – *Euglenozoa*, *Dinobryon* Ehrenberg (3 види) та *Mallomonas* Perty (3 види) – *Ochrophyta*. Ідентифіковані види роду *Nitzschia* є індикаторами помірно забрудненої та забрудненої води оскільки належать до альфа-олігосапробіонтів, оліго-альфа-мезосапробіонтів, бета-мезосапробіонтів, еврисапробів і сапрофілів. Виявлені види роду *Navicula* у 2023 р. відносяться до бета-мезосапробіонтів, олігосапробіонтів та евросапробів, які приурочені до чистих і помірно забруднених вод. Види роду *Sellaphora* належать до оліго-бета-мезосапробіонтів, оліго-альфа-мезосапробіонтів, сапроксенів, а види роду *Epithemia* відносяться до олігосапробіонтів, оліго-бета-мезосапробіонтів, сапроксенів та еврисапробів, що свідчить про їхній розвиток у чистих і помірно забруднених водах. Види роду *Trachelomonas* (бета-мезосапробіонти) є індикаторами помірно забрудненої води. Присутність видів родів *Dinobryon* та *Mallomonas* свідчить про стійкість екосистеми. Зокрема, виявлені види роду *Dinobryon* (олігосапробіонти та оліго-бета-мезосапробіонти) є індикаторами чистої води. Представники роду *Mallomonas* (олігосапробіонти та оліго-альфа-мезосапробіонти) є індикаторами чистої та помірно забрудненої води.

Також стійкість чи вразливість водної екосистеми відображають види, що домінують за біомасою та чисельністю. Фітопланктон оз. Задовже впродовж 2022–2023 рр. характеризується полідомінантною структурою (табл. 1).

Види-домінанти представлені 7 відділами. Високої чисельності досягали види відділу *Cyanobacteria*, в тому числі ті, що викликають цвітіння води (наприклад, *Microcystis pulverea* (H. C. Wood) Forti та

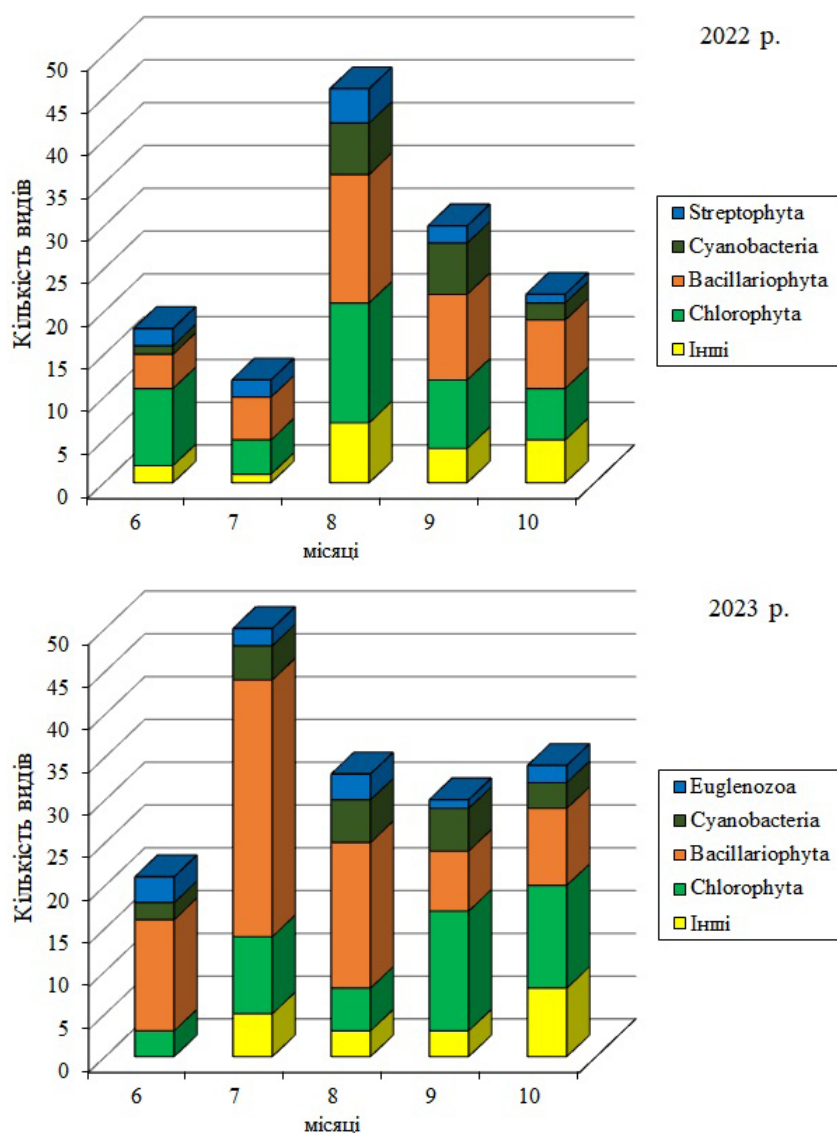


Рис. 2. Зміна видового багатства фітопланктону оз. Задовже (2022–2023 рр., червень–жовтень)

Aphanizomenon flos-aquae Ralfs ex Bornet & Flahault). Проте інтенсивного «цвітіння» води оз. Задовже не спостерігається, оскільки показники біомаси досить низькі. У 2023 р. (серпень–жовтень) за чисельністю домінувала *Lyngbya* sp. (18,5–32,2 %). Впродовж 2022–2023 рр. найчастіше зустрічається великоклітинний вид відділу Miozoa – *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin. Біомаса *C. hirundinella* змінюється від 35,7 % до 77,5 % (2022 р.) та від 27,0 % до 56,6 % (2023р.). Вид відповідає олігосапробній зоні (II клас якості – чиста вода). Серед інших видів-домінантів не спостерігається чіткої закономірності їхнього поширення впродовж 3–5 місяців. Однак полідомінантна структура угруповання свідчить про оптимальні умови для розвитку видів.

До показників стійкості екосистем відносять значення загальної біомаси та чисельності. Зокрема біомаса водоростей забезпечує інтенсивність енергетичних потоків між фітопланктоном та іншими

гідробіонтами, специфічність фотосинтетичного насичення води киснем, колообіг речовин тощо [1]. Оптимальні значення, як біомаси так і чисельності видів, сприяють самоочищенню водойми, проте, надмірне зростання цих показників призводить до евтрофікації.

Чисельність фітопланктону у воді оз. Задовже варіює від 516 тис. кл/дм³ до 5614 тис. кл/дм³, а біомаса – від 0,3048 мл/дм³ до 0,8246 мл/дм³ у 2022 р. (рис. 3).

Впродовж 2023 р. чисельність та біомаса фітопланктону зменшується у порівнянні з попереднім роком. Так, чисельність змінюється від 311 тис. кл/дм³ до 846 тис. кл/дм³, а біомаса – від 0,1039 мл/дм³ до 0,6879 мл/дм³.

За чисельністю фітопланктону екологічний стан оз. Задовже впродовж 2022 р. відповідає категорії «задовільний» (3 бали), а за біомасою змінюється від «відмінного» (5 балів) до «доброго» (4 бали).

Таблиця 1

Домінуючий комплекс фітопланктону оз. Задовже за чисельністю та біомасою (2022–2023 рр.), %

Види	місяці									
	6		7		8		9		10	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
CYANOBACTERIA										
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	25,5 0,7	–	–	–	+	–	+	–	–	–
<i>Microcystis pulverea</i> (H. C. Wood) Forti	–	–	–	–	56,1 1,8	–	59,1 1,0	15,8 0,1	–	20,9 0,1
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	–	–	–	–	18,5 3,6	–	–	–	–	–
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	–	39,4 5,1	–	20,1 0,9	–	17,7 0,4	–	11,2 1,1	19,4 1,1	–
<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebahn) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek	–	–	–	13,0 0,9	–	–	–	–	–	–
<i>Limnithrix planctonica</i> (Wołoszyńska) Meffert	–	–	–	11,8 0,3	–	–	–	–	–	–
<i>Gloeocapsopsis magma</i> (Brébisson) Komárek & Anagnostidis ex Komárek	–	–	–	–	–	+	–	5,8 10,4	–	–
<i>Oscillatoria</i> sp.	–	23,6 4,2	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Anabaena</i> sp.	–	–	–	–	–	11,3 0,4	–	–	–	–
<i>Lyngbya</i> sp.	–	–	–	–	–	30,5 0,3	–	32,2 1,2	+	18,5 0,7
CHLOROPHYTA										
<i>Oocystis submarina</i> Lagerheim	12,8 1,2	–	+	–	+	–	+	–	–	–
<i>Hindakia tetrachotoma</i> (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz	27,3 1,9	–	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Heleochloris pallida</i> Korshikov	–	–	44,5 2,7	–	–	–	–	–	–	–
STREPTOPHYTA										
<i>Closterium acutum</i> Brébisson	11,2 7,4	–	+	–	+	–	+	–	–	–
MIOZOA										
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin	2,1 77,5	–	0,6 39,6	0,6 27,0	0,2 35,7	2,3 47,4	0,3 45,1	0,4 56,6	–	–
BACILLARIOPHYTA										
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	–	6,0 14,4	32,9 42,7	–	–	–	+	–	–	–
<i>Tabularia tabulata</i> (C.Agardh) Snoeijs	–	–	–	–	+	+	2,2 10,6	–	–	+
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.Müller) Simonsen	–	+	+	+	+	–	+	–	17,4 14,8	–
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) D. M. Williams & Round	+	–	–	–	–	–	–	–	13,2 26,8	–
<i>Cyclotella</i> sp.	–	–	+	+	+	+	+	8,4 13,1	+	+
OCHROPHYTA										
<i>Mallomonas ploesslii</i> Perty	–	–	–	–	–	–	+	–	5,0 27,3	+
<i>Mallomonas longiseta</i> (Lemmermann) Lemmermann	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,5 24,7
EUGLENOZOA										
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	6,3 21,9	–	+	+	+	–	+	–	+
<i>Euglena</i> sp.	–	0,8 11,1	–	+	+	+	–	–	–	–

Примітка: чисельник – чисельність, знаменник – біомаса; – – види не зафіксовано; + – види зафіксовано, але вони не входять до складу домінантів або є субдомінантами

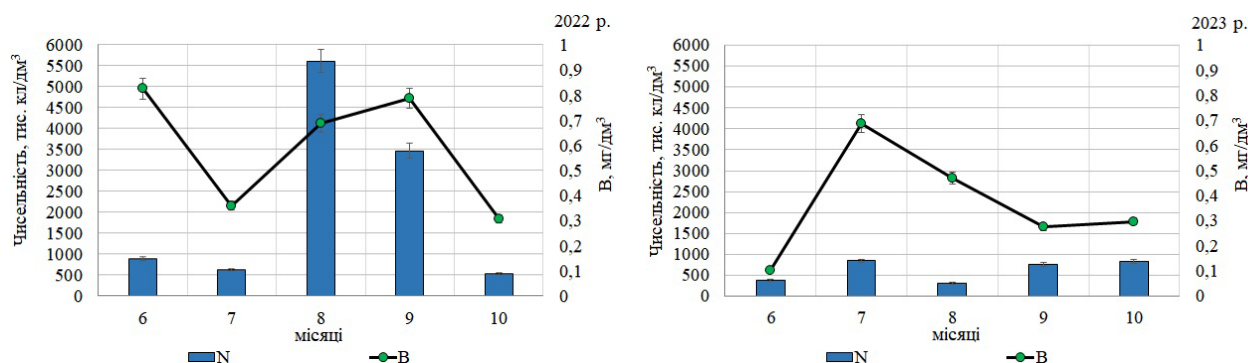


Рис. 3. Зміна кількісних показників фітопланктону оз. Задовже (2022–2023 рр., червень–жовтень)

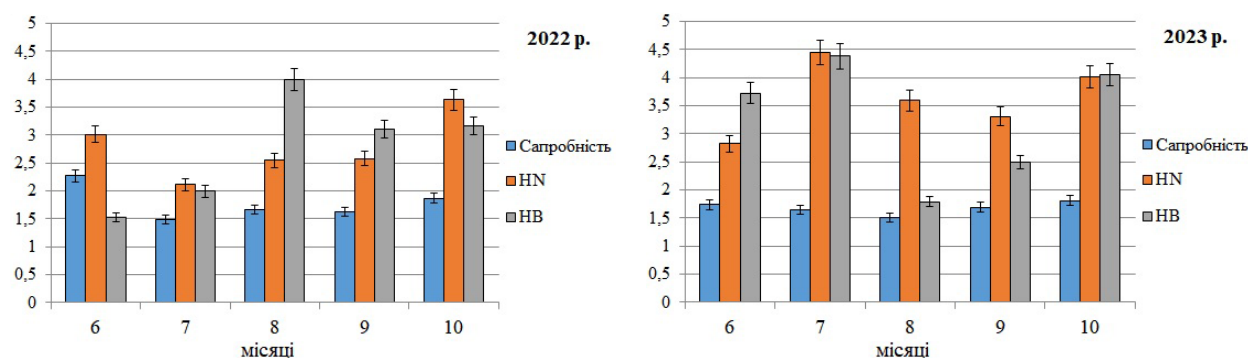


Рис. 4. Зміна індексів сапробності та Шеннона (за чисельністю та біомасою) фітопланктону оз. Задовже (2022–2023 рр., червень–жовтень)

У 2023 р. стан води оз. Задовже за чисельністю належить до «доброго» (4 бали), а за біомасою – до «доброго» (4 бали) та «відмінного» (5 балів). Загалом за значеннями показників біомаси фітопланктону вода оз. Задовже впродовж 2022–2023 рр. відповідає II класу якості (досить чиста).

Індекси сапробності та Шеннона представлені на рисунку 4.

Індекс Шеннона за чисельністю варіює від 2,11 біт/екз (липень) до 3,63 біт/екз (жовтень), а за біомасою – від 1,52 біт/мг (червень) до 4,0 біт/мг (жовтень) у 2022 р. За умови значень індексу ≥ 2 фітопланктон характеризується полідомінантним складом. Проте у червні дуже високих показників біомаси досягав лише один вид *C. hirundinella* (77,5 %), тому показник Шеннона знижений. Впродовж решти місяців спостерігається полідомінантний склад. За індексом сапробності вода оз. Задовже у 2022 р. змінюється від α -олігосапробної (1,49, липень) до β -мезосапробної (2,27, червень) зони та відповідає II–III класам якості (чиста, слабо забруднена).

Впродовж 2023 р. індекс Шеннона за чисельністю змінюється від 2,82 біт/екз (червень) до 4,45 біт/екз (липень), а за біомасою – від 1,79 біт/мг (серпень) до 4,38 біт/мг (липень). Низький індекс Шеннона у серпні зумовлений високими показниками біомаси одного виду – *C. hirundinella* (77,4 %). У 2023 р. індекс сапробності коливається від α -олігосапробної (1,50, серпень) до β -мезосапробної (1,81, жовтень) зони та належить до II класу якості (чиста, досить чиста вода).

Таким чином, видові, кількісні та якісні показники фітопланктону свідчать про стійкість водойми уповільненого водообміну.

Головні висновки. Фітопланктон оз. Задовже формують види 8 відділів (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*). У 2022 р. ідентифіковано 76 (77) видів та ввт., у 2023 р. – 100 (105) видів та ввт. За флористичним відношенням відділи представлені наступним чином: 2022 р. – *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria* > *Streptophyta*; 2023 р. – *Bacillariophyta* > *Chlorophyta* > *Cyanobacteria* > *Euglenozoa*. Найвищий родовий коефіцієнт характерний для відділу *Ochrophyta* (2,0 у 2022 р. та 3,0 у 2023 р.).

Найбільшою кількістю видів представлені роди *Navicula* Bory (3 види), *Schroederia* Lemmermann (3 види), *Staurostrum* Meyen ex Ralfs (3 види) у 2022 р. та *Nitzschia* Hassall (6 видів), *Gomphonema* Ehrenberg (5 видів), *Navicula* Bory (4 види), *Sellaphora* Mereschowsky (3 види), *Epithemia* Kützing (3 види), *Trachelomonas* Ehrenberg (4 види), *Dinobryon* Ehrenberg (3 види) та *Mallomonas* Perty (3 види) у 2023 р. Види, що належать до зазначених родів (за винятком деяких видів роду *Nitzschia*), розвиваються у чистих і помірно забруднених водах, що свідчить про комфортні умови існування та стійкість водойми уповільненого водообміну.

За біомасою (35,7–77,5 %, 2022 р. та 27,0–56,6 %, 2023 р.) впродовж 2022–2023 рр. вирізняється *C. hirundinella*, який належить до олігосапробної зони

та відповідає II класу якості (чиста вода). Чисельність фітопланктону у воді оз. Задовже змінюється від 516 тис. кл/дм³ до 5614 тис. кл/дм³ (2022 р.) та від 311 тис. кл/дм³ до 846 тис. кл/дм³ (2023 р.). Біомаса варіює від 0,3048 мл/дм³ до 0,8246 мл/дм³ (2022 р.) та від 0,1039 мл/дм³ до 0,6879 мл/дм³ (2023 р.).

Впродовж 2022–2023 рр. за загальними значеннями біомаси фітопланктону вода оз. Задовже досить чиста (II клас якості). Структура фітопланктону, за винятком окремих місяців, полідомінантна. Вода оз. Задовже за індексом сапробності чиста, слабо забруднена (II–III клас якості) у 2022 р. та чиста, досить чиста (II клас якості) у 2023 р.

Таким чином, за дослідженими індикаторами (видовим багатством, представленістю відділів,

чисельністю, біомасою, структурною організацією домінуючого комплексу, індексами Шеннона та сапробності) оз. Задовже оцінено як екосистему з високим рівнем стійкості.

Перспективи використання результатів дослідження. Ідентифіковані види фітопланктону є суттєвим доповненням відомостей щодо флори водоростей карстових озер України. Виявлені структурно-функціональні показники фітопланктону можуть бути використані у подальших моніторингових дослідженнях для оцінки впливу чинників середовища на угруповання водоростей з метою виокремлення критеріїв опису стану стійкості водойм уповільненого водообміну та прогнозування змін якості води.

Література

1. Бондар О. І., Коротецький В. П., Щербак В. І., Сидоренко О. В. Біорізноманіття, якість води й основні фізико-хімічні показники суббасейну великих придунайських озер і водосховища Сасик в осінньо-зимовий період. *Екологічні науки*. 2020. № 5. С. 70–81. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.11>
2. Зотов А. Порівняльний аналіз національних і європейських методик оцінки якості водного середовища за допомогою індикаторів фітопланктону. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 67. С. 3–17.
3. Суходольська І. Л., Грубінко В. В. Основні підходи до оцінювання стійкості водних екосистем. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія*. 2021. С. 55–69.
4. Щербак В. І. Методи досліджень фітопланктону. У кн.: *Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем*. Київ, 2002. С. 41–48.
5. Юзевич В. М., Бондар Г. Ю. Критерії екологічної стійкості в озерознавстві. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2021. 4(1). С. 154–160.
6. 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.
7. Guiry M. D., Guiry G. M. *Algae Base*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. URL: <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 10.12.2023).
8. 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 рукопису до видання: 13.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025