



УДК 556. 532 (477-924-52)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.4>

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЖУРАВЛІВСЬКОГО ГІДРОПАРКУ

О. М. Крайнюков¹, І. А. Кривицька², О. Є. Найдюнова³

Найбільш ефективним біологічним методом оцінювання можливої небезпеки тих чи тих джерел забруднення для водної флори та фауни є біотестування – експериментальне визначення токсичності води для гідробіонтів, засноване на реєстрації реакцій тест-об'єктів, за допомогою якого можна встановити токсичну дію забрудненої води. Метою роботи були еколого-токсикологічні дослідження якості води Журавлівського гідропарку, які піддаються впливу урбосистеми великого міста. Вибір зразків поверхневих вод із Журавлівської водойми було здійснено влітку та восени 2024 року. Зразки відбирались у 4 створах із річки Харків. У роботі для визначення хронічної токсичності води з річки Харків було використано методику біотестування з визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю і (або) плодючістю *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у воді, що аналізується, і у воді, де *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg культивуються.

У результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень влітку 2024 року токсичні властивості було визначено в усіх зразках поверхневих вод, які було відібрано із Журавлівської водойми у створах Квітучого моста; вулиці Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків; Журавлівської греблі).

Улітку 2024 року у створах Квітучого моста; вулиці Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків; було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена, а у створі Журавлівська гребля – 3 клас якості води (вода помірно забруднена).

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: alkraunukov@gmail.com
ORCID:0000-0002-5264-3118

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: ivkrivicka@gmail.com
ORCID:0000-0003-4727-794X

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
в.о. завідувача сектору мікробіології ґрунтів
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
м. Харків)
e-mail: naydyonova@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8568-5699

Восени 2024 року у створі Квітучого моста було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена; у створах вулиці Нескорених (міст), плавбази Клубу моряків було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена; у створі Журавлівської греблі – 4 клас якості води (вода брудна). Результати біотестування дозволяють установлювати токсичні властивості вод поза зв'язком із конкретними речовинами, оскільки невідомо, яка саме речовина справила токсичний ефект. Отже, біотестування дозволяє визначити інтегральну токсичність, зумовлену сукупністю всіх наявних у пробі небезпечних хімічних речовин і їх метаболітів.

Ключові слова: забруднення, біотестування, поверхневий водний об'єкт, тест-об'єкт, хронічна токсичність, інтегральна оцінка.

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF SURFACE WATERS OF THE ZHURAVLIVSKY HYDROPARK

O. M. Krainiukov, I. A. Kryvytska, O. E. Naidonova

*The most effective biological method for assessing the possible danger of certain sources of pollution for aquatic flora and fauna is biotesting – an experimental determination of the toxicity of water for hydrobionts, based on recording the reactions of test objects, which can be used to establish the toxic effect of polluted water. The purpose of the work was ecological and toxicological studies of the water quality of the Zhuravlivskiy hydropark, which are under the influence of the urban system of a large city. Sampling of surface water samples from the Zhuravlivska reservoir was carried out in the summer and autumn of 2024. Samples were taken in 4 sections from the river. Kharkiv. In the work, to determine the chronic toxicity of water from the Kharkiv River, a biotesting technique was used to determine the chronic toxicity of water on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, which is based on establishing the difference between the survival and (or) fertility of *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg in the water being analyzed and in the water in which *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg are cultivated. As a result of ecological and toxicological studies carried out in the summer of 2024, toxic properties were determined in all surface water samples that were taken from the Zhuravlivskaya reservoir in the vicinity of Kvituchy Bridge; St. Unconquered, cities; swimming pool of the sailors' club; Zhuravlivska dam.*

In the summer of 2024 the Flowering Bridge is in the works; St. Unconquered, cities; the floating base of the sailors' club was determined to be of the 2nd water quality class – the water is slightly polluted, and in the Zhuravlivska dam, the 3rd water quality class – the water is moderately polluted. In the autumn of 2024, the Kvituchy bridge area was assigned the 2nd water quality class – the water is slightly polluted; in the creations of st. Unconquered, the city and the floating base of the sailors' club were determined to be of the 3rd water quality class – the water is moderately polluted, and in the Zhuravlivska dam – the 4th water quality class (dirty water).

The results of biotesting make it possible to establish the toxic properties of water without connection with specific substances, since it is not known which substance caused the toxic effect. Thus, biotesting allows you to determine the integral toxicity due to the totality of all hazardous chemicals and their metabolites present in the sample.

Key words: pollution, biotesting, surface water body, test object, chronic toxicity, integrated assessment.

Вступ

У виявленні антропогенного забруднення середовища поряд із фізико-хімічними методами застосовуються прийоми, що базуються на оцінюванні стану окремих організмів, які можуть піддаватися впливу забрудненого середовища, а також їхніх органів, тканин і клітин. Їх застосування зумовлено технічною складністю й обмеженістю інформації, яку можуть надавати фізико-хімічні методи. Окрім того, фізико-хімічні методи можуть виявитися неефективними через не досить високу їх чутли-

вість і достовірність отриманих результатів. Живі організми здатні сприймати більш низькі концентрації хімічних речовин, ніж будь-який аналітичний датчик, у зв'язку із чим біота може реєструвати токсичні впливи, що не будуть визначені технічними засобами.

Водні екосистеми стикаються із широким спектром забруднень, як-от метали, вуглеводні, миючі засоби, пестициди та фармацевтичні сполуки. Окрім того, на ринок регулярно надходять нові потенційно токсичні речовини, але знання про сту-

пінь забруднення цими речовинами та їхні наслідки залишаються обмеженими (Reid et al., 2019). У Європі мета Водної рамкової директиви (далі – ВРД), ухваленої членами Європейського Союзу у 2000 р., полягає в тому, щоб водні тіла досягли та підтримували добрий екологічний і хімічний стан. Щоб досягти цього, необхідно відстежувати та контролювати забруднення середовища водних об'єктів. Оцінювання такого забруднення здійснюється шляхом створення переліку речовин, які підлягають моніторингу у воді, біоті чи осадах. Хімічний аналіз може надати цінну інформацію про забруднювачі, присутні у водних системах. Однак через їх велику кількість, іноді низьку концентрацію та той факт, що багато з них невідомі, поточні можливості й ефективність хімічних аналізів залишаються обмеженими (Brack et al., 2016). У статті (Persson et al., 2022) підкреслюється, що збільшення викидів і синтезу нових хімічних сполук перевершує поточні можливості щодо проведення моніторингу й оцінювання їхнього негативного впливу, залишається значна прогалина в наших знаннях про присутність і вплив цих речовин на екосистеми. Наявні методи тестування необхідно вдосконалювати та розробляти нові для більш ретельного моніторингу цих речовин, їхніх токсичних властивостей для водних організмів, оскільки водні системи значно потерпають від забруднюючих речовин (Brack et al., 2016).

Нагальна необхідність вирішення цієї екологічної проблеми привела до дослідження інноваційних підходів, зокрема й інтеграції біомоніторингу в інструменти управління навколишнім середовищем. Біомоніторинг можна визначити як використання живих організмів для дослідження якості води для оцінювання часових або просторових змін у забрудненні та токсичності стічних вод і водойм, що їх приймають (Wepener, 2013). Використання живих тестових організмів дає змогу об'єднати різноманітність біодоступних забруднювачів, присутніх у навколишньому середовищі, з оцінюванням їхньої токсичності (Crane et al., 2007; Besse et al., 2012).

Незаперечним є той факт, що десятки й сотні забруднюючих речовин із несприятливими біологічними ефектами виявляються у зворотних водах після їх очистки, далі потрапляють у поверхневі водні об'єкти (Sjerps et al., 2016; Wang et al., 2018). Численні експериментальні дослідження

показали, що вода може проявляти різноманітні несприятливі біологічні ефекти, наприклад, ендокринні порушення, генотоксичність, токсичність для розвитку, гостру токсичність тощо (Sun et al., 2009; Jia et al., 2015; Chai et al., 2018). Для безпечного використання якості води має бути добре забезпечена під час процесу очищення зворотних вод (Petala et al., 2006a; Wang et al., 2018). Проте багато досліджень довели, що звичайні стандарти якості води не можуть належно мірою гарантувати її безпечність (Vieno et al., 2006; Wei et al., 2006; Kim et al., 2007), можливі причини можна підсумувати так: існують сотні і тисячі забруднюючих речовин у воді, а лише десятки з них регулюються стандартами; рекомендований ліміт концентрації для кожного забруднювача, який регулюється стандартами якості води, був отриманий на основі випробувань на токсичність окремих хімічних речовин, тоді як суміші забруднювачів у воді зазвичай призводять до спільних біологічних ефектів; щодо великої кількості забруднюючих речовин бракує даних про їхні токсичні властивості, щоб узагалі визначити їх безпечну концентрацію; оцінювання токсичності забруднюючих речовин за їх концентраціями не завжди достовірне.

Щоб компенсувати недоліки звичайних стандартів якості води, підхід до біологічного аналізу може відіграти важливу роль в оцінюванні безпечності якості води, оскільки біологічне оцінювання є більш корисним способом чіткого вимірювання рівня безпеки всіх забруднювачів у воді, а не аналізу концентрацій хімічних речовин (Leusch et al., 2014). Отже, біологічний аналіз є необхідним і можливим інструментом для оцінювання потенційної небезпеки забруднюючих речовин у воді водних об'єктів (Крайнюкова та ін., 2021).

Матеріал і методи

У навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна було проведено серію експериментальних досліджень із визначення хронічної токсичності води з річки Харків у межах Журавлівської водойми. Зразки було відібрано в липні та жовтні 2024 р. із Журавлівської водойми у таких створах, як: Квітучий міст; вул. Нескорених, міст; плавбаза Клубу моряків; Журавлівська гребля.

Для визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод нами була

використана методика визначення хронічної токсичності, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю і(або) плодючістю *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у воді, що аналізується (дослід), та у воді, де *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg утримуються (контроль).

Критерієм хронічної токсичності є статистично значуще зменшення виживаності і(або) плодючості *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у досліді порівняно з контролем упродовж біотестування. Тривалість біотестування становить (7 ± 1) діб до появи в 60% вихідних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg трьох пометів (ДСТУ, 2003).

Якість води оцінюють за рівнем її хронічної токсичності та ступенем забрудненості відповідно до класифікаційної шкали (табл. 1).

Результати. Журавлівська водойма була утворена в результаті будівництва в 1962 р. водопідйомної греблі на р. Харків у районі селища Журавлівка. Призначення водойми на той час було суто для цілей технічного водопостачання місцевих підприємств і рекреації. Натепер вищеозначена водойма функціонує лише з метою рекреації.

Нині основним джерелом забруднення Журавлівської водойми є поверхневий стік, який містить різні види забруднюючих речовин з урбанізованих територій та скиди зворотних вод підприємствами комунального господарства. З усіх боків Журавлівської водойми проходять міські автотранспортні шляхи, що негативно впливає на водойму через змив забруднюючих речовин. Оподи змиваються з доріг та паркувань, мають у своєму складі нафтопродукти (мастила, бензин, дизельне паливо), важкі метали та мікропластик, які потім потрапляють у водойму. У зимовий період використовуються реагенти та солі, які застосовують для таїння льоду, що також потрапляють у водойму. Вихлопні гази містять токсичні сполуки, які осідають на земній поверхні і потім змиваються у водойму.

Наземні роботи призводять до забруднення водоймища будівельним сміттям, пилом і осадовими частинками, які погіршують якість води. Поблизу СТО й автомайок можливі нелегальні скидання технічних рідин (антифризи, мастило, миючі засоби), що призводить до хімічного забруднення водойми.

У результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень улітку 2024 р. токсичні властивості було визначено в усіх зразках поверхневих вод, які було відібрано із Журавлівської водойми (у створах Квітучий міст; вул. Нескорених, міст; плавбаза Клубу моряків; Журавлівська гребля) (рис. 1).

Улітку у створах Квітучого моста; вул. Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків було визначено 2 клас якості води – вода слабко забруднена, а у створі Журавлівської греблі – 3 клас якості води (вода помірно забруднена).

Восени 2024 р. у створі Квітучого моста було визначено 2 клас якості води – вода слабко забруднена; у створах вул. Нескорених (міст), плавбази Клубу моряків було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена, у створі Журавлівської греблі – 4 клас якості води (вода брудна).

Незадовільний стан якості зразків води в літній період пов'язаний з екстремально високими температурами повітря та води досліджуваного водного об'єкта. Тепла вода містить менше розчиненого кисню, що ускладнює дихання водних організмів і призводить до їх загибелі. У спекотні місяці відбувається розростання водоростей, активізується ріст кількості ціанобактерій через надлишок сонячного світла та поживних речовин (азоту та фосфору). Усе це призводить до процесів інтенсивної евтрофікації.

Літо 2024 р. було аномально спекотним, майже не було опадів, що призвело до зниження рівня води, а це спричинило збільшення концентрації забруднюючих речовин. Також улітку спостерігалось збільшення антропогенного навантаження через рекре-

Таблиця 1

Класифікація якості води за рівнями хронічної токсичності

Клас якості води	Ступінь забрудненості	Рівень хронічної токсичності, OT_x
I	чиста	1,0
II	слабко забруднена	1,1–2,0
III	помірно забруднена	2,1–4,0
IV	брудна	4,1–8,0
V	дуже брудна	більше 8,0

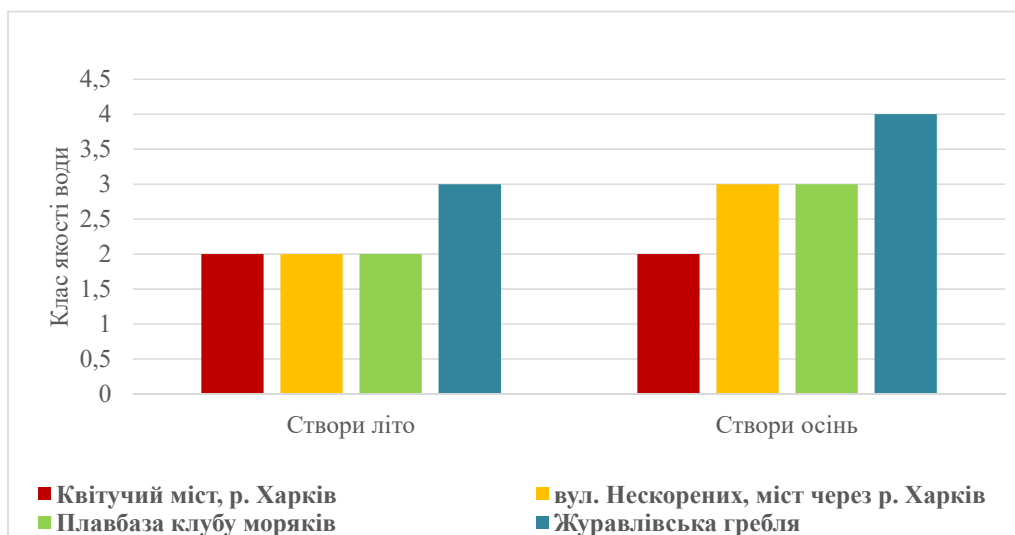


Рис. 1. Сезонна динаміка зміни хронічної токсичності у пробах води

ацію. Водойма частіше використовувалася для відпочинку, що призвело до потрапляння у водний об'єкт сміття, нафтопродуктів, побутової хімії й інших забруднювачів.

Також висока температура води забезпечує прискорене розкладання органіки на дні, спричиняє підняття мулу та вторинне забруднення води.

Восени процес погіршення якості води тривав, осінь 2024 р. також була аномально теплою та майже без опадів, що посилює процеси евтрофікації водойми, також додалися осінні явища, пов'язані з опалим листям і рослинністю. Листя, гілки й інші органічні речовини, що розкладаються, містять органічні кислоти, аміак і сірководень, які можуть підвищити токсичні властивості води. Також осіннє охолодження призвело до перемішування поверхневих і донних шарів води, що, можливо, сприяло підняттю накопичених за літо токсинів і шкідливих газів (сірководень, метан).

Обговорення. Біотестування дозволяє оперативно виявляти токсичність будь-яких хімічних речовин, зокрема нових, ще не зовсім вивчених, а також їх сумішей. Цей метод дає можливість виявити приховані екологічні впливи на початкових стадіях, визначити біологічну доступність небезпечних речовин, що неможливе за допомогою традиційного хімічного аналізу. Біотестування забезпечує ефективне й економічно вигідне оцінювання впливу різних речовин на живі організми. За допомогою біотестування можна контролювати якість води водних об'єктів, виявляти навіть мінімальний вміст шкідливих речовин.

Використання біотестів допомагає прогнозувати довгострокові наслідки впливу забруднювачів на екосистему, дозволяє оцінити кумулятивний вплив різних забруднювачів, виявити їхній синергетичний ефект.

Біотестування – це цінний інструмент для наукових досліджень, що дозволяє отримувати точні дані про вплив довкілля й антропогенної діяльності людини на організми.

Висновки. Основною проблемою, яка впливає на якість води в Журавлівській водоймі, є зміна гідрологічного режиму р. Харків та значне зменшення водності річки, яке пов'язане зі зміною кліматичних показників, які спостерігаються останнім часом. Це призводить до прискорення цвітіння водоростей. Тепла вода створює сприятливі умови для розмноження синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), які виділяють токсини та знижують рівень кисню у воді. Це призводить до масової загибелі риби та погіршення якості води. Також у разі підвищення температури розчинність кисню у воді зменшується, що негативно впливає на водні організми та сприяє утворенню зон із низьким вмістом кисню (зони гіпоксії). Тепла вода сприяє збільшенню бактерій і патогенів, що ускладнює її очищення, робить водоймище менш придатним для рекреаційного використання.

Тривалі посухи, які спостерігались у 2024 р., призводять до зниження рівня води, що збільшує концентрацію забруднюючих речовин, як-от сольові розчини, пестициди та промислові відходи. Скорочення обсягу води прискорює процес її застою та замулювання.

З підвищенням температури виникає ризик поширення інвазивних видів рослин і тварин, які можуть витіснити місцеву флору і фауну, погіршувати екологічний стан водойми.

Також останнім часом спостерігається зміна сезонних режимів водоймища. Укорочений період замерзання взимку порушує природні біологічні цикли водойми, що призводить до нестабільності екосистеми та прискореного розмноження мікроорганізмів. Рання весняна повінь призводить

до швидкого танення снігу, що може збільшити навантаження на водоймище через приплив забрудненої води.

Отже, глобальне потепління становить серйозну загрозу якості води Журавлівської водойми, яка потребує комплексних заходів, серед яких можемо запропонувати поліпшення систем очищення зливових стоків, озеленення берегової лінії для запобігання ерозії, контроль за викидами промислових і побутових стоків, регулярний моніторинг токсичних властивостей води.

Список використаної літератури

ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 1076:2000, MOD). 22 с.

Крайнюкова А.М., Крайнюков О.М., Кривицька І.А. Використання методик біотестування для оцінювання екологічного стану поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2021. № 24. С. 103–116.

Besse J.P., Geffard O., Coquery M. Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2012. Vol. 36. P. 113–127.

Brack W., Ait-Aissa S., Burgess R.M., Busch W., Creusot N., Di Paolo C., Krauss M. Effect-directed analysis supporting monitoring of aquatic environments – an in-depth overview. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 544. P. 1073–1118.

Chai Q., Hu A., Qian Y., Ao X., Liu W., Yang H., Xie Y.F. A comparison of genotoxicity change in reclaimed wastewater from different disinfection processes. *Chemosphere*. 2018. Vol. 191. P. 335–341.

Crane M., Burton G.A., Culp J.M., Greenberg M.S., Munkittrick K.R., Ribeiro R., St-Jean S.D. Review of aquatic in situ approaches for stressor and effect diagnosis. *Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal*. 2007. Vol. 3. № 2. P. 234–245.

Jia A., Escher B., Leusch F., Tang J., Prochazka E., Dong B., Snyder E., Snyder S. In vitro bioassays to evaluate complex chemical mixtures in recycled water. *Water Research*. 2015. Vol. 80. P. 1–11.

Kim S.D., Cho J., Kim I. S., Vanderford B.J., Snyder S.A. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Research*. 2007. Vol. 41. № 5. P. 1013–1021.

Leusch F.D.L., Khan S.J., Gagnon M.M., Quayle P., Trinh T., Coleman H., Rawson C. Assessment of wastewater and recycled water quality: A comparison of lines of evidence from in vitro, in vivo and chemical analyses. *Water Research*. 2014. Vol. 50. P. 420–431.

Persson L., Carney Almroth, B.M., Collins C.D., Cornell S., De Wit C.A., Diamond M.L., Hauschild M.Z. Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental science & technology*. 2022. Vol. 56. № 3. P. 1510–1521.

Petala M., Samaras P., Kungolos A., Zouboulis A., Papadopoulos A., Sakellaropoulos G.P. The effect of coagulation on the toxicity and mutagenicity of reclaimed municipal effluents. *Chemosphere*. 2006. Vol. 65. № 6. P. 1007–1018.

Reid A.J., Carlson A.K., Creed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T., Cooke S.J. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological reviews*. 2019. Vol. 94. № 3. P. 849–873.

Sjerps R.M.A., Vughs D., Leerdam J.A., Laak T.L., Wezel A.P. Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS. *Water Research*. 2016. Vol. 93. P. 254–264.

Sun Y., Wu Q., Hu H., Tian J. Effect of ammonia on the formation of THMs and HAAs in secondary effluent chlorination. *Chemosphere*. 2009. Vol. 76. № 5. P. 631–637.

Vieno N.M., Tuhkanen T., Kronberg L. Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*. 2006. Vol. 1134. № 1–2. P. 101–111.

Wang J., Tian Z., Huo Y., Yang M., Zhen, X., Zhang Y. Monitoring of 943 organic micropollutants in wastewater from municipal wastewater treatment plants with secondary and advanced treatment processes. *Journal of Environmental Sciences*. 2018. Vol. 67. P. 309–317.

Wei D., Kisuno A., Kameya T., Urano K. A new method for evaluating biological safety of environmental water with algae, daphnia and fish toxicity ranks. *Science of The Total Environment*. 2006. Vol. 371. № 1–3. P. 383–390.

Wepener V., Van Vuren J.H.J., Chatiza F.P., Mbizi Z., Slabbert L., Masola B. Active biomonitoring in freshwater environments: early warning signals from biomarkers in assessing biological effects of diffuse sources of pollutants. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2005. Vol. 30. № 11–16. P. 751–761.

References

DSTU 4173-2003. Jakistj vody. Vyznachannja ghostroji letaljnoji toksychnosti na Daphnia magna Straus ta *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) [Water quality. Determination of acute lethal toxicity to *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea)] (ISO 6341:1996, MOD). 17 p. [in Ukrainian].

Krainsiukova, A.M., Krainsiukov, O.M., & Kryvyckyja, I.A. (2021). Vykorystannja metodyk biotestuvannja dlja ocinjuvannja ekologichnogho stanu poverkhnevyykh vod [The use of biotesting techniques to assess the ecological status of surface waters]. *Visnyk Kharkivskogho nacionalnogho universytetu imeni V.N. Karazina. Serija "Ekologhija" [Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin. Series "Ecology"]*. 24, 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09> [in Ukrainian].

Besse, J.P., Geffard, O., & Coquery, M. (2012). Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 36, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.04.004> [in English].

Brack, W., Ait-Aissa, S., Burgess, R.M., Busch, W., Creusot, N., Di Paolo, C., ... & Krauss, M. (2016). Effect-directed analysis supporting monitoring of aquatic environments – an in-depth overview. *Science of the Total Environment*, 544, 1073–1118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.102> [in English].

Chai, Q., Hu, A., Qian, Y., Ao, X., Liu, W., Yang, H., Xie, Y.F. (2018). A comparison of genotoxicity change in reclaimed wastewater from different disinfection processes. *Chemosphere*, 191, 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.024> [in English].

Crane, M., Burton, G.A., Culp, J.M., Greenberg, M.S., Munkittrick, K.R., Ribeiro, R., ... & St-Jean, S.D. (2007). Review of aquatic in situ approaches for stressor and effect diagnosis. *Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal*, 3 (2), 234–245. https://doi.org/10.1897/IEAM_2006-027.1 [in English].

Jia, A., Escher, B., Leusch, F., Tang, J., Prochazka, E., Dong, B., Snyder, E., Snyder, S. (2015). In vitro bioassays to evaluate complex chemical mixtures in recycled water. *Water Research*, 80, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.020> [in English].

Kim, S.D., Cho, J., Kim, I.S., Vanderford, B.J., Snyder, S.A. (2007). Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Research*, 41 (5), 1013–1021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.034> [in English].

Leusch, F.D.L., Khan, S.J., Gagnon, M.M., Quayle, P., Trinh, T., Coleman, H., Rawson, C. (2014). Assessment of wastewater and recycled water quality: A comparison of lines of evidence from in vitro, in vivo and chemical analyses. *Water Research*, 50, 420–431. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.056> [in English].

Persson, L., Carney Almroth, B.M., Collins, C.D., Cornell, S., De Wit, C.A., Diamond, M.L., ... & Hauschild, M.Z. (2022). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental science & technology*, 56 (3), 1510–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158> [in English].

Petala, M., Samaras, P., Kungolos, A., Zouboulis, A., Papadopoulos, A., Sakellaropoulos, G.P. (2006). The effect of coagulation on the toxicity and mutagenicity of reclaimed municipal effluents. *Chemosphere*, 65 (6), 1007–1018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.035> [in English].

Reid, A.J., Carlson, A.K., Creed, I.F., Eliason, E.J., Gell, P.A., Johnson, P.T., ... & Cooke, S.J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological reviews*, 94 (3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480> [in English].

Sjerps, R.M.A., Vughs, D., Leerdam, J.A., Laak, T.L., Wezel, A.P. (2016). Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS. *Water Research*, 93, 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.034> [in English].

Sun, Y., Wu, Q., Hu, H., Tian, J. (2009). Effect of ammonia on the formation of THMs and HAAs in secondary effluent chlorination. *Chemosphere*, 76 (5), 631–637. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.041> [in English].

Vieno, N.M., Tuhkanen, T., Kronberg, L. (2006). Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*, 1134 (1–2), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.08.077> [in English].

Wang, J., Tian, Z., Huo, Y., Yang, M., Zhen, X., Zhang Y. (2018). Monitoring of 943 organic micro-pollutants in wastewater from municipal wastewater treatment plants with secondary and advanced treatment processes. *Journal of Environmental Sciences*, 67, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.014> [in English].

Wei, D., Kisuno, A., Kameya, T., Urano, K. (2006). A new method for evaluating biological safety of environmental water with algae, daphnia and fish toxicity ranks. *Science of The Total Environment*, 371 (1–3), 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.038> [in English].

Wepener, V., Van Vuren, J.H.J., Chatiza, F.P., Mbizi, Z., Slabbert, L., & Masola, B. (2005). Active biomonitoring in freshwater environments: early warning signals from biomarkers in assessing biological effects of diffuse sources of pollutants. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (11–16), 751–761. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5704-2_2 [in English].

Отримано: 29.01.2025
Прийнято: 13.02.2025