

УДК [579.26(574.21:574.52)(574.58)]

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

УМОВНО-ПАТОГЕННІ І ПАТОГЕННІ МІКРООРГАНІЗМИ В ГІДРОЕКОСИСТЕМАХ ТА ЇХ РОЛЬ В ОЦІНЦІ ЯКОСТІ ВОД (ОГЛЯД)

Виконано аналіз і узагальнення літературних даних щодо біологічних властивостей і біотичних (екологічних) зв'язків умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів у гідроекосистемах, що дозволяють використовувати їх як біологічні індикатори якості водного середовища. Обговорено роль вільноживучих найпростіших та інших гідробіотів як організмів-господарів.

Ключові слова: патогенні бактерії, умовно-патогенні бактерії, віруси, найпростіші, симбіонти, водні об'єкти.

Мікроорганізми, які набули здатності заселяти теплокровні організми та викликати інфекційний процес і при цьому зберегли потенціал до існування у навколишньому середовищі, прийнято називати умовно-патогенними або потенційно патогенними. Слід зазначити, що немає чітких критеріїв виділення цієї групи мікроорганізмів, оскільки досягнення молекулярної біології свідчать про відносність поділу збудників на офіційно визнані патогенні та потенційно патогенні. Згідно з літературними джерелами, протягом останнього десятиліття у всіх країнах світу спостерігається підвищення активності потенційно патогенних мікроорганізмів. Це зумовлює важливість вивчення цієї групи, у тому числі і у природних екосистемах, і ролі зовнішнього середовища як резервуара низки умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів [2, 7, 8, 12, 18, 21].

Серед складових навколишнього середовища особливу епідеміологічну небезпеку становить вода. Багато людей у світі не мають доступу до безпечної з точки зору бактеріальних інфекцій води. Поверхневі водойми, що є найважливішою частиною природних ресурсів, характеризуються істотним зниженням темпів самоочищення, саморегуляції і самовідновлення. Взаємозв'язок якості води та здоров'я населення показано у

Ц и т у в а н н я: Старосила Є.В. Умовно-патогенні і патогенні мікроорганізми в гідроекосистемах та їх роль в оцінці якості вод (огляд). *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 2. С. 29—39.

роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників [1, 4, 6, 19, 43, 55, 59, 60]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), смертність від хвороб, пов'язаних з водою, перевищує декілька мільйонів випадків на рік. Найбільші ризики пов'язані із заковтуванням при купанні та споживанням води, забрудненої потенційно патогенними та патогенними мікроорганізмами (https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq3rev/en/). Їх основним джерелом є скиди стічних вод у прісні, прибережні і морські води [1—5, 10, 11, 15, 23, 30, 37, 38, 49, 60].

Біологічні властивості та екологічні зв'язки. Нововідкриті патогенні бактерії включають в себе мікроорганізми, стійкі до впливу багатьох антибіотиків, а також мікроорганізми-«вселенці» з нових географічних зон, що розширюють свій ареал, та мікроорганізми з новими генотипами, що утворилися у результаті перенесення патогенних генів. Також етіологічного значення стали набувати широко поширені у навколишньому природному середовищі «опортуністичні» бактерії, у тому числі представники численної родини Enterobacteriaceae. Серед умовно-патогенних домінуюче становище займають бактерії родів *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arizona*, *Acinetobacter* [10, 17, 21, 43]. Багато уваги в літературі приділено родинам Francisellaceae і Rickettsiaceae. Це внутрішньоклітинні паразити, здатні викликати важкі захворювання у широкого кола комах, риб, тварин і передаватися людям. Особливої уваги потребують види *Francisella tularensis* (збудник туляремії) і *F. noatunensis* (збудник захворювання, що може призводити до значних втрат у стаді диких риб і аквакультури). У літературі описані підвиди цих бактерій, виділені із інфузорій [31, 34, 40, 61, 67, 71], амеб [28] і зелених водоростей [42].

Роль вільноживучих найпростіших як організмів-господарів, здатних зберігати і переносити умовно-патогенні і патогенні мікроорганізми, тривалий час недооцінювали. Значення найпростіших у генезисі деяких захворювань було переглянуто після спалахів хвороб, викликаних мікроорганізмами, здатними персистувати в цих найпростіших. Однією з причин є те, що для бактерій найпростіші слугують «маскуванням». Останніми роками багато публікацій висвітлюють асоціації між вільноживучими найпростішими і бактеріями, філогенетично тісно пов'язаними з патогенами людини або тварини [33, 47, 50, 58, 68]. Також відомі факти виживання і розвитку збудників хвороб людини в організмах зоопланктону, морських і прісноводних молюсках різних таксономічних груп [19, 54, 65, 72].

Історично склалося так, що методи клінічної бактеріології та екології мікроорганізмів засновані на культивуванні бактерій на селективних поживних середовищах. Однак, навіть добре відомі патогенні бактерії можуть втрачати здатність до культивування при переході від існування у кишківнику людини або тварини до існування у водному середовищі. Ускладнення полягає у тому, що утворені різними внутрішньоклітинними кишковими патогенними бактеріями «життєздатні, але некультивовані клітини», здатні відновлювати активність всередині найпростіших,

які вільно живуть у природному середовищі. Оскільки амеби харчуються швидкозростаючими бактеріями, наприклад такими, як коліформи, вони є ідеальним об'єктом для виділення певних внутрішньоклітинних мікроорганізмів [62, 70]. Амеби широко поширені у природі та часто контактують з людьми і тваринами. У стані цист вони можуть виживати у суворих умовах, протистояти біоцидам і дезінфекції. Деякі бактерії, які називають амеба-резистентними мікроорганізмами, еволюціонували і набули здатності виживати і розмножуватися в цих найпростіших. Вільноживучі амеби *Acanthamoeba* spp., *Naegleria* spp., *Protacanthamoeba* spp. і *Veramoeba vermiformis* є потенційними господарями для амеба-резистентних патогенних бактерій, зокрема *Legionella*, *Mycobacteria*, класу Chlamydiae (наприклад, *Estrella lausannensis*, *Simkania negevensis*, *Waddlia chondrophila*, *Parachlamydia acanthamoebae*), родини Bradyrhizobiaceae (*Bosea* spp. і *Afipia* spp.) і вірусів. Амеба-резистентні мікроорганізми можуть обмінюватися генетичним матеріалом з іншими амеба-резистентними мікроорганізмами всередині амеб і набувати ознак вірулентності, які у подальшому можуть бути використані для розмноження (зараження) у фагоцитах [24, 47, 50, 68, 69, 75].

Вкрай важливими для популяції бактерій є високостійкі клітинні форми, що забезпечують їх виживання за несприятливих умов. На відміну від життєздатних, але некультивованих клітин, у популяції завжди присутня певна частка (кілька відсотків) клітин, здатних персистувати — «клітин-персисторів», тобто сплячих, що не діляться і проявляють множинну лікарську толерантність, яка є особливістю штамів, толерантних до протимікробних препаратів. Такі клітини-персистори можуть зумовлювати неможливість повної дезінфекції питної води або води після очисних споруд, що використовується для поливу теплиць, культивування морепродуктів тощо [17, 52, 53].

Віруси великих ДНК, що відносять до нуклеоцитоплазматичних, заражають водорості або амеби. Їх генотипічні та фенотипічні характеристики викликають великий інтерес у дослідників. Гігантські мімівіруси *Acanthamoeba polyphaga*, імовірно, є однією з груп вірусів, здатних заражати водних і ґрунтових найпростіших і призводити до пневмонії у людей [39, 41]. Відомо більше 100 різних інфекцій вірусної етіології, пов'язаних з травною системою людини. Багато з цих вірусів погано зберігаються у природному середовищі, з метою визначення ризиків для здоров'я населення були розроблені методи концентрації і культивування цих інфекційних агентів [51].

Менш висвітлені у літературі дослідження стосовно мікроспоридій (тип Microsporidia), що відносяться до споротвірних одноклітинних грибових паразитів [46]. *Enterocytozoon bienersi* був виявлений у природних водах і вважається найбільш поширеним представником серед 17 патогенних видів мікроспоридій людини, які негативно впливають на людей, інфікованих вірусом імунодефіциту (ВІЛ) [26, 27].

Роль в оцінці якості поверхневих вод. Водні ресурси широко використовуються у всіх сферах життєдіяльності людства. Кількість місць для

купання і занять спортом на воді збільшується і, як наслідок, забезпечення санітарних та епідемічних норм потребує особливої уваги. Незадовільна якість поверхневих вод за мікробіологічними показниками може призвести до багатьох захворювань. Це особливо стосується тих водних об'єктів, які використовуються для виробництва питної води і рекреації великою кількістю людей. Бактеріальне забруднення може надходити з різних джерел, але також може бути результатом природного підвищеного рівня кількості мікроорганізмів.

У сфері охорони громадського здоров'я з кінця ХІХ ст. як показник фекального забруднення природних і питних вод використовують бактерію *Escherichia coli*, що виявляється у фекаліях всіх тварин і людини і може тривалий час зберігати життєздатність в умовах навколишнього середовища [29]. З появою методу, що базується на використанні селективного поживного середовища, став можливим простий аналіз води на наявність *E. coli*, «фекальних коліформ» та «загальної кількості коліформних бактерій» як біологічних індикаторів [36]. Проте нещодавні дослідження санітарного стану водних об'єктів у тропічних і субтропічних широтах показали, що визначення лише *E. coli* як індикатора фекального забруднення є ненадійним [25, 63]. На думку деяких авторів, природні і очищені води можуть містити грамнегативну мікрофлору, яку важко класифікувати за допомогою загальноприйнятих рутинних методів. У таких випадках необхідна додаткова повна ідентифікація ізолятів, яка дозволить зробити висновки про якість вод [22, 60].

У Європі на всі офіційно дозволені місця для купання поширюється Європейська Директива по воді для купання (Директива 2006/7/ЕС). На цих пляжах (місцях для купання) якість води має регулярно перевірятися і відповідати встановленим вимогам, особливо по фекальному забрудненню. Як індикатори фекального забруднення води були обрані не лише бактерії *E. coli*, а й кількість загальних і фекальних коліформних бактерій, ентерококів тощо.

Бактерії р. *Enterococcus* (*E. faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. gallinarum*, *E. avium*) входять до підгрупи фекальних стрептококів, які успішно використовуються як індикатори фекального забруднення морських і прісних вод і адекватно відображають ризики для здоров'я людей [20, 25, 32]. Також деякі дослідники наполягають на використанні як індикатора якості води споротвірної патогенної бактерії *Clostridium perfringens*, особливо у випадках, коли можливе віддалене забруднення водного середовища фекаліями, через стійкість її спор та можливу одночасну присутність вірусів [57, 64].

На сьогодні ідентифіковано 54 серотипи аденовірусу людини, здатних викликати інфекції в багатьох органах. З 1998 р. вони були включені у «Список потенційних забруднюючих речовин» — складову Закону про безпечну питну воду Агентства США з охорони навколишнього середовища (<https://www.epa.gov/ccl/contaminant-candidate-list-4-ccl-4-0>), зокрема через їх стійкість до ультрафіолетового випромінювання [48]. Аденовіруси можуть потрапляти у навколишнє природне середовище зі стіч-

ними водами, а спалахи їх розвитку пов'язані із рекреаційним навантаженням на водні об'єкти. Нормативу допустимої кількості аденовірусів у поверхневих водах не існує. Деякі дослідження показали, що їх присутність може вказувати на фекальне забруднення [23, 35, 44, 51, 74], хоча існує і протилежна точка зору [45, 56].

Річкова вода зазвичай забруднена вірусами, бактеріями і патогенними найпростішими, які можуть викликати значні проблеми зі здоров'ям людей, тварин та риб. Комплексні гідробіологічні дослідження виявили зв'язки у багаторівневій ендосимбіотичній системі молюски — інфузорії — патогенні бактерії — віруси [33].

Вивчаючи проби води із північних річок Греції, дослідники відмітили зв'язки між поширеністю і різноманітністю видів бактерій р. *Salmonella*, нитчастих грибів, дріжджів, кількісними показниками фекального забруднення (загальні та фекальні коліформи, ентерококи) і загальною чисельністю гетеротрофних бактерій. Отримані дані показали, що ці річки можуть бути джерелами забруднення морських вод і наземного середовища [16].

Проби води басейну річок східної частині Канади, що характеризується змішаним сільським господарством, аналізували на наявність індикаторних бактерій (*E. coli*, *C. perfringens*, ентерококи, загальні і фекальні коліформи), патогенних бактерій (*Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp.) і паразитів (цист *Giardia*, ооцист *Cryptosporidium*) [73]. Аналіз філогенетичної подібності показав, що наявність *E. coli* є найбільш універсальним індикатором присутності і відсутності паразитів і патогенної мікрофлори, за яким слідують фекальні коліформи, і меншою мірою — ентерококи і загальна кількість коліформ. Також кількість індикаторних і патогенних бактерій позитивно корелювала з загальною кількістю опадів і скидів у гідроекосистемі.

Моніторинг трьох великих річок Франції, що використовуються для рекреації і як джерела питної води, виявив, що найвища чисельність характерна для *E. coli*. Найбільшу кількість патогенних найпростіших (ооцист *Cryptosporidium parvum* і цист *Giardia duodenalis*) і спор *C. perfringens* було виявлено на ділянці річки з інтенсивним сільським і лісовим господарствами, що може бути частково пов'язане з вимиванням з ґрунту через опади. Разом з тим, найвищі концентрації аденовірусів реєстрували на ділянках річок у районах інтенсивної міської забудови. Ризик для здоров'я людей під час рекреаційних заходів для паразитів не перевищував 0,5 %, для аденовірусу він міг досягати 42 % [43].

Багаторічні дослідження декількох лотичних та лентичних екосистем Росії показали зміну таксономічного складу і видової різноманітності угруповання бактерій, а також тенденцію збільшення частки потенційно патогенних грамнегативних бактерій зі зростанням антропогенного впливу, що дозволяє зробити припущення про епідемічну небезпеку таких вод. Також автори відмічають, що частота виявлення антибіотикостійких штамів бактерій у водних екосистемах залежала від ступеня антропогенного забруднення їх місця існування. Кореляційний аналіз між

часткою умовно-патогенних ентеробактерій у мікробіоценозі і часткою штамів з множинною антибіотикорезистентністю показав сильний з високим рівнем достовірності зв'язок [2, 12].

Власні визначення автора, проведені на лентичних та лотичних водних об'єктах України, показали, що у місцях інтенсивного антропогенного навантаження відмічено значний вміст потенційно патогенних мікроорганізмів у воді. У пробах фіксували значну кількість грибів (рр. *Candida*, *Saccharomyces*) і бактерій (рр. *Enterococcus*, *Staphylococcus*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *E. coli* і коліформи), здатних викликати шкідливі та кишкові інфекції у людини та тварин. За результатами проведених санітарно-мікробіологічних досліджень водних об'єктів відмічали зв'язки між кількісними показниками евтрофних бактерій і бактерій р. *Salmonella* і фекальним забрудненням. Це свідчить про низьку якість води та високий ступінь її бактеріального забруднення, що у подальшому може призвести до негативних наслідків [9, 14, 15, 66].

Вивчення видового складу мікроміцетів у різних водних об'єктах України показало, що вони визначаються у поверхневих водах всюди, особливо у місцях скиду неочищених або недостатньо очищених стічних вод і рекреаційного використання. Основними з них є дріжджоподібні і міцеліальні гриби рр. *Candida*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*. Автори відмічають залежність між кількістю мікроміцетів, фізико-хімічними параметрами (глибиною відбору проб, температурою води, вмістом органічних речовин тощо) та чисельністю людей, що купаються [13].

У цьому огляді не розглядаються технології відстеження «мікробіологічних джерел», які почали розробляти та застосовувати у водній мікробіології в останні роки. Доповненням для підвищення корисності індикаторних мікроорганізмів як інструментів для оцінки ризику забруднення є розробка і доопрацювання методів тестування та аналізу, які можуть визначати конкретні джерела цих організмів. Концепція відстеження походження фекальних забруднень використовує мікробіологічні, генотипічні, фенотипічні і хімічні методи.

Отже, бактеріальне забруднення водних об'єктів може відбуватися з різних джерел, але також може бути результатом природного підвищеного рівня кількості мікроорганізмів. Низька якість вод у гідроєкосистемах за мікробіологічними показниками може призводити до багатьох захворювань як гідробіонтів, так і людей. Через широке розповсюдження і міцні симбіотичні зв'язки між вірусами, патогенними бактеріями, найпростішими і іншими гідробіонтами, ефективність використання традиційних індикаторних бактерій для прогнозування якості водного середовища та санітарно-епідеміологічної ситуації через наявність відходів життєдіяльності людей або тварин, а також оцінка подальших ризиків для здоров'я населення є дещо обмеженою. У таких випадках необхідна додаткова повна ідентифікація ізолятів, що дозволить зробити висновки про придатність і безпечність таких вод, особливо у системах водопостачання.

Список використаної літератури

1. Анганова Е.В. Биологические свойства условно-патогенных бактерий водных экосистем. *Гигиена и санитария*. 2010. Т. 89, № 5. С. 67—68.
2. Анганова Е.В., Савченков М.Ф., Степаненко Л.А. и др. Микробиологический мониторинг условно-патогенных энтеробактерий в реке Лене. Там же. 2016. Т. 95, № 12. С. 1124—1128.
3. Березняк Е.А., Тришина А.В., Веркина Л.М. и др. Мониторинг условно-патогенной микрофлоры водоемов г. Ростова-на-Дону. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. Т. 275, № 2. С. 40—43.
4. Головлев Е.Л. Экологическая стратегия бактерий: специфика проблемы. *Микробиология*. 2001. Т. 70, № 4. С. 437—443.
5. Гурьева М.О., Безвербная И.П., Компанец Г.Г. и др. Сравнительное исследование цитопатических свойств псевдомонад, выделенных из р. Туманган и оз. Байкал. *Микроорганизмы в экосистемах озер, рек, водохранилищ* : II Байкальский микробиол. Симпозиум с междунар. участием (10—15 сент. 2007 г., Иркутск). Иркутск, 2007. С. 61.
6. Жадан Т.О., Грек А.М., Шевцова О.О. та ін. Мікробіологічне забруднення водних джерел та проблеми його контролю. *Системи обробки інформації*. 2007. Т. 65, № 7. С. 109—115.
7. Калина Г.П. Микроэволюция антропофильных прокариот как фактор изменения активности эпидемических процессов. Микроэволюция патогенности. *Журн. микробиологии, эпидемиологии, иммунологии*. 1991. № 5. С. 71—74.
8. Куля А.Ф., Сабо Ю., Коваль Г.М. та ін. Порівняльний аналіз методів визначення антибіотикочутливості умовно-патогенних бактерій — збудників опортуністичних інфекцій людини. *Мікробіол. журн.* 2011. Т. 73, № 5. С. 47—53.
9. Летицька О.М., Гончарова М.Т., Старосила Є.В. Оцінка стану екосистеми річки Свіча. *Європейський потенціал розвитку природничих дисциплін* : Міжнарод. наук.-практ. конф. (27—28 листоп. 2020 р., Люблін). Люблін, 2020. С. 61—66.
10. Марков А.В. Условно-патогенные микроорганизмы в крупнейших водоисточниках Восточной Сибири и их роль в гигиенической оценке качества вод: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Иркутск, 2004. 18 с.
11. Парфенова В.В., Павлова О.Н., Кравченко О.С. и др. Изучение локального антропогенного влияния на горизонтальное и вертикальное распределение микроорганизмов в воде оз. Байкал. *Гидробиол. журн.* 2009. Т. 45, № 2, С. 51—62.
12. Савилов Е.Д., Мамонтова Л.М., Анганова Л.М. и др. Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества вод. *Бюлл. СО РАМН*. 2008. Т. 129, № 1. С. 47—51.
13. Савлук О.С., Руденко А.В., Сапрыкина М.Н. и др. Мониторинг микромицетов в поверхностных источниках водозаборов городов Украины. *Екологія і природокористування*. 2013. Вип. 16. С. 245—250.
14. Старосила Е.В. Структурные и функциональные характеристики бактериопланктона и бактериобентоса водных экосистем в условиях антропогенной загрузки. *Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы* : VII Междунар. конф. по водной токсикологии (16—20 сент. 2020 г., Борок). Борок, 2020. С. 185—188.
15. Старосила Є.В., Юришинець В.І. Вміст умовно-патогенних бактерій у різнотипних водних об'єктах. *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти* : VI Міжнар. наук.-практ. конф. (14—15 лист. 2019 р., Київ). Київ, 2019. С. 189—192.
16. 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. Research*. 2005. Vol. 99, N 2. P. 278—284.
17. Ashbolt N.J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Curr. Environ. Health Rep.* 2015. Vol. 2, N 1. P. 95—106.

18. Berg G., Eberl L., Hartmann A. The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria. *Environ. Microbiol.* 2005. Vol. 11, N 7. P. 1673—1685.
19. Bichai F., Dullemont Y., Hijnen W. et al. Predation and transport of persistent pathogens in GAC and slow sand filters: a threat to drinking water safety? *Water Res.* 2014. Vol. 64, N 1. P. 296—308.
20. Cabelli V.J. Swimming-associated gastroenteritis and water quality. *Am. J. Epidemiol.* 1982. Vol. 115, N 4. P. 606—616.
21. Cabral J.P.S. Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *J. Environ. Res. Public Health.* 2010. Vol. 7, N 10. P. 3657—3703.
22. Charriere G., Mossel D.A., Beaudou P. et al. Assessment of the marker value of various components of the coli-aerogenes group of *Enterobacteriaceae* and of a selection of *Enterococcus* spp. for the official monitoring of drinking water supplies. *J. Appl. Bacteriol.* 1994. Vol. 76, N 4. P. 336—344.
23. Crabtree K.D., Gerba C.P., Rose J.B. et al. Waterborne adenovirus: a risk assessment. *Water Sci. Technol.* 1997. Vol. 35, N 11—12. P. 1—6.
24. Delafont V., Brouke A., Bouchon D. et al. Microbiome of free-living amoebae isolated from drinking water. *Water Res.* 2013. Vol. 47, N 19. P. 6958—6965.
25. Desmarais T.R., Solo-Gabriele H.M., Palmer C.J. Influence of soil on fecal indicator organisms in a tidally influenced subtropical environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 2002. Vol. 68, N 3. P. 1165—1172.
26. Didier E.S., Weiss L.M. Microsporidiosis: not just in AIDS patients. *Curr. Opin. Infect. Dis.* 2011. Vol. 24, N 5. P. 490—495.
27. Dowd S.E., Gerba C.P., Pepper I.L. Confirmation of the human-pathogenic microsporidia *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, and *Vittaforma corneae* in water. *Appl. Environ. Microbiol.* 1998. Vol. 64, N 9. P. 3332—3335.
28. Dyková I., Veverková M., Fiala I. et al. *Nuclearia pattersoni* sp. n. (Filosea), a new species of amphizoic amoeba isolated from gills of roach (*Rutilus rutilus*), and its rickettsial endosymbiont. *Folia. Parasitol. (Praha)*. 2003. Vol. 50. P. 161—170.
29. Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J. et al. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Symp. Ser. Soc. Appl. Microbiol.* 2000. Vol. 88. P. 106—116.
30. Fenwick A. Waterborne diseases — could they be consigned to history? *Science.* 2006. Vol. 313, N 5790. P. 1077—1081.
31. Ferrantini F., Fokin S.I., Modeo L. et al. «*Candidatus Cryptoprodotis polytropus*», a novel *Rickettsia*-like organism in the ciliated protist *Pseudomicrothorax dubius* (Ciliophora, Nassophorea). *J. Eukaryot. Microbiol.* 2009. Vol. 56. P. 119—129.
32. Fleisher J.M., Jones F., Kay D. et al. Water and non-water-related risk factors for gastroenteritis among bathers exposed to sewage-contaminated marine waters. *Int. J. Epidemiol.* 1993. Vol. 22, N 4. P. 698—708.
33. Fokin S.I., Giamberini L., Molloy D.P. et al. Bacterial endocytobionts within endosymbiotic ciliates in *Dreissena polymorpha* (Lamellibranchia: Mollusca). *Acta Protozool.* 2003. N 42. P. 31—39.
34. Fokin S.I., Schrallhammer M., Chiellini C. et al. Free-living ciliates as potential reservoirs for eukaryotic parasites: occurrence of a trypanosomatid in the macronucleus of *Euplotes encysticus*. *Parasit. Vectors.* 2014. Vol. 7. P. 203—213.
35. Fong T.T., Lipp E.K. Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2005. Vol. 69, N 2. P. 357—371.
36. Geldreich E.E. Sanitary significance of fecal coliform in the environment (Water pollution control research series). Cincinnati, Ohio: U.S. Dept. of the Interior Feder. Publication. 1966. 122 p.
37. George I., Crop P., Servais P. Use of β -d-galactosidase and β -d-glucuronidase activities for quantitative detection of total and faecal coliforms in wastewater. *Can. J. Microbiol.* 2001. Vol. 47. P. 670—675.

38. Grabow W.O.K. Waterborne diseases: update on water quality assessment and control. *AGRIS*. 1996. Vol. 22, N 2. P. 193—202.
39. <https://doi.org/10.1186/1743-422x-11-120>.
40. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072581>.
41. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087811>.
42. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031749>.
43. Jacob P., Henry A., Meheut G. et al. Health risk assessment related to waterborne pathogens from the river to the tap. *J. Environ. Res. Public Health*. 2015. Vol. 12, N 3. P. 2967—2983.
44. Jiang S.C., Noble R.T., Chu W. Human adenoviruses and coliphages in urban runoff-impacted coastal waters of Southern California. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 67, N 1. P. 179—184.
45. Jiang S.C. Human adenoviruses in water: occurrence and health implications: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 2006. Vol. 40, N 23. P. 7132—7140.
46. Karanis P., Kourenti C., Smith H. Waterborne transmission of protozoan parasites: a worldwide review of outbreaks and lessons learned. *J. Water Health*. 2007. Vol. 5, N 1. P. 1—38.
47. Kebbi-Beghdadi C., Gilbert G. Importance of amoebae as a tool to isolate amoeba-resisting microorganisms and for their ecology and evolution: the *Chlamydia* paradigm. *Environment. Microbiol. Reports*. 2014. Vol. 6, N 4. P. 309—324.
48. King A.M., Adams M.J., Carstens E.B. et al. Virus Taxonomy: ninth report of the international committee on taxonomy of viruses. London, Elsevier, 2012. 210 p.
49. Kogure K., Ikemoto E. Wide occurrence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157 in natural freshwater environment. *Japan J. Bacteriol.* 1997. Vol. 52. P. 601—607.
50. Lamoth F., Greub G. Amoebal pathogens as emerging causal agents of pneumonia. *FEMS Microbiol. Rev.* 2010. Vol. 34, N 3. P. 260—280.
51. Lee S.-H., Kim S.-J. Detection of infectious enteroviruses and adenoviruses in tap water in urban areas in Korea. *Water Res.* 2002. Vol. 36, N 1. P. 248—256.
52. Lewis K. Persister cells, dormancy and infectious disease. *Nat. Rev. Microbiol.* 2007. Vol. 5, N 1. P. 48—56.
53. Li L., Mendis N., Trigui H. et al. The importance of the viable but non-culturable state in human bacterial pathogens. *Front. Microbiol.* 2014. Vol. 5. P. 258—275.
54. Levesque B., Brothier C., Dixon B.R. et al. Microbiological quality of blue mussels (*Mytilus edulis*) in Nunavik, Quebec: a pilot study. *Canad. J. Microbiol.* 2010. Vol. 56, N 11. P. 968—977.
55. Matthews J.E., Dickey B.W., Miller R.D. et al. The epidemiology of published norovirus outbreaks: a review of risk factors associated with attack rate and genogroup. *Epidemiol. Infect.* 2012. Vol. 140, N 7. P. 1161—1172.
56. Noble R.T., Fuhrman J.A. Enteroviruses detected in the coastal waters of Santa Monica Bay, CA: low correlation to bacterial indicators. *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 460, N 1. P. 175—184.
57. Payment P. *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Appl. Environ. Microbiol.* 1993. Vol. 59, N 8. P. 2418—2424.
58. Pilhofer M., Aistleitner K., Ladinsky M.S. et al. Architecture and host interface of environmental chlamydiae revealed by electron cryotomography. *Environ. Microb.* 2014. Vol. 16, N 2. P. 417—429.
59. Sales-Ortells H., Medema G. Screening-level microbial risk assessment of urban water locations: a tool for prioritization. *Environ. Sci. Technol.* 2014. Vol. 48, N 16. P. 9780—9789.
60. Sachets F.M., de Roda Husman A.M. Infections following recreational activities in lakes, rivers and canals: present and future risks of transmission in the Netherlands. *Ned. Tijdschr. Geneesk.* 2014. Vol. 158. P. 69—79.

61. Schrallhammer M., Schweikert M., Vallesi A. et al. Detection of a novel subspecies of *Francisella noatunensis* as endosymbiont of the ciliate *Euplotes raikovi*. *Microbiol. Ecol.* 2011. Vol. 61, N 2. P. 455—464.
62. Signoretto C., Burlacchini G., Pruzzo C. et al. Persistence of *Enterococcus faecalis* in aquatic environments via surface interactions with copepods. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005. Vol. 71, N 5. P. 2756—2761.
63. Solo-Gabriele H.M., Wolfert M.A., Desmarais T.R. et al. Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. *Ibid.* 2000. Vol. 66, N 1. P. 230—237.
64. Sorensen D.L., Eberl S.G., Dicksa R.A. *Clostridium perfringens* as a point source indicator in non-point polluted streams. *Water Res.* 1989. Vol. 22, N 2. P. 191—197.
65. Stampf P., Failing K., Papp T. et al. Accumulation of a low pathogenic avian influenza virus in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*). *Avian Diseases.* 2010. Vol. 54, N 4. P. 1183—1190.
66. Starosyla Yev. Microbiological monitoring of potentially pathogenic microorganisms in different types of water bodies. *Innovation in science: global trends and regional aspect*: Intern. scientific conf. (March 12—13, 2021, Riga). Riga, 2021. P. 13—16.
67. Sun H.Y., Noe J., Barber J. et al. Endosymbiotic bacteria in the parasitic ciliate *Ichthyophthirius multifiliis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2009. Vol. 75. P. 7445—7452.
68. Thomas V., McDonnell G., Denyer S.P. et al. Free-living amoebae and their intracellular pathogenic microorganisms: risks for water quality. *FEMS Microbiol. Rev.* 2010. Vol. 34, N 3. P. 231—259.
69. Trolio R., Bath A., Gordon C. et al. Operational management of *Naegleria* spp. in drinking water supplies in Western Australia. *Water Sci. Technol. Water. Supply.* 2008. Vol. 8, N 2. P. 207—215.
70. Vaerewijck M.J.M., Baré J., Lambrecht E. et al. Interactions of foodborne pathogens with free-living protozoa: potential consequences for food safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2014. Vol. 13, N 5. P. 924—944.
71. Vannini C., Petroni G., Verni F. et al. A bacterium belonging to the *Rickettsiaceae* family inhabits the cytoplasm of the marine ciliate *Diophrys appendiculata* (Ciliophora, Hypotrichia). *Microbiol. Ecol.* 2005. Vol. 49. P. 434—442.
72. Vilariño M.L., Le Guyader F.S., Polo D. et al. Assessment of human enteric viruses in cultured and wild bivalve mollusks. *Int. Microbiol.* 2009. Vol. 12, N 3. P. 145—151.
73. Wilkes G., Edge T., Gannon V. et al. Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. *Water.Res.* 2009. Vol. 43, N 8. P. 2209—2223.
74. Wyer M.D., Wyn-Jones A.P., Kay D. et al. Relationships between human adenoviruses and faecal indicator organisms in European recreational waters. *Ibid.* 2012. Vol. 46, N 13. P. 4130—4141.
75. Yoder J.S., Straif-Bourgeois S., Roy S.L. et al. Primary amebic meningoencephalitis deaths associated with sinus irrigation using contaminated tap water. *Clin. Infect. Dis.* 2012. Vol. 55, N 9. P. 79—85.

Надійшла 13.01.2021

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

CONDITIONALLY PATHOGENIC AND PATHOGENIC MICROORGANISMS IN
HYDROECOSYSTEMS AND THEIR ROLE IN WATER QUALITY ASSESSMENT
(A REVIEW)

The analysis and generalization of literature data on biological properties and biotic (ecological) connections of opportunistic pathogenic and pathogenic microorganisms in hydroecosystems, which allow to use them as biological indicators of aquatic environment quality were carried out. The role of free-living protozoans and some other hydrobionts as host-organisms was discussed.

Keywords: *pathogenic bacteria, pathogenic bacteria, viruses, protozoans, symbionts, water bodies.*