

УДК: 574.5(28): 579.68(543.3)(285.3)

Г.М. РОМАНИШИН, В.М. ЯКУШИН, К.П. КАЛЕНІЧЕНКО, М.І. ЛІНЧУК

Інститут гідробіології НАН України  
пр-т Героїв Сталінграду, 12, Київ, 04210

## **БАКТЕРІОПЛАНКТОН ОЗЕРА, РОЗТАШОВАНОГО В МЕЖАХ МЕГАПОЛІСА, ТА ЙОГО СЕЗОННІ ЗМІНИ**

Досліджено сезонну динаміку кількісного розвитку бактеріопланктону (загальної чисельності, вмісту сапрофітних (на РПА), протеолітичних і амілолітичних бактерій з посівом на молочний і крохмальний агари) та активності його функціонування в невеликому озері, розташованому в межах м. Києва. Встановлено, що на сезонні зміни мікробіологічних показників суттєво впливали фізико-хімічні умови у водоймі (температури води, кисневий режим, вміст органічної речовини), а також розвиток первиннопродуцентів та стрімкі зміни метеоумов. Визначено активність функціонування планктонних бактерій за показниками константи швидкості росту бактерій. Виявлено активну участь бактеріопланктону в процесах самоочищення озера.

*Ключові слова:* озеро Вербне, бактеріопланктон, гідрохімічні показники, константа швидкості росту бактерій, фізико-хімічні умови, сезонна динаміка

Численні водойми, розташовані в межах мегаполіса – м. Києва, є невід'ємним елементом середовища міста. Багато з цих водойм є ядрами рекреаційних утворень. Разом з тим, вони зазнають впливу різноманітних антропогенних чинників. З огляду на це вивченню гідробіології водойм м. Києва присвячені численні роботи [2, 6, 10, 11, 12]. Однак, в мікробіологічному аспекті ці водойми майже не досліджені [10].

Метою роботи було дослідити сезонну динаміку кількісного розвитку та активності функціонування бактеріопланктону в озері Вербному, розташованому в межах м. Києва.

### **Матеріал і методи досліджень**

Озеро Вербне використовується в рекреаційних цілях. Площа водного дзеркала водойми становить 0,21 км<sup>2</sup>, середня глибина – близько 14 м. Озеро безстічне.

Дослідження проводили у квітні, серпні та жовтні 2012 р. Проби води для аналізу відбирали по акваторії та глибині водойми (з поверхневого та придонного шарів).

Умови середовища існування бактеріопланктону визначали за комплексом гідрохімічних показників. Концентрацію розчиненого кисню визначали йодометричним методом Вінклера, вміст неорганічних сполук азоту і фосфору – колориметричним методом, кількість органічної речовини – методом перманганатної (ПО) і дихроматної (ДО) окиснюваності води [9].

Загальну чисельність бактерій визначали методом прямого мікроскопічного підрахунку на мембранних фільтрах, забарвлених еритрозином [4]. Для кількісного обліку сапрофітних бактерій використовували поживне середовище РПА, бактерій з протеолітичними і амілолітичними властивостями – молочний і крохмальний агари [5, 8]. Функціональну активність бактеріопланктону визначали за показниками константи швидкості росту бактерій –  $K_t$  [1].

### **Результати досліджень та їх обговорення**

*Фізико-хімічні показники.* Температура води в поверхневому шарі озера в сезонному аспекті змінювалася в межах 13,0-26,2°C, досягаючи максимуму у серпні і знижуючись до мінімуму у жовтні (табл. 1). В придонному шарі води у квітні вона становила в середньому 5,3°C, у серпні – 15,4, у жовтні – 12,3°C. Отже, протягом тривалого часу в оз. Вербному відмічалася пряма вертикальна температурна стратифікація водних мас, яка обумовлювала аналогічну кисневу стратифікацію.

Вміст розчиненого кисню в поверхневому шарі води озера досягав максимальних величин у квітні (в середньому 19,33 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) унаслідок інтенсивного розвитку в цей час фітопланктону і поступово знижувався до мінімальних значень у жовтні (в середньому, 7,08 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). В придонній воді його концентрація у квітні становила в середньому 8,05 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; у серпні та жовтні відмічався глибокий дефіцит кисню, особливо на станціях з глибинами від 10 до 14 м (див. табл. 1).

## Сезонні зміни температури води та концентрації розчиненого кисню в оз. Вербному

Показники	Квітень	Серпень	Жовтень
Поверхневий шар води			
t води, °C	<u>14,4-16,0</u> 15,3	<u>25,0-26,2</u> 25,7	<u>13,0-13,1</u> 13,0
Розчинений кисень, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>19,16-19,66</u> 19,33	<u>9,96-10,66</u> 10,20	<u>5,58-7,83</u> 7,08
Придонний шар води			
t води, °C	<u>5,0-5,6</u> 5,3	<u>13,0-18,0</u> 15,4	12,2-12,4 12,3
Розчинений кисень, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>7,49-8,66</u> 8,05	<u>0,16-0,83</u> 0,44	<u>0,21-4,49</u> 1,71

*Примітка:* над рискою – межі коливань, під рискою – середнє значення

Концентрацію неорганічних форм азоту і фосфору, ПО та ДО в поверхневому шарі води озера визначали в усі сезони, в придонному – влітку та восени. Вміст амонійного азоту в поверхневому шарі води протягом досліджених сезонів не досягав значних величин і коливався в межах 0,149-0,362 мг N/дм<sup>3</sup>. В придонному шарі води відмічено його значне накопичення: у серпні – до 2,320 мг N/дм<sup>3</sup>, у жовтні – до 3,062 мг N/дм<sup>3</sup>. За умов глибокого дефіциту розчиненого кисню в придонній воді відбувалася дифузія амонійного азоту з донних відкладів, а процеси нітрифікації істотно гальмувалися.

Концентрація азоту нітратів в поверхневому шарі води озера протягом досліджених сезонів знаходилась на невисокому рівні, змінюючись в межах 0,011-0,031 мг N/дм<sup>3</sup>, що було пов'язано з його асиміляцією первиннопродуцентами. В придонній воді його вміст влітку та восени становив 0,02-0,024 мг N/дм<sup>3</sup> і обмежувався, як уже відмічалось, істотним гальмуванням процесу нітрифікації за умов глибокого дефіциту розчиненого кисню.

Аналогічною сезонною динамікою характеризувалася і концентрація у воді озера фосфору фосфатів. В поверхневому шарі води вона коливалася в межах від аналітичного нуля до 0,02 мг P/дм<sup>3</sup> з максимумом у жовтні. В придонній воді його вміст у серпні та жовтні був значно вищим і змінювався в межах 0,006-0,320 мг P/дм<sup>3</sup> і також досягав максимальних величин восени.

Величини ПО протягом сезонів коливались у досить вузьких межах і не мали суттєвої різниці в різних шарах води озера (10,21-13,76 мг O/дм<sup>3</sup>). Деяко підвищений вміст легкоокиснюваної органічної речовини відмічено у серпні. Показники ДО в поверхневому шарі води в сезонному аспекті знаходилися у межах 19,49-23,23 мг O/дм<sup>3</sup>, в придонному шарі у серпні та жовтні вони досягали максимальних значень – 24,52 і 30,29 мг O/дм<sup>3</sup> відповідно. Високі величини ДО восени обумовлювалися накопиченням в придонній воді детритних решток відмираючого фітопланктону, а також впливом донних відкладів.

Підсумовуючи результати гідрохімічних досліджень, слід зазначити, що весною та влітку за активної вегетації фітопланктону в поверхневому шарі води озера відмічалася висока концентрація розчиненого кисню. У жовтні кисневий режим (поверхневий шар води) значно погіршився. Можливо, цьому передувала зміна домінуючого комплексу фітопланктону у водоймі, що супроводжувалася відмиранням і розкладанням частини його біомаси, на що і витрачався кисень. Осадження на дно детритних частинок спричиняло підвищений вміст в придонній воді органічної речовини за показниками ДО до 30 мг O/дм<sup>3</sup>.

*Мікробіологічні показники.* Протягом досліджених сезонів загальна чисельність бактерій у поверхневому шарі води озера коливалася у межах 1,42-4,25 млн.кл/см<sup>3</sup>, в придонному – 1,23-4,92 млн.кл/см<sup>3</sup> (табл. 2). Максимальна чисельність планктонних бактерій реєструвалася в квітні, мінімальна – у жовтні. Підвищений вміст бактеріопланктону у квітні спричинювався інтенсивним розвитком фітопланктону як джерела органічної речовини. Крім того, у цей період в умовах стрімкого підвищення температури повітря і швидкого танення снігу у воду з поверхневим стоком надходила велика кількість зважених речовин, збагачених на бактерії. Їх поступове осадження на дно, очевидно, призвело до зростання чисельності бактеріопланктону в придонному шарі води.

Таблиця 2

Сезонна динаміка загальної чисельності бактерій (ЗЧБ) та константи швидкості їх росту (Кt) у воді оз. Вербного

Показники	Квітень	Серпень	Жовтень
Поверхневий шар води			
ЗЧБ, млн.кл/см <sup>3</sup>	$\frac{3,72-4,25}{3,96}$	$\frac{2,33-2,67}{2,49}$	$\frac{1,42-3,11}{2,0}$
К, доба <sup>-1</sup>	$\frac{0,26-0,64}{0,45}$	$\frac{0,26-0,34}{0,29}$	$\frac{(-0,18)-0,49}{0,24}$
Придонний шар води			
ЗЧБ, млн.кл/см <sup>3</sup>	$\frac{3,83-4,91}{4,42}$	$\frac{2,60-3,72}{3,17}$	$\frac{1,23-4,53}{2,82}$
К, доба <sup>-1</sup>	$\frac{0,23-0,46}{0,35}$	$\frac{0,32-0,50}{0,39}$	$\frac{0,43-0,52}{0,47}$

Примітка: над рискою – межі коливань, під рискою – середнє значення.

Чисельність гетеротрофних (сапрофітних) бактерій (на РПА) в сезонному аспекті коливалася в межах 310-2344 кл/см<sup>3</sup> в поверхневому шарі води та 118-3436 кл/см<sup>3</sup> – в придонному (табл. 3). Сезонна динаміка їх кількісного розвитку була аналогічна такій загальної чисельності бактерій. Найвищий вміст у воді сапрофітних бактерій відмічався в квітні, мінімальний – у жовтні. Квітневий максимум, очевидно, спричинявся збагаченням води на лабільну органічну речовину, джерелом якої був фітопланктон. Вказаний чинник мав більш вагоме значення для кількісного розвитку сапрофітних бактерій, ніж температурний режим водойми; максимальні температури води відмічалися влітку.

Кількість протеолітичних бактерій протягом досліджених сезонів в поверхневому і придонному шарах води озера характеризувалася близькими між собою величинами і не досягала значного розвитку – 20-220 кл/см<sup>3</sup>. Вища їх чисельність відмічалася у серпні.

Кількісний розвиток амілолітичних бактерій у воді озера протягом дослідженого періоду був незначним як у поверхневому, так і в придонному горизонтах води, і становив 10-30 кл/см<sup>3</sup>.

Таблиця 3

Сезонна динаміка чисельності гетеротрофних бактерій у воді оз. Вербного

Показники	Квітень	Серпень	Жовтень
Поверхневий шар води			
СБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{1088 - 2344}{1716}$	$\frac{310-880}{595}$	$\frac{450-689}{546}$
ПБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{54-115}{91}$	$\frac{25-180}{102}$	$\frac{76-116}{92}$
АБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{19-27}{23}$	$\frac{10-30}{20}$	$\frac{11-23}{21}$
Придонний шар води			
СБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{2660 - 3436}{3048}$	$\frac{160-860}{510}$	$\frac{118-412}{310}$

ПБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{21-56}{39}$	$\frac{20-220}{120}$	$\frac{20-137}{78}$
АБ, кл/см <sup>3</sup>	$\frac{14-20}{17}$	$\frac{10-25}{17}$	$\frac{10-27}{33}$

*Примітка:* СБ – сапрофітні бактерії (на РПА), ПБ – протеолітичні, АБ – амілолітичні бактерії; над рискою – межі коливань, під рискою – середнє значення.

Активність функціонування бактеріопланктону в оз. Вербному визначали за показниками константи швидкості росту бактерій (Kt). Величини Kt в поверхневому шарі води по акваторії озера в сезонному аспекті змінювалися в межах (-0,18)-0,64, доба<sup>-1</sup>, сягаючи максимальних значень у квітні, мінімальних – у жовтні (див. табл. 2). Сезонні зміни цього показника відповідали таким загальної чисельності бактерій і вмісту сапрофітних мікроорганізмів у воді водойми. В придонній воді Kt змінювалася в середньому від 0,35, доба<sup>-1</sup> у квітні до 0,47, доба<sup>-1</sup> у жовтні. Можливо, це пов'язано з особливостями впливу донних відкладів не тільки на сезонну динаміку вмісту неорганічних азоту і фосфору, а і на активність функціонування бактеріопланктону в придонній воді.

Слід зазначити деякі особливості сезонних змін кількісного розвитку бактеріопланктону у досліджуваній водоймі. Екосистеми малих водойм чутливо реагують на різні прояви кліматичних умов в ті чи іншу сезони року. Відмічається, що на чисельність планктонних бактерій в малих озерах суттєво впливає весняне водопілля [7], а також масовий розвиток в цей період фітопланктону [3]. В оз. Вербному навесні за стрімкого підвищення температури повітря відбувалося швидке танення снігу, надходження у водойму теригенного змиву; при підвищенні температури води (поверхневий шар) до 15°C інтенсивно розвивався фітопланктон. Ці чинники значною мірою впливали на сезонну динаміку планктонних бактерій, яка не співпадала з сезонними змінами температури поверхневого шару води озера.

Також привертає увагу нерівномірний просторовий розподіл планктонних бактерій як по акваторії, так і глибині водойми. Можливо це обумовлювалося нерівномірним просторовим розподілом фіто- і зоопланктону, що позначалося на трофічних взаємовідносинах цих угруповань з бактеріопланктоном та кількісному розвитку останнього. Певним чинником, що впливав на особливості просторового розподілу та кількість планктонних бактерій, слід вважати рекреаційне навантаження на озеро.

Слід зазначити, що в сучасних умовах (2012 р.) кількісний розвиток бактеріопланктону в оз. Вербному суттєво не відрізнявся від такого, зареєстрованого в цій водоймі ще в середині 80-х років минулого століття [10]. Можна припустити, що незважаючи на рекреаційне навантаження, процеси самоочищення в озері відбуваються досить активно, важливу роль в яких відіграє бактеріопланктон.

## **Висновки**

За результатами досліджень, проведених на оз. Вербному, встановлено, що на кількісний розвиток бактеріопланктону і активність його функціонування суттєво впливали фізико-хімічні умови у водоймі, стрімке підвищення температури повітря навесні та надходження у водойму поверхневого стоку внаслідок танення снігу, масовий розвиток фітопланктону (особливо весняного).

Кисневий режим озера має ознаки, властиві диміктичним водоймам. Починаючи з другої половини квітня і до жовтня в озері відмічалася пряма вертикальна стратифікація водних мас за температурою і вмістом розчиненого кисню. У квітні та серпні концентрація останнього в поверхневому шарі води становила в середньому 194,0 і 126,4% насичення, в придонному – влітку та восени 4,4 і 16,0% насичення відповідно.

Вміст неорганічних сполук азоту і фосфору в поверхневому шарі води протягом вегетаційного періоду був невеликим, внаслідок їх асиміляції первиннопродуцентами, в придонному – у серпні і жовтні відмічалася значне накопичення амонійного азоту та фосфору фосфатів, гальмування процесів нітрифікації та збільшення вмісту органічної речовини за показниками ДО.

За таких умов у сезонній динаміці загальної чисельності бактерій і кількості сапрофітних організмів (на РПА) у воді озера відмічено максимум у квітні, мінімум – у жовтні. Проте, сезонна динаміка чисельності протеолітичних бактерій характеризувалася максимальними показниками у

серпні, що свідчить про збагачення води на білкові речовини у цей період, і була пов'язана з сезонною динамікою температури води у водоймі. Кількісний розвиток амілолітичних бактерій був незначний і не мав чіткого максимуму протягом дослідженого періоду.

Активність функціонування бактеріопланктону, яку визначали за показниками константи швидкості росту бактерій, в поверхневому шарі води озера мала сезонну динаміку, аналогічну такій загальної чисельності бактерій. У квітні показники Kt становили в середньому 0,45, доба<sup>-1</sup> і знижувались протягом наступних сезонів до мінімуму у жовтні – 0,24, доба<sup>-1</sup>. В придонному шарі води Kt зростала від весни до осені, і в жовтні досягала максимуму – 0,47, доба<sup>-1</sup>, що очевидно було пов'язано з накопиченням в придонній воді влітку і, особливо, осінню, біогенів та органічної речовини (за показниками БО).

Незважаючи на рекреаційне навантаження, процеси самоочищення в озері відбуваються досить активно, важливу роль в яких відіграє бактеріопланктон.

1. Гак Д.З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ / Д.З. Гак. – М.: Наука, 1975. – 251 с.
2. Еколого-токсикологічна характеристика водойм та водотоків міської зони Києва / [О.М. Арсан, П.Д. Клоченко, Ю.М. Ситник та ін.] // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2005.– № 3 (26). – С. 16–18.
3. Иевлева Т.В. Микробиологическая характеристика водотоков, расположенных в пределах крупного промышленного города / Т.В. Иевлева, А.И. Копылов // Басейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: Сб. мат-лов докл. Всероссийск. конф. Ин-т биол. внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22-26 октября 2012 г. – Ижевск: Изд-во Пермьяков С.А., 2012. – С. 99–102.
4. Кузнецов С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / С.И. Кузнецов, Г.А. Дубинина. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
5. Олейник Г.Н. К методике выделения гетеротрофных бактерий из воды / Г.Н. Олейник, Л.Г. Ленчина, П.И. Новикова // Мат-лы IV науч. конф. мол. ученых Ин-та гидробиол. АН УССР. – К., 1972. – С. 37–39.
6. Особливості формування структури угруповань епіфітних водоростей / [П.Д. Клоченко, Т.Ф. Шевченко, В.О. Медведь та ін.] // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2011. – № 1 (46). – С. 47–52.
7. Протисты и бактерии озер Самарской области / [В.В. Жариков, М.Ю. Горбунов, С.В. Быкова и др.] Под ред. д.б.н. В.В. Жарикова. – Тольятти: Кассандра, 2009. – 240 с.
8. Родина А.Г. Методы водной микробиологии / А.Г. Родина – М.:Наука,1965. – 363 с.
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 542 с.
10. Санитарно-гидробиологическое состояние озер и заливов жилого массива Оболонь г. Киева / [С.А.Афанасьев, М.П. Колесник, Т.В. Давиденко и др.] // Гидробиологические проблемы внутренних водоемов Украины. – К.: Наук. думка, 1991. – С. 98–109.
11. Щербак В.І. Порівняльна оцінка ступеню урбанізації водойм за різноманіттям фітопланктону / В.І. Щербак, Н.С. Семенюк // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2005. – № 3 (26). – С. 498–500.
12. Щербак В.І. Типизация водоемов урбанизированных территорий по разнообразию фитопланктона / В.І. Щербак, Н.Е. Семенюк // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, № 5. – С. 3–18.

Г.М. Романишин, В.М. Якушин, К.П. Калениченко, М.И. Линчук  
Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

#### БАКТЕРИОПЛАНКТОН ОЗЕРА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ПРЕДЕЛАХ МЕГАПОЛИСА, И ЕГО СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Исследована сезонная динамика количественного развития бактериопланктона (общей численности, содержания сапрофитных (на РПА), протеолитических и амилаолитических бактерий) и активности его функционирования в небольшом озере, расположенном в пределах мегаполиса – г. Киева. Выявлено, что на сезонные изменения микробиологических показателей существенно влияли физико-химические условия в водоеме (температура воды, кислородный режим, содержание органического вещества), а также развитие первичнопродукторов и стремительные изменения метеоусловий. Определена активность функционирования планктонных бактерий по показателям константы скорости роста бактерий. Выявлено активное участие бактериопланктона в процессах самоочищения озера.

*Ключевые слова: озеро Вербное, бактериопланктон, гидрохимические показатели, константа скорости роста бактерий, физико-химические условия, сезонная динамика*

*H.M. Romanishyn, V.M. Yakushyn, K.P. Kalenichenko, M.I. Linchuk*  
Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine, Kyiv

#### **BACTERIOPLANKTON OF THE LAKE LOCATED WITHIN THE METROPOLIS, AND IT'S SEASONAL CHANGES**

Seasonal dynamics of the quantitative development of bacterioplankton (total number, saprophytic, proteolytic and amylolytic content of bacteria) has been investigated. The activity of bacteria in a small lake (Kyiv) also shown. Revealed the chemical conditions in the reservoir, the development of primary producers and rapid changes of weather conditions are influenced to the seasonal changes in microbiological parameters significantly.

*Keywords: Verbne Lake, bacterioplankton, hydrochemical indicators, the rate constant of bacterial growth, physical and chemical conditions, the seasonal dynamics*

Рекомендує до друку  
В.В. Грубінко

Надійшла 22.01.2014