

**О. М. Крайнюков**, д-р геогр. наук; **В. Д. Тімченко**  
(УКРНДІЕП)

## **ВПЛИВ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН ТОКСИЧНОЇ ДІЇ НА ПРЕДСТАВНИКІВ БІОТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

*У роботі представлено аналітичний огляд впливу специфічних хімічних речовин токсичної дії на представників основних ланок трофічного ланцюга водної екосистеми. Розглянуто у загальному вигляді реакції водної екосистеми на токсичний вплив.*

**Ключові слова:** хімічні речовини токсичної дії, основні ланки трофічного ланцюга водної екосистеми, шкідливий вплив, реакція водної екосистеми на токсичну дію.

**Стан проблеми.** Однією із важливих проблем у галузі охорони і раціонального використання водних ресурсів є розробка ефективних методів оцінювання антропогенного навантаження на поверхневі водні об'єкти з метою забезпечення стійкого функціонування водних екосистем, тому що за умов підтримання стабільного біотичного кругообігу можуть активно відбуватися процеси самовідновлення і самоочищення води.

Найнебезпечнішим різновидом антропогенного навантаження на поверхневі води є їх забруднення екологічно небезпечними хімічними речовинами, які здатні порушувати самоочисні і біопродукційні процеси, призводити до глибоких змін у структурно-функціональній організації біотичної складової водних екосистем.

Попереднім етапом оцінки рівня антропогенного навантаження на водні об'єкти є дослідження впливу забруднень на стан їх екосистем, який характеризується здатністю гідробіоценозу зберігати свої властивості завдяки притаманній йому мінливості та спроможності трансформувати середовище існування таким чином, щоб забезпечувати стійке функціонування екосистеми.

Основними джерелами забруднення водних об'єктів є скиди стічних вод підприємств різних галузей економіки, компонентний склад яких надзвичайно різноманітний. До водних об'єктів потрапляють сотні тисяч хімічних речовин, багатьом з яких притаманні токсичні властивості.

**Вплив хімічних речовин на водні організми.** Згідно з «Методикою...» [1] до специфічних хімічних речовин токсичної дії відносяться ртуть, кадмій, мідь, цинк, свинець, хром, нікель, миш'як, залізо, фториди, ціаніди, нафтопродукти, феноли, синтетичні поверхнево-активні речовини та ін.

Екологічна небезпека важких металів обумовлена їх властивістю чинити токсичну дію на водні організми у незначних концентраціях та спроможність до біоаккумуляції.

Основним середовищем міграції важких металів є водне. На відміну від органічних сполук, які підлягають процесам деструкції, важкі метали більш здатні до біоаккумуляції та перерозподілу між окремими ланцюгами водної екосистеми. Накопичуючись у водних організмах, важкі метали через свою консервативність знаходяться в живих тканинах необмежений час, викликаючи патологічні зміни, аж до загибелі організмів, а у подальшому з відмерлим планктоном осідають у донних відкладах, що призводить до вторинного забруднення води.

Токсичність важких металів для водних організмів залежить від форм їх існування у водному середовищі. Залежно від умов водного середовища, важкі метали можуть перебувати в різних ступенях окислення і входити до складу різноманітних неорганічних і металлоорганічних сполук, які можуть бути істинно розчинними, колоїдно-дисперсними або входити до складу мінеральних та органічних суспензій. Ряд металів здатні утворювати досить міцні комплекси з органічними сполуками. Такі комплекси є однією з найважливіших форм їх міграції у природних водах. Більшість комплексів є стійкими, тому вони здатні мігрувати в природних водах на значні відстані. У водному середовищі при переході у металокомплексні форми токсичність металів може змінюватись.

Джерелами забруднення природних вод важкими металами є стічні води підприємств гірничовидобувної, чорної і кольорової металургії, машинобудівних підприємств тощо.

Найбільш токсичними для водних організмів важкими металами є мідь, шестивалентний хром, кадмій, свинець і ртуть. Мідь гальмує розвиток синьозелених водоростей за концентрації  $0,001 \text{ мг/дм}^3$ , викликає загибель дафній за концентрації  $0,005 \text{ мг/дм}^3$ , загибель інфузорій – за  $0,008 \text{ мг/дм}^3$ ; середньолетальні концентрації міді для

риб знаходяться у межах  $0,002 \dots 0,005 \text{ мг/дм}^3$  [2, 3]. На процеси самоочищення води мідь впливає у концентрації  $0,01 \text{ мг/дм}^3$ .

Хром може існувати в тривалентній ( $\text{Cr}^{3+}$ ) і шестивалентній ( $\text{Cr}^{6+}$ ) формах. У біологічних об'єктах хром присутній переважно в тривалентній формі і бере участь у багатьох метаболічних процесах. Дані щодо токсичності хрому суперечні, очевидно, внаслідок того, що велике значення має валентність хрому, тип сполук, до яких він входить, і ряд інших чинників. Хром шестивалентний більш токсичний у порівнянні з тривалентним. Середня летальна концентрація шестивалентного хрому для дафній і риб складає  $0,02 \text{ мг/дм}^3$ , для циклопів –  $10,0 \text{ мг/дм}^3$ . Вміст хрому у воді в концентрації  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  затримує процеси самоочищення води [4]. Головними джерелами забруднення поверхневих вод хромом є стічні води виробництв машинобудування, металообробки, шкіряних підприємств тощо.

Високотоксичним для водних організмів є кадмій. У дафній зниження репродуктивної здатності відбувається за концентрації кадмію  $0,01 \text{ мг/дм}^3$ , на рибу токсичну дію чинить концентрація кадмію  $0,08 \text{ мг/дм}^3$ , бокоплавів гинуть за концентрації  $0,07 \text{ мг/дм}^3$ , молюски реагують на вміст кадмію у воді в концентрації  $0,09 \text{ мг/дм}^3$ . Кадмій акумулюється водними рослинами і тваринами. Вміст кадмію у різних водних організмах спостерігається в межах від 50 до 500 мкг/кг сухої маси [2, 4]. Забруднення природних вод кадмієм пов'язано з виробничою діяльністю підприємств гірничорудної, металургійної, хімічної промисловості, з виробництвом полімерів і металокераміки.

Ртуть існує у природі, головним чином, у розсіяному стані. Це єдиний метал, який за кімнатної температури являє собою рідину, однак вона може існувати у різних фізичних станах та хімічних формах. Окрім елементного стану, ртуть створює неорганічні й органічні сполуки. Із металоорганічних сполук найбільш токсичними є алкілртутні сполуки, в яких зв'язок ртуті і вуглецю є стійким, не руйнується у присутності води, кислот і лугів.

Ртуть, яка потрапила у воду водного об'єкта, зазвичай накопичується у донних відкладах. Подальша міграція ртуті супроводжується включенням до трофічного ланцюга водної екосистеми. Ланцюгом руху ртуті по трофічних ланках водної екосистеми є планктонні організми – ракоподібні – риби – птахи. Людина може включатись

у будь-яку трофічну ланку. В основному, це відбувається в результаті вживання риби у їжу. Найбільш високий вміст ртуті виявлено в організмі хижих риб. Ртуть токсична для фітопланктону, тому забруднення ртуттю води істотно знижує первинну продукцію водних об'єктів. Фіто- і зоопланктон акумулюють ртуть у широкому діапазоні концентрацій [2]. У навколишнє середовище ртуть надходить як з природних джерел, так і з джерел антропогенного походження. Головні антропогенні джерела: викиди в атмосферне повітря в процесі спалювання різних видів палива; скиди стічних вод промислових підприємств, в технологічному процесі яких використовуються ртуть та її сполуки; поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, на яких використовуються біоциди, що містять ртутні сполуки.

Свинець – один із найбільш розповсюджених і небезпечних важких металів. Він присутній у мікрокількостях практично повсюдно. Свинець традиційно використовують у хімічному машинобудуванні, атомній і військовій промисловості, для виготовлення електронно-променевих трубок і флуоресцентних ламп, у виробництві емалей, лаків, піротехнічних виробів, сірників, пластмас, в поліграфії та в інших галузях промисловості. Особливості розподілу і міграції свинцю у природних водах обумовлюються осіданням і комплексоутворенням з органічними і неорганічними сполуками. У зв'язку з цим вміст розчиненого у воді свинцю у більшості природних вод звичайно не перевищує 10 мкг/дм<sup>3</sup>.

Миш'як токсичний для гідробіонтів у концентраціях від 0,2 до 25,0 мг/л. Найбільш чутливими є риби. ГДК миш'яку для води рибогосподарських водних об'єктів – 0,01 мг/л [6].

Ціаніди являють собою групу сполук, токсичність яких залежить від рН середовища, зменшуючись з її підвищенням. Токсичний вплив ціанідів значно посилюється зі зниженням вмісту у воді кисню. Утворення комплексних ціанідів може підвищувати або знижувати токсичність води. Для риб летальною концентрацією є 0,05...0,2 мг/л ціаністого калію, для дафній – 0,4 мг/л  $\text{Cu}(\text{CN})_6$ , 2,5 мг/л  $\text{Fe}(\text{CN})_6$  і  $\text{K}_3\text{Cu}(\text{CN})_4$  [6].

Фториди також є токсичними для водних організмів. Порогові концентрації для риб залежать від температури та жорсткості води. У м'якій воді за температури 7,5 °С порогові концентрації фтору

становлять 5,9...7,5 мг/л. У жорсткій воді порогові концентрації підвищуються внаслідок утворення нерозчинних комплексів. Дафнії, черви, личинки комах менш чутливі до фтору. Летальні концентрації фтору для них становлять 136...450 мг/л [6].

Менш токсичними для водних організмів, у порівнянні з іншими важкими металами, є нікель і цинк. Середня летальна концентрація нікелю для дафній складає 1,9 мг/дм<sup>3</sup>, цинку – 0,07 мг/дм<sup>3</sup>, розвиток водоростей знижується на 80 % при концентрації цинку 2,4 мг/дм<sup>3</sup>, нікель у концентрації 2,0 мг/дм<sup>3</sup> пригнічує фотосинтез водоростей на 15 % [5, 6].

Починаючи з 50-х років минулого століття, в якості миючих засобів використовуються синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), які характеризуються багатьма шкідливими властивостями: вспінювання води, виникнення кисневого дефіциту, токсичність для водних організмів. Окрім того, фосфатні наповнювачі, які входять до складу синтетичних миючих засобів, потрапляючи у водні об'єкти, викликають їх евтрофування. СПАР є найбільш розповсюдженими забруднюючими речовинами поверхневих вод внаслідок їх широкомасштабного застосування в різних галузях господарства і відносяться до так званих «екологічно жорстких» речовин. На їх окислення витрачається велика кількість розчиненого кисню. Окрім опосередкованого негативного впливу, детергенти чинять також пряму токсичну дію на водні організми. Вони порушують функції біологічних мембран, що викликає жаберну кровотечу і задуху у риб та безхребетних тварин. У цілому СПАР важко асимілюються компонентами природного середовища і тому надзвичайно негативно впливають на стан водних екосистем.

До найбільш поширених і екологічно небезпечних речовин належать нафтопродукти. У поверхневій воді нафтопродукти надходять при перевезенні нафти водним шляхом, зі стічними водами підприємств нафтовидобувної, нафтопереробної, хімічної, металургійної та інших галузей промисловості. При надходженні нафтопродуктів у водні об'єкти їх основна маса зосереджується в плівці. По мірі віддалення від джерела забруднення нафтопродукти можуть знаходитись у різних формах – розчиненій, емульгованій, сорбованій на завислих речовинах і у донних відкладах. Внаслідок протікання

у водних об'єктах процесів випаровування, сорбції, біохімічного та хімічного окислення концентрація нафтопродуктів може істотно знижуватись, при цьому значним змінам підлягає їх хімічний склад. Найбільш стійкими вважаються ароматичні вуглеводні.

При потраплянні нафтопродуктів у водний об'єкт вода набуває специфічного смаку і запаху, змінюється її колір, рН середовища, погіршується газообмін з атмосферою. Нафтопродукти токсичні для водних організмів, особливо для личинкових стадій зоопланктону, негативно впливають на процес дихання моллюсків. Самоочищення води від нафти відбувається повільно. За сім діб вміст емульгованих нафтопродуктів у воді знижується при 20 °С на 40 %, а при 5 °С – лише на 15 %.

Шкідливий вплив на якість води і водні організми чинять також феноли та продукти їх розпаду. У складі фенолів визначається велика кількість компонентів, переважаючими з яких є крезолі, гваякол, ксиленоли, пірокатихін тощо. Гваякол надає неприємний смак м'ясу риб та інших водних організмів при концентрації у воді 0,08 мг/дм<sup>3</sup>. Ксиленоли викликають загибель риб при концентраціях від 12 до 20 мг/дм<sup>3</sup> (для окуня, ляща, уклеї) до 50 мг/дм<sup>3</sup> (для лина, гольяна, коропа); загибель дафній – при концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup>, водоростей – при концентрації 40 мг/дм<sup>3</sup>. Пірокатехін також небезпечний для водної флори і фауни, він чинить токсичну дію на водорості при концентрації 6 мг/дм<sup>3</sup>, на дафній – 4 мг/дм<sup>3</sup>, викликає загибель риб при концентраціях від 5 до 30 мг/дм<sup>3</sup> [7].

До найбільш екологічно небезпечних хімічних сполук належать пестициди, які застосовуються для боротьби з різними шкідливими організмами і мають відповідну назву: акарициди, інсектициди, бактерициди, гербіциди, фунгіциди, лімбацити, нематоциди, ларвіциди та інші. У цю групу речовин зазвичай включають також антисептики, які застосовуються для запобігання руйнуванню мікроорганізмами різних матеріалів, а також речовини, що вживаються для видалення листя з рослин (дефоліанти).

Надзвичайно токсичними для водних організмів є хлорорганічні пестициди (ДДТ та його метаболіти, гексахлорциклогексан, гепта-хлор, альдрин, пропанід та ін.) через їх високу стійкість до впливу

різних абіотичних факторів та властивість до біоаккумуляції. Гостра токсична дія цих речовин на водні організми проявляється в концентраціях  $10^{-3}$ - $10^{-12}$  мг/дм<sup>3</sup>. Введення в кругообіг речовин біосфери хлорорганічних пестицидів призвело до їх накопичення в планктонних і донних водних організмах, зокрема, в органах і тканинах риб та молюсків, що створило ризик для здоров'я людини через передачу пестицидів по трофічних ланцюгах. Фосфорорганічні пестициди (метафос, карбофос, рогор, хлорофос та інші) є менш токсичними у зв'язку з їх відносно малою хімічною та біологічною стійкістю. Основним джерелом надходження пестицидів у навколишнє середовище, зокрема у водні об'єкти, є поверхневий стік талих, дощових і ґрунтових вод із сільськогосподарських угідь, при обробці полів пестицидами за допомогою авіації та при недбалому транспортуванні їх водним транспортом, а також при зберіганні. Пестициди можуть вноситись у водні об'єкти зі стічними водами промислових підприємств, які виробляють пестициди [8].

**Загальні принципи реагування водної екосистеми на токсичний вплив.** Наведені дані щодо впливу хімічних речовин на життєдіяльність водних організмів свідчать про те, що їх надходження до водних об'єктів створює небезпеку для біотичної складової водних екосистем, внаслідок чого знижується біопродуктивність, порушуються процеси самоочищення, погіршується якість води.

Потрапляючи у водні об'єкти, токсичні речовини частково розчиняються у воді, частково інактивуються, вступаючи у взаємодію між собою, а також можуть утворювати нові сполуки, більш токсичні, ніж вихідні. Значна частина токсикантів адсорбується завислими речовинами та осідає на дно, де накопичується в донних відкладах.

Незалежно від природи токсикантів, при їх надходженні у водні об'єкти реакція водної екосистеми на токсичний вплив розвивається в трьох основних напрямках [9]:

- коливання основних біологічних показників стану екосистеми навколо деяких середніх величин без істотних порушень структури біоценозів і глибокої кисневої депресії;
- докорінна перебудова екосистеми, що виражається, насамперед, у зміні структури, складу біоценозів і домінантних видів,

тобто відбувається зміна і видове поновлення біоценозу водної екосистеми;

- повна структурно-функціональна дезорганізація екосистеми: руйнування основних трофічних ланок біоценозу, зменшення первинної продукції, різке зростання деструкції, киснева депресія, масова загибель тварин, різке зниження чи припинення самоочисних процесів.

Сучасний рівень антропогенного забруднення поверхневих вод обумовлює необхідність отримання даних щодо ступеня порушення властивостей і функцій біотичної складової водних екосистем в умовах впливу хімічних речовин токсичної дії. Для зазначених цілей найбільш ефективним визнано екотоксикологічний метод, за допомогою якого визначають загальну токсичність води. Цей показник характеризує здатність води призводити до патологічних змін життєдіяльності або загибелі водних організмів.

## **Висновки**

Стійке функціонування водних екосистеми може бути забезпечено за умов стабільного біотичного кругообігу при активному протіканні процесів самовідновлення і самоочищення води. До поверхневих водних об'єктів потрапляють сотні тисяч хімічних речовин, багатьом з яких притаманні токсичні властивості.

До специфічних хімічних речовин токсичної дії відносяться ртуть, кадмій, мідь, цинк, свинець, хром, нікель, миш'як, залізо, фториди, ціаніди, нафтопродукти, феноли, СПАР, пестициди та інші.

Внаслідок надходження у поверхневі водні об'єкти токсичних хімічних речовин порушується нормальне функціонування водних екосистем, знижується активність процесів самовідновлення, погіршується якість води. Екологічно небезпечні хімічні речовини накопичуються в органах і тканинах водних організмів, що створює ризик для здоров'я людей.

Незалежно від природи токсикантів, реакція біотичної складової водної екосистеми може розвиватися в трьох основних напрямках: без істотних порушень структури біоценозів; у зміні структури біоценозів і складу домінантних видів; повної структурно-функціональної дезорганізації екосистеми, руйнування її основних ланок трофічного ланцюга.



Найбільш поширеним і ефективним методом оцінювання ступеня порушення функцій екосистеми в умовах токсикогенного навантаження є біотестування.

1. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк, А. В. Яцик та інші – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.
2. Коновалов Ю. Д. Реакция белоксинтезирующей системы рыб на наличие в их организме катионов ртути, кадмия, меди, цинка / Ю. Д. Коновалов // Гидробиол. журнал. – 2001. – № 1. – С. 95-105.
3. Линник П. Н. Оценка токсичности форм меди в природных водах методом биотестирования в сочетании с хемилюминесцентным определением концентрации свободных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  / П. Н. Линник, Э. П. Щербань // Экологическая химия. – 1999. – № 3. – С. 168-176.
4. Rehwoldt R. Bull. Environment. Contamin. Toxicology/ R. Rehwoldt, L. Laskc. – 1973. – Vol. 10. – No. 5. – P. 291.
5. Грушко Я. М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах / Я. М. Грушко. – М.: Медицина, 1972. – 175 с.
6. Грушко Я. М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах / Я. М. Грушко. – Л.: Химия, 1979. – 160 с.
7. Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах / Я. М. Грушко. – Л.: Химия, 1976. – 128 с.
8. Брагинский Л. П. Персистентные пестициды в экологии пресных вод / Л. П. Брагинский, Ф. Я. Комаровский, А. И. Мережко. – Киев: Наукова думка, 1979. – 141 с.
9. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень / за ред. І. Т. Олексіва та Л. П. Брагінського. – Львів: Світ, 1995. – 437 с.

**Крайнюков А. Н., Тимченко В. Д. ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ БИОТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

*В работе представлен аналитический обзор влияния специфических химических веществ токсического действия на представителей основных звеньев трофической цепи водной экосистемы. Рассмотрены в общем виде реакции водной экосистемы на токсическое воздействие.*

**Ключевые слова:** *химические вещества токсического действия, основные звенья трофической цепи водной экосистемы, вредное воздействие, реакция водной экосистемы на токсическое воздействие.*

**Krainiukov A. N., Timchenko V. D. EXPOSURE TO CHEMICALS TOXIC EFFECT ON THE REPRESENTATIVES OF THE BIOTIC COMPONENT OF AQUATIC ECOSYSTEMS.**

*In work the state of the art review of influence of specific chemicals of toxic effect on representatives of the main links of trophic links of a water ecosystem is carried out. Are presented in general view of the direction of reaction of water ecosystem to toxic influence.*

**Key words:** *chemical toxic effect, main elements of the aquatic ecosystem, adverse effects, aquatic ecosystem response to toxic effects.*