

УДК [502.211:581.526.325]:543.632.567:502(285)(477)
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.12>

ВПЛИВ СПОЛУК НІТРОГЕНУ НА ФОРМУВАННЯ УГРУПОВАНЬ ФІТОПЛАНКТОНУ ОЗЕРА ЗАСВІТСЬКЕ

Суходольська І.Л., Басараба І.В.

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне

iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua, ilona.basaraba@rshu.edu.ua

Досліджено структуру угруповань фітопланктону оз. Засвітське та показано зміни його кількісних показників внаслідок впливу температури води, рН, розчиненого кисню та сполук Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- і NO_3^-). У фітопланктоні озера ідентифіковано 61(62) вид та ввт. з восьми відділів (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*). Виявлено переважання видів з низькою частотою трапляння (клас Е та D – 77,42%). Зафіксовано один вид з найвищою частотою трапляння, що належить до відділу *Streptophyta* (клас А – 1,61%). Встановлено зміни температури води (влітку – 18–22 °С, восени – 12–15 °С), рН (5,8–7,2), розчиненого кисню (8,63–9,44 mgO_2/dm^3), нітрогену амонійного (0,281–0,745 mg/dm^3), нітритів (0,013–1,971 mg/dm^3) та нітратів (0,066–0,975 mg/dm^3). Показано перевищення граничнодопустимих концентрацій нітритів у 3,9–24,6 рази та нітрогену амонійного в 1,5 рази. Підтверджено надходження сполук Нітрогену з дифузних джерел ($\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$). Ймовірними джерелами потрапляння сполук Нітрогену до оз. Засвітське є ведення сільськогосподарства у водозборі (рослинництво), оскільки, забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі практично відсутнє. Виявлено найтіснішу кореляційну залежність між нітритами та температурою води ($r=-0,69$), чисельністю ($r=-0,44$) і загальною кількістю видів ($r=-0,68$). Зазначено високий кореляційний зв'язок між нітратами та температурою води ($r=0,72$), рН ($r=0,71$), O_2 ($r=0,42$), чисельністю ($r=0,66$), біомасою ($r=0,46$), а також кількістю видів ($r=0,60$). Сполуки Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- та NO_3^-) безпосередньо впливають на формування угруповань фітопланктону шляхом зростання, чи навпаки, зниження розвитку відділів водоростей та окремих видів. Найбільше впливає на структуру угруповань фітопланктону оз. Засвітське вміст нітритів та нітратів, що підтверджується виявленими кореляційними зв'язками та зміщенням рівноваги в системі нітрати ↔ нітрити ↔ амоній в бік нітрифікації. Зазначені особливості формують своєрідний видовий склад фітопланктону оз. Засвітське, що виражається у зміні типового для озер співвідношення водоростей, зростання ролі *Streptophyta* та повного зникнення восени *Cyanobacteria*. **Ключові слова:** видове багатство, частота трапляння, розчинений кисень, активна реакція води, температура води, зміщення рівноваги в системі нітрати ↔ нітрити ↔ амоній, кореляційні зв'язки.

The nitrogen compounds impact on the phytoplankton communities development in lake Zaslitske. Sukhodolska I., Basaraba I.

The study researches the structure of phytoplankton communities in lake Zaslitske and demonstrates the changes in its quantitative indicators as a result of water temperature impact, pH impact, dissolved oxygen and nitrogen compounds (NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^-) impact. In lake phytoplankton the author identifies 61(62) species and taxon within species from eight divisions (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* and *Cryptophyta*). It has been revealed predominance of species with a low occurrence frequency (class E and D – 77,42%). The study defines one species with the highest occurrence frequency that belongs to the division of *Streptophyta* (class A – 1,61%). It has been defined the changes in water temperature (in summer it was 18–22 °C, in autumn – 12–15°C), pH (5,8–7,2), dissolved oxygen (8,63–9,44 mgO_2/dm^3), ammonium nitrogen (0,281–0,745 mg/dm^3), nitrites (0,013–1,971 mg/dm^3) and nitrates (0,066–0,975 mg/dm^3). The study covers the exceeding of nitrites maximum permissible concentrations 3,9–24,6 times and ammonium nitrogen ones 1,5 time. The author confirms the flow of the nitrogen compounds from diffuse sources ($\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$). A probable source of the nitrogen compounds flow into lake Zaslitske is farming in the catchment (plantation) as pollution from diffuse sources of the livestock sector is practically absent. It has been revealed the closest correlation between nitrites and water temperature ($r=-0,69$), number ($r=-0,44$) and total number of species ($r=-0,68$). The study defines high correlations between nitrates and water temperature ($r=0,72$), pH ($r=0,71$), O_2 ($r=0,42$), number ($r=0,66$), biomass ($r=0,46$), and the amount of species ($r=0,60$). The nitrogen compounds (NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^-) directly affect the development of phytoplankton communities by increasing or, vice versa, decreasing the development of algae divisions and individual species. In lake Zaslitske nitrites and nitrates concentration impact on the phytoplankton communities structure most that is confirmed with revealed correlations and balance shifts in a system of nitrates ↔ nitrites ↔ ammonium towards nitrification. Mentioned characteristics develop peculiar species composition for phytoplankton in lake Zaslitske that is presented in changes of typical algae ratio in lake, increasing of *Streptophyta* importance and total *Cyanobacteria* disappearance in autumn. **Key words:** species richness, occurrence frequency, dissolved oxygen, water active reaction, water temperature, equilibrium shift in the nitrates ↔ nitrites ↔ ammonium system, correlations.

Постановка проблеми. Водойми уповільненого водообміну, до яких належать озера, зазнають як природного, так і антропогенного тиску. Наслідки цього впливу найкраще відображає гідрохімічний режим водойми та стан її біоти. Насамперед зміни відбуваються у автотрофній ланці – фітопланктоні. Формування угруповань фітопланктону та його

продуктивність суттєво залежать від вмісту неорганічних сполук Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- та NO_3^-) у гідроекосистемі.

Актуальність дослідження. У межах допустимих концентрацій сполуки Нітрогену регулюють стійкість водних екосистем та підтримують нормальну життєдіяльність усіх гідробіонтів. Проте

перевищення нормативних показників сполук Нітрогену, внаслідок точкових, дифузних чи інших джерел потрапляння, призводить до забруднення, розвитку евтрофікації, що викликає зростання чисельності, біомаси та видового багатства водної флори, погіршення якості води, посилення токсичного впливу на біоту, порушення самоочисної та самовідновної функцій водної екосистеми. Зміна концентрації сполук Нітрогену у воді, чи зміщення їх рівноваги, впливає на фотосинтез, азотний обмін, ріст, розвиток, дихання та інші фізіологічні процеси організмів. Саме тому, особливий інтерес зосереджений на вивченні вмісту сполук Нітрогену у воді, можливого зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітриту ↔ нітрата та їхнього впливу на видове багатство, чисельність, біомасу, структурну організацію домінуючого комплексу, що відображають стан фітопланктону та водночас і здоров'я всієї гідроекосистеми.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. Сполуки Нітрогену, в залежності від форм знаходження у воді, безпосередньо впливають на формування угруповань фітопланктону шляхом зростання, чи навпаки, зниження розвитку деяких груп водоростей. Суттєве збільшення частки домінування представників тих чи інших відділів фітопланктону та раптове зростання їхньої чисельності та біомаси, в тому числі і тих, які викликають «цвітіння» води, змінює існуючі консортивні зв'язки, порушує баланс видів (співвідношення представників різних відділів) та погіршує якості води. Як високі концентрації сполук Нітрогену у водоймі, так і низькі, негативно впливають на структуру угруповань фітопланктону, тому важливо вивчати та враховувати основні причини порушення рівноваги в системі амоній ↔ нітриту ↔ нітрата.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив різних концентрацій сполук Нітрогену на формування угруповань фітопланктону показано у експериментальних та природних умовах [1, 8, 11–13, 15–17]. Найчастіше збільшення вмісту нітратів стимулює розвиток фітопланктону, а реакція на зростання нітрогену амонійного у воді залежить від рівня його концентрації, конкретного виду та відділу [7, 9, 15–17]. Зазвичай, високий вміст нітрогену амонійного негативно впливає на фітопланктон, проте, клітини рослин здатні знижувати токсичний ефект завдяки амонійзв'язуючим властивостям. За здатністю зв'язувати амоній відділи фітопланктону розподіляються наступним чином: *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria*. Відповідно зелені водорості мають найкращу здатність зв'язувати амоній, тому існують за відносно високих концентрацій нітрогену амонійного, а синьозелені пригнічуються через значно нижчу активність детоксикації аміаку [1].

За умов дефіциту різних форм Нітрогену конкуренція між відділами фітопланктону більш помітна та

проявляється у зміні складу домінуючого комплексу, біомаси, чисельності та інших показників [8, 18].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Моніторингові дослідження стану водних екосистем включають озера, проте, основна перевага надається середнім, великим чи дуже великим за площею водного дзеркала. Багато малих та дуже малих озер не досліджені взагалі або наведені експериментальні дані лише частково відображають стан водойми. Наприклад, за окремі місяці, сезони чи ще коротший період часу. Відсутність результатів досліджень гідрохімічного складу води та фітопланктону малих озер часто не дозволяє проаналізувати та порівняти зміни, що відбуваються впродовж більш тривалого періоду та пояснити сукцесійні процеси, старіння водойми чи інші особливості. До малих водних об'єктів відносять оз. Засвітське, яке потребує детального вивчення автотрофної ланки та вмісту сполук Нітрогену, оскільки вони впливають на видове багатство, домінуючий комплекс та загалом визначають складність структури угруповань.

Новизна. Уперше досліджено фітопланктон оз. Засвітське та показано його сезонні зміни внаслідок впливу температури води, рН, розчиненого кисню та вмісту сполук Нітрогену.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вивчення вмісту сполук Нітрогену у воді озера Засвітське та їхнього впливу на формування угруповань фітопланктону сприяють доповненню, до вже існуючих, відомостей про чинники регулювання розвитку біоти у водних об'єктах карстового походження.

Викладення основного матеріалу. Озеро Засвітське розташоване у північно-західній частині Рівненської області. Озеро має карстове походження та входить до складу Нобельського національного природного парку. Середня глибина оз. Засвітське становить 12,7 м, а максимальна – 16 м. Площа водозбору складає 0,71 км². Довжина озера 0,62 км, а середня ширина варіює в межах 0,35 км. Площа водного дзеркала оз. Засвітське становить 0,22 км². Береги озера вкриті різнотрав'ям та деревною рослинністю (наприклад, *Pinus sylvestris* L., *Betula verrucosa* Ehrh., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) [14]. Також добре представлена вища водна рослинність – *Elodea canadensis* Michx., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha latifolia* L., *Stratiotes aloides* L., *Myriophyllum spicatum* L. та інші види.

Проби води для проведення гідрохімічного аналізу оз. Засвітське (червень–жовтень, 2022 р.) та визначення фітопланктону (червень–жовтень, 2022 р.) відбирали щомісяця (51°52'35.0"N 25°44'10.1"E). Вміст амонію визначали фотометричним методом за якісною реакцією з реактивом Несслера при довжині хвилі 420 нм. Вміст нітриту визначали діазотуванням реактивом Грісса з утворенням з 1-нафтиламином діазосполуки червоно-фіолетового кольору, яку

фотометрували при довжині хвилі 520 нм. Вміст нітратів визначали фотометрично з фенолдісульфокислотою з утворенням нітровмісного фенолу жовтого кольору при довжині хвилі 520 нм [4]. Реакцію водного середовища (рН) визначали за допомогою іоніметра ЭВ-74.

Для визначення складу фітопланктону проби відбирали з глибини 0,2–0,3 м наповнюючи пластикові пробовідбірники об'ємом 0,5 дм³. Проби фіксували 40% розчином формальдегіду. Після відстоювання проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм³. Камеральна обробка проб проводилась з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, Німеччина). Для підрахунку клітин використовували камеру Нажотта об'ємом 0,02 мл. Підрахунок клітин проводили в трьох повторностях. Підрахунок біомаси водоростей здійснювали загальноприйнятим розрахунково-об'ємним методом [6]. Таксономічну номенклатуру водоростей здійснено відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase [10]. Статистичну обробку даних здійснено з використанням програми IBM SPSS Statistic 19.0.

Фітопланктон оз. Засвітське представлений 61 видом (62 внутрішньовидовими таксонами (ввт.)) восьми відділів (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*) (рис. 1).

Видове багатство фітопланктону озера має суттєві сезонні відмінності. Насамперед зафіксовано повне зникнення у вересні та жовтні представників відділу *Cyanobacteria*. 1–2 види відділу *Euglenozoa* виявлено у червні, серпні та вересні. *Euglenozoa* є індикаторами органічного забруднення води, тому вибіркове трапляння видів свідчить про зміни рівня

забруднення водойми. Крім того, стан водойми відображають види, що домінують за біомасою та чисельністю (табл. 1).

Найбільше виявлено видів, які домінують за чисельністю. Високої чисельності та біомаси досягає *S. ellipticum* West & G.S. West. Зазвичай, *S. ellipticum* (*Desmidiaceae*) заселяє водойми з низькою концентрацією органічних речовин. Зафіксовано і інших домінантів за біомасою, однак, важливу роль у формуванні структури угруповань відіграють субдомінанти. Зокрема, влітку (липень, серпень) субдомінанти за біомасою налічують по п'ять видів. Найчастіше субдомінанти представлені видами відділів *Chlorophyta*, *Euglenozoa*, *Streptophyta* та *Bacillariophyta*.

Ранжування видів водоростей за класами частоти трапляння показує, що у фітопланктоні оз. Засвітське переважають види з низькою частотою трапляння (77,42%) (рис. 2).

Найбільше зафіксовано видів, що трапляються «зрідка» (клас Е) – 40,32% та «нечасто» (клас D) – 37,10%. Зокрема, у фітопланктоні оз. Засвітське 9,68% видів трапляються «часто» (клас С). До видів з високою частотою трапляння належать представники відділів *Euglenozoa* – *T. volvocina* (Ehrenberg), *Cyanobacteria* – *M. pulverea* (H.C.Wood) Forti, *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, *Chlorophyta* – *Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald, *Tetrademus obliquus* (Turpin) M.J. Wynne та *Bacillariophyta* – *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal. У оз. Засвітське 11,29% видів трапляються «досить часто» (клас В). Серед них представники відділів *Cyanobacteria* – *S. lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, *Chlorophyta* – *O. submarina* Lagerheim, *Chlamydomonas* sp., *H. tetrachotoma* (Printz) C. Bock,

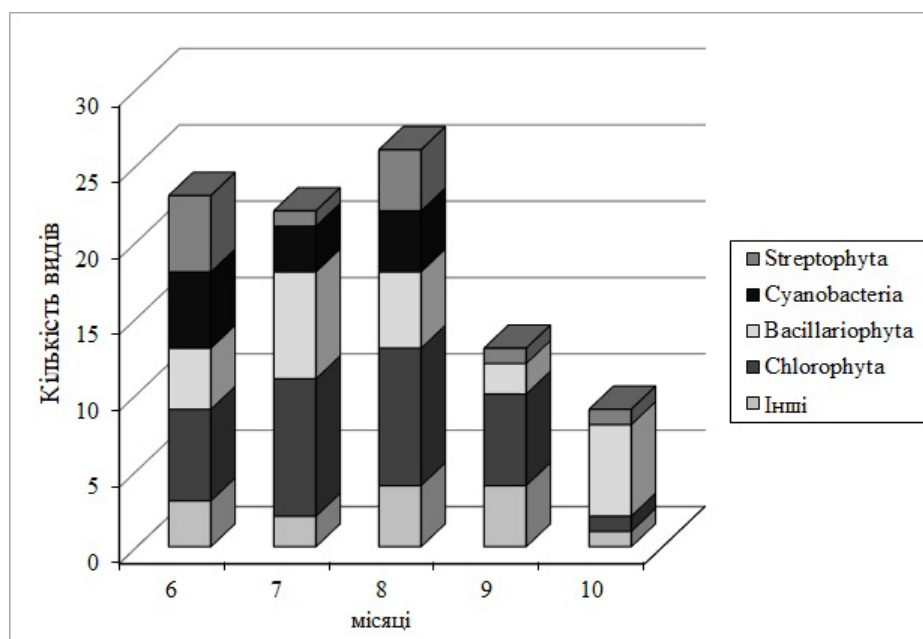


Рис. 1. Зміна видового багатства фітопланктону оз. Засвітське

Таблиця 1

Домінуючий комплекс фітопланктону оз. Засвітське за чисельністю та біомасою, %

Види	місяці				
	6	7	8	9	10
<i>Cyanobacteria</i>					
<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i> (Usachev) P.Rajaniemi, Komárek, R.Willame, P. Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen	–	15 2,8	–	–	–
<i>Microcystis pulverea</i> (H.C.Wood) Forti	–	+	27,9 0,9	–	–
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	11,9 1	16,9 2,2	21,6 4,2	–	–
<i>Spirulina</i> sp.	–	–	13,5 1,3	–	–
<i>Chlorophyta</i>					
<i>Hindakia tetrachotoma</i> (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz	+	+	–	–	22,2 3,7
<i>Ulothrix</i> sp.	–	–	10 19,6	–	–
<i>Oocystis submarina</i> Lagerheim	+	+	+	14,7 3,1	–
<i>Euglenozoa</i>					
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	–	2,9 19,6	+	–
<i>Streptophyta</i>					
<i>Spondylosium ellipticum</i> West & G.S.West	60,6 75,9	5,5 10,5	+	60,7 62,8	37,8 30,1
<i>Bacillariophyta</i>					
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	–	0,3 10,1	–	–	–
<i>Cyclotella</i> sp.	–	+	+	+	11,1 15,7
<i>Miozoa</i>					
<i>Gymnodinium</i> sp.	–	+	–	1,2 12,7	–
<i>Ochrophyta</i>					
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	–	–	–	–	11,1 6,5

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

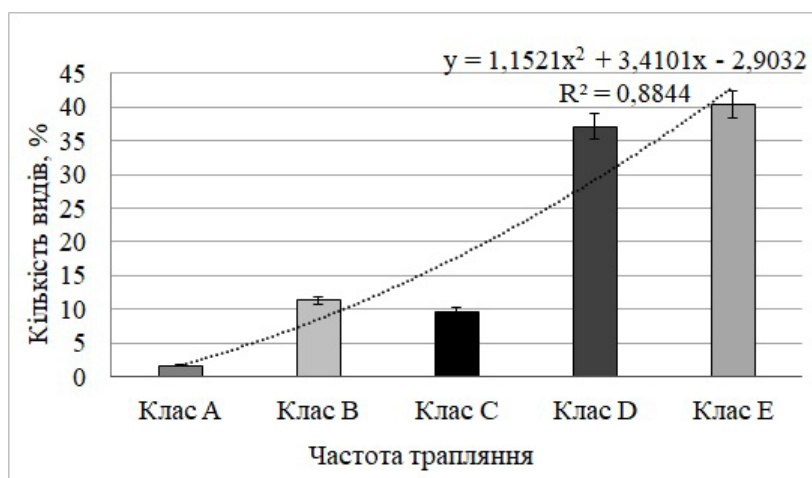


Рис. 2. Розподіл видів фітопланктону за класами частоти трапляння: клас А (81–100%) – види, що трапляються «дуже часто»; клас В (51–80%) – «досить часто»; клас С (21–50%) – «часто»; клас D (5–20%) – «нечасто»; клас E (1–4%) – види, які трапляються «зрідка»

Pröschold & Krienitz та *Bacillariophyta* – *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot, *Cyclotella* sp., *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith. Виявлено також один вид (1,61%), що трапляється «дуже часто» (клас А) – *S. ellipticum* West & G.S.West. Такий розподіл видового складу фітопланктону свідчить про своєрідність умов розвитку угруповань фітопланктону водойми.

На формування структури угруповань фітопланктону та його кількісні показники впливає температура води, рН і вміст розчиненого кисню. Температура води оз. Засвітське змінюється влітку в межах 18–22 °С, а восени – 12–15 °С. Водночас зі зниженням температури води зменшується загальна кількість видів, чисельність та біомаса, що зумов-

лено відмінними температурними оптимумами їхнього розвитку (рис. 3, 4).

Найвищі показники розвитку фітопланктону фіксуються при температурі води 18 °С (червень), а найнижчі – при температурі 12 °С (жовтень). Зокрема, чисельність та біомаса фітопланктону у червні становлять 2822 тис. кл/дм³ і 0,8113 мл/дм³, а у жовтні – 90 тис. кл/дм³ і 0,0361 мл/дм³.

Збільшення температури води до 22 °С зумовлює зменшення чисельності та біомаси фітопланктону, що пов'язано з особливостями вегетації домінуючих видів (рис. 4). Проте, при таких температурних умовах, найвищі показники чисельності виявлено для відділів *Cyanobacteria* (40,1–65,7%) та *Chlorophyta* (21,6–41,3%). Чисельність представни-

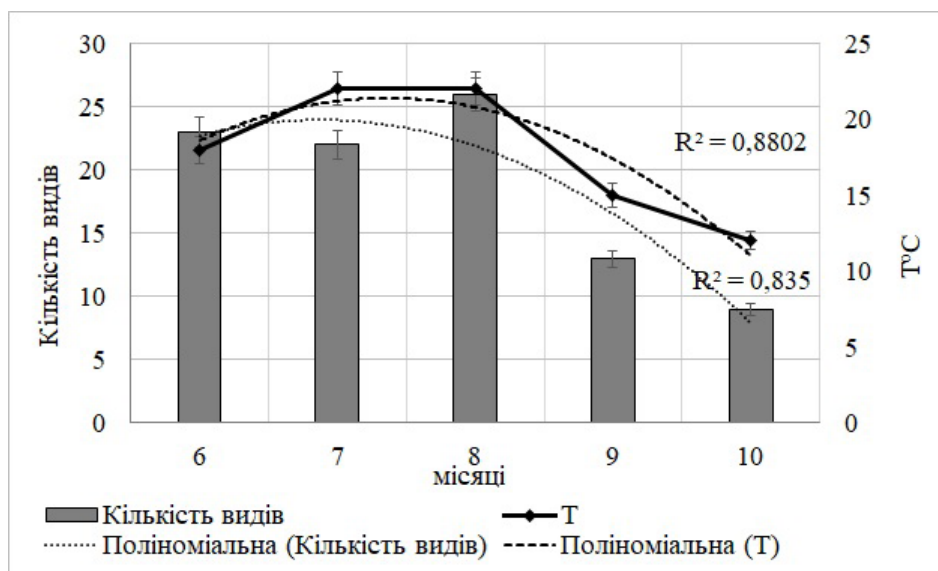


Рис. 3. Кількість видів фітопланктону та температура (Т) води

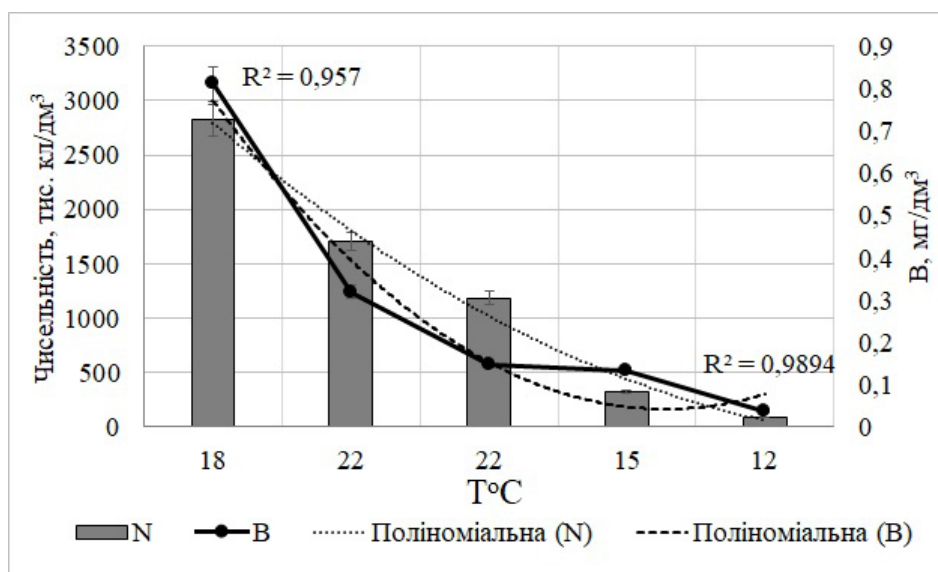


Рис. 4. Зміни чисельності та біомаси за різної температури (Т) води

ків *Bacillariophyta* залишається доволі низькою при температурі 22 °С, хоча їхня біомаса досягає високих значень (42,4%) за рахунок розвитку домінантних та субдомінантних видів. Відомо, що для представників відділу *Bacillariophyta* більш комфортними є нижчі температурні умови. Високі показники біомаси виявлено для представників відділів *Chlorophyta* (31,4–32,1%), *Euglenozoa* (24,9%) та *Streptophyta* (20,7%).

Зниження температури води восени зумовлює повне зникнення зі структури угруповань фітопланктону представників відділів *Cyanobacteria*, хоча їхня чисельність влітку (при температурі 18–22 °С) варіює в межах 27,2–65,7%. Водночас зниження температури води до 12 °С зумовлює зростання чисельності та біомаси представників відділу *Bacillariophyta* (28,9% та 59,7%) та *Streptophyta* (37,8% та 59,7%). Встановлено тісну залежність між кількістю видів та температурою води ($r=0,93$, $p<0,05$), між чисельністю та температурою ($r=0,58$), а також між чисельністю та біомасою ($r=0,94$, $p<0,05$).

Найвищий показник рН виявлено у червні – 7,2, а найнижчий у вересні – 5,8. Впродовж липня і серпня рівень рН знижується, в порівнянні з червнем, та становить 6,75 і 6,04. У жовтні концентрація рН складає – 6,10 (рис. 5). Встановлено залежність

між рН та кількістю видів ($r=0,49$), а також між рН і чисельністю та біомасою ($r=0,92$, $p<0,05$).

Вміст розчиненого кисню у воді впливає на перебіг окисно-відновлювальних процесів та зумовлює зміни структури угруповань фітопланктону. Крім того, інтенсивне використання кисню знижує рН води [3] та впливає на швидкість проходження процесів амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації та азотфікації. Концентрація розчиненого кисню у воді оз. Засвітське змінюється в межах 8,63–9,44 мгО₂/дм³. Впродовж червня та липня вміст розчиненого кисню у воді оз. Засвітське становить 9,22 мгО₂/дм³ та 9,44 мгО₂/дм³. У серпні та вересні вміст кисню знижуються до 8,63 мгО₂/дм³ та 8,96 мгО₂/дм³. У жовтні концентрація розчиненого у воді кисню знову починає зростати до 9,11 мгО₂/дм³ (рис. 5). Встановлено тісну залежність між вмістом розчиненого кисню та рН ($r=0,82$), між вмістом розчиненого кисню та чисельністю і біомасою ($r=0,55$ та $r=0,71$).

На формування угруповань фітопланктону, його чисельність та біомасу впливає зміна концентрації сполук Нітрогену та їхнє співвідношення у воді оз. Засвітське (табл. 2).

Нітроген амонійний та нітрати рівноцінні джерела живлення для фітопланктону, однак, при нейтральному рН краще поглинається NH₄⁺, а при кис-

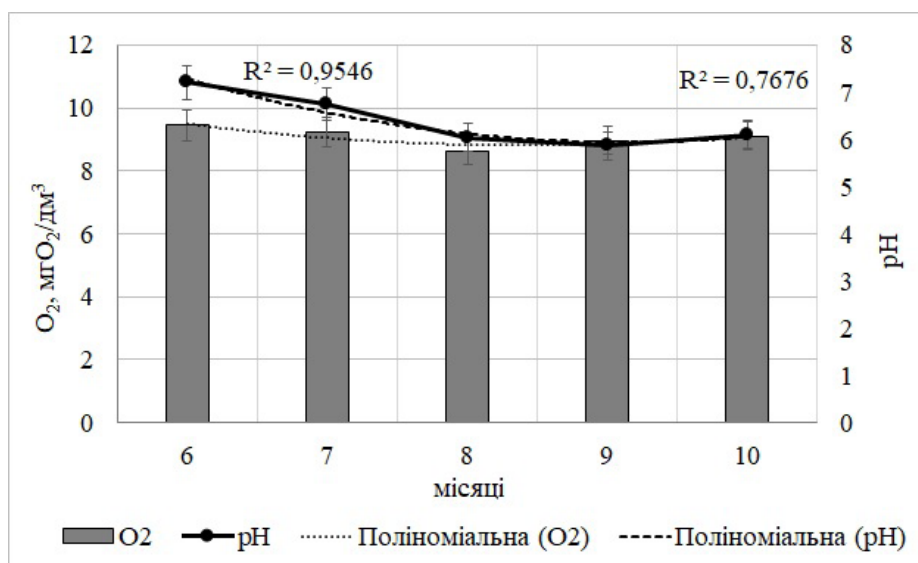


Рис. 5. Зміна концентрації розчиненого кисню та рН у воді оз. Засвітське

Таблиця 2

Вміст сполук Нітрогену у воді оз. Засвітське та їхнє співвідношення

Місяці	Сполуки Нітрогену, мг/дм ³						Співвідношення [NH ₄ ⁺]: [NO ₂ ⁻]: [NO ₃ ⁻]
	NH ₄ ⁺	%	NO ₂ ⁻	%	NO ₃ ⁻	%	
червень	0,281	24,6	0,329	28,8	0,532	46,6	1 : 1,17 : 1,89
липень	0,167	11,5	0,312	21,5	0,975	67,1	1 : 1,87 : 5,84
серпень	0,116	22,8	0,039	7,7	0,354	69,5	1 : 0,34 : 3,05
вересень	0,745	90,4	0,013	1,6	0,066	8,0	1 : 0,02 : 0,09
жовтень	0,051	2,3	1,971	89,6	0,177	8,0	1: 38,65 : 3,47
Середнє	0,272	30,3	0,533	29,8	0,421	39,8	1 : 1,95 : 1,54

лому – NO_3^- . Нітроген амонійний поглинається та засвоюється фітопланктоном значно швидше ніж нітрати. Очевидно, що повільне поглинання зумовлено його попереднім відновленням з NO_3^- до NH_4^+ , а на це потрібні не лише енергетичні ресурси, але і час [16].

Вміст нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське у червні найнижчий за літній період (0,281 мг/дм³). Впродовж липня та серпня концентрація нітрогену амонійного варіює в межах 0,116–0,167 мг/дм³. Низький вміст нітрогену амонійного свідчить про його ефективне біологічне зв'язування, насамперед, за рахунок розвитку за чисельністю (9,6–41,3%) та біомасою (15,6–32,1%) влітку представників відділу *Chlorophyta*, які мають найвищу здатність детоксикації аміаку. Максимальне значення вмісту нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське зафіксовано у вересні (0,745 мг/дм³), що перевищує ГДКрибгосп. у 1,5 рази (ГДКрибгосп.=0,5 мг/дм³). Поглинання фітопланктоном нітрогену амонійного зменшується у вересні, ймовірно, внаслідок зниження рівня рН (5,86) та більш інтенсивного поглинання нітратів. У жовтні концентрація нітрогену амонійного становить лише 0,051 мг/дм³, що зумовлює і різке зниження біомаси *Bacillariophyta* (рис. 6). Встановлено обернену залежність між нітрогеном амонійним та нітратами ($r=-0,41$) і нітридами ($r=-0,51$).

У вересні висока концентрація нітрогену амонійного зумовлює пригнічення розвитку *Cyanobacteria*, а зниження температури води посилює вплив та призводить до повного зникнення представників відділу. Однак біомаса *Chlorophyta*, навпаки, зростає завдяки високим амонійзв'язуючим властивостям.

Концентрація нітратів у воді оз. Засвітське у червні становить 0,532 мг/дм³. У липні вміст нітратів зростає майже вдвічі, однак, знаходиться в межах допустимих значень. Концентрація нітратів у серпні

становить 0,354 мг/дм³, а у вересні суттєво знижується та складає 0,066 мг/дм³. Вже у жовтні вміст нітратів зростає у 2,6 рази та становить 0,177 мг/дм³. Впродовж дослідження вміст нітратів не перевищує ГДК (ГДКрибгосп.=40 мг/дм³). Встановлено тісну залежність між нітратами та температурою води ($r=0,72$), рН ($r=0,71$), вмістом розчиненого кисню ($r=0,42$), чисельністю ($r=0,66$), біомасою ($r=0,46$), а також між нітратами та кількістю видів ($r=0,60$).

Найвищі показники біомаси відділів *Chlorophyta* та *Bacillariophyta* зафіксовано за найбільшої концентрації нітратів у воді оз. Засвітське, що свідчить про оптимальні умови для їхнього розвитку та активне поглинання видами NO_3^- (рис. 7). Водночас зниження вмісту нітратів у серпні, за рахунок його поглинання та інших процесів, призводить до зменшення біомаси усіх відділів. У серпні, незважаючи на зниження вмісту нітратів, біомаса *Bacillariophyta* зростає внаслідок більш активного споживання видами нітрогену амонійного, що призводить до зменшення його концентрацій у жовтні.

Концентрація нітридів у воді оз. Засвітське впродовж червня та липня суттєво не відрізняється та варіює в межах 0,312–0,329 мг/дм³, хоча і перевищує ГДКрибгосп. у 3,9–4,1 рази (ГДКрибгосп.=0,08 мг/дм³). Наступні два місяці вміст нітридів змінюється в межах допустимих значень та становить 0,013 мг/дм³ та 0,039 мг/дм³. У жовтні концентрація нітридів різко зростає до 1,971 мг/дм³, що перевищує ГДК у 24,6 рази. Висока концентрація нітридів, що перевищує ГДК у окремі місяці, ймовірно пов'язана із сповільненням першої фази нітрифікації – окиснення аміаку до азотистої кислоти (нітридів). Крім того, завершення вегетаційного періоду у жовтні зумовлює додаткове надходження нітридів внаслідок відмирання гідробіонтів. Найбільш тісну кореляційну залежність виявлено між нітридами та

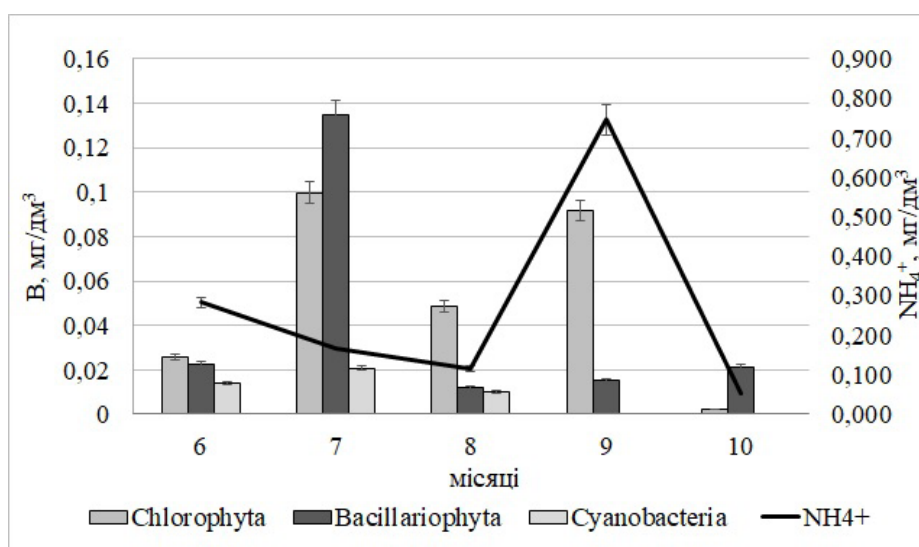


Рис. 6. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітрогену амонійного

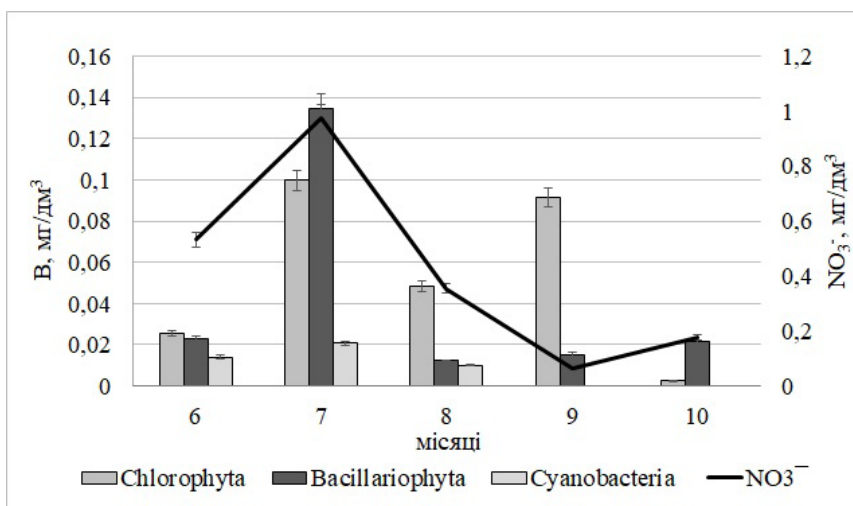


Рис. 7. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітратів

температурою води ($r=-0,69$), чисельністю ($r=-0,44$) і загальною кількістю видів ($r=-0,68$). Негативна кореляція між показниками фітопланктону та NO_2^- підтверджує зниження біомаси за високих концентрацій нітритів та її зростання за відносно низьких значень (рис. 8). Аналогічні закономірності прослідковуються як для біомаси, так і для чисельності.

Сполуки Нітрогену визначають особливості протікання основних біохімічних реакцій рослин, а їхній дефіцит або надлишок у воді обмежує чи прискорює ріст і розвиток конкретних видів та відділів фітопланктону. На видове багатство фітопланктону, рівень трофності та продуктивність водних екосистем найбільше впливають нітроген амонійний і нітрати, а нітрити трохи менше [2]. Ймовірно внаслідок того, що у природних водоймах високі концентрації нітритів фіксуються вкрай рідко. Проте у оз. Засвітське вміст NO_2^- перевищує ГДК впродовж трьох місяців,

а отримані кореляційні показники показують негативний зв'язок між нітритами та кількістю видів і чисельністю. Нітрати, навпаки, згідно кореляційного аналізу сприяють зростанню чисельності, біомаси та збільшенню кількості видів.

Впродовж усіх місяців, за винятком вересня, спостерігали зміщення рівноваги в системі нітрати ↔ нітрити ↔ амоній в бік нітратів (червень–серпень) та нітритів (жовтень), що свідчить про переважання процесу нітрифікації. Максимальні відношення $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ виявлено у липні (5,84), серпні (3,05) та жовтні (3,47). Максимальні відношення $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ виявлено у липні (1,87) та жовтні (38,65).

Відомо, що чинники, які зумовлюють зміщення рівноваги сполук нітрогену досить різноманітні, а їхній вплив може бути як довготривалим, так і короткотривалим. У даному контексті важливо розглянути можливі джерела потрапляння забруд-

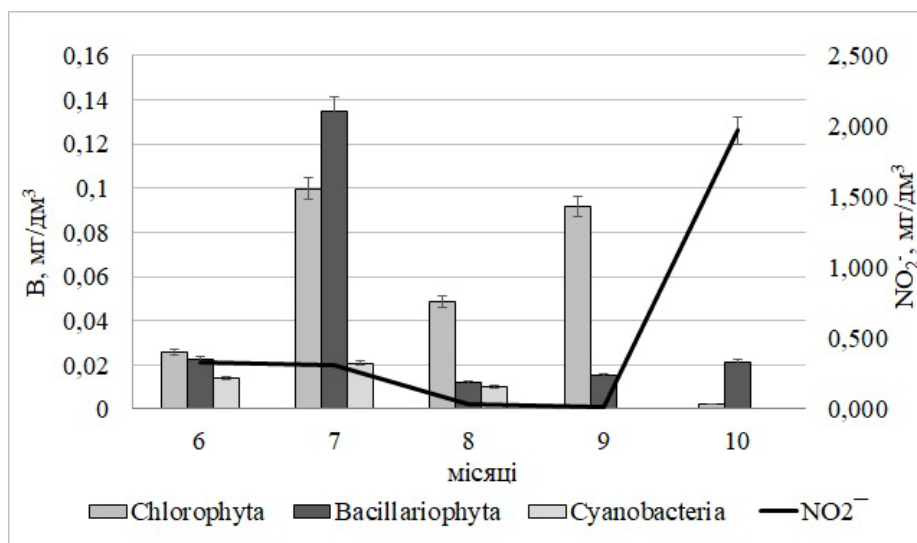


Рис. 8. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітритів

нюючих речовин, що впливають на концентрацію сполук Нітрогену у оз. Засвітське. Згідно з запропонованими підходами [5], впродовж дослідження виконується умова $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$ (за винятком лише вересня $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$), що свідчить про переважання надходження сполук Нітрогену саме з дифузних джерел. Ймовірними джерелами потрапляння сполук Нітрогену до водойми є ведення сільського господарства у водозборі (рослинництво), оскільки, забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі практично відсутнє. На даний час чисельність поголів'я ВРХ у с. Млин, поблизу якого розташоване оз. Засвітське, становить близько 9. Водночас, сільськогосподарські угіддя розташовані досить близько до водойми та можуть слугувати основним джерелом потрапляння забруднюючих речовин до водойми.

Головні висновки. Фітопланктон оз. Засвітське формують види відділів *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*. У водоймі переважають види класів E та D, які трапляються «зрідка» (40,32%) та «нечасто» (37,10%). Види класу C та B, які трапляються «часто» і «досить часто» становлять 9,68% та 11,29%. Зафіксовано один вид (1,61%) класу A з найвищою частотою трапляння – *S. ellipticum*.

Концентрація рН у воді оз. Засвітське варіює в межах 5,8–7,2, а концентрація розчиненого кисню змінюється від 8,63 mgO_2/dm^3 до 9,44 mgO_2/dm^3 . Вміст розчиненого кисню корелює з чисельністю і біомасою ($r=0,55$ та $r=0,71$). рН корелює з кількістю видів ($r=0,49$), чисельністю, біомасою ($r=0,92$, $p<0,05$) та вмістом розчиненого кисню ($r=0,82$). Температура води впливає на кількість видів ($r=0,93$, $p<0,05$) та чисельність ($r=0,58$) фітопланктону.

Вміст нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське варіює від 0,281 mg/dm^3 до 0,745 mg/dm^3 , що перевищує ГДК в 1,5 рази. Концентрація нітритів змінюється в межах 0,013–1,971 mg/dm^3 та перевищує ГДК у 3,9–24,6 рази. Найвища концентрація нітратів становить 0,975 mg/dm^3 , а найнижча – 0,066 mg/dm^3 . Найтіснішу кореляційну залежність виявлено між нітритами та температурою води ($r=-0,69$), чисельністю ($r=-0,44$) і загальною кількістю видів ($r=-0,68$). Встановлено зв'язок між нітратами та температурою води ($r=0,72$), рН ($r=0,71$), O_2 ($r=0,42$), чисельністю ($r=0,66$), біомасою ($r=0,46$), а також кількістю видів ($r=0,60$).

Сполуки Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- та NO_3^-) у різних співвідношеннях посилюють чи пригнічують розвиток відділів фітопланктону. Найяскравіше проявляється вплив нітритів та нітратів на фітопланктон оз. Засвітське, що підтверджується виявленими кореляційними зв'язками та зміщенням рівноваги в системі нітрати \leftrightarrow нітрити \leftrightarrow амоній в бік нітрифікації. Конкурентна ефективність різних відділів фітопланктону за сполуки Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- та NO_3^-), температура води, рН та вміст розчиненого кисню є ключовими чинниками, які визначають структуру угруповань та їхні кількісні показники.

Перспективи використання результатів дослідження. Врахування впливу хімічного складу води, в тому числі і сполук Нітрогену, на структуру угруповань альгофлори озер дозволяє не лише пояснити зміни співвідношення представників різних відділів фітопланктону та їхніх кількісних показників, але й прогнозувати розвиток видів за різних концентрацій елементів у воді.

Література

1. Клоченко П.Д., Грубинко В.В., Гуменюк Г.Б., Арсан О.М. Особенности ассимиляции аммонийного азота зелеными и синезелеными водорослями. *Гидробиологический журнал*. 2002. Т. 38. № 2. С. 88–93.
2. Клоченко П.Д., Шевченко Т.Ф., Горбунова З.Н. Фітоепіфітон як індикатор стану водойм Національного природного парку «Голосіївський» (Україна). *Гидробиологический журнал*. 2022. Т.5 8. № 2. С. 32–44.
3. Линник П.М., Жежеря В.А. Особливості динаміки окремих елементів гідрохімічного режиму малих водойм урбанізованої території: кисневий режим та мінералізація води. *Гидробиологический журнал*. 2022. Том 58. № 2. С. 99–116.
4. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. К.: Наукова думка, 2007. 456 с.
5. Наказ Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів» № 244 від 15.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text> (дата звернення: 17.01.2023).
6. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–48.
7. Donald D.B., Bogard M.J., Finlay K., Leavitt P.R. Comparative effects of urea, ammonium, and nitrate on phytoplankton abundance, community composition, and toxicity in hypereutrophic freshwaters. *Limnology and Oceanography*. 2011. 56(6). P. 2161–2175. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2161>
8. Glibert P.M., Wilkerson F. P., Dugdale R.C., Raven J.A., Dupont C.L., Leavitt P.R., Parker A.E., Burkholder J.M., Kanna T.M. Pluses and minuses of ammonium and nitrate uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions. *Limnology and Oceanography*. 2016. 61. P. 165–197. <https://doi.org/doi:10.1002/lno.10203>
9. Gong D., Guo Z., Wei W., Bi J., Wang Z., Ji X. Phytoplankton Community Structure and Its Relationship with Environmental Factors in Nanhai Lake. *Diversity*. 2022. Vol. 14. P. 927. <https://doi.org/10.3390/d14110927>
10. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 15.01.2023).

11. Haldna M., Milius A., Laugaste R., Kangur K. Nutrients and phytoplankton in Lake Peipsi during two periods that differed in water level and temperature. *Hydrobiologia*. 2008. 599. P. 3–11. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9208-9>
12. Kharbush J.J., Robinson R.S., Carter, S.J. Patterns in sources and forms of nitrogen in a large eutrophic lake during a cyanobacterial harmful algal bloom. *Limnology and Oceanography*. 2023. 9999. P. 1–13. <https://doi.org/10.1002/lno.12311>
13. Klimaszuk P., Kuczyńska-Kippen N., Szelaż-Wasielewska E., W. Marszelewski, Borowiak D., Niedzielski P., Nowiński K., Kurmanbayev R., Baikenzheyeva A., Rzymiski P., Spatial heterogeneity of chemistry of the Small Aral Sea and the Syr Darya River and its impact on plankton communities. *Chemosphere*. 2022. Vol. 307(2). 135788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135788>
14. Kovalchuk I.P., Martyniuk V.O., Šeirienė V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the National Parks. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. 2020. Vol. 53. P. 238–251. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18>
15. Kureyshevich A.V. Response of phytoplankton of eutrophic reservoirs to the increase in the content of phosphorus and nitrogen in their waters. *Hydrobiological Journal*. 2005. Vol. 41, № 6. P. 3–22.
16. Nezbitskaya I.N., Kureyshevich A.V., Yarovoy A.A., Potrokhov A.S., Zin'kovskiy O.G. Peculiarities of the Influence of High Concentrations of Ammonium on the Functioning of Some Species of *Cyanoprokaryota*, *Chlorophyta*, and *Euglenophyta*. *Hydrobiological Journal*. Vol. 55(2). 2019. P. 69–82. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i2.60>
17. Rückert G.V., Giani A. Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (*Cyanobacteria*). *Brazilian Journal of Botany*. 2004. Vol. 27. № 2. P. 325–331.
18. Swarbrick V.J., Simpson G.L., Glibert P.M., Leavitt P.R. Differential stimulation and suppression of phytoplankton growth by ammonium enrichment in eutrophic hardwater lakes over 16 years. *Limnology and Oceanography*. 2019. 64. P. 130–149. <https://doi.org/10.1002/lno.1109>