



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 504.064.3:621.317:574

© 2016

Е.О. Аристархова,

*кандидат
біологічних наук*

*Інститут агроекології
і природокористування НААН*

НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ БІОМОНІТОРИНГУ ВОД ПОВЕРХНЕВИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мета. Визначити теоретичні та методологічні аспекти створення системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання. **Методи.** Аналогій та протиставлень, системний аналіз і синтез. **Результати.** Проаналізовано проблеми біомоніторингових досліджень та визначено наукові основи системи біомоніторингу поверхневих вод. **Висновки.** Для наукового обґрунтування доцільності створення системи біомоніторингу вод поверхневих джерел водопостачання використано «управлінську» концепцію моніторингу довкілля, сформульовано узгоджені з нею принципи та запропоновано застосування інноваційної методологічної бази, зумовленої комплексним підходом до проведення біомоніторингових досліджень.

Ключові слова: теоретичні і методологічні основи, система біомоніторингу вод, поверхневі джерела водопостачання, комплексний підхід.

Забруднення водного середовища нині сягає катастрофічних масштабів. Більшість водних екосистем настільки деградовані, що відновити їх стан дуже складно, а іноді просто неможливо. Це потребує шанобливого ставлення до водних ресурсів на нашій планеті, особливо до прісних вод, без яких життя людини та інших живих істот неможливе [1–3]. У зв'язку з цим актуальності набуває питання застосування швидких і надійних методів виявлення забруднень вод, з'ясування джерел цих забруднень, а також їх попередження та ліквідації. Особливу роль у цьому має відігравати екологічний моніторинг, в арсеналі якого, крім складних фізико-хімічних та

аерокосмічних методів, простіші, однак, не менш ефективні. До них належать біоіндикація та біотестування — складові біологічного моніторингу, на основі яких можна без великих матеріальних витрат із високим рівнем достовірності здійснювати спостереження за водними екосистемами [4]. Проте застосування біомоніторингових досліджень вод питного призначення має ряд особливостей, які потребують ретельного теоретичного обґрунтування. Тому доцільним є визначення провідної концепції та формулювання основних принципів біологічного моніторингу як однієї з найважливіших складових екомоніторингу поверхневих джерел питного водопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останнє десятиліття біологічному моніторингу стану водойм було присвячено багаточисельні дослідження в нашій країні та за рубежом [4–14]. Активне залучення методів біологічного контролю, як свідчить світовий досвід, дає змогу найоб'єктивніше оцінювати сукупну дію антропогенних чинників на стан водойм. Серед них особливою популярністю користуються стандартизовані методи біоіндикації та біотестування [4–6, 10–12]. Однак не всі вони є ефективними за різних умов забруднення водного середовища. Так, біомоніторинг вод питного водопостачання досить часто потребує використання чутливіших видів організмів або реакцій істот порівняно з наявними уніфікованими. У зв'язку з цим більшість дослідників пропонують переглянути сучасну теоретичну та методологічну бази біомоніторингу вод і запропонувати інноваційні методи досліджень [4, 5, 7–13].

Мета досліджень — визначити теоретичні та методологічні аспекти створення системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання.

Матеріали та методи досліджень. Визначення провідної концепції та створення принципів системи біологічного моніторингу було здійснено на підставі узагальнення літературних джерел із використанням методів системного аналізу і синтезу, зокрема методів аналогії і протиставлень.

Результати досліджень. Біологічний моніторинг вод упродовж тривалого часу було прийнято використовувати лише в поєднанні з іншими методами досліджень, за допомогою яких можна встановити причини відхилень від нормальної реакції окремих організмів або угруповань [6, 8, 9]. Стосовно вод питного водопостачання та питної води біомоніторингові дослідження зводилися лише до проведення бактеріологічного та паразитарного аналізів із виявлення індикаційних форм мікроорганізмів. І лише з 2010 р. у ДСанПіН 2.2.4–171–10 разом із фізичними, хімічними, мікробіологічними та паразитологічними показниками запропоновано визначати індекс токсичності води (Т) за допомогою біотестування [6, 8]. Правда, наголошується, що застосовувати його доцільно в разі забруднення питної води невідомими токсичними сполуками та хімічними речовинами, для визначення яких немає методів дослідження. Тобто біотестування використовується

вкрай обмежено — для визначення допоміжного інтегрального показника якості води. Вважається, що індекс токсичності питної води, що не містить неідентифікованих компонентів, не має перевищувати 50% незалежно від використовуваних тест-об'єктів, якими можуть бути дафнії, інфузорії тощо [6]. Однак неідентифіковані забруднювальні речовини в довіллі є настільки чисельними та різноманітними, що не лише питна вода, а й води поверхневих джерел водопостачання потрібно постійно досліджувати з використанням методів біологічного моніторингу. Саме такий підхід зможе захистити людину від вживання води небажаної якості.

Проведення оцінки стану водойм стимулювало появу різноманітних методів біоіндикації та біотестування за напрямками: пошук найчутливіших індикаторів і тест-об'єктів, інформативних функцій і окремих істот, угруповань і гідроекосистем, розроблення експрес-методів досліджень та забезпечення їх спеціалізованою приладовою базою тощо. У результаті можна відзначити авторські методики, що істотно різняться між собою [5, 7–11]. До того ж існує великий розрив між науковими розробками та впровадженням їх у природоохоронну практику. Багаточисельні методики, що пройшли складну процедуру атестації, часто не використовуються спеціалістами акредитованих лабораторій через нестачу матеріальних засобів для придбання нового обладнання та відсутності мотивації до практичного оволодіння новими чи вдосконаленими методами біомоніторингу [5, 8]. Тому за умов ненаалежного фінансування та складності ряду запропонованих до впровадження методик доцільно розробляти прості й зручні методики, які можна застосовувати за наявного в лабораторіях обладнання. Крім того, оскільки загальна токсичність вод зумовлена різними причинами і виявляється різною мірою, доцільно індивідуально для кожного вододжерела запропонувати систему спостережень і контролю, в якій застосовуватимуться найчутливіші організми та методи досліджень відповідно до характеру забруднення водного середовища. Передусім це стосується вод джерел водопостачання та питної води, біомоніторингові дослідження яких на водоканалах України було вирішено проводити за тими самими методиками, що й стічних вод [6]. Отже, проаналізовані проблеми біомоніторингу свідчать про його недостатню ефективність щодо певних видів вод

і доцільність перегляду моніторингової системи, починаючи з теоретичної бази, тобто визначення концепції та розробки принципів.

Концептуальні основи біологічного моніторингу поверхневих вод мають відповідати провідній концепції екомоніторингу, яку в останні десятиліття визначено за Р.Є. Манном та І.П. Герасимовим [15]. Як складова екологічного моніторингу, біомоніторинг не може виходити за межі його формули «спостереження — контроль — управління». Сучасна система біомоніторингових досліджень має обов'язково містити всі складові цієї формули, особливо, коли методи біологічного моніторингу є основними, а в деяких випадках, навіть єдиними в проведених екомоніторингу вод. При цьому варто відокремити біомоніторинг вод, призначених для господарсько-питного користування, від біомоніторингу більш забруднених вод.

Біологічний моніторинг вод поверхневих джерел водопостачання — це система спостережень і контролю за станом цих вод та управління їх якістю з використанням живих об'єктів (організмів, культур, популяцій, біоценозів тощо), які характеризуються підвищеною чутливістю до порушень екологічної рівноваги водного середовища і одночасно мають здатність посилювати процеси самоочищення та забезпечувати біоремедіацію вод. Реакція організмів-моніторів на відхилення від норми в такій системі має бути швидкою та адекватною і фіксуватися на різних рівнях біологічної організації (генетичному, геномному, клітинному, тканинному, організмовому, популяційному та/або біоценотичному). Тобто за таких умов біомоніторингові дослідження будуть узгоджені з проведенням екологічного моніторингу і дадуть змогу не лише визначати стан вод і складати прогнози щодо його змін, а й за їх допомогою можна буде запобігати будь-яким порушенням, що відбуваються у водних об'єктах, або своєчасно здійснювати очищення вод.

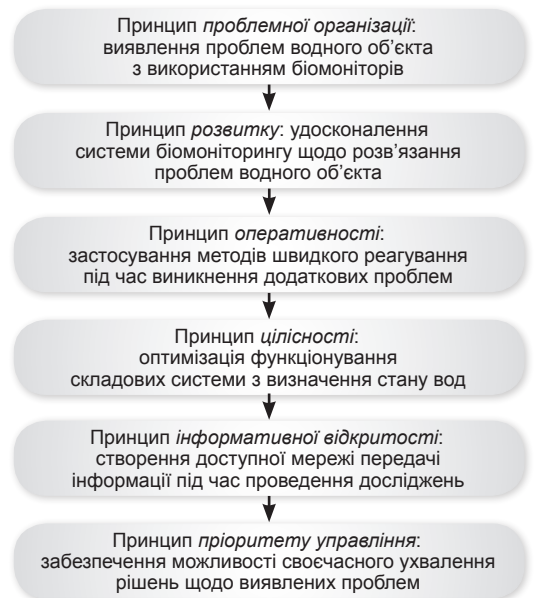
Формулювання принципів системи біомоніторингу так само доцільно розглядати в рамках принципів екологічного моніторингу вод, який має регіональний характер [4, 15]. Відповідно до зазначених положень визначено принципи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел питного водопостачання (рисунок):

Зазначені принципи дають можливість розглядати біомоніторинг як складну систему, що потребує багаторівневого комплексного підходу до контролю стану вод. Тому

слід детальніше визначити сутність основних принципів системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання:

Проблемна організація системи біологічного моніторингу полягає в теоретично та методологічно обґрунтованому забезпеченні проведення багаторічних спостережень за певним водним об'єктом із використанням надійних і доступних методів біоіндикації і біотестування (стандартизованих та допоміжних), здатних визначати пріоритетні показники для виявлення найгостріших проблем стану вод, причин та наслідків їх забруднення (скажімо, негативне явище антропогенної евтрофікації у водоймі, його причини і наслідки, — використання біогенів у рослинництві → евтрофування вод → погіршення якості вод унаслідок їх «цвітіння»).

Розвиток системи біомоніторингу вод передбачає вдосконалення її складових, передусім розбудови, модернізації та оптимізації спостережної мережі за станом вод із використанням окремих організмів, популяцій і біоценозів, а також мережі, яка контролює виникнення певних змін у їх стані; впровадження автоматизованих багатопараметричних вимірювально-інформаційних і телекомунікаційних комплексів, технологій автоматизованої обробки та аналізу даних, отриманих із постів



Основні принципи системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання

спостережень (розширення мережі польових і лабораторних досліджень із застосуванням біоіндикаторів, тест-організмів та біосенсорів; використання сенсорних приладів, таких як дафнієметр, інфузорієметр та інших; розроблення автоматизованих систем контролю за станом водойм, зокрема на основі дослідження процесів розвитку фітопланктону тощо).

Оперативність біомоніторингових досліджень полягає в терміновій обробці отриманих даних, аналізі наданої інформації та одночасно швидкому і науково обґрунтованому ухваленні рішень, що надзвичайно важливо, особливо в критичних ситуаціях. Уся інформація про аварійне забруднення вод є екстреною і має негайно надаватися відповідним органам, установам і організаціям із питань охорони навколишнього середовища. Причому біоіндикація та біотестування в таких випадках є набагато інформативнішими, ніж фізико-хімічний аналіз (рівень небезпеки від скидів неочищених або погано очищених вод, повеней і паводків, що можуть призводити до значних забруднень та ускладнювати епідеміологічну ситуацію, можна досить швидко визначити із залученням організмів-біомоніторів).

Цілісність системи біомоніторингу зумовлюється єдиним нормативним, методологічним і метрологічним забезпеченням, уніфікованими технічними компонентами та ефективністю передачі інформації, зокрема зворотної, з визначення стану водного об'єкта від одних його ланок до інших (забруднення вод, яке призводить до порушення стану біоценозів, розкладання загиблих водних організмів, погіршення якості вод тощо). Проблематичним є процес об'єднання і подальшого функціонування біомоніторингових складових та їх інтеграція в єдине ціле. Оскільки часто здійснюється або лише біоіндикація, або біотестування якості вод, доцільно узгодити їх проведення для забезпечення єдності системи.

Інформативна відкритість системи біомоніторингу відображає рівень її організації щодо забезпечення процесів обміну інформацією між окремими складовими та навколишнім середовищем. Необхідною умовою належного функціонування цієї системи є досягнення такого стану, коли всі результати спостережень і досліджень стають доступними не лише для фахівців, керівників і контролюючих їх ланок, а й для всіх верств населення України та світової спільноти. Це сприяє залученню широкої громадськості, зокрема користувачів,

до формування програм біомоніторингових досліджень (публікації і повідомлення в ЗМІ та наукових виданнях, міжнародний інформаційний обмін, проведення громадського біологічного моніторингу, популяризація методів біомоніторингу вод та інше).

Пріоритет управління, або організаційна ієрархія, визначає цільові установки і нагальні проблеми, на основі яких побудовано систему біологічного моніторингу, сформовано її підрозділи та визначено компоненти (окремі організми, популяції та біоценози), здатні виявляти високу чутливість до загальних чи специфічних забруднень вод. Це своєчасно забезпечує можливість ухвалення рішень, спрямованих на розв'язання виявлених проблем (вжиття заходів зі збільшення біорізноманіття; висаджування захисних смуг для затримки біогенів і попередження евтрофікації водойм; використання мікро- та макрофітів, бентосних і пелагіальних тварин, що є концентраторами забруднювальних речовин; ремедіація вод і застосування сорбентів тощо).

Визначивши провідну концепцію та принципи системи біомоніторингу вод поверхневих джерел водопостачання, слід запропонувати методологію досліджень, якою має керуватися ця система. Сучасна методологічна база біомоніторингових досліджень повинна мати інноваційний характер [4, 5, 7–9] та застосовувати комплексний підхід до їх проведення [5, 12, 16, 17]. Крім того, обираючи методологію біомоніторингу, потрібно враховувати походження та особливості забруднення водного об'єкта, найбільш критичні зміни його стану, першочергові проблеми, кліматичні та погодні умови тощо.

На основі зазначеного вище біомоніторингові дослідження вод поверхневих джерел водопостачання разом із загальноприйнятими методиками [4–6, 8, 9] мають містити також деякі специфічні методологічні аспекти:

- застосування узгоджених між собою методів біоіндикації і біотестування (класичних та інноваційних), спрямованих на виявлення порушень стану водного середовища: природних та/або техногенних забруднень, кліматичних змін, погіршення епідеміологічної ситуації тощо;

- формування наборів з уніфікованих і допоміжних організмів, серед яких в однаковій мірі мають бути наявні рослинні та тваринні форми, а в разі потреби, крім них, — представники інших систематичних

груп, передусім мікроорганізми (віруси, бактерії, актиноміцети, дріжджі);

- використання високочутливих альтернативних, переважно прижиттєвих, функцій уніфікованих біомоніторів, за допомогою яких, крім істотних порушень стану вод, можуть бути також виявлені помірні та незначні порушення (визначення частоти серцевих скорочень, реакцій фототаксису, умісту хлорофілу та ін.);

- контроль за станом водного середовища за показниками їх гострої і хронічної екотоксичності та можливими віддаленими наслідками (алергенними, мутагенними, бластоогенними, ембріотоксичними та/або тератогенними ефектами);

- визначення екобезпеки вод із використанням різних рівнів організації живої матерії — від молекулярного до екосистемного (на генетичному, геномному, клітинному, тканинному, організмовому, популяційному та/або біоценотичному рівнях);

- удосконалення та узгоджене застосування інструментарію, технічного обладнання, інформаційного і програмного забезпечення, призначених для спостереження і контролю за станом вод із використанням біомоніторів, а також для створення відповідних електронних баз даних і систематизації визначених показників;

- розроблення і вжиття заходів з управління якістю вод, спрямованих на запобігання та/або ліквідацію небезпечних

забруднень та інших порушень екологічної рівноваги водного середовища.

Наведені аспекти свідчать про істотне розширення можливостей біологічного моніторингу і необхідність уникнення поодиноких досліджень, що досі широко практикуються в цьому напрямі і дають однобічну оцінку стану вод. Тому, обґрунтовуючи методологію біомоніторингових досліджень, важливо, щоб вона була зорієнтована на узгоджене проведення одночасно біоіндикації та біотестування і охоплювала різні рівні біологічної організації з визначенням показників, за допомогою яких досить чітко може бути виявлена небезпека вод для людей і тварин. Запропонована методологія має постійно вдосконалюватися, технічно і технологічно оновлюватися, зокрема за рахунок інформаційного та програмного забезпечення, і не потребувати складного в обслуговуванні та дорогого обладнання і приладів. Упровадження цієї методології є досить важливим кроком до запобігання та ліквідації різного роду порушень екологічної рівноваги у водоймах.

Визначення теоретичних і методологічних основ створення системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання дасть змогу переглянути ставлення до біомоніторингових досліджень, допоможе їх систематизувати і проводити ефективніше, ніж традиційними методами.

Висновки

Для наукового обґрунтування доцільності створення системи біологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання використано «управлінську» концепцію моніторингу довкілля,

сформульовано узгоджені з нею принципи та запропоновано застосування інноваційної методологічної бази, зумовленої комплексним підходом до проведення біомоніторингових досліджень.

Бібліографія

1. Запольський А.К. Охорона питних вод від виснаження і забруднення/А.К. Запольський, І.В. Шумиґай//Агроекологічний журнал. — 2015. — № 3. — С. 6–15.

2. Malik A. Environmental Deterioration and Human Health: Natural and anthropogenic determinants/A. Malik, E. Grohmann, R. Akhtar. — Dordrecht Heidelberg, London, New York: Springer, 2014. — P. 3–4.

3. Söderbaum P. Perspectives for water management within the context of sustainable development/P. Söderbaum, C. Tortajada//Water International,

2011. — V. 36, № 7. — P. 812–827.

4. Стецюк Л.М. Використання методів біоіндикації та біотестування для оцінки стану водних екосистем/Л.М. Стецюк//Вісн. Нац. ун-ту водного господарства та природокористування. «Сільськогосподарські науки». — 2013. — Вип. 2 (62). — С.175–181.

5. Гончарук В.В. Некоторые характеристики цитотоксичности и генотоксичности водных растворов полигексаметиленгуанидина/В.В. Гончарук, Н.Н. Гаранько, В.В. Архипчук//Доповіді НАН України. — 2002. — № 3. — С. 167–170.

6. ДСанПІН 2.2.4–171–10. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»/ № 452/17747. — Міністерство охорони здоров'я України. Державні стандартні норми та правила/чинний від 1.07.2010 р.]. — 50 с.

7. Кулагина К.В. Исследование зависимости частоты сердечных сокращений *Daphnia magna* от концентрации пестицидов//Фундаментальные исследования. — 2011. — № 3 — С. 191–197.

8. Олькова А.С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России/А.С. Олькова/Успехи современной биологии. — 2014. — № 6. — С. 614–622.

9. Tortajada C. Water Demand Management in Singapore: Involving the Public/C. Tortajada, Yug. K. Joshi//Water Resour Manage. — 2013. — V. 27. — P. 2729–2746.

10. Biedunkova O. Comparative analysis of the seasonal dynamics of bioaccumulation of toxicants in different types hydroecosystems/O. Biedunkova, A. Klímenko, A. Petruk//British Journal of Science, Education and Culture. — London: London University Press, 2014. — № 1 (5). — V. III. — 440 p.

11. Genotoxicity evaluation of water soil leachates by Ames test, comet assay, and preliminary *Tradescantia* micronucleus assay/B. Lah, T. Vidic, E. Glasencnik

et al.//Environmental Monitoring and Assessment April. — 2008. — V. 139 (1–3). — P. 107–118.

12. Monitoring von Wetter, Limnologie und Sedimentbildung zum Prozessverständnis der Warvenablagung im Tiefen See (Klocksiner Seenkette)/Ul. Kienel, G. Kirillin, B. Brademann et al. — Ung-heft, Tagung Norddeutscher Geologen. — 2015. — V.79. — S. 90–91.

13. River watch. Manual for public environmental monitoring. — SPb.: Friends of the Baltics/Coalition Clean Baltics, 2015. — 32 p.

14. Zooplankton (*Cladocera*) species turnover and long-term decline of *Daphnia* in two high mountain lakes in the Austrian Alps/L. Nevalainen, M. Ketola, J.B. Korosi et al.//Hydrobiologia. — 2014. — V. 722 (1). — P. 75–91.

15. Погребенник В. Екологічний моніторинг: концепції, принципи, системи/В. Погребенник, М. Мельник, М. Бойчук//Вимірювальна техніка та метрологія. — 2005. — № 65. — С. 165–172.

16. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи); за ред. М.І. Ромашенка, М.А. Хвєсика, Ю.О. Михайлова. — К., 2015. — 46 с.

17. Jakob U. Oxidative Stress and Redox Regulation/U. Jakob, D. Reichmann. — Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2013. — P. 59–126.

Надійшла 27.04.2016.

ОГОЛОШЕННЯ

Національна академія аграрних наук України

оголошує конкурс на зайняття посади директора
Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН
(35325, Рівненська обл., Рівненський р-н, с.Шубків)

У конкурсі можуть брати участь громадяни України, які вільно володіють українською мовою, мають науковий ступінь доктора наук або доктора філософії (кандидата наук), стаж наукової або науково-організаційної роботи не менше 10-ти років, зокрема досвід роботи на керівних посадах не менше 5-ти років, та є фахівцями з основного напрямку діяльності цієї наукової установи.

Строк подання заяв — 2 міс. з дня опублікування оголошення Академією.

Особи, які бажають взяти участь у конкурсі, мають подати такі документи:

- заяву;
- особовий листок з обліку кадрів з фотокарткою;
- автобіографію;
- копії документів про вищу освіту, наукові ступені та вчені звання;
- перелік наукових здобутків;
- довідку про наявність або відсутність судимості;
- довідку з Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні правопорушення;
- копію паспорта, засвідчену претендентом;
- копію трудової книжки;
- письмову згоду на збір та обробку персональних даних.

Копії документів, подані претендентом (крім копії паспорта), мають бути засвідчені за місцем роботи претендента або нотаріально. Відповідальність за недостовірність документів несе претендент.

Документи надсилати на адресу:

м. Київ-010, вул. Суворова, 9, Національна академія аграрних наук України.

У разі неподання повного пакета документів претендент не допускатиметься до участі у конкурсі.

Телефон для довідок: **(044) 521-92-91.**