

УДК 574.58

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.11>

БІОІНДИКАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Скок С.В. – к. с.-г. н., доцент,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
skok_sv@ukr.net

Антропогенне навантаження на водні екосистеми призвело до зниження якості поверхневих вод та зменшення видового різноманіття гідробіонтів. Зростання рівня забруднення навколишнього середовища порушило екологічну рівновагу у біологічних системах, що проявилось у змінах їх життєвих функцій. У зв'язку із цим, широкого застосування набули біоіндикаційні методи оцінки екологічного стану поверхневих вод, які дозволяють встановити закономірності просторово-часового розподілу поллютантів у водному середовищі та його здатність до природного самоочищення.

Для здійснення біоіндикаційної оцінки якості поверхневих вод використовуються біологічні системи різних таксономічних категорій. Проте визначено, що найбільш чутливими до антропогенного впливу є індикатори дафнія (*Daphnia magna* S.) та цибуля звичайна (*Allium cepa* L.). Біоіндикація водного середовища за дафніями (*Daphnia magna*) полягає у фіксації кількості живих особин протягом 24, 36, 48, 72, 92 годин. Критерієм токсичності води є кількість загинув особин дафній по відношенню до контролю. Встановлено, що смертність дафній на 92% залежить від тривалості токсичного впливу забруднюючих речовин.

Біоіндикаційний метод оцінки токсичності поверхневих джерел з використанням цибулі звичайної дозволяє виявити пригніблюючий та стимулюючий вплив поллютантів. Критерієм токсичності води є зниження швидкості росту корінців цибулі та цитогенетичні порушення в процесі клітинного поділу. Фіксація середньої довжини та кількості корінчиків у пучках цибулі для кожного зразку води здійснюється на 92-й годині їх розміщення у ємкостях. Встановлено, що величина проростання пагонів цибулі звичайної не являється ознакою токсичності води.

Інтегральна токсико-екологічна оцінка води розраховується як середнє арифметичне індексу токсичності на основі показників виживання дафнії та росту корінців цибулі звичайної. Для інтерпретації результатів біоіндикаційної оцінки якості поверхневих вод із використанням тест-об'єктів різної форми життєвої організації розроблена шкала рівня токсичності водного середовища.

Згідно проведених досліджень встановлено, що біоіндикація є швидким та достовірним методом визначення оцінки якості водних екосистем, який може використовуватися разом із хімічними методами для здійснення систематичного моніторингу екологічного стану поверхневих вод.

Ключові слова: біоіндикація, водні екосистеми, дафнія, цибуля звичайна, поллютанти, ступінь токсичності, антропогенне навантаження.

Постановка проблеми. Глобальні зміни кліматичних умов та антропогенна деградація компонентів навколишнього середовища призвели до надмірного забруднення водних ресурсів, змінивши їх хімічний та біологічний склад. Особливого занепокоєння викликає незадовільний екологічний стан поверхневих вод, які є джерелами питного водопостачання, рекреації та рибного господарства. Гідроекосистема характеризується складною системою зв'язків між гідробіонтами та екологічними факторами навколишнього середовища, які проявляються у показниках трофічного статусу водойм, токсичності, рівні сапробності, процесах самоочищення, заболочування. В умовах антропогенного навантаження порушується екологічна рівновага у водних екосистемах, зменшується видове біорізноманіття гідробіонтів.

При цьому необхідним постає здійснення систематичного моніторингу екологічного стану водойм та водотоків на основі їх якісної оцінки. Загальновідомо, що визначення концентрації хімічних речовин здійснюється за допомогою фізико-хімічних методів та зіставляється з їх нормованими значеннями. Однак проблема контролю якості поверхневих вод ускладнюється відсутністю встановлених гранично допустимих концентрацій для токсичних речовин, які можуть потрапити до водойм чи водотоків внаслідок виробничої діяльності. У зв'язку із цим, актуалізується питання удосконалення системи оцінки екологічного стану водного середовища. Зважаючи на те, що рослинні та тваринні організми реагують на забруднення водних об'єктів, шляхом зміни своїх життєвих функцій перспективним методом контролю рівня забруднення та токсичності поверхневих вод є біоіндикаційні методи. Оцінка екологічного стану гідроекосистем за реакціями живих організмів дозволяє встановити закономірності просторово-часового розподілу забруднюючих речовин у водному середовищі та його здатність до природного самоочищення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Недоліки хіміко-аналітичних методів оцінки якості водних екосистем сприяли розвитку біоіндикації із застосуванням живих організмів різних рівнів життєвої організації. Вивчення екологічного стану гідроекосистем за біоіндикаційними методами розпочалося з другої половини ХХ століття, у період інтенсивного антропогенного пресингу на всі компоненти навколишнього середовища.

Питання біоіндикаційної оцінки якості поверхневих вод, зміни морфологічних ознак індикаторних видів у забрудненому водному середовищі розглядалися у наукових працях Аристархова Е.О. [1], Стецюк Л.М. [2], Осмаленого М.С. [3], Клименка М.О. [4], Петрука Р.В. [5] Гаранько Н.М. [6] та інших. У якості реакцій живих організмів до антропогенного впливу досліджені порушення репродуктивних функцій, динаміка чисельності, зміни структури популяцій, видового різноманіття.

Головними завданнями біоіндикації є встановлення рівня впливу забруднення поверхневих вод на популяційному рівні, визначення класу якості водної екосистеми та її придатності відповідно до цілей водокористування [7]. Перевагами біоіндикаційних методів оцінки екологічного стану водних об'єктів перед хімічними методами є невисока затратність у часовому, грошовому вимірах, мінімальний рівень підготовки фахівців, відсутність негативного впливу на водну екосистему [8].

Біоіндикаційна оцінка дозволяє встановити токсикологічний вплив на водне середовище 80% хімікатів [9]. Західноєвропейські країни здійснюють токсичну оцінку якісного стану гідроекосистем на основі використання рачків та риб із різним діапазоном витривалості до дії екологічних факторів. Для визначення рівнів токсичності та забруднення природних водотоків широкого застосування отримали методи біотестування на ракоподібних *Daphnia magna*. На законодавчому рівні України від 10 червня 2003 року затверджено національний стандарт ДСТУ 4173:2003 (ISO 6341:1996, MOD) «Якість води. Визначення гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (*Cladocera*, *Crustacea*)», відповідно до якого здійснюється оцінка токсичності поверхневих, ґрунтових, питних та стічних вод різних категорій.

Перелік індикаторних організмів, які реагують на вміст поллютантів у водному середовищі за останні двадцять років суттєво розширився. На сьогодні немає універсального індикаторного організму з однаковою реакцією на вміст поллютантів у водному середовищі. Однак всі біологічні тест-об'єкти вказують на токсичність води за показниками загибелі, виживання, фізіологічного стану, плодючості, ступеня синхронності подрібнення яйцеклітин, рухливості, поведінкових реакцій, середньої швидкості росту, добового приросту культури, енергії проростання насіння, схожості, довжини первинного кореня, морфофізіологічних змін.

Постановка завдання. Визначити доцільність застосування біоіндикаційних методів для визначення рівня забруднення водних екосистем.

Методика досліджень. Для здійснення біоіндикаційної оцінки якості поверхневих вод використовуються біологічні системи різних таксономічних категорій. Чим нижчий ранг біоіндикаторів, тим точними будуть результати щодо впливу екологічних факторів на компоненти навколишнього середовища. Реакціями живих організмів на дію чинників є їх зміни, які полягають у хімічному складі клітин, структурно-функціональній характеристиці клітинних органодів, розмірах клітин, морфологічних показниках, рівні активності, частоті, характеру мутацій та канцерогенезу. У залежності від рівня організації живих організмів біоіндикаційні методи

поділяються на популяційно-видовий, організменний, органотканинний, клітинний, субклітинний та генетичний [10]:

– біоіндикатори на організменному рівні (бактерії, мікроорганізми, водорості, безхребетні, молюски, риби, вищі рослини, які поділяються за систематичним найменуванням);

- біоіндикатори на органотканинному рівні (мембранні системи);
- біоіндикатори на клітинному рівні (органели клітин);
- біоіндикатори на субклітинному рівні (ферментативні системи);
- біоіндикатори на генетичному рівні (мутагенність).

Для визначення токсико-екологічного стану поверхневих вод пропонуємо використовувати індикаторні види безхребетних гідробіонтів та рослинних біотестів з різним рівнем життєвої організації.

Біоіндикація водного середовища за дафніями (*Daphnia magna*) полягає у фіксації кількості живих особин протягом 24, 36, 48, 72, 92 годин. Критерієм токсичності води є кількість загинув особин дафній по відношенню до контролю [11]:

$$I = 100(I_1 - I_0) / I_1 \quad (1)$$

де I – індекс токсичності;

$I_1 - I_0$ – кількість живих дафній у контролі та досліді при фіксованому часу експозиції досліджуваного зразка питної води з тест-об'єктом.

Для встановлення кореляційних зв'язків між часом токсичної дії води та виживання дафній необхідно здійснити статистичний аналіз результатів дослідження. Із збільшенням часу тестування кількість живих дафній зменшується. Варіація смертності тестуючих особин на 92% залежить від тривалості токсичної дії забруднюючих речовин у воді (рис. 1).

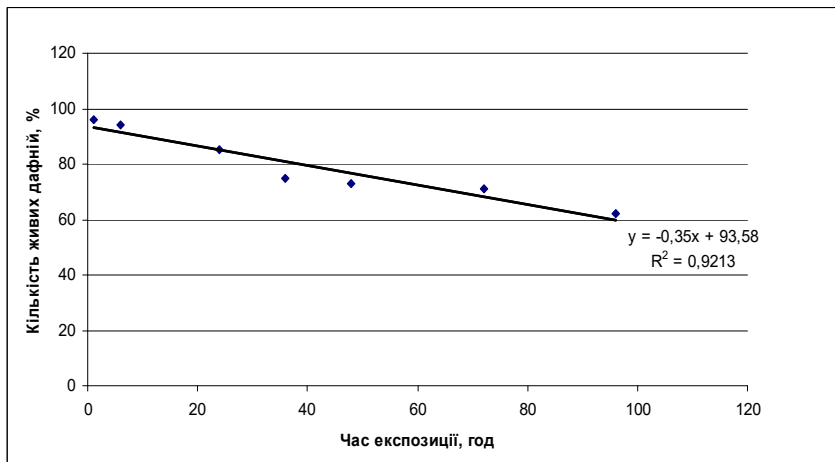


Рис. 1. Модель залежності виживання дафній від часу експозиції тестування

Для отримання достовірних результатів біоіндикаційної оцінки водних екосистем на основі обліку основних особливостей адаптаційних процесів, рівня чутливості, резистентності тест-організмів необхідно дотримуватися термінів та часу тестування.

Емпіричне кореляційне відношення повинне мати високий рівень надійності. Для оцінки надійності кореляційних характеристик використовують критерій Стьюдента (t – критерій) за формулою:

$$t_{\eta} = \frac{\eta}{\mu_{\eta}} \quad (2)$$

де μ_{η} – середня помилка кореляційного відношення,
 η – коефіцієнт кореляції.

$$\mu_{\eta} = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{\eta}} \quad (3)$$

Якщо значення критерію Стьюдента дорівнює або більше 3 ($t_{\eta} \geq 3$) емпіричне кореляційне відношення вважають вірогідним.

Визначення еколого-токсикологічного стану поверхневих вод за показниками виживання дафній здійснюється згідно таблиці 1.

Таблиця 1. Класифікаційна шкала для оцінки ступеня токсичності води [12]

| Час експозиції, години | Кількість загинлих дафній по відношенню до контролю, % | Ступінь токсичності |
|------------------------|--|----------------------|
| 3 | $\geq 50\%$ | надзвичайно токсична |
| 6 | $\geq 50\%$ | високотоксична |
| 12 | $\geq 50\%$ | середньо токсична |
| 24 | $\geq 50\%$ | помірно токсична |
| 48 | $\geq 50\%$ | слаботоксична |
| | $< 50\%$ | нетоксична |

Додаткова крос-перевірка токсичності водного середовища може здійснюватися із використанням цибулі звичайної *Allium cepa* L. [13, 14].

Критерієм токсичності води є зниження швидкості росту корінців цибулі та цитогенетичні порушення в процесі клітинного поділу. Фіксація середньої довжини та кількості корінчиків у пучках цибулі для кожного зразку води здійснюється на 92-й годинні їх розміщення у ємкостях. Встановлено, що проростання пагонів цибулі звичайної не залежить від часу тестування, тому даний показник не являється ознакою токсичності води. Біоіндикаційний метод оцінки токсичності поверхневих джерел з використанням рослинних тест-об'єктів дозволяє виявити пригноблюючий та стимулюючий вплив полютантів [15].

При проведенні біоіндикації у лабораторних умовах абіотичні фактори впливу на результати досліджень повинні бути незмінними. Інтегральна токсико-екологічна оцінка води розраховується як середнє арифметичне індексу токсичності за двома обраними тест-об'єктами на основі показників виживання дафній та росту корінців цибулі звичайної. Для інтерпретації результатів біоіндикаційної оцінки якості поверхневих вод із використанням тест-об'єктів різної форми життєвої організації розроблена шкала рівня токсичності водного середовища (табл. 2).

За результатами визначення токсико-екологічного стану водних екосистем згідно реакцій тест-організмів можна встановити біоіндикаційну диференціацію рівня забруднення водних екосистем, здійснити оцінку придатності джерел води до господарського використання, визначити наслідки систематичного та залпового забруднення водного середовища. Крім того, біологічні методи надають оцінку інтенсивності перебігу процесів самовідновлення гідроєкосистем внаслідок систематичного антропогенного впливу на навколишнє середовище [16].

Таблиця 2. Оцінка рівня забруднення водних екосистем за індексом токсичності

| Індекс токсичності, I_m | Клас якості води | Характеристика рівня забруднення |
|---------------------------|------------------|--|
| <20 | I | Слабкий |
| 21–40 | II | Помірний |
| 41–60 | III | Високий |
| 60–80 | IV | Надзвичайно високий рівень забруднення |
| > 80 | V | Небезпечний |

На рисунку 2 представлена графічна модель прогресивної та регресивної зміни біоіндикатора у вигляді параболи із значеннями його позитивної реакції на вміст забруднюючих речовин до певного рівня. Це поясню-

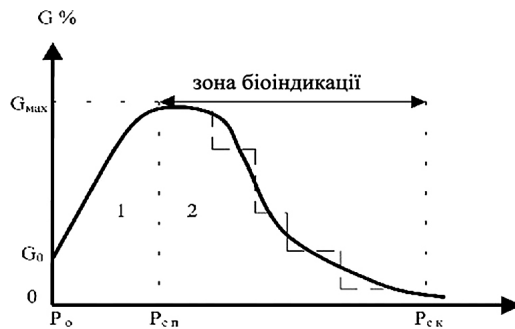


Рис. 2. Реакція біоіндикатора на вміст поллютантів у воді [17]

ється тим, що навіть в якісному водному середовищі є елементи живлення, на які реагує біоіндикатор для підтримки своєї життєдіяльності.

Вміст забруднюючих речовин у водних екосистемах, які поглинає індикатор призводить до його позитивних змін лише в оптимальній зоні 1. З урахуванням цього, графічна модель життєвості біоіндикатора має прогресивне зростання на ділянці від G_0 до G_{max} , що відповідає пороговому значенню $P_{сп}$. На ділянці 2 зростання та різке спадання графіку супроводжується негативними змінами біоіндикатора до критичного значення $P_{ск}$. Діапазон між точками $P_{сп}$ та $P_{ск}$ є зоною біоіндикації, яка характеризується зниженням адаптаційного механізму живих організмів. При цьому відбуваються морфологічні зміни біоіндикаторів, які визначаються візуальними або інструментальними методами.

Джерелами надходження ксенобіотиків до водотоків, які мають канцерогенні і мутагенні властивості є поверхневі дифузні змиви із урбанізованих територій, сільськогосподарських угідь, аварійні пориви каналізаційних та водогінних мереж, низька ефективність роботи очисних споруд каналізації, порушення гідродинамічних умов водоносних горизонтів (рис. 3).

Величина токсикогенного стоку у гідроекосистемах змінюється внаслідок кліматичних умов, геоморфології, рельєфу, глибини розташування водопідпірних горизонтів, залягання ґрунтових вод та соціально-економічної структури регіону.

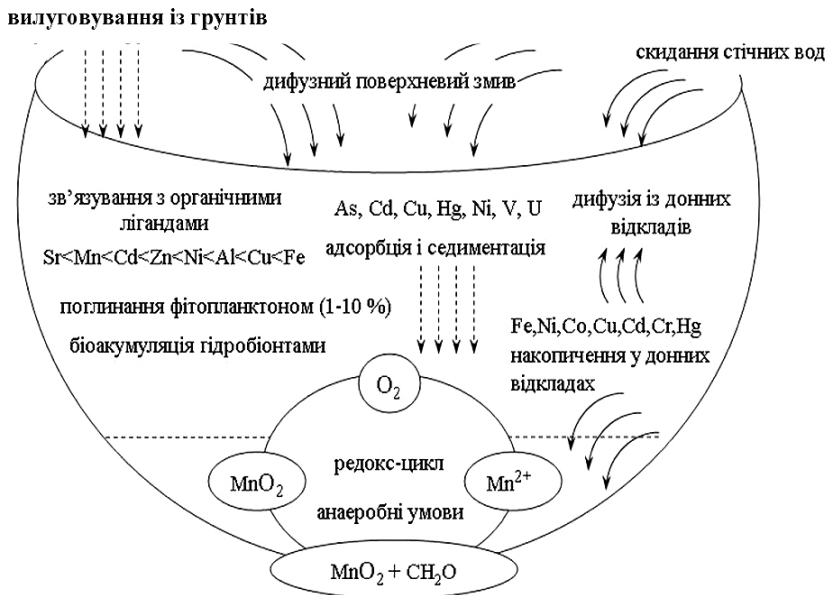


Рис. 3. Джерела забруднення водних екосистем [16]

Проблема забруднення водного середовища токсичними речовинами повинна вирішуватися шляхом розробки обґрунтованої системи їх екологічного нормування та контролю за джерелами потрапляння поллютантів до поверхневих вод. Встановлення ГДК токсичних речовин у воді є важливою умовою для функціонування гідроекосистем та життєдіяльності населення селітебних територій. Однак екологічне нормування токсикантів не вирішить проблему збереження біоресурсів, оскільки систематичне, довготривале їх надходження у малих концентраціях здатне викликати хронічне отруєння біоти водних екосистем. Тому виникає необхідність у здійсненні постійного моніторингу екологічного стану поверхневих вод на основі уніфікованих біологічних методів із використанням рослинних та тваринних індикаторів. Визначення токсико-екологічної оцінки гідроекосистем пропонуємо здійснювати за морфологічними змінами дафній, за показниками її виживання та за біометричними параметрами коренів цибулі звичайної.

Встановлено, що біоіндикація є швидким та достовірним методом визначення оцінки якості водних екосистем, який може використовуватися разом із хімічними методами для здійснення систематичного моніторингу екологічного стану поверхневих вод, розробки науково-обґрунтованих заходів покращення якості поверхневих вод та зменшення наслідків господарської діяльності.

Висновки. Для здійснення токсико-екологічної оцінки поверхневих вод запропоновано використовувати біоіндикатори дафнію та цибулю звичайну. Встановлено, що смертність дафній на 92% залежить від тривалості токсичної дії забруднюючих речовин у воді. Метод оцінки токсичності поверхневих джерел з використанням цибулі звичайної дозволяє виявити пригніблюючий та стимулюючий вплив поллютантів. Інтегральна токсико-екологічна оцінка води здійснюється на основі розрахунку середнього арифметичного індексу токсичності за показниками виживання дафній та росту корінців цибулі звичайної. Рівень токсичності поверхневих вод із використанням біоіндикаторів оцінюється згідно шкали токсичності водного середовища. Запропоновано створення обґрунтованої системи нормування скидів поллютантів до поверхневих вод та здійснення постійного моніторингу екологічного стану поверхневих вод на основі морфологічних змін дафній, показників її виживання та біометричних параметрів коренів цибулі звичайної.

BIOINDICATION METHODS FOR ASSESSING THE LEVEL OF POLLUTION OF AQUATIC ECOSYSTEM

Skok S.V. – PhD in Agriculture, Associate Professor,
Kherson State agrarian and economic university
skok_sv@ukr.net

Anthropogenic pressure on an aquatic ecosystem has led to a decrease of surface water quality and a reduction of the species diversity of aquatic organisms. The increase of the level environmental pollution has disturbed the ecological balance in biological systems, which has manifested in changes of their vital functions. In this regard, widely using bioindication methods for evaluation the ecological status of surface waters, which allow to establish patterns of spatio-temporal distribution of pollutants in the water environment and its ability to natural self-cleaning.

Biological systems of different taxonomic categories are used to carry out bioindication assessment of surface water quality. It was determined that the most sensitive to anthropogenic impact are indicators of *Daphnia magna* and *Allium cepa* L. Bioindication of the water environment by daphnia (*Daphnia magna*) is based fixing the number of living individuals for 24, 36, 48, 72, 92 hours. The criterion of water toxicity is the number of dead daphnia in relation to control. It was established that the mortality of daphnia on 92% depends from the time of toxic influence of pollutants.

Bioindication method for assessing the toxicity of surface sources using onions allows to identify the depressing and stimulating influence of pollutants. The criterion of water toxicity is a decrease of the growth rate of onion roots and cytogenetic disorders in the process of cell division. Fixation of the average length and number of roots in the bunches of onions for each sample of water is carried out on the 92 hour of their placement in containers.

It was determined that the magnitude of germination of onion shoots is not an indication of water toxicity. Toxicological assessment of water is calculated as the arithmetic mean of the toxicity index based on changes in the reaction of daphnia and growth rates of onion roots. A scale of aquatic toxicity levels has been developed for performing a bioindication assessment of surface water quality using test objects of various forms of life organization. A scale of aquatic toxicity levels has been developed for performing a bioindication assessment of surface water quality using test objects of various forms of life organization.

According to research, bioindication is a fast and reliable method of evaluation the quality of aquatic ecosystem, which can be used for systematic monitoring of the ecological status of surface waters.

Keywords: bioindication, aquatic ecosystem, daphnia, onion, pollutants, degree of toxicity, anthropogenic load.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аристархова Е.О. Експрес-оцінка потенційної небезпеки води методом біотестування на *Daphnia magna* S. Вісник аграрної науки. 2017. № 2. С. 50–54.
2. Стецюк Л.М. Використання методів біоіндикації та біотестування для оцінки стану водних екосистем. Вісник Національного університету

- водного господарства та природокористування*. 2013. Вип. 2(62). С. 175–18.
3. Комплексна оцінка токсичності водних зразків за допомогою рослинних і тваринних тест-організмів. Осмалений М.С. та ін. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Т. 16. С. 74–77.
 4. Клименко, М.О., Прищепа А.М., Клименко О.М., Стецюк Л.М. Оцінювання стану водних екосистем за показниками біотестування. Рівне : НУВГП, 2014. 170 с.
 5. Аналіз фітотоксичного ефекту небезпечних пестицидних препаратів за допомогою біоіндикації. Р.В. Петрук та інш. *Техногенно-екологічна безпека*. 2019. № 6. С. 42–48.
 6. Гаранько Н.М., Исламов В.О. Оцінка питної води за допомогою методів біотестування. *Екологія довкілля та безпеки життєдіяльності*. 2003. № 5. С. 34–37.
 7. Крайнюкова А.М., Божко Т.В., Крайнюков О.М., Чистякова О.О. Біотестування в системі нормування і контролю забруднення водних об'єктів зворотними водами (на прикладі Дніпропетровської області). *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. УкрНДІЕП. Харків: Райдер, 2011. Вип. 23. С. 198–212.
 8. Лятушинський С.В. Особливості розробки системи біотестування вод рибогосподарського призначення. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 4. С. 207–210.
 9. Сидорович М.М. Використання біометричних показників allium test для визначення якості питної води міста. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова*. Серія 20. Біологія. 2013. Вип. 5. С. 182–192.
 10. Крайнюков О.М. Алгоритми і способи визначення рівнів гострої летальної та хронічної токсичності води. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. 2016. № 1–2(25). С. 14–19.
 11. Крайнюков О.М. Критерії оцінки чутливості організмів та ефективності методик біотестування для визначення токсичних властивостей води. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна*. Серія Екологія. 2013. № 1054. С. 80–85.
 12. Барабаш О.В. Оцінка ступеня токсичності поверхневих вод м. Києва. *Екологічна безпека*. 2019. № 2(28). С. 31–37.
 13. Скок С.В. Оцінювання якості питної води м. Херсона методом біотестування. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. С. 26–30.
 14. Skok S., Breus D. Bioindication Assessment of Drinking Water Toxicity in Large Cities of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2021. 48(6). pp. 1692–1697.

15. Дударєва Г.Ф., Дубова О.В., Войтович О.М. Фітоіндикація навколишнього середовища: навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра напрямів підготовки «Біологія», «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 91 с.
16. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.
17. Никофоров В.В., Дігтяр С.В., Мазницька О.В., Козловська Т.Ф. Біоіндикація та біотестування. Кременчук : ПП Щенбатих О.В. 2016. 76 с.

REFERENCES

1. Arystarkhova E.O. (2017). *Ekspres-otsinka potentsiinoi nebezpeky vody metodom biotestuvannia na Daphnia magna S* [Express assessment of potential water hazards by biotesting for *Daphnia magna S*]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, no. 2, 50–54. [in Ukrainian].
2. Stetsiuk L.M. (2013). *Vykorystannia metodiv bioindykatsii ta biotestuvannia dlia otsinky stanu vodnykh ekosystem* [Use of bioindication and biotesting methods to assess the state of aquatic ecosystems]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, vol. 2(62), 175–181. [in Ukrainian].
3. Osmalenyi M.S. (2015). *Kompleksna otsinka toksychnosti vodnykh zrazkiv za dopomohoiu roslynnykh i tvarynnykh test-orhanizmi* [Comprehensive assessment of the toxicity of aquatic samples using plant and animal test organisms]. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv*, vol. 16, 74–77. [in Ukrainian].
4. Klymenko M.O., Pryshchepa A.M., Klymenko O.M., Stetsiuk L.M. (2014). *Otsiniuvannia stanu vodnykh ekosystem za pokaznykamy biotestuvannia* [Evaluation of the state of hydro-ecosystem according to biotesting indicators]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
5. Petruk R.V., Kravets N.M., Trach I.A., Kvaterniuk S.M., Varaksa V.V. (2019). *Analiz fitotoksychnoho efektu nebezpechnykh pestytsydneykh preparativ za dopomohoiu* [Analysis of phytotoxic effect of hazardous pesticides using bioindication]. *Tekhnohenno-ekolohichna bezpeka*, no. 6, 42–48. [in Ukrainian].
6. Haranko N.M., Islamov V.O. (2003). *Otsinka pytnoi vody za dopomohoiu metodiv biotestuvannia* [Evaluation of drinking water according to biotesting methods]. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeky zhyttiedialnosti*, no. 5, 34–37.
7. Krainiukova A.M., Bozhko T.V., Krainiukov O.M., Chystiakova O.O. (2011). *Biotestuvannia v systemi normuvannia i kontroliu zabrudnennia vodnykh ob'ektiv zvorotnymy vodamy (na prykladi Dnipropetrovskoi*

- oblasti*) [Biotesting in the system of regulation and control of pollution of water bodies by return waters (on the example of Dnipropetrovsk region)]. *Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha ta ekolohichnoi bezpezky*, vol. 23, 198–212. [in Ukrainian].
8. Liatushynskiy S.V. (2016). *Osoblyvosti rozrobky systemy biotestuvannia vod rybohospodarskoho pryznachennia* [Features of development of biotesting system of fishery waters]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, no. 4, 207–210. [in Ukrainian].
 9. Cydorovych M.M. (2013). *Vykorystannia biometrychnykh pokaznykiv allium test dlia vyznachennia yakosti pytnoi vody mista* [Use of biometric indicators allium test to determine the quality of drinking water in the city]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova. Serii 20. Biolohiia*, vol. 5, 182–192. [in Ukrainian].
 10. Krainiukov O.M. (2016). *Alhorytmy i sposoby vyznachennia rivniv hostroi letalnoi ta khronichnoi toksychnosti vody* [Algorithms and methods for determining the levels of acute lethal and chronic water toxicity]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii*, no. 1–2(25), 14–19. [in Ukrainian].
 11. Krainiukov O.M. (2013). *Kryterii otsinky chutlyvosti orhanizmiv ta efektyvnosti metodyk biotestuvannia dlia vyznachennia toksychnykh vlastyvostei vody* [Criteria for assessing the sensitivity of organisms and the effectiveness of biotesting to determine the toxic properties of water]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazina. Serii Ekolohiia*, no. 1054, 80–85. [in Ukrainian].
 12. Barabash O.V. (2019). *Otsinka stupenia toksychnosti poverkhnevyykh vod m. Kyieva* [Evaluation of the degree of toxicity of surface waters in Kyiv]. *Ekolohichna bezpeka*, no. 2(28), 31–37. [in Ukrainian].
 13. Skok S.V. (2015). *Otsiniuvannia yakosti pytnoi vody m. Khersona metodom biotestuvannia* [Evaluation of drinking water quality in Kherson by biotesting method]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, no. 2, 26–30. [in Ukrainian].
 14. Skok S., Breus D. (2021). Bioindication Assessment of Drinking Water Toxicity in Large Cities of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*, vol. 48(6), 1692–1697.
 15. Dudarieva H.F., Dubova O.V., Voitovych O.M. (2016). *Fitoindykatsiia navkolyshnoho seredovyshcha: navchalno- metodychnyi posibnyk dlia zdobuvachiv stupenia vyshchoi osvity bakalavra napriamiv pidhotovky «Biolohiia», «Ekolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyshcha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia* [Phytoindication of the environment: a textbook for higher education bachelor's degrees in Biology, Ecology, Environmental Protection and Sustainable Nature Management]. Zaporizhzhia: ZNU. [in Ukrainian].

16. Dudnyk S.V., Yevtushenko M.Iu. (2013). *Vodna toksykolohiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia* [Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application]. Kyiv: Vyd-vo Ukrainskoho fitosotsiologichnoho tsentru. [in Ukrainian].
17. Nykoforov V.V., Dihtiar S.V., Maznytska O.V., Kozlovska T.F. (2016). *Bioindykatsiia ta biotestuvannia* [Bioindication and biotesting]. Kremenchuk: PP Shchenbatykh O.V. [in Ukrainian].