



МОКІЄНКО

Андрій Вікторович — доктор медичних наук, головний науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут медицини транспорту Міністерства охорони здоров'я України» (Одеса)

ЦІАНОБАКТЕРІЇ І ЦІАНОТОКСИНИ: МІФ ЧИ РЕАЛЬНІСТЬ?

Розглянуто проблему розмноження ціанобактерій у водоймах, пов'язану з глобальною евтрофікацією, і стан її дослідження у світі. В Україні на сьогодні проблема ціанобактерій і ціанотоксинів у водоймах, особливо в гігієнічному та медико-екологічному аспектах, вивчається недостатньо. Обґрунтовано необхідність моніторингу вмісту ціанобактерій у водоймах; впровадження стандартизованих методик визначення ціанотоксинів під час цвітіння; вивчення впливу ціанотоксинів на біоту; розроблення моделей ризику для здоров'я населення рекреаційних та питних вод після знезараження води поверхневих питних водозаборів.

Ключові слова: ціанобактерії, ціанотоксини, цвітіння поверхневих водойм, рекреаційні води, знезараження питної води.

Вступ

Надзвичайно гострою проблемою є розмноження у водоймах ціанобактерій, тісно пов'язане з глобальною евтрофікацією, яка означає прискорений ріст мікроводоростей завдяки збагаченню води нутрієнтами, особливо сполуками азоту та/або фосфору, що індукує дисбаланс гідробіотів і зниження якості води.

Ціанобактерії (*Cyanobacteria spp.*), найпрадавніше примітивні водні мікроорганізми, вік яких становить 3,5 млрд років, є одними з найпоширеніших у водних середовищах. В останні десятиліття темпи їх розмноження, у тому числі токсинпродукуючих штамів, постійно збільшуються, що зумовлено процесами глобального потепління. «Цвітіння» цих мікроорганізмів в озерах, резервуарах і ріках, в устях і морях стає все частішим явищем по всьому світу. На думку експертів, це призводить до економічних збитків, оскільки ускладнює очищення води, перешкоджає рекреації і туризму, погіршує загальний стан навколишнього середовища.

Слід зазначити, що проблема ціанобактерій і ціанотоксинів, особливо в гігієнічному та медико-екологічному аспектах, в Україні практично не вивчається, про що свідчить дуже незначна кількість вітчизняних публікацій [1, 2]. І це в умовах, коли актуальність евтрофікації водойм у нашій країні невпинно зростає з кожним роком.

Стан проблеми

Ціанобактерії — фотосинтетичні бактерії, які мають деякі спільні властивості з морськими водоростями, такі як наявність хлорофілу і виділення кисню у вільному стані в процесі фотосинтезу. Ціанобактерії поширені в різних середовищах — ґрунтах, морській воді, але найбільше їх у прісних водоймах. Сонячне світло, тепла погода, низька турбулентність і високий рівень нутрієнтів зазвичай сприяють їх розмноженню. Однак ціанобактерії не розмножуються в організмі людини, тому не є інфекційними агентами.

Характерною особливістю деяких різновидів ціанобактерій є їхня здатність продукувати токсини (ціанотоксини). Інтенсивне розмноження ціанобактерій може спричинити появу високих концентрацій токсинів. Кожний токсин має певні специфічні властивості, зокрема нейротоксичність. Ціанотоксини можуть генерувати пухлини, викликати ушкодження печінки, шлунково-кишкові розлади, лихоманку, подразнення шкіри, вух, очей, горла, дихальних шляхів, алергічні реакції.

Потенційне занепокоєння щодо впливу на здоров'я людини пов'язане з дією токсинів при вживанні питної води. Для багатьох ціанотоксинів характерний повторний або хронічний вплив, однак у деяких випадках найнебезпечнішою є гостра токсичність, спричинена, наприклад, нейротоксинами сакситоксином і анатоксином. У разі використання неадекватно очищеної води для гемодіалізу, яка містила високі рівні ціанотоксинів, траплялися летальні випадки.

За механізмом дії токсини класифікують на гепатотоксини (мікроцистин і циліндропермопсин), нейротоксини (анатоксин-а, сакситоксини і анатоксин-а(S)) і подразники, або запальні агенти (ліпополісахариди). Гепатотоксини продукуються різними видами в межах родів *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Cylindrocapsa* і *Umezakia*. Ці токсини, зокрема мікроцистини (олігопептиди) і циліндропермопсин (алкалоїд), найчастіше містяться у підви-

щених концентраціях (> 1 мкг/л), тоді як для нейротоксинів це не характерно.

Доступними засобами видалення ціанобактерій і ціанотоксинів є фільтрація і хлорування. Окиснення озоном або хлором за достатніх концентрацій і експозицій ефективно видаляє більшість ціанотоксинів, розчинених у воді.

Хімічний аналіз на ціанотоксини при контролі якості води зазвичай не проводять, оскільки він потребує додаткового часу, специфічного устаткування та експертизи. Кількісному аналізу деяких ціанотоксинів перешкоджає нестача аналітичних стандартів. Однак експресні методи (ELISA і ферментні пробірні аналізи) стають доступними для ідентифікації мікрокількостей, наприклад, мікроцистинів. Попереднє (тимчасове) значення (1,0 мкг/л) введено для мікроцистину-LR як одного з найтоксичніших серед відомих 70 структурних варіантів мікроцистинів. Для порівняння токсичності мікроцистинів його прийнято називати «еквівалентом токсичності».

Система моніторингу токсичних ціанобактерій, розроблена ВООЗ, інтерпретує результати їх визначення за ступенем потенційної небезпеки для здоров'я населення. Наприклад, чисельність *Microcystis spp.*, за якої перевищується ГДК мікроцистину для питної води (1 мкг/л), становить 2 млн клітин/л і позначається як «перший аварійний рівень», що потребує заміни джерела водопостачання [3].

Вплив на здоров'я людини і тварин

За даними Centre for Studies and Experimentation of Public Works (CEDEX), із 278 зразків води в Іспанії близько 20 % показали наявність ціанобактерій у концентраціях понад 2 млн/л, що є граничним рівнем за стандартами ВООЗ щодо якості вод для купання; у 45 % виявлено гепатотоксичні мікроцистини в концентраціях понад 1 мкг/л, що перевищує рівні, рекомендовані ВООЗ, і максимальні нормативні величини для рекреаційних вод в Іспанії [4].

Цвітіння ціанобактерій становить ризик при купанні у водах принаймні в 50 країнах [5]. Так, у 2002 р. зафіксовано смерть хлопчика у

штаті Вісконсин (США), імовірно, внаслідок дії ціанотоксинів [6]. За даними U.S. Centers for Disease Control and Prevention, у 2009–2010 рр. ціанобактерії стали причиною майже половини спалахів захворювань людей після купання в озерах [7]. У 2012 р. після купання в озерах Каліфорнії, Меріленду, Індіани, Нью-Йорку і Оклахоми через дію ціанотоксинів загинули декілька собак. Загалом за останні кілька десятиліть зареєстровано випадки загибелі сотень собак [8]. У 2013 р. через масове розмноження ціанобактерій на два дні було закрито станцію водоочищення невеликого міста на оз. Ері. Максимальний ризик для плавців виникає при випадковому ковтанні води, однак токсини можуть також викликати дерматити у людей і тварин [9].

З кінця 1970-х років італійські водні організації фіксують істотне збільшення цвітіння вододійм. За період між 1993 і 1999 р. число таких випадків зросло від 18 до 64 на рік, принаймні третина з них спричинена токсичними ціанобактеріями [10].

При оцінюванні ступеня ризику ціанотоксинів у питній воді слід враховувати синергетичний ефект, який полягає в зростанні токсичного впливу деяких основних токсинів у разі їх спільної наявності, навіть за умови короткочасного контакту з ними. У дослідженні [11] вплив мікроцистину-LR на мишей у сублетальній дозі (31,3 мкг/кг) за 30 хв до введення анатоксину-а трансназально знижував LD_{50} останнього в 4 рази. Повторювані протягом 7 днів щоденні сублетальні дози, які окремо не виявляли помітного збільшення маси печінки, викликали кумулятивний ефект у вигляді зростання її маси на 75%.

Встановлено зростання відносного ризику (relative risk – RR) шлунково-кишкових симптомів при рекреаційному контакті за підвищених рівнів контамінації води ціанобактеріями: від 1,52 за концентрації <20 000 клітин/мл до 3,28 за концентрації >100 000 клітин/мл. В учасників, які споживали питну воду від станції водоочищення, джерело якої було забруднене ціанобактеріями, спостерігалось посилення м'язових болів (RR = 5,16), шлунково-

кишкових симптомів (RR = 3,87), шкірних реакцій (RR = 2,65), вушних симптомів (RR = 6,10) [12].

У роботі [13] оцінено генотоксичність циліндроспермопсину, продуцентом якого є ціанобактерія *Cylindrospermopsis raciborskii*, та його побічних продуктів, які утворюються при очищенні води хлоруванням. У групі мишей, яким вводили внутрішньочеревно очищену воду з екстрактом *C. raciborskii*, відзначено генотоксичні і мутагенні ефекти в клітинах крові, печінки та кісткового мозку.

Результати досліджень популяцій ціанобактерій у водоймах

Озера Українського Придунав'я характеризуються напруженою екологічною та санітарно-епідеміологічною ситуацією [14, 15] і є депресивним регіоном з евтрофованими поверхневими водоймами [16]. Результати ідентифікації ціанобактерій в цих озерах наведено в таблиці.

Як видно з наведених даних [17], між дослідженими озерами є певні відмінності за переважними популяціями ціанобактерій. Так, в оз. Кагул найчисленнішою в період цвітіння була *Aphanocapsa pulverea*, в оз. Ялпуг – *Synechocystis salina*, а в оз. Катлабух – *Spirulina laxissima*, *Merismopedia minima*.

Слід зазначити, що в системі контролю антропогенного забруднення водного середовища провідна роль належить біологічним методам оцінки якості вод. При проведенні моніторингу водних об'єктів доцільно використовувати системи оцінки якості вод, основані на принципі різного впливу рівня сапробності на різні види організмів. Фітопланктон, як перша ланка трофічного ланцюга, дозволяє оцінити якість вод і ступінь їх забруднення, показує рівень антропогенних впливів і діагностує зміни, що відбуваються у водоймах уже на ранніх стадіях змінення гідробіоценозу.

Встановлені нами рівні чисельності популяцій ціанобактерій у воді придунайських озер свідчать про інтенсивну евтрофікацію і багато в чому узгоджуються з даними інших дослідників. Водночас видовий склад ціано-

бактерій значною мірою залежить від клімато-географічних, гідрогеологічних і санітарно-гігієнічних факторів. Так, дослідження ціанобактерій лагуни Lekki (Нігерія) дозволило виявити 179 різновидів, що належать до 30 родів [18]. *Oscillatoria* були представлені 23 різновидами, *Phormidium* — 18, *Anabaena* і *Chroococcus* — по 13, *Gleocapsa*, *Merismopedia* і *Microcystis* — 10, 8 і 12 різновидів відповідно. Ідентифікованими різновидами, що формують цвітіння, були *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. wesenbergii* і *Anabaena flos-aquae*. У Єгипті *Synechocystis salina* викликала цвітіння водойм із солоністю 112–180 г/л [19]. За даними [20], у планктоні гіпергалінних (надсолоних) водойм поширені *Synechocystis salina* Wislouch. Цей вид викликає цвітіння води і в різнотипних водоймах Ірану [21].

Видовий склад домінуючих ціанобактерій у мінеральних озерах залежить від ступеня їх мінералізації [22]. Найчисленнішими видами ціанобактерій в озерах Криму за період з серпня 2004 р. по серпень 2006 р. виявилися представники родів *Oscillatoria* і *Phormidium*. У цих озерах переважали нитчасті ціанобактерії. Їх бурхливий розвиток спостерігався при показниках солоності до 100‰. При більш високій солоності переважали одноклітинні форми (*Synechococcus elongatus*, *S. aeruginosa*, *Synechocystis salina* та ін.). У серпні 2002 р. на фоні

розвитку дрібноклітинних форм планктону у північній частині Тилігульського лиману спостерігався масовий розвиток синьозелених водоростей *Oscillatoria kisselevi* Anissim. і *Spirulina laxissima* G.S. West, сумарна чисельність яких становила $151,2 \cdot 10^6$ кл/л [23].

При дослідженні таксономічного складу планктонних водоростей р. Чапаєвка (Росія) встановлено наявність фонових видів синьозелених водоростей *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvereae*, *Aphanizomenon flos-aquae* [24]. У характеристиці *Cyanoprokaryota*, що спричинює цвітіння водойм північного заходу Росії [25], зазначено, що *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah. викликає найінтенсивніше цвітіння води в озерах Санкт-Петербурга, у мілководних високоевтрофних озерах Ленінградської області, в озерах Псковське, Чудське, у прибережній акваторії східної частини Фінської затоки. Це один із поширених факторів цвітіння води, що зустрічається в континентальних водоймах різного типу і в опріснених морських акваторіях. Окремі популяції синтезують нейротоксини — афантоксини, аналогічні токсинам з водоростей «червоних припливів» — неосакситоксину і сакситоксину. Ці ціанобактерії здатні подразнювати слизові оболонки і шкіру людини, викликаючи кон'юнктивіт, почервоніння шкіри, появу пухирців тощо. Токсигенні штами цього

Видовий спектр ціанобактерій у воді озер Українського Придунав'я [17]

Водойма	Вид ціанобактерій	Кількість клітин в 1 дм ³		
		min	max	Me
Оз. Кагул	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	285 000	323 000	312 000
	<i>Aphanocapsa pulvereae</i>	1 187 000	2 227 000	2 130 000
	<i>Oscillatoria planctonica</i>	87 000	123 000	108 000
Оз. Ялпуг	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	55 000	63 000	61 000
	<i>Gleocapsa minima</i>	231 000	248 000	242 000
	<i>Spirulina laxissima</i>	113 000	124 000	121 000
	<i>Synechocystis salina</i>	44 660 000	44 920 000	44 830 000
Оз. Катлабух	<i>Merismopedia minima</i>	3 180 000	3 440 000	3 360 000
	<i>Spirulina laxissima</i>	3 780 000	4 120 000	3 990 000

Примітка: жирним шрифтом виділено види, що викликають цвітіння води.

виду виявлено у водоймах Карелії на північно-східному узбережжі Ладозького озера.

У роботі [25] зазначено, що 40–50% цвітіння є токсичними. Токсичні цвітіння зареєстровано в багатьох країнах світу, зокрема у понад 20 європейських країнах. У водоймах північного заходу Росії виявлено 21 токсичний і потенційно токсичний вид. З них 10 видів можуть продукувати гепатотоксини, 6 видів — нейротоксини; для 5 видів хімічну природу токсинів не встановлено. Число токсичних і потенційно токсичних видів у малих водоймах варіює від 3 до 5–8, у Ладозькому озері і р. Неві налічується по 16 видів.

В експериментах із прісноводними (*Microcystis aeruginosa* і *Chlorella sp.*) і морськими (*Synechocystis salina* і *Nannochloropsis sp.*) різновидами показано їх потенційну здатність стимулювати ріст інших ціанобактерій і пригнічувати ріст фітопланктону (водоростей) як основних гідробіонтів естуарію. Оскільки естуарії — це транзитні екосистеми, бентосні і планктонні естуарієві ціанобактерії можуть змінити прісноводні і морські різновиди фітопланктону, що вплине на інтенсивність формування цвітіння цих водойм [26].

В огляді, присвяченому токсинам ціанобактерій [27], підкреслено, що відповідних відомостей вкрай недостатньо. Більшість даних про токсичність стосуються мікроцистину-LR. Для нодуляринів доступні результати кількох досліджень на тваринах. Для алкалоїдів обмежені дані про токсичність є для анатоксину-а, циліндроспермопсину і сакситоксину. Однак, немає жодних даних про гостру токсичність. Для сакситоксинів у багатьох країнах встановлено рівні толерантності на двостулкових молюсках. Офіційного регулювання для інших ціанотоксинів не встановлено.

Отже, наступним етапом наших досліджень було визначення можливих біологічних ефектів води озер Кагул, Ялпуг, Катлабух на організм лабораторних тварин. Необхідність цих досліджень продиктована кількома обставинами. Головна з них — це майже повна відсутність вітчизняних досліджень щодо ціанобактерій та оцінки потенційної значущості продукованих

ними ціанотоксинів із токсиколого-гігієнічних позицій. По-друге, це відсутність в Україні як атестованих, так і будь-яких інших методик визначення ціанотоксинів у воді. По-третє, відносно невелика кількість даних літератури щодо впливу ціанотоксинів на стан теплокровних тварин і людини, про що свідчить огляд літератури [27] та деякі інші публікації [9, 28–30].

За результатами досліджень встановлено, що вживання здоровими щурами води цих озер спричинювало комплекс функціональних і структурних змін системного характеру [31–41]. Вплив на центральну нервову систему (ЦНС) полягав у підвищенні її функціональної активності, більш вираженої при вживанні води озер Кагул і Катлабух. Збудження ЦНС підтримувалося посиленням детоксикаційної функції печінки, що для води оз. Катлабух супроводжувалося деструктивними процесами в гепатоцитах. Активність функціонування вегетативної нервової системи практично не змінювалася. Транспортна функція крові при вживанні вод озер Кагул і Ялпуг залишалася незміненою, а вода оз. Катлабух дещо підсилювала її, що може бути пов'язано з впливом цієї води безпосередньо на систему енергоутворення. Компенсація її недостатності системою пероксидного окиснення ліпідів створює передумови для формування змін в імунній відповіді. Встановлено достовірне зниження активності системи антиоксидантного захисту (каталаза $p < 0,01$) та достовірне ($p < 0,05$) підвищення показника тимолової проби, що свідчить про певне пригнічення білоксинтезуючої функції печінки і є небажаним з точки зору інактивації гуморальної складової імунної відповіді (оз. Кагул). Для води оз. Ялпуг (питний водозабір м. Болград) показано достовірне збільшення кількості гетерогенних антитіл ($<0,001$) та циркулюючих імунних комплексів ($<0,005$), що характерно для вираженої інтоксикації речовинами органічної природи та схильності організму до запальних реакцій; поява антитіл до речовини печінки і головного мозку ($<0,001$), що свідчить про наявність аутоімунних реакцій як певної основи для дис-

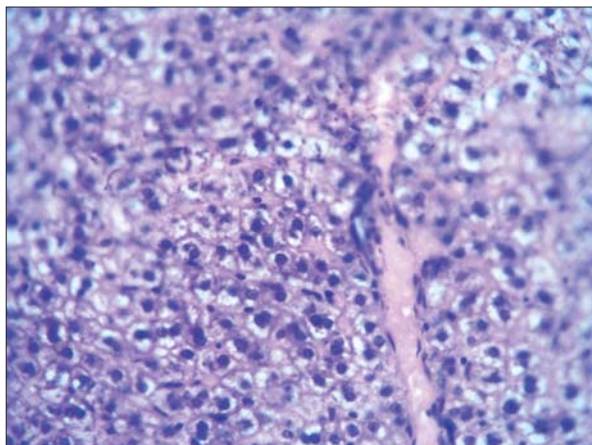


Рис. 1. Печінка щура, який отримувач воду оз. Катлабух. Еозинофільні включення, вакуолізація цитоплазми гепатоцитів. Барв. гематоксилін-еозин; $\times 400$

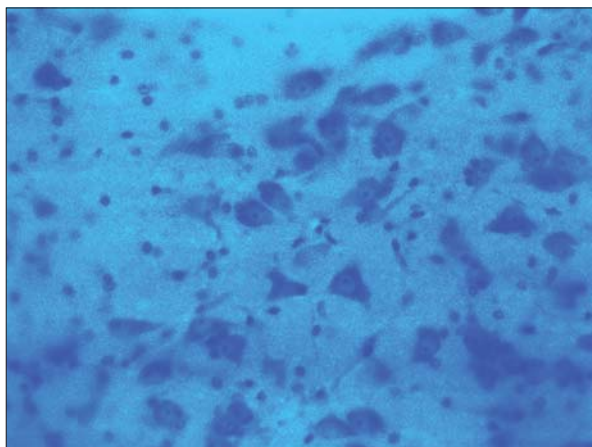


Рис. 2. Головний мозок щура, який отримувач воду оз. Катлабух. VI шар кори. Гангліозноклітинні розрядження. Барв. толуїдиновий синій; $\times 400$

трофічних і деструктивних процесів. Встановлено збільшення активності аланінамінотрансферази (АлАТ) і аспартатамінотрансферази (АсАТ), тобто є вплив на певні реакції трансамінування. Констатовано різке зниження активності каталази ($< 0,05$) за умови зростання вмісту малонового діальдегіду (МДА) ($< 0,05$), тобто можна говорити про інтенсифікацію пероксидного окиснення ліпідів за умови пригнічення системи антиоксидантного захисту, що є підґрунтям для розвитку дистрофічних процесів в органах і тканинах.

Подібний вплив констатовано для води оз. Катлабух: достовірне зростання вмісту гетерогенних антитіл ($< 0,005$) і кількості антитіл печінки ($< 0,001$); активності АлАТ і АсАТ ($< 0,01$ та $< 0,05$ відповідно); максимальне для дослідних груп і достовірне ($< 0,01$) збільшення вмісту МДА при одночасному суттєвому ($< 0,01$) зниженні активності каталази.

Несприятливий вплив води озер Кагул, Ялпуг, Катлабух на структурну характеристику внутрішніх органів піддослідних щурів полягав насамперед у дистрофічних змінах печінки, які найсильніше проявлялися в групі щурів, що отримували воду оз. Катлабух (рис. 1). Це може бути зумовлено тривалою дією можливих ксенобіотиків, але такою, що не викликає швидкого виснаження адаптаційних механізмів. Спостерігалися різке перевантаження епітелію звивистих каналців нирок білком, а також затримка води в інтерстиціальних прошарках. У селезінці виявлено ознаки дистрофії, викликані функціональним виснаженням компенсаторної активності, зумовленої тривалою, не грубою, але виснажливою дією зовнішніх факторів. Встановлено ознаки масової загибелі еритроцитів. У головному мозку виявлено дистрофічні зміни гіпоксичного характеру, особливо виражені при дії води оз. Катлабух (рис. 2).

Передусім зазначимо: зважаючи на відсутність гігієнічно значущих концентрацій антропогенних забруднювачів, можна з певною ймовірністю вважати, що виявлені біологічні ефекти є наслідком дії ціанотоксинів, продукованих ціанобактеріями. Зокрема, відома гепато- і нейротропність ціанотоксинів [27]. У разі перевищення мінералізації та концентрацій основних катіонів і аніонів води (як у воді оз. Катлабух) наявність високих рівнів загальноного органічного вуглецю та органічна природа ціанотоксинів (олігопептиди, алкалоїди, ліпополісахариди), можливо, створюють умови для формування токсичних органомінеральних комплексів, дію яких досі не досліджували. Утворення таких комплексів є цілком імовірним, якщо мати на увазі, наприклад, залежне від молекулярної маси утворення лігандів

з міддю, цинком, свинцем і кадмієм фракції розчиненого органічного вуглецю, продуцентом якого є ціанобактерія *Cylindrospermopsis raciborskii* [42].

Сформульоване раніше обґрунтування токсикологічного значення гормезису як універсальної біомедичної парадигми [43] свідчить, що можлива дія ціанотоксинів полягає у горметичній стимуляції детоксикаційної функції печінки. Однак слід мати на увазі, що у природних водоймах навряд чи можуть складатися умови для суто і тільки горметичних впливів. Встановлена раніше стимуляція сперматогенезу у здорових щурів під впливом діоксиду хлору в питній бутильованій воді [44], зрозуміло, не може бути порівняна з впливом озерної води. Тобто існування гормезису в чистому вигляді в природних екосистемах, особливо тих, що зазнають персистувального антропогенного впливу, є сумнівним. Тому, на нашу думку, в цьому випадку відбувається конвергенція (зближення) горметичних та «дозоефектних» (класичних) токсикологічних впливів, результатом чого є спочатку функціональні зміни на рівні ЦНС і певних метаболічних зрушень, а потім, унаслідок тривалої, не грубої, але інтермітивної виснажливої дії зовнішніх факторів — дистрофічні зміни в клітинах, у нашому випадку — печінки, селезінки, головного мозку. Це певною мірою пояснює кардинальні зміни динаміки патологічних процесів (інфекційних і неінфекційних) в останні десятиліття, які полягають у поступовій зміні гострих процесів (наприклад, із галопуючою лихоманкою) на хронізацію захворювань з тенденцією до розвитку аутоімунних та генетично детермінованих (орфанних) патологій. Не виключено, що саме тривала виснажлива, а не летальна, дія зовнішніх чинників на організм є фактором виявленого нами поступового зменшення смертності одночасно зі зростанням інфекційної та неінфекційної захворюваності населення в досліджуваному регіоні, що, імовірно, можна розглядати як загальну тенденцію. Наскільки це можна поширити на біоту всіх рівнів органі-

зації — питання відкрите, але привертає увагу той факт, що за результатами біотестування на короткоциклічних гідробіонтах найменшу плодючість порівняно з контрольними самками періодафній виявлено при аналізі зразка, який не мав гострої летальної токсичності [44, 45].

За результатами біотестування зразків води вивчених озер встановлено наявність слабкої або помірної токсичної дії у поєднанні з потужною мутагенною активністю [46, 47]. Це можна розглядати як додатковий аргумент забруднення цих поверхневих водойм, особливо, якщо порівнювати отримані дані з попередніми: вода інших поверхневих водних об'єктів, які є джерелами водопостачання населених пунктів, — р. Інгулець (м. Жовті Води), Кременчуцького водосховища (м. Кременчук), р. Чорна (м. Севастополь) — не тільки характеризувалася відсутністю токсичності, а навпаки, стимулювала розмноження тест-об'єкта. Крім того, показано, що вода цих поверхневих джерел або не мала мутагенної активності (р. Інгулець, Кременчуцьке водосховище), або проявляла її у помірній формі (р. Чорна) [48].

Висновки

Проблема ціанобактерій і ціанотоксинів, зважаючи на глобальність евтрофікації поверхневих водойм, є суворою реальністю, про що свідчать усебічні дослідження різних її аспектів за кордоном. Для України ця проблема залишатиметься міфом доти, доки не буде вжито відповідних заходів, а саме: моніторинг вмісту ціанобактерій у воді поверхневих водойм; впровадження стандартизованих методик визначення ціанотоксинів у воді та їх ідентифікація в евтрофованих поверхневих водоймах під час цвітіння; вивчення впливу ціанотоксинів на біоту різних рівнів організації; розроблення моделей ризику для здоров'я населення рекреаційних вод під час інтенсивного розмноження ціанобактерій і питних вод після очищення та знезараження води поверхневих питних водозаборів.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Mokiienko A.V., Gozhenko A.I., Petrenko N.F., Ponomarenko A.N. *Water and water-mediated infections*. Vol. 1. (Odessa: Leradruk, 2008). [in Russian].
[Мокиєнко А.В., Гоженко А.И., Петренко Н.Ф. и др. *Вода и водно-обусловленные инфекции*. Т. 1. Одесса: Лерадрук, 2008].
2. Mokiienko A.V., Petrenko N.F. *Water & Water Purification Technologies*. 2008. **3**(27): 22. [in Russian].
[Мокиєнко А.В., Петренко Н.Ф. Питьевая вода и водно-обусловленные инфекции (сообщение седьмое). Цианобактерии и цианотоксины. *Вода і водоочисні технології*. 2008. № 3(27). С. 22–31].
3. *Guidelines for drinking water quality*. Vol. 1. Recommendations. (Geneva, World Health Organisation, 2011).
4. El-Shehawey R., Gorokhova E., Fernández-Piñas F., del Campo F.F. Global warming and hepatotoxin production by cyanobacteria: What can we learn from experiments? *Water Res.* 2012. **46**(5): 1420.
5. Graham J.L., Loftin K.A., Kamman N. Monitoring recreational freshwaters. *Lakeline*. 2009. **29**: 18.
6. Stewart I., Webb P.M., Schluter P.J., Shaw G.R. Recreational and occupational field exposure to freshwater cyanobacteria – a review of anecdotal and case reports, epidemiological studies and the challenges for epidemiologic assessment. *Environ. Health*. 2006. **5**(1): 143.
7. Hilborn E.D., Roberts V.A., Backer L., DeConno E., Egan J.S., Hyde J.B., Nicholas D.C., Wiegert E.J., Billing L.M., DiOrio M., Mohr M.C., Hardy F.J., Wade T.J., Yoder J.S., Hlavsa M.C. Algal Bloom-Associated Disease Outbreaks Among Users of Freshwater Lakes – United States, 2009–2010. *MMWR*. 2014. **63**(1): 11.
8. Backer L.C., Landsberg J.H., Miller M., Keel K., Taylor T.K. Canine Cyanotoxin Poisonings in the United States (1920s–2012): Review of Suspected and Confirmed Cases from Three Data Sources. *Toxins*. 2013. **5**(9): 1597.
9. Codd G.A., Morrison L.F., Metcalf J.S. Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2005. **203**(3): 264.
10. Bruno M. *Le alghe tossiche marine e d'acqua dolce: impatto sanitario e strategie di controllo*. Rapporti ISTISAN 00/31. (Rome: Istituto Superiore di Sanita, 2000).
11. Fitzgeorge R.B., Clark S.A., Keevil C.W. Routes of intoxication. In: Codd G.A., Jefferies T.M., Keevil C.W., Potter E. (Eds.). *Detection Methods for Cyanobacterial Toxins*. (Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 1994). P. 69.
12. Lévesque B., Gervais M.C., Chevalier P., Gauvin D., Anassour-Laouan-Sidi E., Gingras S., Fortin N., Brisson G., Greer C., Bird D. Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria. *Sci. Total Environ.* 2014. **466–467**: 397.
13. Fonseca A.L., Da Silva J., Nunes E.A., Azevedo S.M., Soares R.M. In vivo genotoxicity of treated water containing the cylindrospermopsin-producer *Cylindrospermopsis raciborskii*. *J. Water Health*. 2014. **12**(3): 474.
14. Kovalchuk L.J., Mokiienko A.V. Modern environmental and health conditions of water objects of Ukrainian Danube region. *Actual problems of transport medicine*. 2014. **3**(37): 171. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.Й., Мокієнко А.В. Сучасний еколого-гігієнічний стан водних об'єктів Українського Придунав'я. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2014. № 3(37). С. 171–183].
15. Kovalchuk L.J., Mokiienko A.V. Hygienic estimation of aqueous objects state in places of water use by population of Ukrainian Danube region. *Medical perspectives (Medychni perspektyvy)*. 2015. **20**(1): 132. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.Й., Мокієнко А.В. Гігієнічна оцінка стану водних об'єктів у місцях водокористування населення Українського Придунав'я. *Медицинські перспективи*. 2015. Т. 20, № 1. С. 132–139].
16. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V. Hygienic assessment of eutrophication of surface water basins of Ukrainian Danube region. *Actual Problems of the Modern Medicine*. 2014. **4**(48): 73. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.Й., Мокієнко А.В. Гігієнічна оцінка евтрофікації поверхневих водоемів Українського Придунав'я. *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2014. Вип. 4(48). С. 73–78].
17. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nesterova D.A. *Achievements in biology and medicine (Dosyagnennya biologii i medytsyny)*. 2014. (2): 10. [in Russian].
[Ковальчук Л.И., Мокиенко А.В., Нестерова Д.А. Гигиеническая оценка цианобактерий озер Украинского Придунавья. *Достижения биологии та медицины*. 2014. № 2. С. 10–14].
18. Abosede A.T., Ikegwu N.D. Cyanobacteria of a Tropical Lagoon, Nigeria. *Nature and Science*. 2010. **8**(7): 77.
19. Madkour F.F., Gaballah M.M. Phytoplankton assemblage of a solar saltern in Port Fouad, Egypt. *Oceanologia*. 2012. **54**(4): 687.
20. Vinogradova O.M. Cyanoprokaryota in hypersaline environments and their adaptational strategies. *Ukrainian Phytosociological Collection*. 2006. **24**(C): 34. [in Ukrainian].
[Виноградова О.М. *Цианопрокарйоти у гіпергалінних місцезростаннях та їх адаптаційні стратегії*. *Український фітоценологічний збірник*. 2006. Серія С, вип. 24. С. 34–44].

21. Zarei-Darki B. Cyanoprokaryota from different water bodies of Iran. *Algologia*. 2010. **20**(4): 482. [in Russian]. [Зареї Даркі Б. *Цианопрокариота* різних водоемів Ірану. *Альгологія*. 2010. Т. 20, № 4. С. 482–491].
22. Samylyna O.S., Gerasimenko L.M., Shadrin N.V. Comparative characteristic of the phototroph communities from the mineral lakes of Crimea (Ukraine) and Altai region (Russia). *Algologia*. 2010. **20**(2): 192. [in Russian]. [Самыліна О.С., Герасименко Л.М., Шадрин Н.В. Сравнительная характеристика фототрофных сообществ в минеральных озерах Крыма (Украина) и Алтайского края (Россия). *Альгология*. 2010. Т. 20, № 2. С. 192–209].
23. Terenko L.M. Plankton Microalgae of the Tiligulsky Estuary. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*. 2005. **12**: 622. [in Russian]. [Теренко Л.М. Планктонніе мікрроводорослі Тилигульського лимана. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2005. Вип. 12. С. 622–631].
24. Burkova T.N. Taxonomic composition of the plankton algae Чапаевка river. *Samara Luka: problems of regional and global ecology (Samarckaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii)*. 2010. **19**(2): 26. [in Russian]. [Буркова Т.Н. Таксономічний склад планктонних водорослей річки Чапаєвка. *Самарська Лука: проблеми регіональної і глобальної екології*. 2010. Т. 19, № 2. С. 26–43].
25. Beljakova R.N. Bloom forming Cyanoprokaryota from water bodies of Northwestern Russia. *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* 2005. **39**: 254. [in Russian]. [Белякова Р.Н. *Цианопрокариота*, викликаючі «цвітіння» водоемів северо-запада Росії. *Новості систематики низших растений*. 2005. Т. 39. С. 254–267].
26. Lopes V.R., Vasconcelos V.M. Bioactivity of Benthic and Picoplanktonic Estuarine Cyanobacteria on Growth of Photoautotrophs: Inhibition versus Stimulation. *Mar. Drugs*. 2011. **9**(5): 790.
27. van Apeldoorn M.E., van Egmond H.P., Speijers G.J.A., Bakker G.J.I. Toxins of cyanobacteria. *Mol. Nutr. Food Res.* 2007. **51**: 7.
28. Codd G.A. Cyanobacterial toxins: Occurrence, properties and biological significance. *Water Sci. Technol.* 1995. **32**(4): 149.
29. Codd G.A. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecol. Eng.* 2000. **16**(1): 51.
30. Skulberg O.M. Cyanobacteria/cyanotoxin research – Looking back for the future: The opening lecture of the 6th ICTC, Bergen, Norway. *Environ. Toxicol.* 2005. **20**(3): 220.
31. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Hushcha C.H. Influence of the waters from the lakes of Ukrainian Danube region on the functional state of some organism's systems of healthy rats. *Hygiene of populated areas (Hihiyena naselenykh mists)*. 2014. (63): 78. [in Ukrainian]. [Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Гуца С.Г. Вплив води озер Українського Придунав'я на функціональний стан деяких систем організму здорових щурів. *Гігієна населених місць*. 2014. № 63. С. 78–84].
32. Kovalchuck L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Guzha S.G., Oleshko A.Ya. Comprehensive Assessment of Functional Changes in Healthy Rats That Consumed as Drinking Water that of Lake Jalpug. *Journal of problems of biology and medicine (Visnyk problem biologii i medytsyny)*. 2015. **2**(3): 89. [in Ukrainian]. [Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Гуца С.Г., Олешко О.Я. Комплексна оцінка функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Ялпуг. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Вип. 2, т. 3. С. 89–94].
33. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Solodova L.B., Oleshko A.Ya., Bakholdina Ye.I. Comprehensive assessment of functional changes in healthy rats which took drinking water from Kahul lake. *Actual Problems of the Modern Medicine*. 2015. **15**(1): 172. [in Ukrainian]. [Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Солодова Л.Б., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Комплексна оцінка структурно-функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Кагул. *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2015. Т. 15, вип. 1. С. 172–176].
34. Kovalchuck L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Solodova L.B., Guzha S.G., Oleshko A.Ya., Baholdina E.I. Comprehensive assessment of functional changes in healthy rats that consumed as drinking water of Katlabukh lake. *Achievements of Clinical and Experimental Medicine*. 2015. (1): 73. [in Ukrainian]. [Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Гуца С.Г., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Комплексна оцінка функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Катлабух. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2015. № 1. С. 73–76].
35. Kovalchuck L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A. Hygienic evaluation of structural changes in healthy rats that consumed for drinking the water of Kahul lake. *Clinical & experimental pathology (Klinichna ta eksperimentalna patologiia)*. 2015. (2): 103. [in Ukrainian]. [Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А. Гігієнічна оцінка структурних змін в організмі здорових щурів, що споживали воду оз. Кагул як питну. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2015. № 2. С. 103–106].

36. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Oleshko A.Ya., Bakhholdina E.I. Comprehensive assessment of structural and functional changes in healthy rats that consumed drinking water from lake Yalpuh. *Bulletin of scientific research*. 2015. (2): 118. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Комплексна оцінка структурно-функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Ялпуг. *Вісник наукових досліджень*. 2015. № 2. С. 118–120].
37. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A. Hygienic assessment of structural changes in healthy rats that consumed drinking water from lake Katlabukh. *Actual problems of transport medicine (Aktualnye problemy transportnoj mediciny)*. 2015. 3(41): 141. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А. Гігієнічна оцінка структурних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Катлабух. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2015. № 3(41). С. 141–146].
38. Kovalchuk L.I., Korobchansky V.A., Mokiienko A.V. Comprehensive assessment of Ukrainian Danube region surface impoundment water influence on biota of different levels of organization. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. 5(6): 462. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Коробчанський В.О., Мокієнко А.В. Комплексна оцінка впливу води поверхневих водойм Українського Придунав'я на біоту різних рівнів організації. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. N 5(6). P. 462–471].
39. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Solodova L.B., Guscha S.G., Oleshko O.Ya., Bakhholdina O.I. Complex estimation of functional changes in the organism of healthy rats which consumed water of the lake Kagul as drinking water. *Medical perspectives (Medychni perspektyvy)*. 2015. 20(2): 124. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Солодова Л.Б., Гуща С.Г., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Комплексна оцінка функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Кагул. *Медицинські перспективи*. 2015. Т. 20, № 2. С. 124–130].
40. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Solodova L.B., Oleshko A.Ya., Baholdina E.I. Comprehensive assessment of structural and functional changes in healthy rats that consumed as drinking water that of lake Katlabukh. *Biomedical and Biosocial Anthropology*. 2015. 1(24): 22. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Солодова Л.Б., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Комплексна оцінка структурно-функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Катлабух. *Biomedical and Biosocial Anthropology*. 2015. № 1. С. 22–26].
41. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Nasibullin B.A., Solodova L.B., Oleshko O.Ya., Bakhodina E.I. Hygienic estimation of structural changes in healthy rats that consumed as drinking water of lake Yalpuh. *Yale Journal of Science and Education*. 2015. 1(16): 539. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Насібуллін Б.А., Солодова Л.Б., Олешко О.Я., Бахолдіна О.І. Гігієнічна оцінка структурних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Ялпуг. *Yale Journal of Science and Education*. 2015. N 1(16). P. 539–546].
42. Tonietto A.E., Lombardi A.T., Vieira A.A., Parrish C.C., Choueri R.B. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) exudates: Chemical characterization and complexation capacity for Cu, Zn, Cd and Pb. *Water Res*. 2014. 49: 381.
43. Shafran L.M., Mokiienko A.V., Petrenko N.F., Gozhenko A.I., Nasibulin B.A. To the substantiation of hormesis as fundamental biomedical paradigm (review of literature data and results of own researches). *Modern Problems of Toxicology*. 2010. 2–3: 13. [in Russian].
[Шафран Л.М., Мокієнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И., Насібуллін Б.А. К обоснованию гормезиса как фундаментальной биомедицинской парадигмы (обзор литературы и результатов собственных исследований). *Современные проблемы токсикологии*. 2010. № 2–3. С. 13–23].
44. Nasibullin B.A., Petrenko N.F., Mokiienko A.V., Gozhenko A.I. Morphological features of organs of digestion and reproductions at long influence of chlorine dioxide and its derivatives (chlorites and chlorates). *Reports of morphology*. 2008. 1(14): 219. [in Russian].
[Насібуллін Б.А., Мокієнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Морфологические особенности органов пищеварения и репродукции при длительном влиянии диоксида хлора и его производных (хлоритов и хлоратов). *Вісник морфології*. 2008. № 1, т. 14. С. 219–221].
45. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Diatlov S.E., Koshelev A.V. Ecologic-Hygienic Evaluation of Aquatic Acute Toxicity of Surface Impoundment of Ukrainian Danube Region by the Results of Biotesting. *Journal of problems of biology and medicine (Visnyk problem biologii i medytsyny)*. 2015. 2(4): 69. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Дятлов С.Е., Кошелєв О.В. Еколого-гігієнічна оцінка гострої токсичності води поверхневих водойм Українського Придунав'я за результатами біотестування. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Вип. 2, т. 4. С. 69–72].

46. Kovalchuk L.I., Mokienko A.V., Diatlov S.E., Koshelev A.V. Ecologic and Hygienic Evaluation of Aquatic Chronic Toxicity of Surface Impoundment of Ukrainian Danube Region by the Results of Biotesting. *Journal of problems of biology and medicine (Visnyk problem biologii i medytsyny)*. 2015. **3**(1): 70. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Дятлов С.Є., Кошелєв О.В. Еколого-гігієнічна оцінка хронічної токсичності води поверхневих водойм Українського Придунав'я за результатами біотестування. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Вип. 3, т. 1. С. 70–74].
47. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Vasiliyeva T.Yu. Characteristics of the surface water basins of the Ukrainian Danube region toxicity with the use of microbial test-system *Salmonella typhimurium* TA 98. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. **5**(4): 366. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Васильєва Т.Ю. Характеристика токсичності води поверхневих водойм Українського Придунав'я з використанням мікробної тест-системи *Salmonella typhimurium* TA 98. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. N 5(4). P. 366–373].
48. Kovalchuk L.I., Mokiienko A.V., Vasiliyeva T.Yu. Characteristic of Ukrainian Danube area surface water source mutagenicity with the use of microbial test-system *Salmonella typhimurium* TA 98. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. **5**(2): 311. [in Ukrainian].
[Ковальчук Л.І., Мокієнко А.В., Васильєва Т.Ю. Характеристика мутагенності води поверхневих водойм Українського Придунав'я з використанням мікробної тест-системи *Salmonella typhimurium* TA 98. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. N 5(2). P. 311–318].
49. Petrenko N.F. *Scientific substantiation of combined methods of disinfection of drinking water*. (Doctor of Science thesis). (Kyiv, 2012). [in Ukrainian].
[Петренко Н.Ф. *Наукове обґрунтування комбінованих методів знезараження питної води*: автореф. дис. ... д.б.н. Київ, 2012].

Стаття надійшла 16.11.2015.

A.B. Mokiienko

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт медицины транспорта Министерства здравоохранения Украины» (Одесса)

ЦИАНОБАКТЕРИИ И ЦИАНОТОКСИНЫ: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Рассмотрена проблема размножения цианобактерий в водоемах, связанная с глобальной эвтрофикацией, и состояние ее исследования в мире. В Украине сегодня проблема цианобактерий и цианотоксинов в водоемах, особенно в гигиеническом и медико-экологическом аспектах, изучена недостаточно. Обоснована необходимость мониторинга содержания цианобактерий в водоемах; внедрения стандартизированных методов определения цианотоксинов во время цветения; изучения влияния цианотоксинов на биоту; разработки моделей риска для здоровья населения рекреационных и питьевых вод после обеззараживания воды поверхностных питьевых водозаборов.

Ключевые слова: цианобактерии, цианотоксины, цветение поверхностных водоемов, рекреационные воды, обеззараживание питьевой воды.

A.V. Mokiienko

Ukrainian Research Institute for Medicine of Transport of Ministry of Public Health of Ukraine (Odessa)

CYANOBACTERIA AND CYANOTOXINS: MYTH OR REALITY?

The problem of propagation of cyanobacteria in waters associated with global eutrophication, and the status of its research in the world is described. In Ukraine today the problem of cyanobacteria and cyanotoxins in reservoirs, particularly in hygiene and health and environmental aspects, is poorly understood. The necessity of monitoring the content of cyanobacteria in the reservoirs; the introduction of standardized methods for determining cyanotoxins during bloom; study the cyanotoxins effect on biota; development of risk models for health recreational and drinking water after disinfection of surface water intakes supplying drinking water has been substantiated.

Keywords: cyanobacteria, cyanotoxins, bloom in surface water bodies, recreational water, disinfection of drinking water.