

УДК (574.52+574.34) (574.583:584.587)

В.І. ЮРИШИНЕЦЬ, д. б. н., голов. наук. співроб., проф.,
Інститут гідробіології НАН України,
пр. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: ciliator@ukr.net
ORCID 0000-0001-6310-7874

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

А.В. ЛЯШЕНКО, д. б. н., ст. наук. співроб., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
пр. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0003-0028-4974

К.Є. ЗОРІНА-САХАРОВА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
пр. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0001-6159-2642

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

БАКТЕРІОПЛАНКТОН РІЧКОВИХ ДІЛЯНОК КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ¹

Мікробіологічними дослідженнями (складова комплексних гідробіологічних досліджень різнотипних водних об'єктів пониззя Дунаю, 2018—2023 рр.) встановлено, що бактеріопланктон річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю характеризується значними показниками загальної чисельності ($5,5\text{—}32,2$ млн. кл/см³, середнє значення: $13,3\pm 6,6$ млн. кл/см³), чисельності бактерій з неушкодженою цитоплазматичною мембраною ($5,9\pm 5,1$ млн. кл/см³), бактерій різних екологічних груп — евтрофних ($241,0\pm 222,5$ тис. кл/см³) та оліготрофних бактерій ($150,5\pm 184,7$ тис. кл/см³).

Особливістю бактеріопланктону досліджених ділянок є значна чисельність мертвих бактерій (клітин з порушеною цитоплазматичною мембраною) ($1,85\text{—}24,1$ млн. кл/см³, середнє значення: $7,4\pm 4,6$ млн. кл/см³), що становила в середньому 56,2 % від загальної чисельності бактеріопланктону. На деяких ділянках частка мертвих клітин перевищувала 80—90 %. Висловлено припущення, що це явище ілюструє екстремальні екологічні умови регіону досліджень, які характерні для екотон-

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

Ц и т у в а н н я: Юришинець В.І., Старосила Є.В., [Ляшенко А.В.], Зоріна-Сахарова К.Є., Якушин В.М. Бактеріопланктон річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю. *Гідробіол. журн.* 2025. Т. 61, № 1. С. 101—123.

них дельтових екосистем типу «річка — море», та може бути пов'язане з різновекторним впливом моря та локальних забруднень з прилеглої території на бактеріальне угруповання.

Встановлено, що співвідношення кількості мертвих клітин, яка припадає на одну живу бактеріальну клітину, було найбільшим (>5) у районах, які зазнають потенційного антропогенного впливу побутовими та промисловими стоками (м. Вилкове). Запропоновано використання цього співвідношення для екологічної індикації.

Встановлено, що чисельність евтрофних та оліготрофних бактерій достовірно відрізнялась у різні сезони року. Однофакторний дисперсійний аналіз засвідчив достовірно найнижчу чисельність евтрофних бактерій (r-стратегі) взимку та переважання оліготрофних бактерій (K-стратегі) восени (Wilks Lambda = 0,00479, F (32, 22) = 8,7032, $p < 0,001$).

Умовно-патогенні бактерії різних груп були присутні у більшості зразків та ділянок досліджень. За чисельністю кишкової палички (*Escherichia coli*) та ентерококів (*Enterococcus faecalis*) (нормується Directive 2006/7/EC), яка перевищувала європейські нормативні вимоги до води у місцях для купання населення у десятки та, іноді, сотні разів, більшість з досліджених річкових ділянок пониззя Дунаю характеризувались незадовільною якістю водного середовища.

Загальна чисельність (в осінньо-зимовий період) бактеріопланктону річкових ділянок дельти Дунаю, які наближені до моря, була достовірно вищою (Wilks Lambda = 0,01288, F (32, 12) = 2,9289, $p = 0,02569$).

Факторний аналіз (метод екстракції — метод головних компонент) показав існування достовірного зв'язку між чисельністю деяких груп умовно-патогенних бактерій у воді (*Enterococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*) та мертвих бактерій, що свідчить про значущий вплив локальних умов (море та забруднення) на санітарний стан водних екосистем регіону.

Ключові слова: бактеріопланктон, евтрофні бактерії, оліготрофні бактерії, умовно-патогенні бактерії, дельта Дунаю.

Надзвичайно висока метаболічна активність та швидкість розмноження визначають провідну роль бактерій у різноманітних хімічних перетвореннях у біосфері Землі. Основним чинником, який визначає кількість бактерій у воді, є наявність в ній необхідних поживних субстратів, що використовуються у метаболічних процесах прокариот. Чим більше вода забруднена органічними речовинами, чим більше до неї потрапляє відходів та нечистот, тим більше, відповідно, в ній бактерій. Вода річок, які протікають через населені пункти і приймають чималі об'єми стоків і каналізаційних вод, містить значну кількість бактерій, що переробляють доступну органіку [5].

Басейн р. Дунай є найбільшим річковим басейном Західної та Центральної Європи із загальною площею 801 463 км². Понад 80 мільйонів людей з 19 країн мешкає у басейні Дунаю, що робить його найбільшим міжнародним річковим басейном у світі. Протікаючи через густонаселену територію країн з різним рівнем економічного розвитку та ступенем застосування екологічних технологій, води Дунаю комплексно використовуються як для питного, так і для господарського постачання та зазнають забруднення, різного за величиною та характером. Пониззя Дунаю, частина якого знаходиться на території України, приймає води українського водного господарства та теригенний стік з водозбірного басейну, які

додаються до забруднювачів, що надійшли з інших країн, розташованих вище за течією річки [8, 11, 12, 19, 20, 34].

Відомо, що дунайській воді притаманна висока каламутність, яка може негативно впливати на розвиток різних груп гідробіонтів, проте не бактерій, які є провідними редуцентами органіки та індикаторами якості води, евтрофування та самоочищення екосистеми. Можна припустити, що часточки зависей, які в значній кількості сорбують органічні та неорганічні речовини, можуть слугувати додатковим просторовим осередком для розвитку бактерій у дунайській воді [2, 3, 14, 29, 30].

Бактеріальне угруповання бере участь у багатьох внутрішньоводоймних процесах, тому на його долю припадає трансформація понад половини загального потоку речовини та енергії у планктонних та донних угрупованнях [1, 2, 7, 29, 31–33].

Попри виключне екосистемне значення бактерій, мікробіологічним дослідженням української ділянки дельти Дунаю (як і цілеспрямованим дослідженням інших ділянок вище за течією) приділяється мало уваги, можливо у зв'язку зі складністю методичних підходів до самого предмету дослідження та масштабністю об'єкту — другої за величиною дельти європейської річки [1, 2, 8, 10–12, 14, 18–20, 29, 30, 34].

Тому метою нашої роботи було встановлення сучасних кількісних та якісних характеристик угруповань бактеріопланктону (включно з опортуністичними умовно-патогенними бактеріями) деяких річкових ділянок української частини дельти Дунаю, виявлення особливостей індикаторних показників, які характеризують еколого-санітарний стан у взаємозв'язку з локальними умовами.

Матеріал і методика досліджень

Матеріал був відібраний як частина комплексних гідробіологічних досліджень, які проводили у різні сезони (осінь, зима, літо) 2018–2023 рр. на річкових ділянках Кілійської дельти Дунаю, що знаходяться на різній відстані від моря та населених пунктів (м. Вилкове) (рис. 1). Частина матеріалів, які містили більш детальні дані з фонових гідрофізичних та гідрохімічних параметрів, була використана для статистичного аналізу із застосуванням непараметричних методів (дисперсійний та факторний аналізи) задля встановлення можливих взаємозв'язків та закономірностей (табл. 1).

Проби води з поверхневого шару відбирали у стерильні ємності. Загалом досліджено 17 станцій спостережень (51 зразок), проведено 303 культивування на живильні середовища та проаналізовано 102 препарати зі зразками.

Одночасно з відбором гідробіологічних зразків (включно з мікробіологічними) здійснювали контроль фонових гідрофізичних та гідрохімічних характеристик водного середовища (температура, рН, Соп (провідність), вміст та насичення води киснем, мінералізація та ін.). Ці дані (див. табл. 1) були використані у подальшому аналізі.

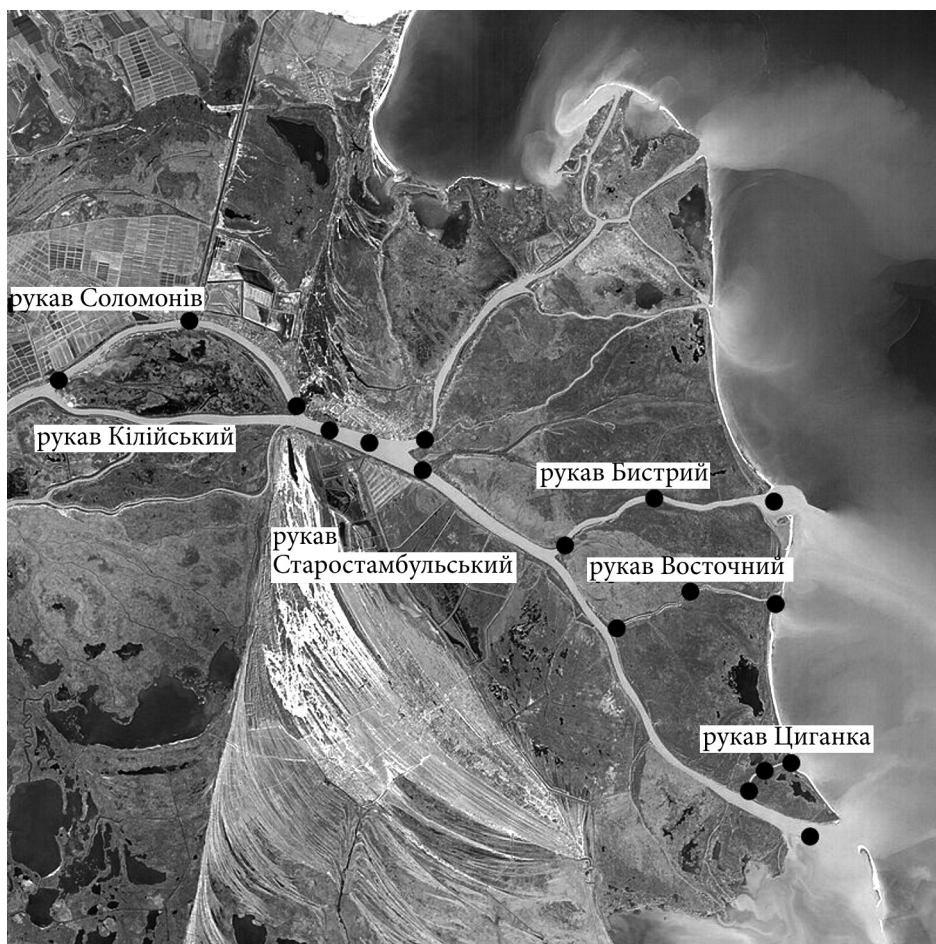


Рис. 1. Карта-схема регіону досліджень зі станціями відбору проб

Сучасний гідробіологічний та гідрохімічний режим української частини дельти Дунаю більш докладно був описаний нами раніше [18, 23, 25, 36].

Для встановлення чисельності бактерій та метаболічної активності їхніх клітин (цілісності чи порушення цитоплазматичної мембрани) готували препарати на чорних полікарбонатних мембранних фільтрах Millipore з діаметром пор 0,22 мкм. Чисельність бактеріопланктону (ЧБП) та клітин з ушкодженою цитоплазматичною мембраною визначали методом прямого підрахунку, фарбуючи препарати флуорохромами: 4,6-діамідіно-2-фенілндолом (DAPI) і 3,8-діаміно-5-[3-(діетилметиламонію)пропіл]-6-фенілфенантридиній дийодид (пропідію йодид, PI) відповідно [6, 28]. Дослідження проводили з використанням епіфлуоресцентного мікроскопа Axio Imager A1, Carl Zeiss (об'єктив x100, окуляр x10) на базі Центру колективного користування приладами Інституту гідробіології НАН України.

Таблиця 1
 Координати, назви, позначення та деякі фонові гідрофізичні та гідрохімічні характеристики водного середовища на станціях досліджень

Назви станцій*	Широта (Y)	Довгота (X)	Умове скорочене позначення станції (код)	Приблизна відстань від моря проти течії річки (км)	Вплив моря**	t, C	pH	Соп, mS	Соп-ність, ‰	O ₂ , мг/дм ³	O ₂ , %
Рукав Соломонів, виток	45,445076	29,435009	KIL_SOL_V	35,511	I	24,7	7,7	0,31	0,16	6,5	78
Рукав Соломонів, біля каналу Дунай — Сасик (КДС)	45,452878	29,510526	KIL_SOL_CDS	29,686	I	25,2	8,0	0,31	0,16	6,0	72
Рукав Кілійський, вище м. Вилкове, Соломонів рукав	45,417804	29,550202	KIL_S_VYLK	24,596	I	4,8— 24,2	7,5— 8,3	0,31— 0,43	0,15— 0,22	7,2— 10,5	78— 81
Рукав Кілійський, вище морвокзалу (м. Вилкове)	45,399360	29,576670	KIL_M_VOKZ_UP	21,318	I	4,5— 26,0	7,9— 8,1	0,32— 0,73	0,16— 0,38	6,3— 11,3	74— 88
Рукав Кілійський, нижче морвокзалу (м. Вилкове)	45,394943	29,587263	KIL_M_VOKZ_DOWN	20,313	I	5,1	8,3	0,36	0,18	11,4	89,4
Рукав Старостамбульський, виток	45,384700	29,600239	STST_V	18,788	M	4,1— 25,2	8,2— 7,8	0,32— 0,42	0,16— 0,23	6,9— 11,4	79— 87
Рукав Очаківський, виток	45,392450	29,609909	OCH_V	16,376	M	5,4— 13,2	7,4— 8,3	0,32— 0,36	0,16— 0,18	8,4— 11,8	81— 93

Продовження табл. 1

Назви станцій*	Широта (Y)	Довгота (X)	Умовне скорочене позначення станції (код)	Приблизна відстань від моря проти течії річки (км)	Вплив моря**	t, C	pH	Соп, mS	Солоність, ‰	O ₂ , мг/дм ³	O ₂ , %
Рукав Бистрий, виток	45,340095	29,657274	BYST_V	11,893	М	19,2—23,6	7,6—7,8	0,31—0,43	0,16—0,23	5,9—8,9	67—99
Рукав Восточний, виток	45,308330	29,672330	VOST_V	7,167	М	19,5	7,4	0,42	0,21	7,5	81
Рукав Циганка, виток	45,240038	29,716920	TS_V	2,608	Н	21,1	7,2	0,45	0,22	7,0	81
Рукав Бистрий, гирло	45,336839	29,767623	BYST_G	2,544	Н	13,9—19,6	8,3—7,6	0,29—0,80	0,14—0,40	8,5—9,4	83—101
Рукав Восточний, гирло	45,303348	29,753808	VOST_G	0,250	Н	14,0—18,9	7,5—8,2	0,27—0,41	0,14—0,21	7,7—8,5	80—82
Рукав Циганка, гирло	45,245917	29,741876	TS_G	0,188	Н	12,7—19,7	7,4—8,0	0,30—0,83	0,15—0,41	7,0—8,4	78—80
Рукав Старостамбульський, гирло	45,220168	29,751753	STST_G	0,629	Н	12,1—20,9	7,4—7,7	0,71—1,15	0,36—0,58	7,3—8,7	81—84

Примітки: * Умовні скорочення позначення станцій (коди) та їх послідовність відповідують позначенням на рис. 2—7, 10. ** Зони впливу моря умовні, запропоновані для подальшого статистичного аналізу (див. текст статті): І — insignificant, незначний; М — moderate, помірний; Н — high, відчутний.

Кількість бактерій, які надають перевагу багатим на органічну речовину живильним середовищам (евтрофні бактерії, ЕБ), встановлювали після посіву, культивування та підрахунку колоній на рибо-пептонному і м'ясо-пептонному агарі; бактерій, які потребують низького вмісту легкодоступної органічної речовини (оліготрофні бактерії, ОБ), — на голодному агарі [6].

Для вивчення санітарно-бактеріологічного забруднення води посіви відібраного матеріалу здійснювали на набори сухого живильного середовища Dry Filter™ (фірми Himedia, <https://www.himedialabs.com/us/>). В їхню основу покладено використання хромогенних субстратів для швидкої ідентифікації характерних бактеріальних ензимів завдяки відповідному забарвленню колоній. Проби води фільтрували через стерильні білі мембранні фільтри Millipore з діаметром пор 0,45 мкм. Інкубували чашки Петрі зі зразками в умовах, вказаних у технічній документації до наборів. Інтерпретацію результатів здійснювали шляхом прямого підрахунку кількості колоній утворюючих одиниць у перерахунку на об'єм профільтрованої проби (КУО/100 см³). Для виявлення, виділення та підрахунку у досліджуваній воді санітарно-показових мікроорганізмів використовували агари ЕСД, М-Ендо, вісмут-сульфіт, жовчно-ескуліновий із азидом натрію; середовища з цетримідом, Чапмена — Стоуна, Сланець — Бартлі, з типолем, універсальне хромогенне середовище та хромогенне середовище для сальмонел.

Оцінку санітарного стану за перевищенням нормативів вмісту кишкової палички та ентерококів здійснювали відповідно до Директиви 2006/7/ЕС щодо якості води для купання від 15.02.2006 р. [17].

Первинну статистичну обробку та візуалізацію даних виконано із застосуванням табличного процесору MS Excel 2016, дисперсійний та факторний аналізи — пакету програм Statistica for Windows 10 (StatSoft).

Результати досліджень та їх обговорення

Річковий бактеріопланктон є динамічним та пластичним угрупованням, яке здатне швидко реагувати на зміни оточуючого середовища шляхом змін структурно-функціональних показників. Структура угруповання бактеріопланктону у конкретному місці (локації) дослідження визначається перебігом низки автохтонних та алохтонних процесів. Угруповання, яке спостерігає дослідник, є частиною пелагічного (планктонного) угруповання, яке формувалось вище за течією, має певні фізико-хімічні характеристики та містить різноманітні і характерні складові: віріопланктон, фітопланктон, зоопланктон, зоонектон. Усі складові товщі води певним чином взаємодіють одне з одним через мережу прямих та опосередкованих зв'язків, у першу чергу — трофічних.

До алохтонних процесів, які істотно впливають на бактеріопланктон, відносяться локальні забруднення, що формуються поверхневим стоком з водозбірної площі, з яким до водойми потрапляє комплекс неорганічних та органічних хімічних сполук (включно із штучно створеними людиною), зависі та сміття, які в подальшому в певній мірі піддаються

хімічній та біотичній трансформації. Локальний поверхневий стік також привносить у річку бактерій — мешканців ґрунтів водозбірної площі — живих (які належать до різних груп, включно з умовно-патогенними бактеріями та збудниками хвороб людини та тварин) та відмерлих.

Дослідження на різних ділянках гідрографічної мережі пониззя Дунаю дозволяють встановити певні середні значення кількісних показників (чисельність, чисельність мертвих клітин, чисельність певних трофічних груп, чисельність умовно-патогенних бактерій та ін.), що характерні для сучасного періоду регіону досліджень, та межі найбільш імовірних флуктуацій, за які ми приймаємо величини стандартного відхилення. За істотні (значні) відхилення ми приймаємо величини, які перевищують межі природних флуктуацій, визначених нами (стандартне відхилення — SD, або дві медіани — 2 Me).

Чисельність бактеріопланктону в лотичній системі пониззя Дунаю коливалась в межах 5,5—32,2 млн. кл/см³, в середньому — 13,3±6,6 млн. кл/см³, що загалом відповідає даним щодо багаторічної динаміки цього показника в пониззі Дунаю [1, 2, 4, 14, 29] та прилеглих ділянках Чорного моря [21] із загальною тенденцією до зростання середніх та максимальних показників чисельності бактеріопланктону порівняно з 50—60-ми роками ХХ ст. [2, 11, 12].

Розташувавши станції дослідження зі зменшенням відстані до моря (із заходу на схід) (рис. 2), можна побачити, що гирлові ділянки рукавів Кілійської дельти характеризувались дещо вищими показниками загальної чисельності, максимальні величини показника спостерігались у Старостамбульському гирлі восени 2020—2021 рр., у штормовий період на морі, що супроводжувався східним вітром.

Фарбування препаратів двома флуорохромами (DAPI та PI) дозволяє виявити клітини з порушеною цитоплазматичною мембраною (тобто мертві) (рис. 3) та встановити чисельність живих бактерій (рис. 4). Величини чисельності мертвих (7,4±4,6 млн. кл/см³) та живих клітин бактерій (5,9±5,1 млн. кл/см³) свідчать про те, що більше половини показника загальної чисельності бактеріопланктону досліджених річкових ділянок становлять мертві бактерії, іноді їхня частка перевищувала 90 %. Наші сучасні дослідження водосховищ Дніпра [38] показали, що частка мертвих клітин у планктоні рівнинних водосховищ Дніпра не перевищувала 20 %. Такі високі значення частки мертвих бактеріальних клітин у дунайській воді можуть свідчити про істотний внесок у показник загальної чисельності, який реєструється, теригенного стоку та кумулятивного накопичення мертвих клітин, які не встигли розкластися. Також це, імовірно, пов'язане з високим вмістом завислих часток у дунайській воді, які здатні сорбувати клітини планктонних бактерій.

Оскільки зростання частки мертвих клітин бактерій може свідчити як про поверхневий стік (локальне забруднення) з територій вище за течією, так і про існування процесів, що пригнічують бактеріальну деструкцію у точці спостережень, нами застосовано відношення кількості

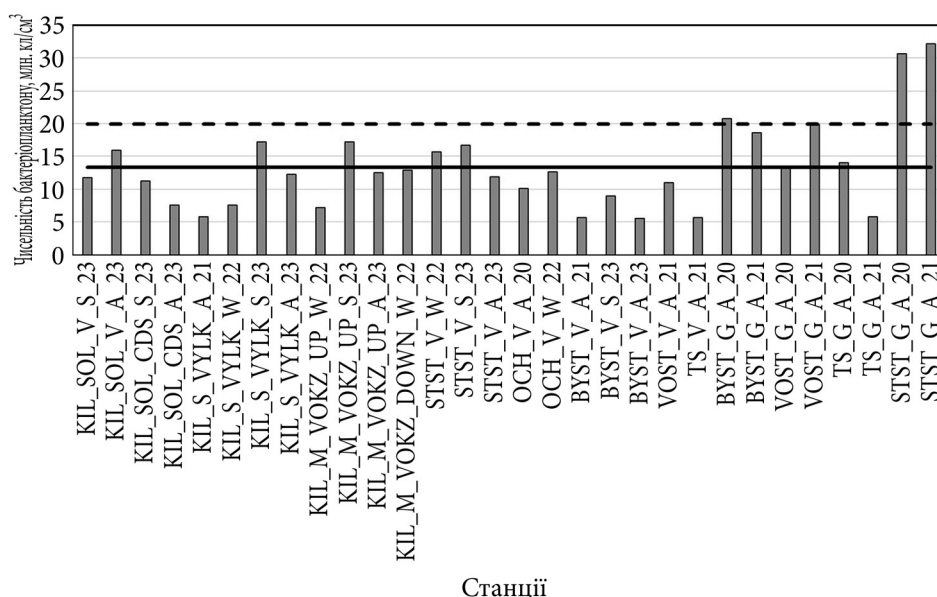


Рис. 2. Чисельність бактеріопланктону (млн. кл/см³) деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю. На рис. 2—7 суцільна чорна лінія відповідає середньому (m), пунктир — $m + SD$

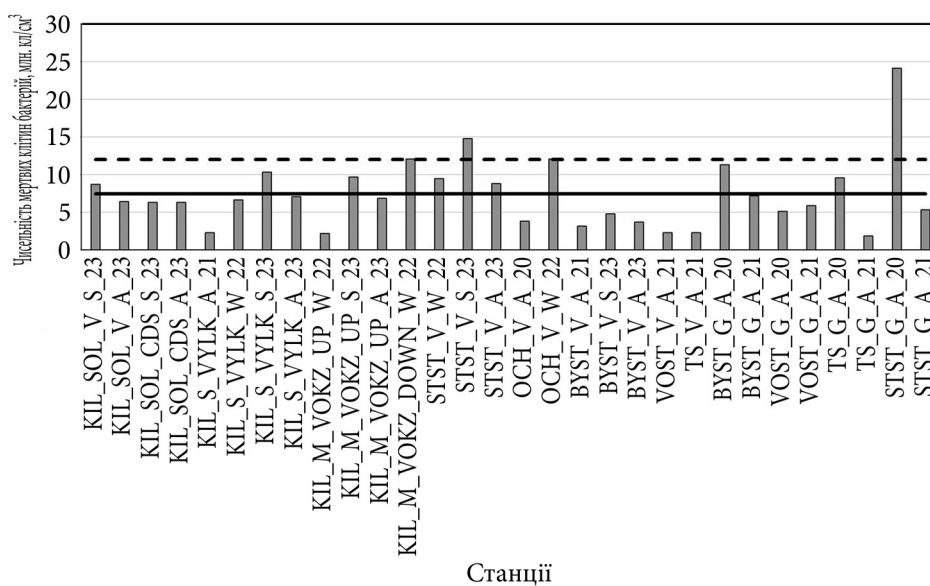


Рис. 3. Чисельність мертвих клітин бактерій у планктоні (млн. кл/см³) деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю

мертвих клітин, які припадають на одну живу клітину, як показник, що може оцінити якість водного середовища (рис. 5).

Найбільші значення цього показника відмічено для ділянок, які знаходяться в зоні можливого впливу м. Вилкове (зима 2022 р.).

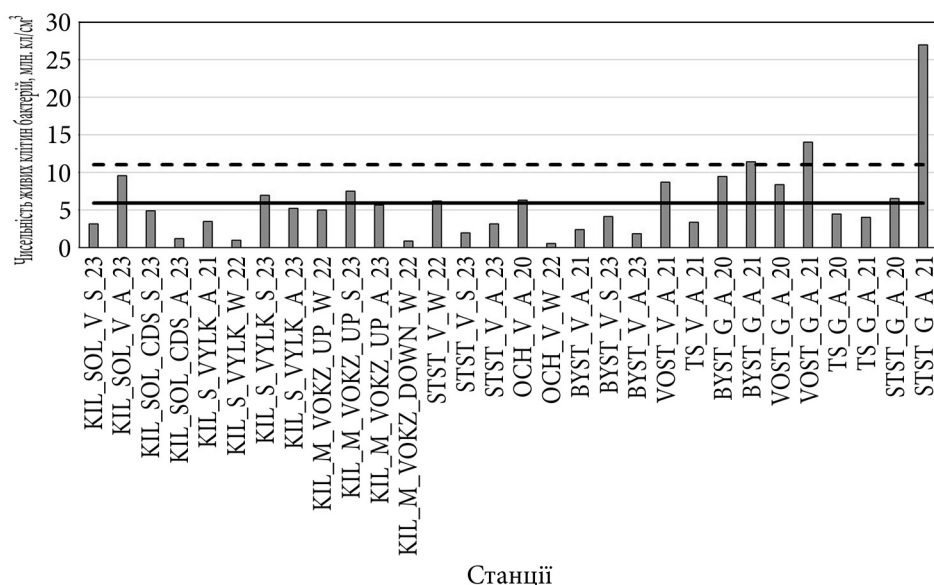


Рис. 4. Чисельність живих клітин бактерій у планктоні (млн. кл/см³) деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю

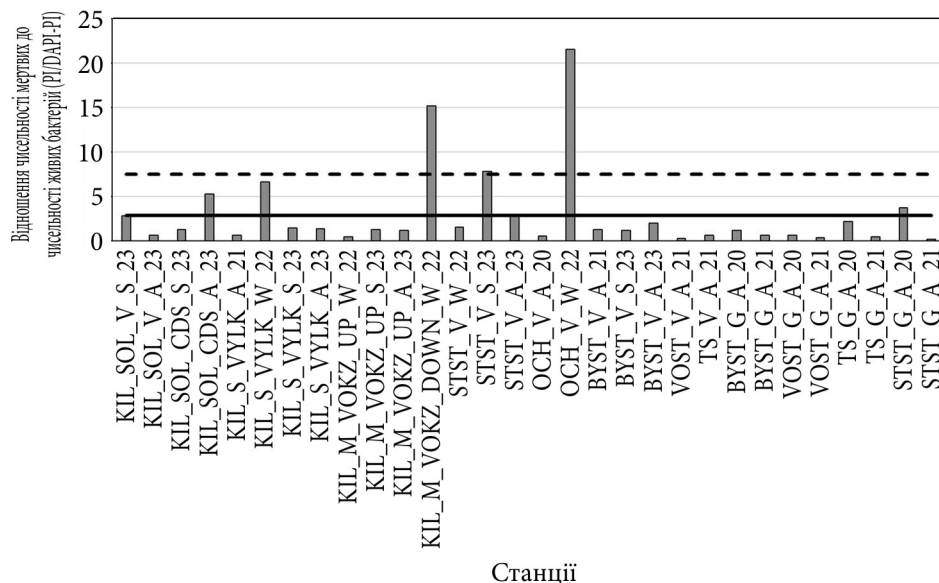


Рис. 5. Відношення чисельності мертвих до чисельності живих бактерій (PI/DAPI-PI) у планктоні деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю: PI — клітини, які зафарбувались пропідію йодидом (мертві); DAPI — клітини, які зафарбувались DAPI (загальна чисельність)

Коливання чисельності евтрофних (межі варіювання: 10,3—904 тис. кл/см³, середнє значення: 241,0±222,5 тис. кл/см³) (рис. 6) та оліготрофних (межі варіювання: 0,4—894,4 тис. кл/см³, середнє значення:

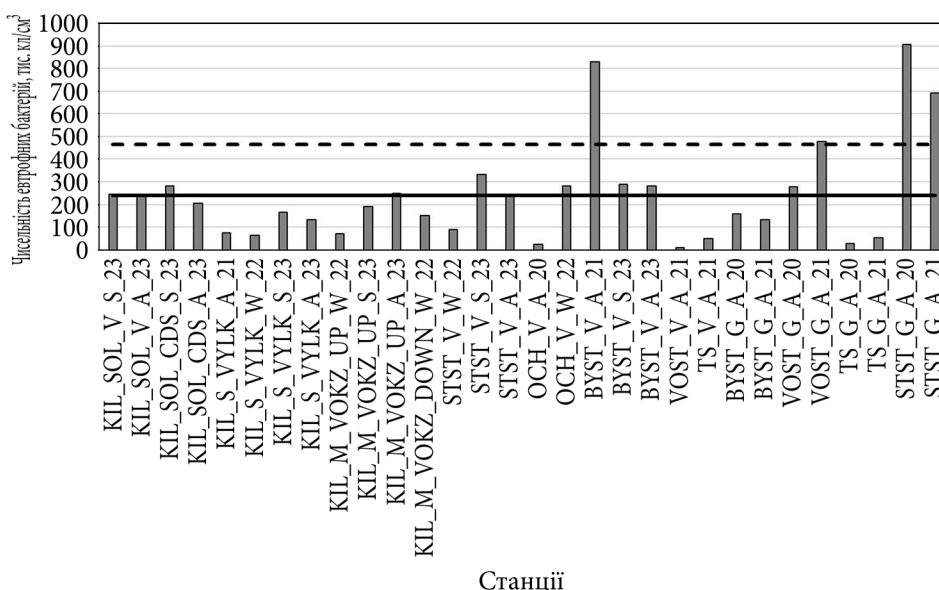


Рис. 6. Чисельність трофічної групи евтрофічних бактерій (тис. кл/см³) у планктоні деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю

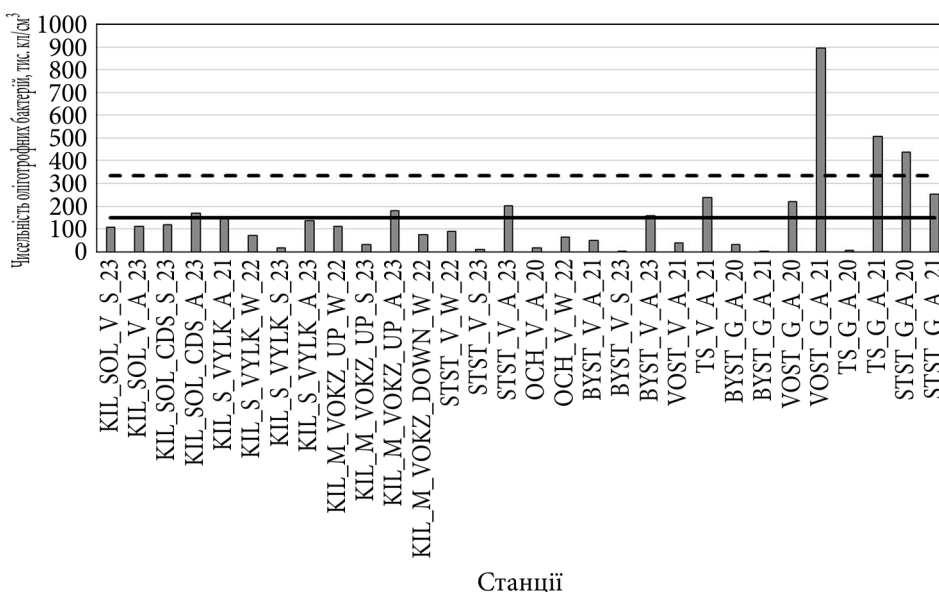


Рис. 7. Чисельність трофічної групи оліготрофічних бактерій (тис. кл/см³) у планктоні деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю

150,5±184,7 тис. кл/см³) (рис. 7) також переважно мало природний характер (у більшості випадків не виходило за визначені нами межі). Суттєві відхилення спостерігались у певні сезони у деяких рукавах Кілійської дельти, що може свідчити про локальні змиви з поверхні з високим вмістом

легкодоступної органіки (високі показники чисельності евтрофних бактерій) та привнесення важкодоступних органічних сполук внаслідок локального поверхневого стоку або впливу прибічної зони моря (високі показники чисельності оліготрофних бактерій).

Порівняно з даними досліджень другої половини ХХ ст. [2, 4, 8, 11, 12, 14, 18, 29] чисельність евтрофних та оліготрофних бактерій, яку ми спостерігали, була в десятки разів вищою і співмірною з даними, які наводились для ділянок моря за впливу стоку р. Дунай, а також сучасними даними щодо інших ділянок басейну Дунаю. Було відмічено високу (від 10^2 до 10^9 КУО/см³) чисельність евтрофних і оліготрофних бактерій у воді заплачних водойм Дунаю в межах Хорватії, що автори пов'язують з паводковим режимом та високим рівнем води. Зміни у співвідношенні чисельності цих двох екологічних груп бактерій пов'язані з динамікою вмісту у воді доступної органічної речовини та чинників водного середовища, що визначають ефективність її споживання [34].

Однофакторний дисперсійний аналіз виявив деякі прояви сезонних коливань чисельності цих трофічних груп бактеріопланктону. Найнижчі показники чисельності евтрофних бактерій спостерігались взимку (рис. 8), для літа ж була притаманна найнижча чисельність оліготрофних бактерій (рис. 9).

Деякі дослідники вважають, що попри те, що переважна більшість бактерій характеризуються значно вищою швидкістю відтворення та меншою тривалістю існування індивідуума порівняно з одноклітинними та багатоклітинними еукаріотами, у них також можна вирізнити відмінні екологічні стратегії збільшення чисельності популяцій. До r-стратегів відносять мікроорганізми, які характеризуються високим рівнем клітинного метаболізму, дуже швидко розмножуються в умовах високої концентрації поживних речовин [22, 39]. Застосовані нами методичні прийоми виявлення колонієутворюючих бактерій на поживних субстратах з високим вмістом вільної органіки дозволяють віднести до r-стратегів трофічну групу евтрофних бактерій.

До K-стратегів належать мікроорганізми, які характеризуються відносно низьким темпом метаболізму та здатністю до відтворення в умовах відсутності значної кількості доступної розчиненої органічної речовини. У наших дослідженнях — це оліготрофні бактерії, які утворюють колонії на «голодному» агарі. Вважається, що уповільнений метаболізм K-стратегів має визначальне значення для їхньої високої стійкості в умовах обмеженого ресурсами середовища [39].

Молекулярно-генетичні дослідження показали, що значна частка метаболічно активних бактерій r-стратегів належать до групи *Cytophaga-Flavobacterium*, а *α-Proteobacteria* мають відносно низький рівень метаболізму, характерний для K-стратегів [35].

Різна чисельність окремих груп та співвідношення чисельності евтрофних та оліготрофних бактерій вважаються проявом адаптивних механізмів бактеріальних угруповань до певних умов водного середовища [14, 29, 33, 34, 38] і використовуються в індикації еколого-санітарного ста-

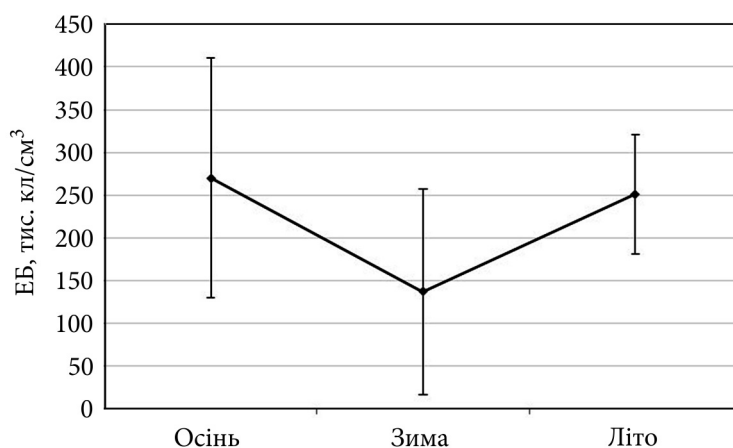


Рис. 8. Результати однофакторного дисперсійного аналізу чисельності евтрофних бактерій у різні сезони року у воді деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю (Wilks Lambda = 0,00479, F (34, 22) = 8,7032, $p < 0,05$; показано зважені середні значення та 0,95 довірчих інтервалів)

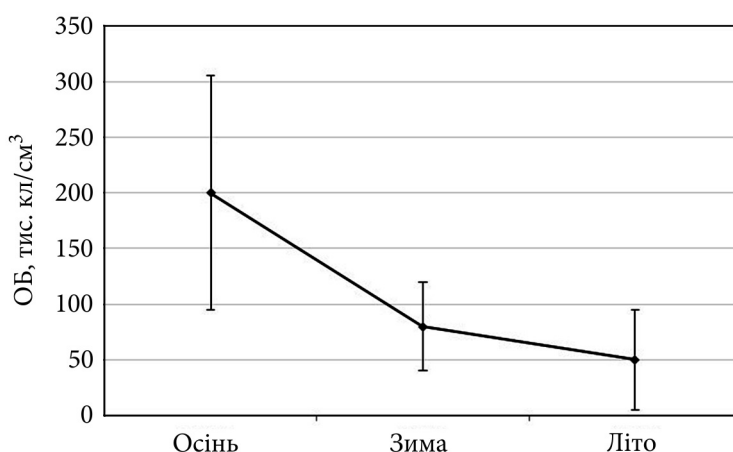


Рис. 9. Результати однофакторного дисперсійного аналізу чисельності оліготрофних бактерій у різні сезони року у воді деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю (Wilks Lambda = 0,00479, F (34, 22) = 8,7032, $p < 0,05$; показано зважені середні значення та 0,95 довірчих інтервалів)

ну [9]. Вода більшості досліджених ділянок за чисельністю евтрофних бактерій відносилась до IV класу, 6 категорії — «погані» (за ступенем чистоти (забрудненості) — «брудні») та V класу, 7 категорії — «дуже погані» («дуже брудні»).

Умовно-патогенні бактерії різних груп були присутні у більшості зразків та ділянок досліджень. Попри те, що вміст більшості з них не нормується ні вітчизняним, ні європейським законодавством, за чисель-

ністю кишкової палички (*Escherichia coli*, нормується СанПіН № 4630-88, МОЗ України № 173 від 19.06.1996, Directive 2006/7/EC) та, особливо, фекальних ентерококів (*Enterococcus faecalis*, нормується Directive 2006/7/EC), яка перевищувала європейські нормативні вимоги до води у місцях для купання населення у десятки та, іноді, сотні разів, багато з досліджених нами річкових ділянок пониззя Дунаю характеризувались незадовільною якістю.

Бактерії групи кишкової палички зустрічались у 97 % зразків, у межах норми (менше 900 КУО/100 см³) — у 67 % зразків, перевищення до 10 разів — 13 %, перевищення в 10—100 разів — 13 %, перевищення більш ніж у 100 разів — у 17 %.

Значні перевищення допустимих вимогами значень, які можуть свідчити про локальний поверхневий стік із забрудненої території та умови, сприятливі для персистування *Escherichia* spp. у воді, переважно спостерігались у рукавах дельти Дунаю під час шторму восени 2020 р. та у різні сезони на ділянках Кілійського рукава поблизу м. Вилкове.

Ентерококи, індикатори свіжого фекального забруднення, зустрічались в 90 % проб, лише у 23 % зразків їхня чисельність була в межах норми (менше 330 КУО/100 см³). Перевищення до 10 разів спостерігалось в 24 % випадків, перевищення в 10—100 разів — 37 %, перевищення більш ніж у 100 разів — у 17 %. Переважна більшість випадків значних перевищень (понад 10 тис. КУО/100 см³) спостерігалась на річкових ділянках поблизу м. Вилкове.

Потенційні збудники сальмонельозу *Salmonella* spp. (*S. enterica* серотип Турпі, серотип Турпимуріум, серотип Enteritidis) реєструвалися в різні сезони на досліджених ділянках як поблизу населених пунктів (м. Вилкове), так і в рукавах дельти на території Дунайського біосферного заповідника. Сальмонели були виявлені в приблизно половині досліджених зразків (52 %), у переважній кількості зразків (30 %) вміст цих бактерій у воді становив від 10³ до 10⁴ КУО/100 см³.

Окрім зазначених представників опортуністичної мікрофлори нами також реєструвалися бактерії родів *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*. Попри те, що їхня допустима чисельність у зразках води не унормована діючими санітарно-епідеміологічними вимогами України та ЄС, ми використали дані щодо їхньої чисельності для розрахунку загального вмісту умовно-патогенних (опортуністичних) бактерій в досліджених річкових ділянках Дунаю (рис. 10). На рисунку не показано зразок з найвищим вмістом кишкової палички (323,9 тис. КУО/100 см³), ентерококів (485,3 тис. КУО/100 см³) та псевдомонад (491,2 тис. КУО/100 см³) восени 2020 р. в гирловій ділянці Старостамбульського рукава під час штормових явищ на морі (через проблеми з масштабуванням).

Найбільша кількість випадків істотних перевищень медіанних значень спостерігалась у воді ділянок поблизу м. Вилкове.

Про потенційні небезпеки використання дунайської води через значний вміст умовно-патогенних бактерій та збудників хвороб вказували й інші дослідники [2, 3, 14]. Виявлені таксони умовно-патогенних мікроор-

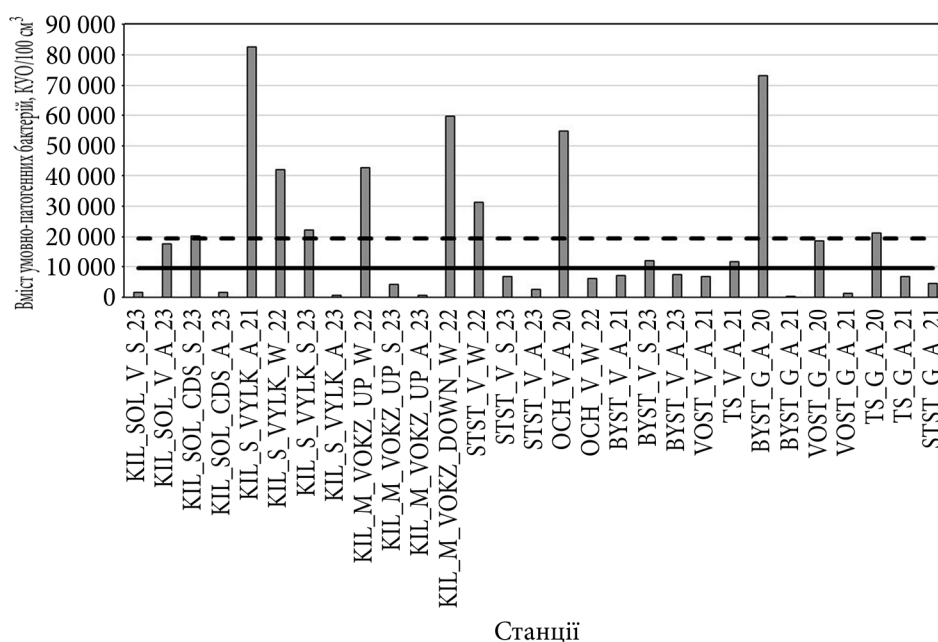


Рис. 10. Вміст умовно-патогенних бактерій (КУО/100 см³) у планктоні деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю. Чорна лінія відповідає значенню медіани (Me), пунктир — 2Me

ганізмів містять види та штами, які за певних умов здатні викликати харчові отруєння, інфекції шкіри і слизових оболонок, алергічні реакції та інші захворювання [5, 14, 15, 37].

З метою перевірки припущення існування відмінностей у кількісних показниках бактеріопланктону річкових ділянок, які зазнають різного ступеня впливу морського середовища (знаходяться за різної відстані від моря) всі точки досліджень було розділено на три умовних групи: вплив моря відчутний (H, high) — відстань до 5 км; вплив моря помірний (M, moderate) — 5—20 км; вплив моря незначний (I, insignificant) — відстань понад 20 км (див. табл. 1). Дисперсійний аналіз виявив достовірні відмінності при аналізі даних осінньо-зимових сезонів, групи відрізнялись за загальною чисельністю бактерій (рис. 11).

Річкові ділянки, для яких припускається істотний вплив моря, характеризувались найвищими показниками загальної чисельності бактеріопланктону та найвищим діапазоном варіювання показника.

Факторний аналіз (метод екстракції — метод головних компонент) показав існування певних зв'язків між кількісними та якісними показниками бактеріопланктону та деякими показниками водного середовища (табл. 2).

Навантаження фактора 1 свідчать про існування достовірного зв'язку між чисельністю деяких груп умовно-патогенних бактерій у воді (*Enterococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*) та чисельністю бактерій з пошкодже-

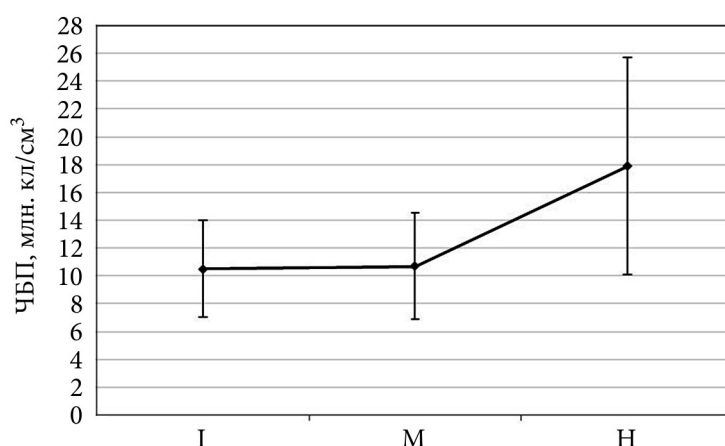


Рис. 11. Результати однофакторного дисперсійного аналізу загальної чисельності бактерій у воді річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю, які розташовані на різній відстані від Чорного моря (осінь — зима) (Wilks Lambda = 0,01288, F (32, 12) = 2,9289, $p < 0,05$); показано зважені середні значення та 0,95 довірчих інтервалів)

ною цитоплазматичною мембраною (мертві бактерії). Тобто можна припустити, що чинники, які підвищують чисельність мертвих бактерій у воді (теригенний стік, побутові стоки, прибійнні явища на межі дельта — море та ін.), можуть також сприяти зростанню вмісту у воді умовно-патогенних бактерій.

Фактор 2 пов'язаний з просторовим розміщенням досліджених локацій (значимі навантаження мають координати та відстань до моря). Цікаво, що кореляційний аналіз показав достовірний зв'язок з коефіцієнтом кореляції — 1 між довготою та відстанню від моря, що, з одного боку, можна було очікувати (Дунай тече із заходу на схід), а з іншого боку — це суттєво спрощує створення матриць даних: замість обчислення відстані до моря через різні рукави достатньо використовувати координати довготи.

Фактор 3 показав зв'язок між температурою води та вмістом розчиненого кисню. Вищі показники вмісту кисню спостерігались нами в осінньо-зимовий період.

Графічну інтерпретацію позицій досліджених показників в координатах факторів 1 і 3 наведено на рисунку 12.

Підсумовуючи отримані результати зазначимо, що загальна картина нам видається наступною: бактеріопланктонний ценоз з певними, сформованими вище за течією, характеристиками та структурою потрапляє в район дослідження, який має свої особливості. Головною з них (найбільш суттєвою), напевне, є проходження в межах населеного пункту м. Вилкове (тобто певне підвищення антропогенного впливу внаслідок потрапляння в річище різноманітних забруднень, органічних речовин, завислих часток тощо), що посилюється періодичними повеннями та підтопленням

територій. Другим потужним чинником природного характеру є близькість до моря, впливи його екосистеми відмічаються на багато кілометрів ввєрх за течією, в окремих випадках солоні води з морською біотою були зарєєстровані в межах м. Вилкове [13, 18]. Нижче міста Дунай розділяється на кілька рукавів, швидкість течії знижується, далі, при впадінні річки в море відбувається різка зміна умов середовища: переважно прісноводна лотична система стрімко, навіть для бактеріального ценозу, перетворюється у солонуводну лентичну. Ми вбачаємо існування тут, у перехідній зоні між річкою та морем, в межах класичного екотону річка — море, зони екологічної напруги та катастрофи, зумовленої різкою зміною

Таблиця 2

Результати факторного аналізу матриці кількісних та якісних показників бактеріопланктону, просторових та гідрохімічних показників деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю

Показники	Навантаження факторів		
	фактор 1	фактор 2	фактор 3
Довгота (X:Long)	-0,235300	-0,908027	-0,003560
Широта (Y:Lat)	0,108497	0,900483	0,168531
Відстань до моря (To Sea)	-0,099319	-0,923638	-0,138600
Загальна чисельність бактерій (NBP)	0,596890	0,218233	0,010282
Чисельність мертвих бактерій (PI)	0,768457	-0,210716	0,196171
Чисельність евтрофних бактерій (EB)	0,620586	0,240503	-0,142839
Чисельність оліготрофних бактерій (OB)	0,271393	0,466279	-0,197411
Чисельність <i>Enterococcus</i>	0,950015	0,107743	0,158387
Чисельність <i>Escherichia</i>	0,962476	0,131098	0,039623
Чисельність <i>Klebsiella</i>	0,135836	-0,125833	0,291495
Чисельність <i>Pseudomonas</i>	0,960145	0,151947	0,059305
Чисельність <i>Staphylococcus</i>	0,233843	0,314285	-0,184656
Температура води (t)	-0,083717	0,072987	-0,904349
Водневий показник (pH)	0,010963	-0,617150	0,436404
Провідність (Con)	0,609395	0,500694	0,102780
Солоність (Salinity)	0,610618	0,493145	0,123237
Вміст кисню (O ₂)	0,021773	0,077204	0,970636
Насичення киснем (O ₂ %)	-0,039316	0,442964	0,682511
Загальна дисперсія фактора (Expl. Var)	5,059854	4,104532	2,736831
Доля дисперсії фактора (Prp. Totl)	0,281103	0,228030	0,152046

Примітка. Навантаження Varimax нормалізовані, метод екстракції: головні компоненти (напівжирним шрифтом позначено величини навантажень >0,70).

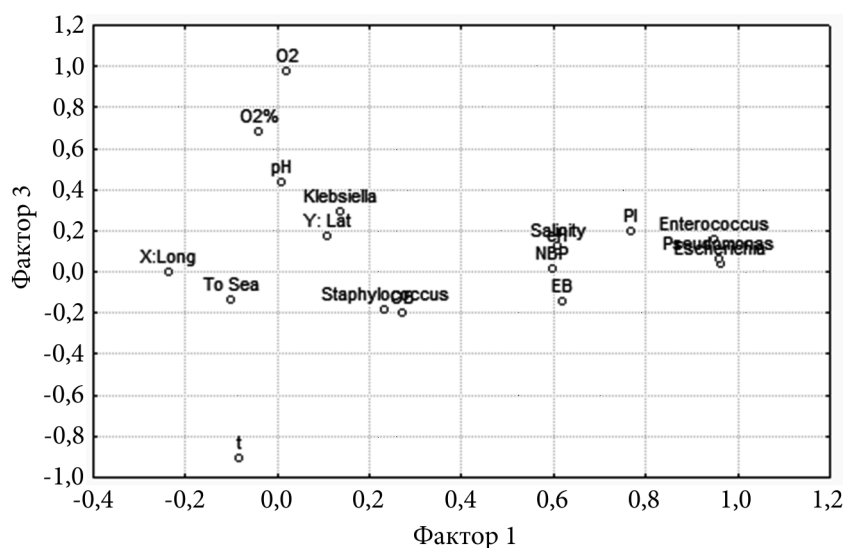


Рис. 12. Результати факторного аналізу кількісних та якісних показників бактеріопланктону, просторових та гідрохімічних показників деяких річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю (навантаження факторів Varimax нормалізовані, метод екстракції: головні компоненти). Позначення відповідають позначенням табл. 2

градієнтів, гідрофронтом, прибіжно-хвильовими впливами, зоною критичної солоності тощо. Отримані результати особливостей структурних характеристик бактеріопланктону підтверджують наші попередні висновки, засновані на дослідженнях макрооб'єктів (бентосні та планктонні безхребетні), щодо складності та неоднозначності побудови і функціонування екотону, а також існування спільних закономірностей макро- та мікроценозів [24, 26, 27, 40].

Висновки

Бактеріопланктон річкових ділянок Кілійської дельти Дунаю характеризується значними показниками загальної чисельності (5,5—32,2 млн. кл/см³, в середньому — 13,3±6,6 млн. кл/см³), чисельності живих бактерій (5,9±5,1 млн. кл/см³), різних екологічних груп бактерій, які ефективно використовують легкодоступну органічну речовину за її високого вмісту — евтрофні бактерії (241,0±222,5 тис. кл/см³), низького вмісту (чи присутності важкоокиснюваних сполук) — оліготрофні бактерії (150,5±184,7 тис. кл/см³), що загалом відповідає відомим з літератури кількісним характеристикам бактеріопланктону водних об'єктів р. Дунай.

Особливістю бактеріопланктону досліджених ділянок є значна чисельність бактерій з порушеною цитоплазматичною мембраною (мертві клітини) (7,4±4,6 млн. кл/см³), що становила в середньому 56,2 % від загальної чисельності. На деяких ділянках частка мертвих клітин перевищувала 80—90 %. Це явище може бути пов'язаним з впливом моря (прибінні

явища) і локального забруднюючого стоку, які привносять у річкову воду значну кількість алохтонної органічної речовини та мертвих бактерій.

Співвідношення кількості мертвих клітин, яка припадає на одну живу бактеріальну клітину, запропоновано використовувати для індикації якості водного середовища. Цей індикаторний показник був найбільшим (>5) у районах, які зазнають потенційного антропогенного впливу побутовими та промисловими стоками (м. Вилкове).

Чисельність евтрофних та оліготрофних бактерій достовірно відрізнялась у різні сезони року. Однофакторний дисперсійний аналіз засвідчив достовірно найнижчу чисельність евтрофних бактерій (r-стратегі) взимку та переважання оліготрофних бактерій (K-стратегі) восени (Wilks Lambda = 0,00479, F (32, 22) = 8,7032, $p < 0,05$).

Умовно-патогенні бактерії різних груп були присутні у більшості зразків та ділянок досліджень. За чисельністю кишкової палички (*Escherichia coli*) та фекальних ентерококів (*Enterococcus faecalis*), яка перевищувала європейські нормативні вимоги (нормується Directive 2006/7/EC) до води у місцях для купання населення у десятки та, іноді, сотні разів, багато з досліджених річкових ділянок пониззя Дунаю характеризувались незадовільною якістю водного середовища.

Відмінності у загальній чисельності бактеріопланктону річкових ділянок (в осінньо-зимовий період) дельти Дунаю, які близькі до моря, засвідчено однофакторним дисперсійним аналізом (Wilks Lambda = 0,01288, F (32, 12) = 2,9289, $p < 0,001$). Річкові ділянки, для яких припускається істотний вплив моря, характеризувались найвищими показниками загальної чисельності бактеріопланктону та найвищим діапазоном варіювання показника.

Факторний аналіз (метод екстракції — метод головних компонент) показав існування певних зв'язків між кількісними та якісними показниками бактеріопланктону та середовищними показниками. Результати свідчать про існування достовірного зв'язку між чисельністю деяких груп умовно-патогенних бактерій у воді (*Enterococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*) та чисельністю бактерій з пошкодженою цитоплазматичною мембраною (мертві бактерії). Тобто можна припустити, що чинники, які підвищують чисельність мертвих бактерій у воді (локальні забруднення, екотонна зона екстремумів зон толерантності, прибіїні явища на межі дельта — море та ін.) можуть також сприяти зростанню вмісту у воді умовно-патогенних бактерій.

Виявлені особливості бактеріопланктону річкових ділянок дельти р. Дунай підтверджують унікальність структурно-функціональної організації дельтової екотонної екосистеми як зони екологічної напруженості та подібність організації угруповань макро- та мікроорганізмів за таких перехідних та екстремальних умов.

Список використаної літератури

1. Башмакова И.Х. Бактериопланктон и его роль в процессах самоочищения и биопродуктивности / Биопродуктивность и качество воды Сасыкского водохранилища в условиях его опреснения. Киев : Наук. думка, 1990. С. 96—110.

2. Башмакова И.Х. Микробиология и деструкция органического вещества в толще воды / Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. Киев : Наук. думка. 1993. С. 91—118.
3. Зінченко І.В., Васенко О.Г., Бабіч О.В., Ангіна Л.С. Моніторинг самоочищення акваторії дельти Дунаю і річки Мерло за мікробіологічними показниками. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 39. С. 39—54.
4. Килийская часть дельты Дуная весной 2000 г.: состояние экосистем и последствия техногенных катастроф в бассейне / под ред. Б.Г. Александрова. Одесса, 2001. 128 с.
5. Медична мікробіологія, вірусологія та імунологія / за ред. В.П. Широбокова. Вінниця : Нова Книга, 2021. 920 с.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
7. Михайленко Л.Е. Бактериопланктон днепровских водохранилищ. Киев, 1999. 300 с.
8. Оксiюк О.П., Журавлева Л.А., Ляшенко А.В. и др. Характеристика качества воды украинского участка Дуная (по общим показателям). *Гидробиол. журн.* 1992. Т. 28, № 6. С. 3—11.
9. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксiюк О.П., Яцик А.В. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ : Символ-Т, 1998. 28 с.
10. Старосила Є.В. Чисельність бактеріопланктону пониззя річки Дунай. Тернопільські біологічні читання — Ternopil bioscience-2023 : Матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (11—13 трав. 2023 р.). Тернопіль : Вектор, 2023. С. 206—207.
11. Харченко Т. А., Ляшенко А.В., Башмакова И.Х. Биоразнообразие водных ценозов и качество воды низовьев Дуная в пределах Украины. *Гидробиол. журн.* 1998. Т. 34, № 6. С. 45—65.
12. Харченко Т. А., Ляшенко А.В., Башмакова И.Х. Ретроспективный анализ качества воды низовьев Дуная. *Там само*. 1999. Т. 35, № 6. С. 3—16.
13. Черой А.И., Колесник М.О. Гидроэкологические аспекты проникновения морских вод в судоходные каналы (на примере дельты Дуная). Актуальні проблеми сучасної гідроекології : зб. матеріалів наук.-практ. конференції, присвяч. 95-річчю заснування Національної Академії Наук України (5—6 листоп. 2013 р.). Київ, 2013. С. 97.
14. 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.
15. 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. Public Health*. 2005. Vol. 99, N 2. P. 278—284.
16. Cabral J.P.S. Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *J. Environ. Res. Public Health*. 2010. Vol. 7, N 10. P. 3657—3703.
17. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32006L0007>)
18. Hydrobiocenoses of the transboundary sections of the Ukrainian and Romanian parts of the Danube Delta / Ed. by A. Liashenko. Kyiv: Cathedra, 2018. 312 p.
19. Kalcheva H., Dinka M., Agoston-Szabo E. et al. Bacterioplankton from two Hungarian Danube River wetlands (Beda-Karapanca, Danube-Drava National Park) and its relations to environmental variables. *Transylv. Rev. Syst. Ecol. Res.* 2016. Vol. 18, N 1. P. 1—12.
20. Kalcheva H., Kalchev R., Beshkova M. Bacterioplankton of wetlands along the lower Danube River (Bulgaria) and its relation to environmental factors. *Acta zool. bulg.* 2014. Suppl. 7. P. 83—89.

21. Kovalova N.V., Medinets V.I., Konareva O.P. Long-term changes of bacterioplankton and chlorophyll *a* as indicators of changes of the north-western part of the Black Sea ecosystem during the last 30 years. *J. Environ. Protec. Ecol.* 2010. Vol. 11, N 1. P. 191—198.
22. Kristufek V., Elhottova D., Chronakova A. et al. Growth strategy of heterotrophic bacterial population along successional sequence on spoil of brown coal colliery substrate. *Folia Microbiol. (Praha)*. 2005. Vol. 50. P. 427—435.
23. Liashenko A.V., Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Zorina-Sakharova K.Ye. Continuity and discreteness of the communities of hydrobionts in the lotic—lentic ecosystem of the Danube River Delta: benthic invertebrates. *Hydrobiol. J.* 2024. Vol. 60, N. 3. P. 3—25.
24. Liashenko A., Zorina-Sakharova K. The influence of the invertebrate drift on the communities of the Danube Delta marine edge. *Acta zool. bulg.* 2014. Suppl. 7. P. 27—31.
25. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Communities of benthos invertebrates of the Kiliya delta of the Danube River. *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 6. P. 3—19.
26. Liashenko, A.V., Zorina-Sakharova, K.Y., Pohorielova, M.S. et al. Impact of hydrotechnical construction on aquatic ecosystems of the Kiliya branch of the Danube Delta. *Biosystems Diversity*. 2022. Vol. 30, N 4. P. 359—371.
27. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Macroinvertebrates of the marine edge and fore-delta of the Kiliya branch of the Danube River Delta. *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 2. P. 3—20.
28. Methods in microbiology / Ed. by J.H. Paul. USA : Acad. Press, 2001. Vol. 30. 657 p.
29. Oleynik G.N. Bacterioplankton and bacteriobenthos in ecotone ecosystems. *Hydrobiol. J.* 1999. Vol. 35, N 1. P. 138—150.
30. Oleynik G.N., Kabakova T.N. Bacteriobenthos of Danube Lakes. *Ibid.* 1998. Vol. 34, N 1. P. 46—53.
31. Oleynik G.N., Starosila Ye.V. Microbiological characteristic of the water bodies with high anthropogenic impact. *Ibid.* 2005. Vol. 41, N 6. P. 66—77.
32. Oleynik G.N., Starosila Ye.V. Structure and functioning of bacterioplankton and bacteriobenthos in the water bodies with high content of inorganic nitrogen. *Ibid.* 2010. Vol. 46, N 6. P. 26—36.
33. 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.
34. Palijan G., Bogut I. Effects of high water levels on bacterioplankton abundance in the Danube River floodplain (Kopački Rit, Croatia). *Polish J. Environ. Stud.* 2007. Vol. 16, N 1. P. 113—121.
35. Pernthaler A., Amann R. Simultaneous fluorescence in situ hybridization of mRNA and rRNA in environmental bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. Vol. 70, N 9. P. 5426—5433.
36. Shcherbak V.I., Liashenko A.V., Semeniuk N.Ye. et al. Continuity and discreteness of the communities of hydrobionts in the lotic-lentic ecosystem of the Danube River Delta: Phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 3. P. 3—27.
37. Starosyla 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.
38. Starosyla 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.
39. Wikner J., Hagström A. Bacterioplankton intra-annual variability: importance of hydrography and competition. *Aquat. Microb. Ecol.* 1999. Vol. 20. P. 245—260.
40. Zorina-Sakharova K. Ye., Lyashenko A.V. Macroinvertebrates-invaders in the Kiliya Delta of the Danube River. *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 3. P. 46—61.

Надійшла 27.06.2024

V.I. Yuryshynets, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, 04210, Ukraine
e-mail: ciliator@ukr.net
ORCID 0000-0001-6310-7874

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

A.V. Liashenko, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0003-0028-4974

K.Ye. Zorina-Sakharova, Ph. D. (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0001-6159-2642

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

BACTERIOPLANKTON OF RIVER SECTIONS OF THE KILIYA DANUBE DELTA

Microbiological research (part of complex hydrobiological investigations of different types of water bodies in the lower Danube, 2018—2023) allows us to suggest that the bacterioplankton community of the river sections of the Kiliya Danube Delta is characterized by high values of the total number (5.5—32.2 million cells/cm³, average value — 13.3±6.6 million cells/cm³), the number of bacteria with an intact cytoplasmic membrane (5.9±5.1 million cells/cm³), different ecological groups of bacteria — eutrophic bacteria (241.0±222.5 thousand cells/cm³) and oligotrophic bacteria (150.5±184.7 thousand cells/cm³).

A peculiar feature of the bacterioplankton community of the studied areas is a significant number of dead bacteria (cells with a disrupted cytoplasmic membrane) (1.85—24.1 million cells/cm³, average value: 7.4±4.6 million cells/cm³), that made of 56.2 % of the total number of bacterioplankton. In some areas, the proportion of dead cells exceeded 80—90 %. It is suggested that this phenomenon illustrates the extreme ecological conditions of the research region, which are characteristic of ecotone deltaic ecosystems of the «river — sea» type and may be related to the multi-vector influence of the sea and local pollution from the adjacent territory on the bacterial community.

It was established that the ratio of the number of dead cells per one live bacterial cell was the highest (>5) in areas subject to potential anthropogenic influence by domestic and industrial effluents (the city of Vylkove). It is proposed to use this ratio for ecological indication.

The number of eutrophic and oligotrophic bacteria differed significantly in different seasons of the year. ANOVA proved the lowest abundance of eutrophic bacteria (*r*-strategists) in winter and the predominance of oligotrophic bacteria (*K*-strategists) in autumn (Wilks Lambda = 0.00479, F (32, 22) = 8.7032, *p*<0.001).

Opportunistic bacteria of different groups were present in most samples and research areas. According to the number of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* (regulated by Directive 2006/7/EC), which exceeded the regulatory norms by tens and sometimes hundreds of times, most of the studied river sections of the lower Danube were characterized by the unsatisfactory quality of the water environment.

The total abundance (in the autumn-winter period) of bacterioplankton in the river sections of the Danube Delta, which are close to the sea, was significantly higher (Wilks Lambda = 0.01288, F (32, 12) = 2.9289, *p* = 0.02569).

Factor analysis (extraction method — method of principal components) showed the existence of a reliable relationship between the abundance of some groups of opportunistic bacteria in water (*Enterococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*) and dead bacteria, which indicates a significant influence of local conditions (sea and pollution) on the sanitary condition of water ecosystems of the region.

Keywords: *bacterioplankton, eutrophic bacteria, oligotrophic bacteria, opportunistic bacteria, Danube Delta.*