

УДК 504.06 (574.52:574.583) (579.63+579.68)

Є.В. СТАРОСИЛА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
пр. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: jenya_star@ukr.net
ORCID 0000-0001-5366-7894

В.М. ЯКУШИН, д. б. н., пров. наук. співроб., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
пр. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна

МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ І САНІТАРНОГО СТАНУ НА КИЇВСЬКІЙ ДІЛЯНЦІ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (УКРАЇНА) В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ (2022—2024 рр.)¹

Представлено результати мікробіологічних та гідрохімічних досліджень київської ділянки Канівського водосховища, проведених протягом різних сезонів 2022—2024 рр. Встановлено, що на досліджених станціях чисельність бактеріопланктону коливалась у межах 3,9—14,9 млн. кл/см³, частка бактерій з ушкодженою цитоплазматичною мембраною дорівнювала 10,5—87,5 % загальної чисельності, кількість евтрофних та оліготрофних бактерій становила відповідно 30,0—475,8 та 2,1—226,7 тис. кл/см³. Вивчені мікробіологічні та гідрохімічні параметри охарактеризовано у сезонному, просторовому та міжрічному аспекті. Сезонні коливання розвитку бактерій у планктоні залежали від температурного режиму, рівня води, якості органічної речовини та антропогенного навантаження, зокрема спричиненого воєнними діями. Деякі елементи гідрологічного режиму, гідрохімічні та мікробіологічні параметри достовірно корелювали між собою ($p \leq 0,03$). У просторовому розподілі відмічалось подібне варіювання середньої чисельності бактеріальних угруповань затоки та руслової ділянки, однак межі коливань показників різнилися — ширшими вони були у затоках. Міжрічні зміни чисельності бактерій у воді були співмірні, окрім долі мертвих бактерій, яка поступово знижувалася в середньому у 1,5 раза протягом 2022—2024 рр. Кількість санітарно-показових бактерій і представників умовно-патогенних мікроорганізмів свідчить про невідповідність якості води київської ділянки Канівського водосховища нормам санітарно-екологічної безпеки на всіх досліджених станціях. Згідно з екологічною класифікацією якості поверхневих вод за показником чисельності евтрофних бактерій, київська ділянка Канівського водосхо-

¹ Роботу виконано коштом бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230)».

Ц и т у в а н н я: Старосила Є.В., Якушин В.М. Мікробіологічні процеси формування якості води і санітарного стану на київській ділянці Канівського водосховища (Україна) в сучасних умовах його функціонування (2022—2024 рр.). *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 1. С. 78—95.

вища відповідала категорії «дуже погані», V класу якості. Виявлені зміни у концентраціях амонійного азоту, фосфору фосфатів, а також вмісту органічних речовини (за показниками XSK_{Mn} і XSK_{Cr}) були наслідком посилення впливу природних та антропогенних чинників, а також нестабільного режиму роботи ГЕС.

Ключові слова: бактеріальні угруповання планктону, бактерії з ушкодженою цитоплазматичною мембраною, санітарно-показові мікроорганізми, якість води, Канівське водосховище.

Створення водосховищ на рівнинній річці Дніпро змінило ландшафт її долини, а регулювання стоку — вплинуло на гідрохімічний та гідробіологічний режим [1, 2, 6, 7, 13, 17, 21, 41].

Канівське водосховище розташоване між Київським і Кременчуцьким водосховищами та було останнім створеним у системі Дніпровського каскаду. Його заповнення відбувалось у 1974—1976 рр. Верхня частина водосховища, зокрема її київська ділянка довжиною 43 км, за гідроморфологічними показниками зберігає річкові ознаки і характеризується різноманітними елементами придаткової системи (рукавами, старицями, затоками) [2, 7, 17].

Стан київської ділянки Канівського водосховища суттєво залежить від режиму роботи Київської гідроелектростанції (ГЕС) і надходження деснянської води, оскільки водний режим є одним з провідних чинників, що визначає особливості формування структури і функціонування біоти. Іншим, не менш важливим чинником, є антропогенний вплив з боку м. Києва. Певний вплив також чинять елементи придаткової системи — затоки, внаслідок процесів водообміну між ними і основним руслом водосховища, особливо у період значних коливань рівня води [7, 14].

Київська ділянка водосховища, як водна складова навколишнього середовища, відіграє виключно важливу роль у забезпеченні різноманітних потреб населення м. Києва. Мікробіологічні дослідження, що проводились на цій ділянці, стосувалися вивчення структури бактеріопланктону, його функціональних показників, сезонної і міжрічної динаміки в умовах впливу абіотичних чинників, ролі бактеріального населення у формуванні якості вод і санітарного стану водойми [4, 5, 8, 17, 18, 20, 41].

У сучасних умовах, внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації, частина басейну верхнього Дніпра тимчасово опинилась у зоні активних воєнних дій, що створило нові ризики і загрози для нормального функціонування водних екосистем, і серед інших екосистем Київського та верхньої частини Канівського водосховищ. На сьогодні одним з актуальних завдань є оцінка наслідків впливу воєнних дій на довкілля, зокрема на формування якості води і санітарного стану водних об'єктів. Для київської ділянки Канівського водосховища, де на антропогенний тиск з боку мегаполіса накладаються ризики, спричинені воєнними діями, це питання потребує особливої уваги.

Мета роботи — дослідити особливості формування, сезонну і міжрічну динаміку бактеріальних угруповань планктону та за комплексом індикаторних мікроорганізмів визначити санітарний стан київської ді-

лянки Канівського водосховища в сучасних умовах його функціонування.

Матеріал і методика досліджень

У статті використано результати досліджень, проведених на київській ділянці Канівського водосховища у 2022—2024 рр., а саме — у травні (2024 р.), червні (2022, 2023 рр.), липні (2024 р.), серпні (2023 р.), вересні (2024 р.) та жовтні (2022, 2023, 2024 рр.).

Проби для аналізу відбирали з поверхневого шару води (0,5 м) на руслових станціях: біля о. Муромець (50°31'55,8" п. ш. 30°32'21,42" с. д.), на ділянці парку «Наталка» (50°49'78,3" п. ш. 30°52'52,42" с. д.) та в затоках Собаче Гирло (50°51'53,21" п. ш. 30°52'30,15" с. д.) і Оболонь (50°51'35,12" п. ш. 30°52'18,58" с. д.).

Визначення концентрації неорганічних форм азоту і фосфору, вмісту у воді органічної речовини за показниками хімічного споживання кисню (XSK_{Mn} і XSK_{Cr}) проводили згідно [12].

Для вивчення структурних показників бактеріопланктону готували препарати на чорних полікарбонатних мембранних фільтрах. Чисельність бактеріопланктону (ЧБП) та клітин з ушкодженою цитоплазматичною мембраною (тобто мертвих, пошкоджених або нежиттєздатних мікроорганізмів) визначали методом прямого підрахунку після забарвлення препаратів відповідно флуорохромами 4,6-діамідіно-2-феніліндолом (DAPI) і 3,8-діаміно-5-[3-(діетилметиламонію) пропіл]-6-фенілфенантридиній дийодидом (PI) [34]. Дослідження проводили з використанням епіфлуоресцентного мікроскопа Axio Imager A1 фірми Carl Zeiss (об'єктив 100×, окуляр 10×) при збудженні ультрафіолетом довжиною хвиль 365 та 530—550 нм [36, 39].

Кількість евтрофних (ЕБ) та оліготрофних бактерій (ОБ) у воді визначали шляхом культивування проб відповідно на м'ясо-пептонному та голодному агарі [12].

Для проведення санітарно-бактеріологічного аналізу посіви відібраного матеріалу здійснювали на набори сухого живильного середовища Dry Filter™ (фірми Himedia). Проби води фільтрували через стерильні мембранні фільтри, які інкубували в умовах, вказаних у технічній документації до наборів [34]. Для виявлення, виділення та підрахунку у досліджуваній воді умовно-патогенних та патогенних мікроорганізмів використовували: агар М-Ендо, жовчно-ескуліновий агар з азидом натрію, універсальне хромогенне середовище, хромогенне середовище для сальмонел, середовища Сланець — Бартлі, Чапмена — Стоуна, з типолем та з цетримідом. Інтерпретацію результатів здійснювали шляхом прямого підрахунку кількості колоній утворюючих одиниць (КУО) у перерахунку на об'єм профільтрованої проби.

Санітарний стан київської ділянки Канівського водосховища був охарактеризований на основі використання кількісних показників вмісту у воді санітарно-показових мікроорганізмів за категорією водокористування — місця для купання, спорту та відпочинку населення, а також

водойми в межі населених пунктів, що регламентовані СанПіН № 4630-88, Наказом МОЗ України № 173 (від 19.06.1996 р.) та відповідно до Директиви 2006/7/ЕС щодо якості води для купання (від 15.02.2006 р.) [27].

Статистичну обробку та візуалізацію даних виконано із застосуванням пакету програм PAST 5.0 [25] та табличного процесору MS Excel 2016.

Результати досліджень та їх обговорення

Гідрохімічна характеристика та елементи гідрологічного режиму. Втручання російських військ у лютому 2022 р. на північ Київської обл. (Україна) створило ризики для нормального функціонування водних екосистем басейну Дніпра [22]. Як наслідок, у 2022—2024 рр. дослідження київської ділянки Канівського водосховища проводили за умов суттєвого антропогенного тиску, спричиненого підризом дамби на р. Ірпінь, забруднення паливно-мастильними матеріалами (від ракет, БПЛА, військової техніки), руйнування інфраструктури (промислової, критичної, житлово-комунальної). Попри фрагментарні відомості з відкритих джерел [32] про зміни динаміки якості вод Дніпровського басейну щодо вмісту органічних синтетичних речовин (наприклад, пестицидів, поліароматичних вуглеводів, летких органічних сполук) та неорганічних забруднювачів (наприклад, важких металів), їхня наявність вважається авторами як потенційна додаткова причина погіршення екологічного стану водних об'єктів.

Проблеми в енергетичному секторі, спричинені війною, стали однією з основних причин нестабільного режиму роботи Київської ГЕС, що суттєво вплинуло на гідрологічний режим Канівського водосховища. Аналіз динаміки рівня води на гідропості р. Дніпро в межах м. Києва протягом 2023—2024 рр., проведений за даними офіційних відкритих джерел [26, 33, 35], виявив значні добові та сезонні коливання (рис. 1).

У весняний період характерним було поступове формування водопілля, яке ускладнювалося скиданням води з Київського водосховища для підтримання енергосистеми. Це призводило до утримання високих рівнів води протягом тривалого часу і підтоплення прибережних ділянок. У літні місяці переважав спад рівня води, однак спостерігались епізодичні коливання, спричинені раптовими попусками, пов'язаними з потребами вироблення електроенергії. У осінній період рівень води був значною мірою обумовлений кількістю атмосферних опадів, а також режимом роботи Київської ГЕС.

Отже, режим роботи ГЕС у воєнний період став одним з основних чинників гідрологічного балансу середньої течії Дніпра. Такі коливання водного режиму створювали значне екологічне навантаження на водні екосистеми, зокрема через зміну умов існування планктонних організмів, підтоплення або осушення прибережних біотопів, а також порушення сезонної циклічності гідробіонтів [3, 15].

Аналіз результатів гідрохімічних досліджень, проведених на київській ділянці Канівського водосховища впродовж 2022—2024 рр., пока-

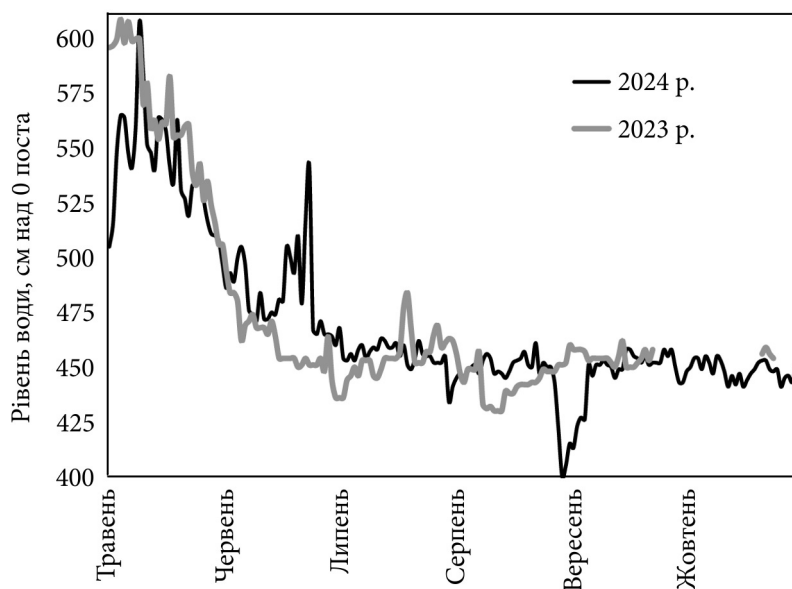


Рис. 1. Коливання рівня води у Канівському водосховищі (гідропост Київ) протягом 2023—2024 рр. за даними [26, 33, 35]

зав наступне. Концентрація амонійного азоту коливалася в межах $0,168—0,953$ мг N/дм³, нітритного — $0,001—0,013$, нітратного — $0,078—0,265$ мг N/дм³, а неорганічного фосфору — $0,020—0,204$ мг P/дм³ (табл. 1). Вміст органічної речовини, визначений за ХСК_{Мп}, становив $12,16—25,92$, за ХСК_{Cr} — $20,15—42,86$ мг O/дм³.

Сезонна динаміка зазначених гідрохімічних показників за усередненими міжрічними даними мала характерні закономірності. Концентрація амонійного азоту досягала максимальних значень у літній період, коли з підвищенням температури води активізувався процес розкладу азотовмісних органічних сполук. Найнижчі концентрації фіксувалися восени. Сезонні коливання температури води, за даними моніторингу МОЗМДВ [32], були важливим фактором, що впливав на гідрохімічні показники. Аналіз виявив достовірну залежність між концентрацією амонійного азоту та температурою води ($r = 0,54$, $p = 0,02$).

Концентрація азоту нітратів навесні і восени характеризувалася близькими величинами, тоді як у літній період спостерігалася її помітне зниження. Імовірно, нітратна форма азоту є фізіологічно більш прийнятною для асиміляції фітопланктоном порівняно з амонійною.

Вміст фосфору фосфатів у воді влітку і восени характеризувався близькими величинами, проте порівняно з весною зростав майже втричі. Високі літньо-осінні концентрації свідчать про суттєве забруднення київської ділянки фосфоровмісними сполуками антропогенного походження з боку мегаполіса.

Таблиця 1

Гідрохімічна характеристика київської ділянки Канівського водосховища
(2022—2024 рр.)

Показники	Весна	Літо	Осінь
NH_4^+ , мг N/дм ³	<u>0,330–0,379</u> 0,355	<u>0,263–0,953</u> 0,469	<u>0,168–0,276</u> 0,219
NO_2^- , мг N/дм ³	<u>0,001–0,002</u> 0,0015	<u>0,002–0,013</u> 0,008	<u>0,002–0,013</u> 0,009
NO_3^- , мг N/дм ³	<u>0,143–0,145</u> 0,144	<u>0,078–0,150</u> 0,109	<u>0,090–0,265</u> 0,143
PO_4^{3-} , мг P/дм ³	<u>0,032–0,052</u> 0,042	<u>0,020–0,202</u> 0,119	<u>0,080–0,204</u> 0,115
$\text{ХСК}_{\text{Мп}}$, мг О/дм ³	<u>25,60–25,92</u> 25,76	<u>17,25–20,99</u> 18,99	<u>12,16–14,40</u> 13,58
$\text{ХСК}_{\text{Сг}}$, мг О/дм ³	<u>38,63–39,18</u> 38,91	<u>27,59–42,86</u> 35,37	<u>20,15–25,68</u> 22,45

П р и м і т к а. Над рискою — межі коливання; під рискою — середні значення за період досліджень.

На відміну від неорганічних форм азоту та фосфору, сезонна динаміка вмісту органічної речовини у воді за показниками $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$ і $\text{ХСК}_{\text{Сг}}$ виявляла чітко виражені послідовні зміни. Максимальні значення фіксувалися навесні, з подальшим поступовим зниженням протягом літа до мінімумів восени. На вміст органічної речовини у воді київської ділянки Канівського водосховища суттєво впливають гумусові речовини, що надходять з Київського водосховища. У літній період, з підвищенням температури води, процеси розкладу органічної речовини активізуються і продовжуються досить активно до завершення метеорологічного літа, чим і обумовлюються особливості сезонної динаміки хімічного споживання кисню (див. табл. 1).

На особливості просторового (по довжині київської ділянки) розподілу гідрохімічних характеристик впливали різноманітні чинники, зокрема водний режим, зумовлені ним коливання рівня води та процеси водообміну між затоками і русловою частиною водосховища, антропогенне навантаження з боку м. Києва, а в літній період — і «цвітіння» води внаслідок інтенсивного розвитку ціанопрокаріот.

Навесні та на початку літа, внаслідок значних об'ємів попусків води через греблю Київської ГЕС, гідрохімічні характеристики по довжині київської ділянки характеризувалися незначними коливаннями. У липні та серпні, зі зростанням інтенсивності «цвітіння» води та посиленням антропогенного впливу з боку міста, спостерігалось підвищення концентрацій амонійного азоту і, особливо, фосфору фосфатів по довжині досліджуваної ділянки. Восени просторовий розподіл гідрохімічних показ-

ників характеризувався помітними коливаннями без чітко вираженого спрямування.

Встановлено, що на деякі гідрохімічні показники впливали коливання рівня води у водосховищі. Зокрема, спостерігався зв'язок між концентрацією азоту нітратів ($r = 0,73$, $p = 0,01$) і фосфору фосфатів ($r = -0,68$, $p = 0,03$) та рівнем води (рис. 2, а, б). Крім того, відмічено зростання концентрації органічної речовини при зміні рівня води, що підтверджено позитивним зв'язком з ХСК_{Мп} ($r = 0,61$, $p = 0,03$), ймовірно, через надходження легкоокиснюваної органічної речовини з підтоплених прибережних територій (див. рис. 2, в). Отже, коливання рівня води є одним із важливих чинників, що не лише визначає гідрохімічний стан, а й формує умови існування мікроорганізмів у водному середовищі.

Аналіз міжрічної динаміки досліджуваних гідрохімічних показників засвідчив наявність певних розбіжностей їхніх величин у різні роки спостережень. Очевидно, ці відмінності були зумовлені погодними умовами, а також режимом роботи Київської ГЕС у той чи інший рік досліджень.

Загалом, згідно з результатами проведених гідрохімічних досліджень, в сучасних умовах у воді київської ділянки Канівського водосховища відмічається помітне підвищення концентрацій амонійного азоту, фосфору фосфатів, а також вмісту органічних речовин за показниками ХСК_{Мп} та ХСК_{Сг}, порівняно з даними, отриманими раніше [6, 10, 17, 18, 20]. Виявлені зміни є наслідком посилення впливу природних та антропогенних чинників, а також нестабільного режиму роботи ГЕС.

Мікробіологічна характеристика. У сучасний період на київській ділянці Канівського водосховища чисельність бактеріопланктону змінювалась у широких межах — від 3,9 до 14,9 млн. кл/см³, в середньому становлячи 7,9 млн. кл/см³ (рис. 3). Найвищі показники відмічали восени 2022 р. на русловій ділянці під час високого рівня води (488 см над 0 поста) і підтоплення берегів частини парку «Наталка» [28, 29]. Найнижчу ЧБП було зафіксовано у зат. Оболонь у той самий період — після стрімкого зниження рівня води.

Для сезонної динаміки виявлено незначне підвищення чисельності бактеріопланктону восени, що в середньому становило 8,1 млн. кл/см³ для всіх досліджених станцій, порівняно з весною та літом (в середньому 7,6 та 7,7 млн. кл/см³, відповідно) (див. рис. 3). Зміни температури води були важливим фактором, що впливав на розвиток і функціонування бактеріальних угруповань планктону. Аналіз виявив достовірну залежність чисельності бактеріопланктону від температури води ($r = 0,52$, $p = 0,007$) (див. рис. 2, д), а також для окремих його складових — Coliform ($r = 0,57$, при $p = 0,003$) та умовно-патогенних бактерій ($r = 0,44$, при $p = 0,03$). Ці результати підкреслюють, що температура води є одним з ключових абіотичних чинників, що формують структуру та активність бактеріальних угруповань планктону.

У просторовому розподілі подібне коливання чисельності бактеріопланктону відмічалось у затоках (3,9—12,3 млн. кл/см³) та на русловій ділянці (4,6—11,6 млн. кл/см³), хоча амплітуда коливання ЧБП була вуж-

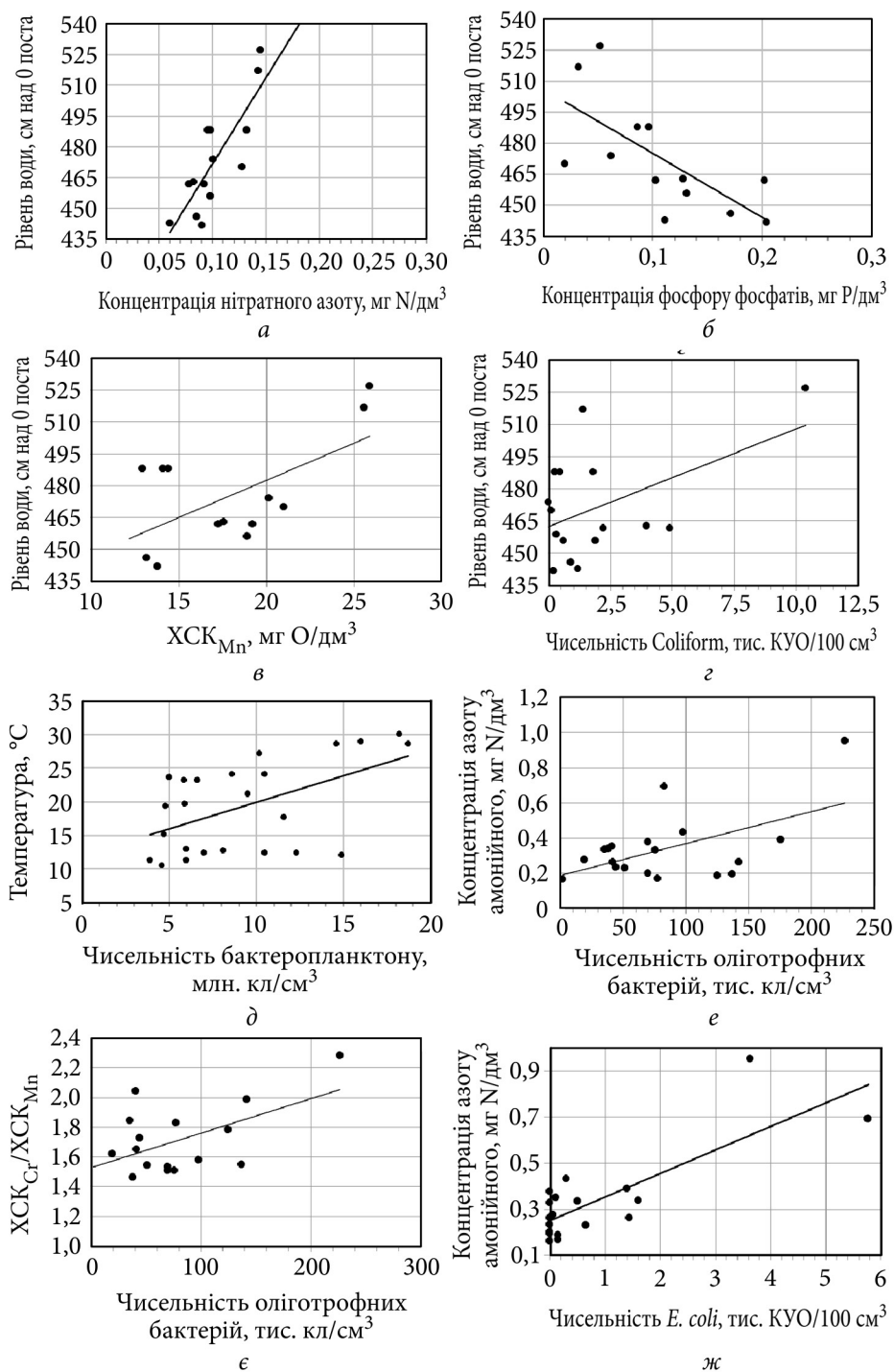


Рис. 2. Сила і напрямок кореляційного зв'язку між мікробіологічними (з—ж), гідрохімічними (а—в, д—ж) та гідрологічними (а—г) параметрами води київської ділянки Канівського водосховища (2022—2024 рр.)

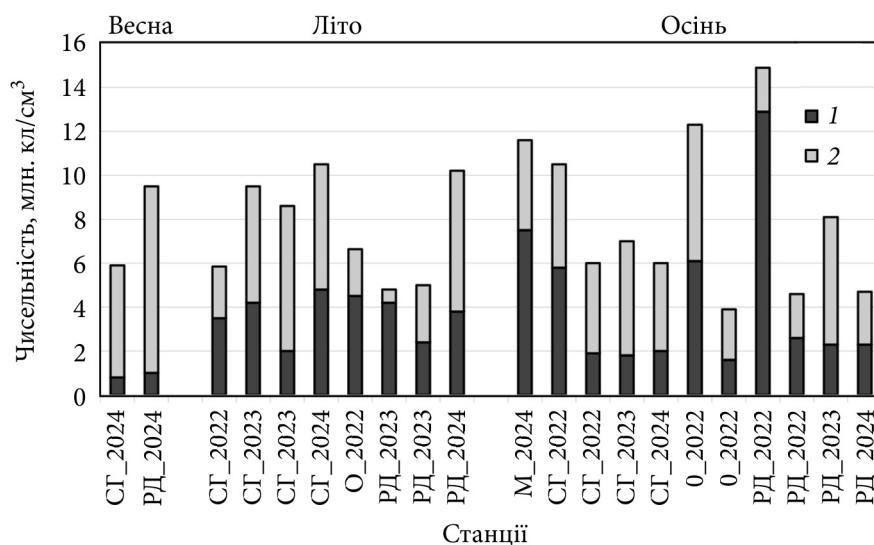


Рис. 3. Просторова та сезонна динаміка чисельності бактеріопланктону (2) та бактерій з ушкодженою цитоплазматичною мембраною (1) на досліджених станціях. Тут та на рис. 4, 5: СГ — зат. Собаче Гирло; О — зат. Оболонь; М — о. Муромець; РД — руслова ділянка; рік дослідження зазначено окремо

чою на русловій ділянці. Зміни чисельності бактеріопланктону могли відбуватись завдяки внутрішньоводойменним процесам, зумовленим змінами рівня води, та через антропогенне навантаження з боку м. Києва.

Аналіз міжрічної динаміки чисельності бактерій у воді виявив співмірні середні величини, які змінювалися від 7,2 (2023 р.) до 8,3 млн. кл./см³ (2024 р.).

Протягом 2022—2024 рр. кількість бактерій з ушкодженою цитоплазматичною мембраною, так званих мертвих, була 0,8—12,9 млн. кл./см³ (див. рис. 3), що становило від 10,5 до 87,5 % (в середньому 45,7 %) чисельності бактеріопланктону. Найвищу та найнижчу їхню частку фіксували відповідно влітку 2023 р. і весною 2024 р. на русловій ділянці під час зниження рівня води.

Для сезонних змін відмічали підвищення частки мертвих бактерій у планктоні в середньому у 4,0 рази влітку та восени (до 47,4—51,7 % чисельності бактеріопланктону), порівняно з весною, що могло бути зумовлено коливаннями рівня води, фізико-хімічний впливом та антропогенним навантаженням.

Просторовий розподіл виявив, що частка бактерій з ушкодженою цитоплазматичною мембраною на русловій ділянці перевищувала в середньому 50 % ЧБП. У досліджених затоках, де обмін водних мас із руслом повільніший, вона була нижчою, досягаючи в середньому 40,9 % чисельності бактеріопланктону.

Результати вивчення динаміки по роках частки мертвих бактерій у воді свідчать про поступове її зниження від 56,0 % (2022 р.) до 36,3 %

(2024 р.), що пояснюється реакцією на суттєвий антропогенний тиск у 2022 р.

Слід відмітити, що чисельність бактеріопланктону у притоці Канівського водосховища — р. Десні влітку 2021 р. становила 18,3 млн. кл/см³, з яких лише 11,5 % припадало на мертві бактерії. На русловій ділянці, нижче впадіння Десни у водосховище (біля о. Муромець), у цей період ЧБП зменшувалася до 14,6 млн. кл/см³, з яких 12,6 % були мертві. Натомість, восени 2024 р. частка бактерій з ушкодженою цитоплазматичною мембраною на русловій ділянці нижче впадіння Десни збільшилася у 5 разів, сягаючи 64,7 %, при подібній чисельності бактеріопланктону (11,6 млн. кл/см³) (див. рис. 3). Однією з причин таких змін було надходження до Десни сильно забруднених вод з р. Сейм восени 2024 р. [30, 31].

Чисельність евтрофних бактерій протягом дослідження змінювалася від 30,0 до 475,8 тис. кл/см³, в середньому дорівнюючи 268,9 тис. кл/см³ (рис. 4). Максимальні величини відмічали восени 2022 р., а мінімальні — літом 2023 р. у зат. Собаче Гирло, після падіння рівня води в обидва роки дослідження.

Вивчення сезонних коливань вмісту ЕБ свідчить про його зростання навесні та восени в середньому до 291,6 тис. кл/см³, порівняно з літом для всіх досліджених станцій (див. рис. 4). Розвиток бактерій, здатних розкладати легкоокиснювану речовину, визначався кількісним та якісним складом органічної речовини, що залежав від гідрологічного режиму, розвитку біоти та антропогенного тиску.

У просторовому аспекті реєстрували подібну середню кількість евтрофних бактерій у воді руслової ділянки (в середньому 270,9 тис. кл/см³) та заток (в середньому 267,4 тис. кл/см³). Однак межі коливання цього показника для досліджених ділянок різнилися — на русловій ділянці, подібно чисельності бактеріопланктону, відмічали вужчі межі коливань, ніж у затоках, що могло бути зумовлено інтенсивнішим антропогенним та рекреаційним навантаженням на затоки, а також внесенням забруднень з прилеглої території міста.

Між роками досліджень коливання середніх значень чисельності евтрофних бактерій у воді не виявили суттєвих змін і були в межах 255,3—275,3 тис. кл/см³.

За показниками чисельності евтрофних бактерій, відповідно до системи комплексної оцінки якості поверхневих вод [16], на київській ділянці Канівського водосховища у період 2022—2024 рр. спостерігали стан вод, що відповідав V класу 7 категорії — «дуже погані», за ступенем чистоти вод — «дуже брудні».

У сучасних умовах функціонування кількість оліготрофних бактерій, які пристосовані до життя в середовищах з низькою концентрацією поживних речовин, змінювалася від 2,1 до 226,7 тис. кл/см³, складаючи в середньому 89,5 тис. кл/см³ (рис. 5). Високі показники реєстрували влітку і восени 2023 р. відповідно на русловій ділянці та у зат. Собаче Гирло. Низькі величини чисельності ОБ зафіксували восени 2024 р. на ділянці

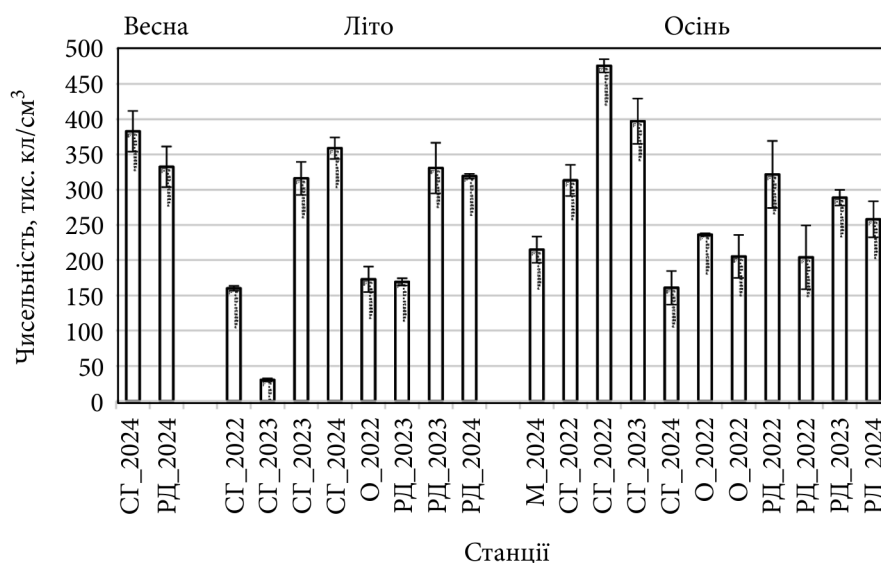


Рис. 4. Просторова та сезонна динаміка чисельності евтрофних бактерій у воді київської ділянки Канівського водосховища. Тут і на рис. 5: зазначено стандартні відхилення

русла біля о. Муромець під час зниження рівня води та забруднення приток водосховища (річок Сейму і Десни).

Аналіз сезонних змін виявив зростання кількості оліготрофних бактерій влітку (в середньому 104,9 тис. кл./см³) порівняно з весною та осінню (в середньому 80,0 тис. кл./см³) (див. рис. 6). Несталий розвиток ОБ зумовлений нестабільними умовами існування, доступністю органічної речовини та властивим їм низьким темпом розмноження. Встановлено, що чисельність ОБ позитивно корелювала з концентрацією амонійного азоту ($r = 0,52, p = 0,02$) (див. рис. 2, е). Це вказує на можливість використання NH_4^+ як джерела азоту для їхнього метаболізму. На розвиток ОБ також впливав якісний склад органічної речовини. Їхня чисельність позитивно корелювала ($r = 0,55, p = 0,03$) із співвідношенням $\text{ХСК}_{\text{Cr}}/\text{ХСК}_{\text{Mn}}$ (див. рис. 2, є). Збільшення частки органічної речовини, яка визначається за дихроматною окиснюваністю, у загальному складі органіки створювало сприятливі умови для їхнього розвитку.

Для просторової динаміки відмічали дещо вищі середні величини чисельності ОБ у воді заток (95,4 тис. кл./см³), ніж на русловій ділянці (81,7 тис. кл./см³), через інтенсивніший розвиток фітопланктону та вищої водної рослинності.

Вміст оліготрофних бактерій у планктоні мав неусталений характер з досягненням максимуму у 2023 р. Очевидно, ці відмінності були зумовлені сукупним впливом біотичних та абіотичних чинників.

Частка оліготрофних бактерій у загальній кількості культивованих планктонних бактерій опосередковано характеризує трофічність водойми і

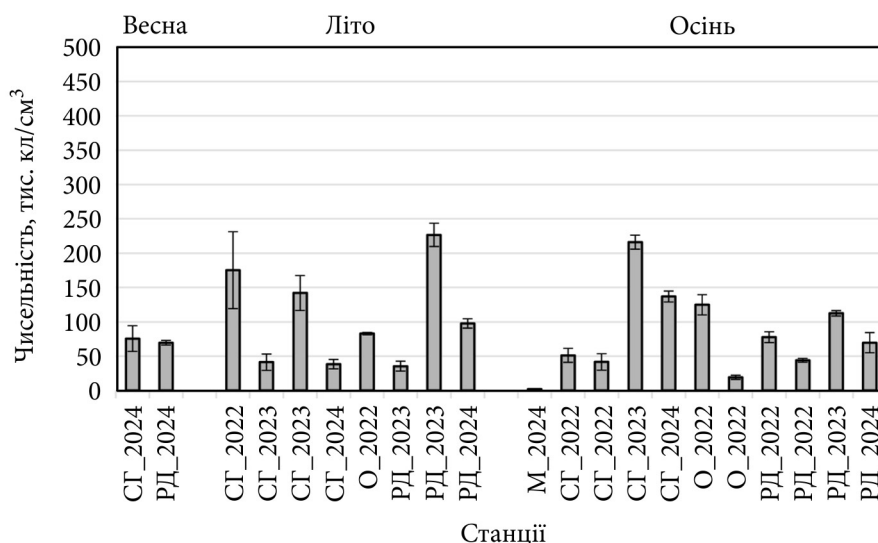


Рис. 5. Просторова та сезонна динаміка чисельності оліготрофних бактерій у воді досліджених станцій (2022—2024 рр.)

якісний склад органічної речовини [4, 8, 13, 17, 37, 38, 41]. За час спостереження на досліджених станціях частка ОБ варіювала в межах 1,0—57,9 %, складаючи в середньому 25,3 % чисельності культивованих бактерій. Влітку реєстрували її зростання в середньому до 33,1 %, а весною та восени — зниження відповідно у 2,0 та 1,6 рази. Просторовий розподіл виявив меншу їхню частку на русловій ділянці (20,7 %) порівняно із затоками (28,8 %), що пояснюється нижчим рівнем водообміну та більшою акумуляцією речовин різної природи в останніх. Отже, на київській ділянці Канівського водосховища евтрофні бактерії домінували над оліготрофними, що свідчить про присутність у воді значної кількості легкоокиснюваної органічної речовини та опосередковано сигналізує про забруднення та евтрофування природних вод.

Зміна внутрішньої динамічної рівноваги екосистеми внаслідок евтрофікації та забруднення теригенним стоком може сприяти тривалому збереженню в ній умовно-патогенної та патогенної мікрофлори. Особливо це стосується водних об'єктів у межах населених пунктів, поблизу скидання недостатньо очищених стічних вод та в місцях рекреації населення. Відомо, що на цих ділянках збільшується частота виявлення у водоймах бактерій род. *Enterobacteriaceae*, що становлять потенційну епідеміологічну небезпеку для людей, тварин і рослин [9, 11, 19, 24, 38, 40].

Протягом років дослідження на київській ділянці Канівського водосховища кількість умовно-патогенних та патогенних бактерій у воді коливалася від 0,5 до 54,9 тис. КУО/100 см³ (рис. 6). Максимальні величини відмічено влітку 2022 р. у зат. Собаче Гирло, мінімальні — влітку 2023 р. на русловій ділянці, після падіння рівня води, що довго тримався. Слід

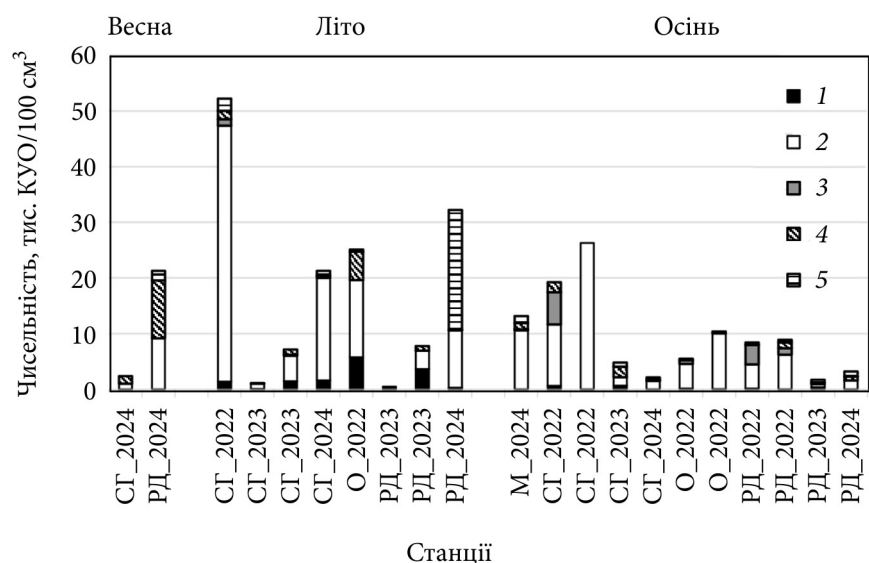


Рис. 6. Кількість умовно-патогенних мікроорганізмів у воді київської ділянки Канівського водосховища в 2022—2024 рр.: 1 — *Escherichia coli*; 2 — *Enterococcus faecalis*; 3 — *Staphylococcus* spp.; 4 — *Klebsiella* spp.; 5 — *Salmonella* spp.

відмітити, що у всіх досліджених зразках були відсутні такі патогенні бактерії, як *Escherichia coli* O157:H7, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* serotype Typhimurium. Винятком були руслова ділянка та зат. Собаче Гирло, де влітку 2023 р. реєстрували бактерії р. *Proteus*.

У сезонній динаміці найвищі величини кількісних показників умовно-патогенних бактерій відмічали влітку, в середньому вони становили 20,9 тис. КУО/100 см³, що було пов'язано із сприятливою для них температурою води, інтенсивним рекреаційним навантаженням та гідрохімічними параметрами води. У два інших сезони їхня чисельність була нижчою в середньому у 2,0 рази. Аналіз даних виявив достовірний зв'язок між чисельністю Coliform і рівнем води ($r = 0,60$, $p = 0,03$), що могло бути пов'язано із змиванням забруднення з прибережних територій, під час затоплення берегів, яке створювало сприятливе середовище для цих бактерій, а також допливу забруднених стоків (див. рис. 2, г). Також на функціонування *Escherichia coli* впливала концентрація амонійного азоту ($r = 0,81$, $p = 0,00003$), що могло бути наслідком впливу побутово-комунальних стоків (див. рис. 2, ж).

Для просторових змін було відмічено дещо вищі середні показники у затоках (15,8 тис. КУО/100 см³), ніж на русловій ділянці (11,6 тис. КУО/100 см³). На це вплинула більша кількість зон для відпочинку населення та пляжів, розташованих у затоках, ніж на проточних руслових ділянках.

Аналіз міжрічних коливань показав, що загальна кількість вивчених умовно-патогенних бактерій у 2022 р. була у 3,8 та 1,5 рази вищою, ніж у

2023 і 2024 рр. відповідно. Зміни цих величин могли бути зумовлені наслідками інтенсивних воєнних дій у 2022 р. та подальшим антропогенним і рекреаційним тиском.

Кількість санітарно—показових мікроорганізмів у складі умовно-патогенних змінювалася від 0,5 до 47,4 тис. КУО/100 см³. У 2/3 досліджених зразків не фіксували перевищень санітарно-мікробіологічної норми за чисельністю *E. coli*. Загалом кількість кишкової палички у воді перевищувала норму у 1,0—11,6 разів (в середньому у 3,9 раза). Найбільші перевищення зареєстровано влітку 2022 р. у зат. Оболонь. Виявлені кількості *Enterococcus faecalis* у зразках води не відповідали межам норми, перевищуючи її у 1,3—115,0 разів (в середньому у 23,2 раза), що є маркером свіжого фекального забруднення оточуючого середовища. Винятком була руслова ділянка на початку літа 2023 р., де не виявили фекальні ентерококи, можливо через зниження рівня води у цей період.

У досліджених зразках також були виявлені бактерії родів *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Salmonella* і *Staphylococcus*. Вміст цих груп бактерій у воді не нормується законодавством, але серед їхніх представників можуть бути присутні патогенні чи умовно-патогенні, які супроводжують харчове отруєння, інфекції шкіри і слизових оболонок, інші захворювання людей [11, 23, 24]. Отже, отримані результати свідчать про постійне тривале бактеріологічне забруднення київської ділянки Канівського водосховища.

Вивченню Канівського водосховища, особливо його верхньої ділянки в межах м. Києва, приділялася значна увага дослідників. Порівняння величин кількісного розвитку бактеріальних угруповань планктону у сучасних умовах з даними минулих періодів показало їхнє зростання. Такий перебіг процесів провокують не тільки антропогенне навантаження на водосховище мегаполісу, але й кліматичні зміни в сторону потепління, тривалі періоди посухи, відсутність дощових опадів та істотне погіршення якості води в період воєнних дій. Зазначене створює умови для інтенсивного розвитку евтрофних бактерій у воді, кількість яких на порядок перевищувала величини, зареєстровані в літні періоди за нижчих температур та органічного забруднення [4, 5, 8, 14, 17, 18, 20].

Порівняння отриманих результатів досліджень протягом 2022—2024 рр. з довоєнними [41] показало відмінності, які свідчать про порушення функціонування екосистеми водосховища у сучасних умовах.

Загалом, реакція бактеріальних угруповань планктону, що полягала у відповідному коливанні чисельності певних складових, значною мірою залежала від антропогенних факторів, зокрема воєнних дій, сезонних, гідрологічних та гідрохімічних параметрів, а також органічного забруднення різної природи та складу. Присутність на досліджених станціях індикаторних мікроорганізмів санітарного стану засвідчує потенційну небезпеку комплексного використання водойм на деяких ділянках водосховищ (а саме: затоки Оболонь та Собаче Гирло).

Висновки

Бактеріопланктон київської ділянки Канівського водосховища, досліджений протягом різних сезонів 2022—2024 рр., в умовах антропогенного впливу, зокрема спричиненого воєнними діями, коливання рівня і температури води, значної кількості біогенних сполук, характеризувався високими показниками кількісного розвитку, сезонними та просторовими відмінностями. Середні показники чисельності бактеріопланктону на досліджених станціях налічували 7,9 млн. кл/см³. Сезонна динаміка виявила пікові значення показника у літньо-осінній період під час сприятливого температурного режиму та значного вмісту легкодоступної органічної речовини.

Кількість евтрофних та оліготрофних бактерій в середньому дорівнювала відповідно 268,9 і 89,5 тис. кл/см³. Сезонні коливання показують зростання вмісту евтрофних бактерій весною та восени, а оліготрофних — влітку. Крім накопичення природної органічної речовини у воді водосховища, можна припустити також вилив антропогенних факторів. Невисока частка ОБ (в середньому 25,3 % чисельності) свідчить про переважання ЕБ у загальній кількості культивованих планктонних бактерій, а отже — про накопичення речовин та евтрофування водойми.

Згідно з екологічною класифікацією якості поверхневих вод за показником чисельності евтрофних бактерій, води київської ділянки Канівського водосховища відповідали категорії «дуже погані», V класу якості.

Найвищий вміст умовно-патогенних бактерій, як і санітарно-показових, відмічали в літній сезон у затоках. Встановлено, що кількість санітарно-показових бактерій значно перевищувала допустимі норми, що створює небезпеку для здоров'я людей і тварин, а отже, потребує постійного спостереження.

Встановлено достовірні залежності між мікробіологічними і гідрохімічними параметрами, а також рівнем води.

Результати проведених гідрохімічних досліджень доводять, що в сучасних умовах у воді київської ділянки Канівського водосховища відмічаються підвищені концентрації амонійного азоту, фосфору фосфатів, а також вміст органічних речовини (за показниками ХСК_{Мп} і ХСК_{Cr}). Виявлені зміни є наслідком посилення впливу природних та антропогенних чинників, а також напруженого режиму роботи ГЕС.

Список використаної літератури

1. Вишневецький В.І. Ріка Дніпро. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2011. 384 с.
2. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник / за ред. В.К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ: Інтерпрес, 2014. 164 с.
3. Воліков Ю.М., Старосила Є.В., Рибка Т.С. Роль різних проявів антропогенного впливу на просторово-часову динаміку макрзообентосу метаутруповань різнотипних водних об'єктів. IX Міжнар. наук.-практична конф. «Тернопільські біологічні читання — Ternopil bioscience-2025» (1—2 трав., 2025 р.). Тернопіль: Вектор, 2025. С. 310—312.

4. Головка Т.В., Багнюк Л.И. Пространственно-временная характеристика бактериопланктона верхней части Каневского водохранилища. *Гидробиол. журн.* 2009. Т. 45, № 4. С. 73—81.
5. Головка Т.В., Якушин В.М., Тронько Н.И. Особенности функционирования бактериопланктона верхнего участка Каневского водохранилища на современном этапе его существования. *Там само.* 2010. Т. 46, № 5. С. 90—101.
6. Горбатюк Л.О. Гідроекологічні дослідження Канівського водосховища в ретроспективі та на сучасному етапі (огляд). *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2015. Т. 63, № 2. С. 73—84.
7. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Київ: Наук. думка, 1989. 216 с.
8. Жданова Г.А., Кошелева С.И., Олейник Г.Н. и др. Сравнительная оценка качества воды на речном участке Каневского водохранилища. *Гидробиол. журн.* 1986. Т. 22, № 5. С. 50—53.
9. Зінченко І.В., Васенко О.Г., Бабіч О.В., Ангін Л.С. Моніторинг самоочищення акваторії дельти Дунаю і річки Мерло за мікробіологічними показниками. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2023. Вип. 39. С. 39—54.
10. Линник П.Н. Причины ухудшения качества воды в Киевском и Каневском водохранилищах. *Химия и технология воды.* 2003. Т. 25, № 4. С. 384—403.
11. Медична мікробіологія, вірусологія та імунологія / за ред. В.П. Широбокова. Вінниця: Нова Книга, 2021. 920 с.
12. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. 408 с.
13. Михайленко Л.Е. Бактериопланктон днепровских водохранилищ. Київ: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 1999. 300 с.
14. Оксик О.П., Тимченко В.М., Давыдов О.А. и др. Состояние экосистемы Киевского участка Каневского водохранилища и пути его регулирования. Київ: Ин-т гидробиологии НАНУ, 1999. 60 с.
15. Рибка Т.С., Старосила Є.В., Воліков Ю.М. Роль різних проявів антропогенного впливу на просторово-часову динаміку угруповань зоопланктону у різнотипних водних об'єктах. IX Міжнар. наук.-практична конф. «Тернопільські біологічні читання — Ternopil bioscience-2025» (1—2 трав., 2025 р.). Тернопіль: Вектор, 2025. С. 330—332.
16. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксик О.П., Яцик А.В. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
17. Романенко В.Д., Якушин В.М., Щербак В.І. та ін. Біорізноманіття та біоресурсний потенціал екосистем дніпровських водосховищ в умовах кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії. Київ: Наук. думка, 2019. 256 с.
18. Романишин Г.М., Якушин В.М., Каленіченко К.П., Лінчук М.І. Сучасний стан київської ділянки Канівського водосховища за деяким гідрохімічними та мікробіологічними показниками. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2013. Т. 54, № 1. С. 38—44.
19. Якушин В.М., Бей Т.В., Шмаргун Л.М. Оценка качества воды Дуная по санитарно-бактериологическим показателям. *Гидробиол. журн.* 1991. Т. 27, № 2. С. 41—48.
20. Якушин В.М., Головка Т.В., Каленіченко К.П., Лінчук М.І. Оцінка процесів формування якості води на Київській ділянці Канівського водосховища за деякими гідрохімічними і мікробіологічними показниками. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2004. Т. 6. С. 267—272.
21. Яцик А.В., Яковлев Є.О., Осадчук В.О. До питання щодо спуску Київського водосховища / за ред. А. В. Яцика. Київ: Оріяни, 2002. 52 с.
22. Afanasyev S.O. Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review). *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 4. P. 3—16.

23. Arvanitidou M., Kanellou K., Vagiona D.G. Diversity of *Salmonella* spp. and fungi in northern Greek rivers and their correlation to fecal pollution indicators. *Environ. Res.* 2005. Vol. 99, N 2. P. 278—284.
24. Cabral J.P.S. Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *J. Environ. Res. Public. Health.* 2010. Vol. 7, N 10. P. 3657—3703.
25. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica.* 2001. Vol. 4, N 1. P. 1—9.
26. https://t.me/VA_Kyiv.
27. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32006L0007>.
28. <https://focus.ua/uk/ukraine/532643-v-dnepre-podnyalsya-uroven-vody-berega-oboloni-podtopleny-foto>.
29. https://kyivcity.gov.ua/news/pidvischennya_rivnya_vodi_v_dnipri_ne_perevischuye_avariynikh_znachen_i_povyazano_z_intensivnoyu_robotoyu_ges/.
30. <https://hydrobio.kiev.ua/ua/novyny/221-2024/veresen/168-interviu-naukovtsiv-zabrudnennia-richok-seim-i-desny>.
31. <https://mepr.gov.ua/operativna-informatsiya-shhodo-sytuatsiyi-na-richkah-sejm-ta-desna-2/>.
32. <https://mozmdv.gov.ua/monitorynh-iakosti-vody/>.
33. <https://t.me/uhmc2022>.
34. <https://www.himedialabs.com/us/microbiology>.
35. <https://www.meteo.gov.ua/>.
36. Methods in microbiology / Ed. by J.H. Paul. USA: Acad. Press, 2001. Vol. 30. 657 p.
37. Oleynik G.N., Starosila Ye.V. Structure and functioning of bacterioplankton and bacteriobenthos in the water bodies with high content of inorganic nitrogen. *Hydrobiol. J.* 2010. Vol. 46, N 6. P. 26—36.
38. Oleynik G.N., Yurishinets V.I., Starosila Ye.V. Bacterioplankton and bacteriobenthos as biological indicators of aquatic ecosystem state. *Ibid.* 2011. Vol. 47, N 2. P. 37—48.
39. Starosila Ye.V. New methods and directions of investigations in aquatic microbiology (a review). *Ibid.* 2006. Vol. 42, N 5. P. 48—56.
40. Starosila Ye.V. Conditionally pathogenic and pathogenic microorganisms in hydroecosystems and their role in water quality assessment (a review). *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 27—35.
41. Starosila Ye.V., Yuryshynets V.I. Bacterioplankton and bacteriobenthos as ecological indicators of the reservoirs' ecology-sanitary state and the safety of water use. *Ibid.* 2023. Vol. 59, N 6. P. 58—70.

Надійшла 26.05.2025

Ye. V. Starosyla, Ph. D. (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, 04210, Ukraine
e-mail:jenya_star@ukr.net
ORCID 0000-0001-5366-7894

V.M. Yakushyn, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, 04210, Ukraine

MICROBIOLOGICAL PROCESSES OF WATER QUALITY FORMATION AND
SANITARY STATUS OF THE KYIV SECTION OF THE KANIV RESERVOIR
(UKRAINE) UNDER CURRENT CONDITIONS OF ITS FUNCTIONING
(2022—2024)

The results of microbiological and hydrochemical studies of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir, conducted during different seasons of 2022—2024, are presented. It was established that at the investigated stations, the abundance of bacterioplankton ranged from 3.9 to $14.9 \cdot 10^6$ cells/cm³, with the proportion of bacteria with damaged cytoplasmic membranes accounting for 10.5—87.5 % of the total number. The abundance of eutrophic and oligotrophic bacteria amounted to 30.0 — $475.8 \cdot 10^3$ and 2.1 — $226.7 \cdot 10^3$ cells/cm³, respectively. The studied microbiological and hydrochemical parameters were characterized in seasonal, spatial, and interannual aspects. Seasonal fluctuations in bacterioplankton development depended on temperature regime, water level, organic matter quality, and anthropogenic pressure, including that caused by military actions. Certain elements of the hydrological regime, hydrochemical, and microbiological parameters were significantly correlated ($p \leq 0.03$). In the spatial distribution, a similar variation in the average abundance of bacterial communities was observed between bays and the channel section; however, the ranges of fluctuations differed, being broader in the bays. Interannual changes in bacterial abundance in water were comparable, except for the proportion of dead bacteria, which gradually decreased by an average of 1.5 times during 2022—2024. The abundance of sanitary indicator bacteria and representatives of opportunistic microorganisms indicated that the water quality of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir did not comply with sanitary-ecological safety standards at all studied stations. According to the ecological classification of surface water quality based on the abundance of eutrophic bacteria, the Kyiv section of the Kaniv Reservoir was classified as “very bad” corresponding to quality class V. The observed changes in ammonium nitrogen, phosphate phosphorus concentrations, and organic matter content (as indicated by COD_{Mn} and COD_{Cr}) resulted from the intensified influence of natural and anthropogenic factors, as well as the unstable operational regime of the hydroelectric power station.

Keywords: planktonic bacterial communities, bacteria with damaged cytoplasmic membranes, sanitary indicator microorganisms, water quality, Kaniv Reservoir.