

УДК 581.526.325 (282.247.325.2)

Г. М. Задорожна, В. І. Щербак

ВПЛИВ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ І ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА РОЗВИТОК ФІТОПЛАНКТОНУ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

На основі моніторингових досліджень у верхній частині Канівського водосховища встановлено прямий кореляційний зв'язок кількості видів, чисельності та біомаси фітопланктону із сумарною сонячною радіацією (Q) і температурою води (t). Показано, що у періоди, які характеризувалися максимальними значеннями Q і t , видове багатство фітопланктону зменшувалось, тоді як чисельність і біомаса, навпаки, збільшувались. Встановлено абсолютні значення сумарної сонячної радіації та температури води, за яких провідні таксономічні відділи дніпровського фітопланктону досягають максимальних кількісних показників розвитку.

Ключові слова: *фітопланктон, Канівське водосховище, температура води, сонячна радіація.*

Якісний склад та кількісні показники фітопланктону континентальних водойм формуються під впливом цілого комплексу екологічних чинників, найбільш значущими серед яких є динаміка водних мас, сонячна радіація, температура води, прозорість, концентрація основних біогенних елементів [3, 8, 11, 21]. При цьому кожен конкретний чинник може по-різному впливати на розвиток як окремих видів, так і таксономічних груп водоростей.

Вплив різних екологічних чинників на фітопланктон дніпровських водосховищ досліджувався й раніше [6, 9, 12, 15, 18, 19]. Проте ці дані мають фрагментарний характер і відносяться, в основному, до літнього періоду.

Динаміка та основні взаємозв'язки між вмістом біогенних елементів і водоростевими угрупованнями верхньої частини Канівського водосховища детально проаналізовані нами раніше [17]. Метою даної роботи було з'ясувати вплив на якісні та кількісні показники фітопланктону сумарної сонячної радіації і температури води як провідних чинників, які визначають продуктивність планктонних водоростей рівнинних водосховищ.

Матеріал і методика досліджень. У роботі представлені результати цілорічного моніторингу, проведеного у верхній частині Канівського водосховища, на стаціонарній станції, яка знаходиться на відстані близько 11 км вниз за течією від греблі Київської ГЕС. Відбір матеріалу здійснювали бато-

© Г. М. Задорожна, В. І. Щербак, 2016

метром Рутнера із поверхневого горизонту (0,25 м) кожні два тижні протягом трьох років (2010—2012 рр.).

Фіксацію, концентрацію, камеральне опрацювання альгологічних проб проводили відповідно до загальновідомих гідробіологічних методів [7]. Назви таксонів водоростей наведені згідно з флористичним зведенням «Разнообразие водорослей Украины» [10, 13].

Одночасно із альгологічними відборами вимірювали температуру води (t) за допомогою ртутного термометра в металевій оправі. Дані щодо сумарної сонячної радіації (Q) отримані із таблиць ТМ-12 актинометричної станції Бориспіль. Розрахунок сумарної сонячної радіації, яка надходить на водну поверхню, здійснювали згідно [14].

Статистичну обробку всього масиву даних здійснено із використанням програм: Statistica, Microsoft Excel. У роботі обговорюються тільки значимі кореляції ($p \leq 0,05$).

Результати досліджень та їх обговорення.

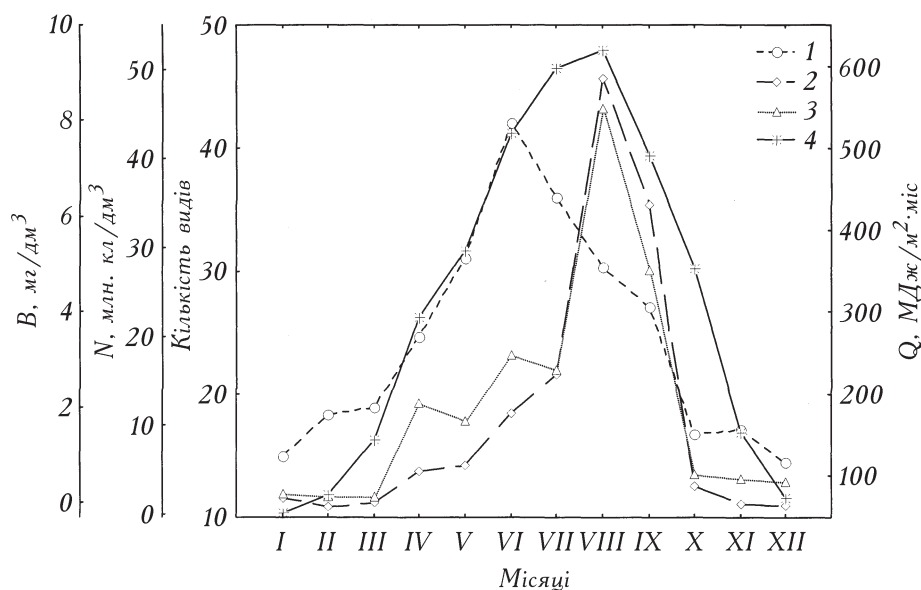
Сонячна радіація. Дослідження виявили пряму кореляцію сумарної сонячної радіації з кількістю видів ($r = 0,47$, $p = 0,0001$, $n = 64$), чисельністю ($r = 0,28$, $p = 0,02$, $n = 64$) та біомасою фітопланктону ($r = 0,35$, $p = 0,004$, $n = 64$).

Загальновідомо, що з моменту поглинання світла хлорофілом клітини до перетворення світлової енергії в хімічну для синтезу органічної речовини проходить певний період часу, який, згідно з літературними даними [1], для фітопланктону становить близько двох тижнів. Тому нами було здійснено співставлення показників розвитку фітопланктону в день відбору із величинами сумарної сонячної радіації за попередній відбір.

В цілому, сезонна динаміка кількості видів, чисельності та біомаси фітопланктону відповідала динаміці сумарної сонячної радіації: збільшувалась від весни до літа та зменшувалась із початком осені, досягаючи мінімальних значень взимку. При цьому для видового багатства фітопланктону показано, що найбільша кількість видів водоростей реєструвалась за значень Q близько 518 МДж/м²·міс (рис. 1). Підвищення значень до 619 МДж/м²·міс супроводжувалось суттєвим зменшенням кількості видів. Водночас, за таких умов досягали максимальних величин чисельність та біомаса фітопланктону.

Результати наших досліджень узгоджуються із літературними даними, отриманими на Київському водосховищі [5], де показано, що між сумарною сонячною радіацією у діапазоні 530—605 МДж/м²·міс і вмістом хлорофілу a у планктоні спостерігається прямий лінійний зв'язок. При більш високих значеннях Q вміст хлорофілу a зменшувався і кореляція порушувалась.

Аналіз динаміки біомаси провідних відділів фітопланктону та сумарної сонячної радіації, яка надходить на водну поверхню (рис. 2) показав, що у весняний період за значень Q близько 293 МДж/м²·міс у планктоні верхньої



1. Сезонна динаміка видового багатства (1), чисельності (2), біомаси (3) фітопланктону та сумарної сонячної радіації (4) (середні значення за 2010—2012 рр.).

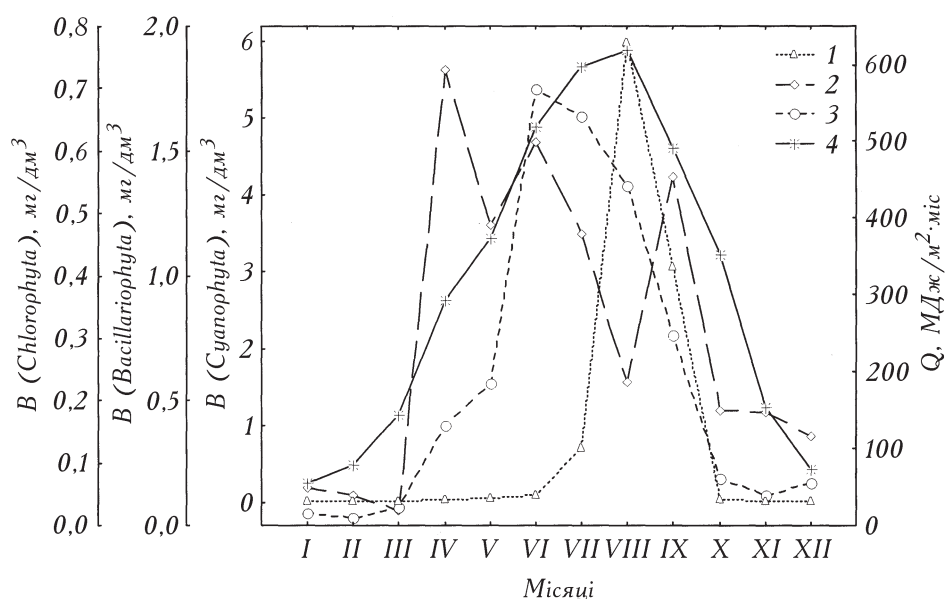
частини Канівського водосховища інтенсивного розвитку досягали весняні форми діатомей родів *Asterionella* Hassal, *Cyclotella* Kütz., *Navicula* Bory, *Nitzschia* Hassal, *Stephanodiscus* Ehrenb., *Synedra* Ehrenb. та ін.

Підвищення значень Q до 518 МДж/м²·міс на початку літа супроводжувалось домінуванням літніх форм Bacillariophyta із родів *Aulacoseira* Thw. і *Melosira* C. Agardh, а також відмічено активну вегетацію зелених водоростей, біомасу яких формували види родів *Chlamydomonas* Ehrenb., *Closteriopsis* Lemmerm., *Desmodesmus* (Chodat) An, Friedl et E. Hegew., *Monoraphidium* Komárk.-Leng та ін.

Встановлено, що за максимальних значень сумарної сонячної радіації ($Q \geq 619$ МДж/м²·міс), кількісні показники Chlorophyta та Bacillariophyta істотно зменшувались. У той же час, за таких умов інтенсивно вегетували синьозелені водорості родів *Anabaena* Bory ex Bornet et Flach, *Aphanizomenon* E. Morren ex Bornet et Flahault і *Microcystis* (Kütz.) Elenkin.

Зниження значень сумарної сонячної радіації восени супроводжувалось зменшенням біомаси синьозелених та зелених водоростей, тоді як для діатомових, навпаки, відмічалось її зростання за рахунок видів родів *Aulacoseira*, *Cyclotella* і *Stephanodiscus*.

Температура води. Статистичний аналіз всього масиву даних виявив пряму кореляцію між температурою води і кількістю видів ($r = 0,71$, $p = 0,0001$, $n = 64$), чисельністю ($r = 0,35$, $p = 0,004$, $n = 64$) та біомасою водоростей ($r = 0,42$, $p = 0,001$, $n = 64$).



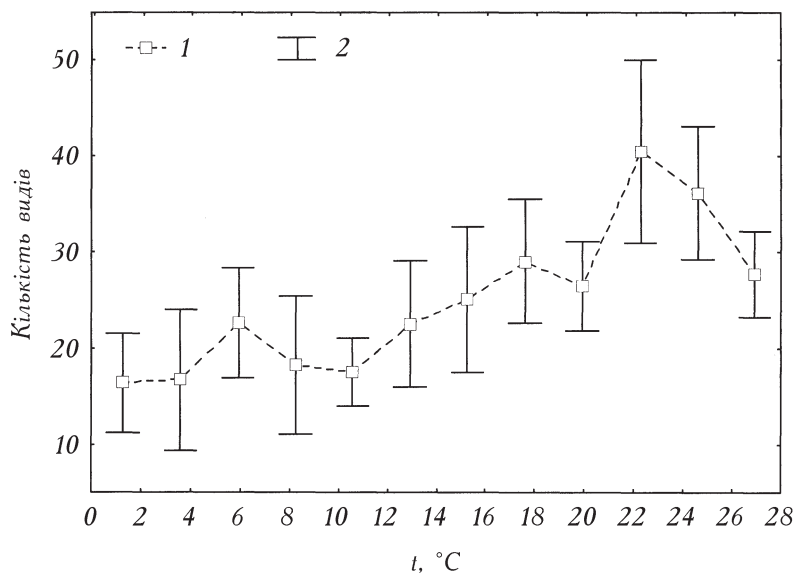
2. Динаміка біомаси (B) провідних відділів фітопланктону та сумарної сонячної радіації (Q) (середні значення за 2010—2012 рр.): 1 — Cyanophyta; 2 — Bacillariophyta; 3 — Chlorophyta; 4 — Q .

Розподіл цих характеристик фітопланктону в залежності від температури води протягом року має деякі особливості. Так, з підвищенням температури кількість видів водоростей збільшувалась та досягала максимальних значень за показників 22,0—23,0°C (рис. 3). Зростання температури води до аномально¹ високих для даної водойми значень ($\geq 25,0^\circ\text{C}$), супроводжувалось зменшенням кількості видів, що, очевидно, зумовлено відмінними температурними оптимумами розвитку різних видів водоростей.

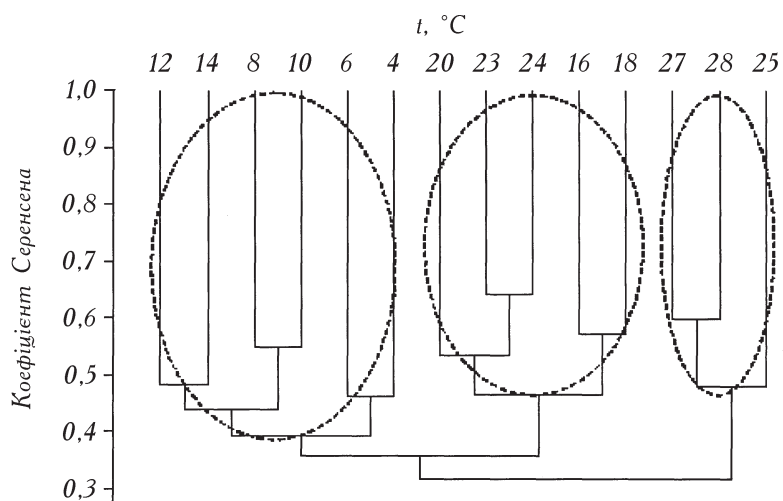
Проведений аналіз подібності видового складу фітопланктону за коефіцієнтом Серенсена (Ks) виявив декілька кластерів угруповань водоростей, об'єднаних за певними діапазонами температури води (рис. 4). Так, перший кластер формували водорості, які розвивались у діапазоні температури води 4,0—14,0°C: в основному, представники діатомових (48% загальної кількості видів) та зелених водоростей (30%) родів *Aulacoseira*, *Asterionella*, *Chlamydomonas*, *Closteriopsis*, *Cyclotella*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Stephanodiscus* та *Synedra*.

До другого кластеру відносились види водоростей, які активно вегетували за температури води 16,0—24,0°C: переважно зелені (45%), діатомові (30%), менше — синьозелені водорості (14%) родів *Acutodesmus* (E. Hegew.) E. Hegew. et Hanagata, *Aulacoseira*, *Chlamydomonas*, *Crucigenia* E. Morren,

¹ Аномаліями вважаються відхилення від кліматичної норми, тобто від середніх багаторічних даних для певного календарного періоду (добы, місяця, сезону, року) [20].



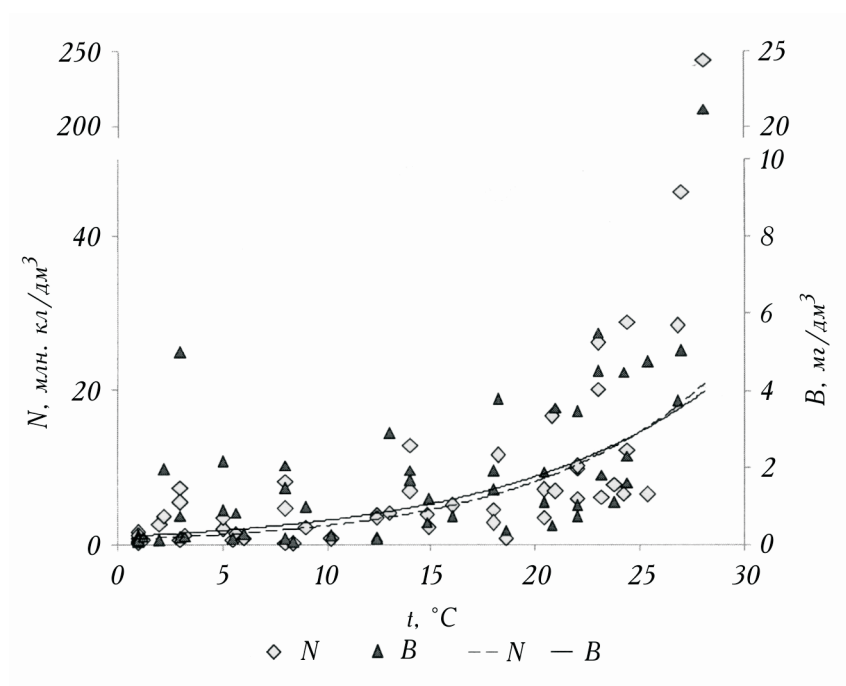
3. Розподіл кількості видів фітопланктону за температурою води (середні значення за 2010—2012 рр.): 1 — серпень; 2 — ст. відх.



4. Дендрограма подібності видового складу фітопланктону за різної температури води (2010—2012 рр.).

Desmodesmus, *Microcystis*, *Monoraphidium*, *Oscillatoria* Vaucher, *Pediastrum* Meyen, *Stephanodiscus* і *Tetrastrum* Chodat.

Окремий — третій — кластер формували види водоростей, які інтенсивно розвивались за температури води вище 25,0°C. Очевидно, що відгуком

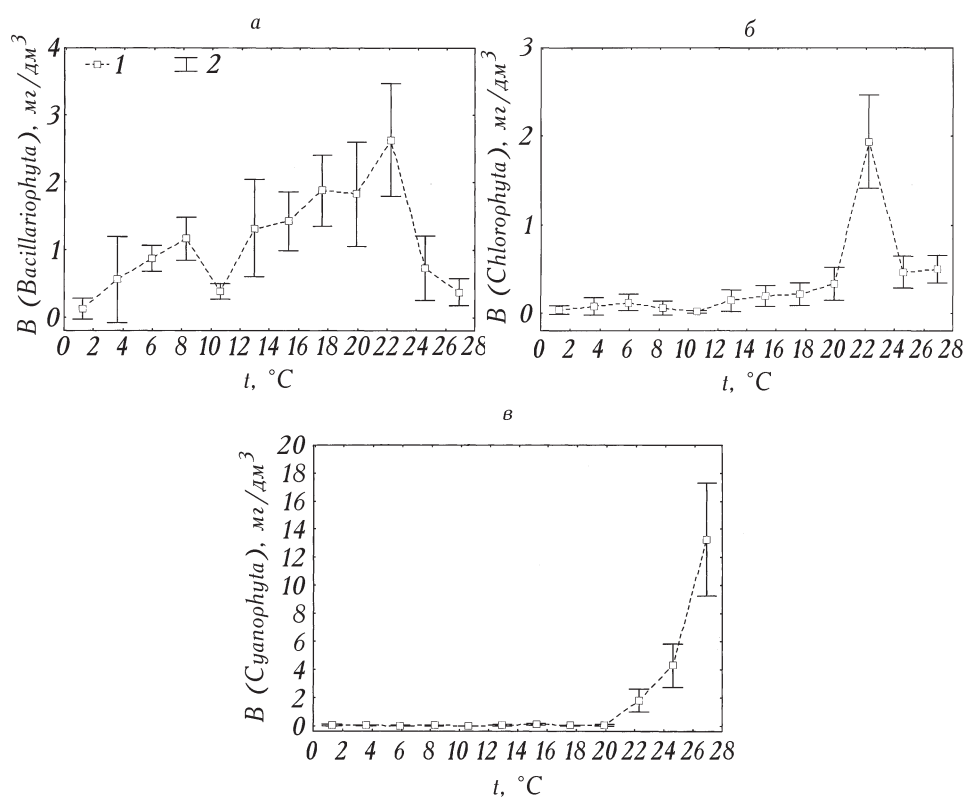


5. Розподіл чисельності (N) та біомаси (B) фітопланктону за температурою води (2010—2012 рр.).

фітопланктону на аномальні температури була перебудова його структури. Зокрема, у видовому багатстві фітопланктону зменшилась частка діатомових водоростей (до 21%) та збільшилась — синьозелених (до 23%). Переважали види родів *Anabaena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*. Також були відмічені представники зелених водоростей родів *Chlamydomonas*, *Desmodesmus*, *Actinastrum Lagerh.*, *Pandorina Bory*, *Pediastrum* і *Tetrastrum*.

Аналіз кількісних показників розвитку фітопланктону показав, що чисельність і біомаса мікрowodоростей зростали із підвищенням температури води та, на відміну від видового багатства, досягали максимальних значень саме за високих температур (рис. 5). Таке зростання кількісних показників, очевидно, пов'язане із особливостями вегетації домінуючих видів фітопланктону.

Аналіз розподілу біомаси провідних систематичних відділів фітопланктону (Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta) за температурним показником показав, що біомаса діатомових водоростей із підвищенням температури води зростає та досягає максимальних значень в інтервалі температур близько 22,0—23,0°C (рис. 6, а). Підвищення температури води до аномально високих значень ($\geq 25,0^\circ\text{C}$) супроводжувалось істотним зниженням біомаси Bacillariophyta, що, на наш погляд, пов'язано з інгібуючим впливом високих температур на розвиток більшості видів діатомових водоростей та, згідно з літературними даними [16], раніше було встановлено для фітопланктону Каховського водосховища.



6. Розподіл біомаси провідних систематичних відділів фітопланктону за температурою води (середні значення за 2010—2012 рр.): а — Bacillariophyta; б — Chlorophyta; в — Cyanophyta; 1 — середнє; 2 — ст. відх.

Біомаса зелених водоростей, подібно до діатомових, досягала максимальних значень в інтервалі температур води близько 22,0—23,0°C. Відмічене суттєве зменшення біомаси Chlorophyta за аномально високих температур (рис. 6, б). У той же час, біомаса синьозелених водоростей, на відміну від діатомових і зелених, значно зростала за температури води близько 22,0°C та досягала максимальних значень саме за аномально високих температур (рис. 6, в), що цілком узгоджується із літературними даними, отриманими як у лабораторних умовах на культурах Cyanophyta [2], так і для водосховищ Волги в період аномально жаркого літа 2010 р. [4].

Висновки

Встановлено статистично достовірну пряму кореляцію між сумарною сонячною радіацією, яка надходить на водну поверхню, температурою води та видовим багатством, чисельністю і біомасою фітопланктону. Показано, що за максимальних значень Q та температури води відбувається зниження кількості видів фітопланктону та змінюється структура видового багатства. Водночас відмічається збільшення чисельності та біомаси фітопланктону, що, очевидно, зу-

мовлено відмінними температурними оптимумами розвитку різних видів водоростей та підтверджується результатами кластерного аналізу.

Показано, що діатомові водорості досягали найбільших кількісних показників у планктоні верхньої частини Канівського водосховища за сумарної сонячної радіації близько $300 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{міс}$, зелені — близько, а синьозелені — близько $600 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{міс}$.

Аналіз впливу температурного чинника на провідні таксономічні відділи фітопланктону виявив, що найбільшій біомасі зелені та діатомові водорості досягали в інтервалі температур води близько $22,0\text{—}23,0^\circ\text{C}$. Підвищення її до аномально високих значень ($\geq 25,0^\circ\text{C}$) супроводжувалось зниженням кількісних показників розвитку Bacillariophyta і Chlorophyta та збільшенням — Cyanophyta, які більш адаптовані до високих температур води.

Таким чином, можна вважати, що відгуком фітопланктону на зміни сумарної сонячної радіації та температури води є перебудова його якісних та кількісних показників на різних рівнях систематичної ієрархії — від видів до відділів.

**

На основании мониторинговых исследований в верхней части Каневского водохранилища установлена прямая корреляционная связь количества видов, численности и биомассы фитопланктона с суммарной солнечной радиацией (Q) и температурой воды (t). Показано, что в периоды, которые характеризовались максимальными значениями Q и t , видовое богатство фитопланктона уменьшалось, тогда как численность и биомасса, наоборот, увеличивались. Установлены абсолютные значения суммарной солнечной радиации и температуры воды, при которых ведущие таксономические отделы днепровского фитопланктона достигают максимальных количественных показателей развития.

**

The monitoring studies, carried out in the upper section of the Kaniv water reservoir, showed direct correlation between phytoplankton species diversity, number, biomass and the total solar radiation and water temperature. During periods, marked by maximal Q values and water temperature, phytoplankton species diversity decreased, while its number and biomass, on the contrary, increased. We determined absolute values of solar radiation and water temperature, at which the leading taxonomic divisions of the Dniper phytoplankton reached their maximal development.

**

1. Девяткин В. Г., Метелева Н. Ю., Митропольская И. В. Гидрофизические факторы продуктивности литорального фитопланктона: оценка и прогноз содержания хлорофилла a и интенсивности фотосинтеза // Биология внутренних вод. — 2001. — № 1. — С. 36—45.
2. Козицкая В. Н. Влияние температурного фактора на рост и размножение водоростей с различными типами пигментных систем // Гидробиол. журн. — 1991. — Т. 27, № 5. — С. 62—70.
3. Константинов А. С. Общая гидробиология. — М.: Высш. шк., 1986. — 472 с.

4. Корнева Л. Г., Соловьева В. В., Русских Я. В., Чернова Е. Н. Состояние фитопланктона и содержание цианотоксинов в Рыбинском, Горьковском и Чебоксарском водохранилищах в период аномально жаркого лета 2010 г. // Материалы докл. всерос. конф. «Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ». — Борок, 2012. — С. 138—141.
5. Курейшевич А. В. Зависимость многолетней динамики содержания хлорофилла а в планктоне днепровских водохранилищ от суммарной солнечной радиации и активности Солнца // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 16—29.
6. Ліщук А. В. Еколого-фізіологічні основи формування фітопланктону прісноводних екосистем: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2007. — 38 с.
7. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
8. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — 210 с.
9. Окснюк О. П., Давыдов О. А., Меленчук Г. В. и др. Особенности фитопланктона киевского участка Каневского водохранилища в зависимости от режима работы Киевской ГЭС // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 1. — С. 29—38.
10. *Разнообразие водорослей Украины* / Под. ред. С. П. Вассера, П. М. Царенка // Альгология. — 2000. — Т. 10, № 4. — 309 с.
11. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии. — К.: Обереги, 2001. — 728 с.
12. Тимченко В. М. Экологическая гидрология водоемов Украины. — Киев: Наук. думка, 2006. — 383 с.
13. Царенко П. М., Петлеванный О. А. Дополнение к разнообразию водорослей Украины. — Киев: Ин-т ботаники НАН Украины, 2001. — 130 с.
14. Шмаков В. М. Гидролого-экологические аспекты режима солнечной энергии в водохранилищах днепровского каскада. — Киев: Наук. думка, 1988. — 167 с.
15. Щербак В. І., Семенюк Н. Є. Вплив гідрологічного режиму на структуру фітопланктону придаткових систем Канівського водосховища // Матеріали VII Міжнар. наук.-практич. конф. «Наука і освіта 2004»: Т. 56. Біол. науки. — Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. — С. 77—79.
16. Щербак В. І., Емельянова Л. В. Биоразнообразие Запорожского и Каховского водохранилищ в современной эколого-токсикологической ситуации // Гидробиол. журн. — 2002. — Т. 38, № 5. — С. 17—25.
17. Щербак В. І., Якушин В. М., Загородная А. М. и др. Сезонная и межгодовая динамика фитопланктона, фитомикроэпифитона и биогенных элементов на речном участке Каневского водохранилища // Там же. — 2015. — Т. 51, № 5. — С. 52—66.
18. Щербак В. І., Майстрова Н. В. Фітопланктон кіївської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають. — К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2001. — 70 с.

19. Щербак В.И., Емельянова Л.В., Майстрова Н.В. Влияние антропогенных факторов на биоразнообразие Каневского водохранилища // Экология та ноосферологія. — 1999. — Т. 7, № 3. — С. 66—76.
20. *Climate change 2007 — impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Ed. by M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof et al. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. — 976 p.
21. *Reynolds C. S.* The ecology of freshwater phytoplankton. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984. — 384 p.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Надійшла 24.05.16