

БІОТЕСТУВАННЯ ЯК МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПИТНИХ ВОД

Актуальність досліджень, спрямованих на поліпшення якості питних вод, не викликає сумнівів. Надзвичайно важливою є розробка методів їх ретельного і більш досконалого контролю. Для екотоксикологічної діагностики питного водопостачання дедалі частіше застосовують біотестування, де за допомогою набору тест-організмів та їхніх клітин оцінюють різні типи токсичності водного середовища. Біотестування, поєднане з хімічним і мікробіологічним методами, дає найбільш об'єктивну характеристику якості питних вод.

В Інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України розроблено комплексний підхід до оцінки безпечності питних вод. Різні типи їх токсичності науковці вивчають як на організмовому, так і клітинному рівнях, причому на кожному з них використовують методи, що дають змогу отримати комплексну оцінку токсичної дії водного середовища. Зокрема, стосовно цілісного організму аналізують реакції представників різних систематичних груп і трофічних рівнів (гостра і хронічна токсичності); щодо клітини — структурні та функціональні зміни геному (гено- і цитотоксичність) [1, 2].

Такий підхід було розвинено у низці практичних досліджень, наприклад, з оцінки якості питних фасованих вод [3–5]. За результатами комплексного аналізу 30-ти найпоширеніших в Україні марок фасованих вод методами біотестування не виявлено гострої токсичності як для тваринних, так і рослинних тест-організмів більшої частини проаналізованих зразків. У хронічних експериментах, навпаки, практично всі води виявили токсичні властивості. Більше того, три чверті питних фасованих вод вірогідно збіль-

шували частоту ядерних порушень у клітинах тест-організмів, тобто спричинювали генотоксичні ефекти. Результати дослідження показали, що біотестування доцільно застосовувати для комплексної оцінки якості питних, у тому числі фасованих вод, одночасно зі стандартними хімічними та мікробіологічними методами.

Важливість проведених досліджень як у теоретичному, так і практичному аспектах беззаперечна. Одним із підтверджень цього є міжнародний резонанс на публікацію результатів.

У «Віснику НАН України» (№3 за 2005 р.) надруковано ґрунтовну статтю, в якій узагальнювалися дослідження з біотестування вітчизняних фасованих вод, здійснені вченими Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Тому пропонуємо увазі читачів відгуки провідних зарубіжних фахівців на ці новаторські розробки. Матеріали надали редакції директор інституту академік НАН України **В.В. Гончарук** і завідувач лабораторії біомаркерів і біотестування цієї установи кандидат біологічних наук **В.В. Архипчук**.

Доктор Джілл Фоджет (Dr. Gilles Forget, International Development Research Centre, Ottawa, Canada), керівник відділу екосистемних підходів до здоров'я людини Міжнародного центру сприяння науковим дослідженням (Канада):

«У розглянутих мною роботах порушено важливу проблему використання методів біотестування для аналізу якості питних вод, тобто вод з низьким рівнем забруднювальних речовин. Отримані Вами результати доводять ефективність вимірювання токсичності води за допомогою батареї тест-організмів (Ваша батарея подібна до тієї, яка використовувалася у міжнародній програмі Water-Tox, здійсненій за підтримки Міжнародного центру сприяння науковим дослідженням у восьми країнах, зокрема в Україні) і набору тестів на генотоксичність.

Інша проблема пов'язана з екстраполяцією результатів, одержаних на тваринних і рослинних біотестах щодо токсичності питних вод, на організм людини, з оцінкою ступеня ризику цих вод для її здоров'я. Для обговорення цього питання пропоную кілька тез.

1. Безумовно, існує різниця в екстраполяції результатів, отриманих у дослідах на тваринах, залежно від того, що є основним завданням: з'ясування фізіологічних механізмів чи аналіз токсичності? Наприклад, результати випробування на мишах (це вже відомі факти) нових лікарських препаратів проти ракових захворювань і хвороби Альцгеймера, часто не відповідали тим ефектам, які згодом спостерігали у людини. Отже, подібні дослідження — для отримання об'єктивних висновків — необхідно виконувати і на інших тваринних тест-організмах.

Вагомим аргументом на користь Ваших досліджень є використання батареї тест-організмів різних трофічних рівнів. Такий підхід дає змогу уникати наведених вище невідповідностей. Церіодафнія і гідра належать до класів, які значно різняться між собою; до того ж вивчення генотоксичності на клітинному рівні має універсальний для всього живого харак-

тер. Отже, виявлені Вами ефекти обґрунтовані, оскільки вони отримані та відтворені на тест-організмах, які належать до еволюційно дуже різних таксономічних підрозділів.

2. Тести на генотоксичні та мутагенні речовини виконуються на бактеріях! Тест Еймса чи його модифікації, універсальні й загально-визнані для цих цілей, тому ніхто не заперечує їхні результати через те, що бактерії еволюційно дуже далекі від людини. Характерна деталь даного тесту — це можливість вимірювати ефекти на клітинах або організмах.

3. Я можу назвати низку країн, де біотести є провідними у тестуванні якості води. Уряди Чилі, Мексики та Аргентини, тих країн, які брали участь у міжнародній програмі Water-Tox, готують уведення батареї біотестів Water-Tox у національні стандарти.

Важливо підкреслити, що чутливість тест-організмів, зокрема включених до батареї Water-Tox, може бути недостатньою для вимірювання дуже низьких концентрацій токсичних речовин, які забруднюють питні води. Один із варіантів розв'язання цієї проблеми — введення процедури концентрації водних зразків перед їх біотестуванням.

4. Ще одним доказом ефективності запропонованого Вами підходу може слугувати порівняння результатів біотестування і хімічного аналізу. Проте слід урахувати, що батарея біотестів має перевагу при вимірюванні загальної токсичності суміші речовин, які окремо можуть існувати в мізерних концентраціях і не справляти шкідливого впливу, але у суміші, завдяки синергічному ефекту, бувають дуже токсичними. Оскільки у Ваших дослідженнях фасованих вод біотести виявили гостру і хронічну токсичність, імовірно, рівень їхнього забруднення був достатньо високим».

Професор Гвідо Персун (Prof. Guido Persoone, Ghent University, Belgium). Університет м. Гента (Бельгія), директор MicroBiotests Inc.:

«Проблема якості питних вод була центральною на двох недавніх симпозиумах, у яких я брав участь, — на Міжнародному симпозиумі

з аварійного забруднення вод у м. Манчестері (Велика Британія) і 12-му Міжнародному симпозиумі з методів оцінки токсичності в м. Скіатосі (Греція). Учасники цих форумів досягли консенсусу щодо ролі біотестування в оцінці якості води: біотести є цілком комплексним засобом стосовно хімічного аналізу питної води, оскільки вони виконують функцію «вартового собаки» («watching dog»), сигналізуючи про наявність у водному середовищі «небажаних» хімічних речовин. У разі виявлення ефекту біологічними методами, за допомогою хімічного аналізу слід з'ясувати його причину, тобто речовину та її концентрацію, визначити, наскільки вона небезпечна у такій концентрації для організму людини. Звичайно, характер зв'язку між сигналами, які подають біотести, і негайною чи довготривалою небезпечкою для людини потребує ретельного вивчення. Наприклад, не слід очікувати, що цей зв'язок буде прямим. Адже відомо, що біотести дуже часто чутливіші, ніж людина, до окремих речовин і сполук, тому пряма кореляція може виявитися за досить високих концентрацій шкідливих хімічних речовин.

Я, звісно, схвалюю виконану Вами роботу щодо розв'язання такої важливої проблеми, оскільки біотестування є простим й ефективним засобом виявлення «небажаних» речовин у питній воді. Проте для остаточного висновку про небезпечність такої води для людини необхідний і хімічний аналіз. На мою думку, тест на токсичність з метою визначення ступеня небезпечності водного зразка для людини слід проводити за такою схемою: біотестування → у разі отримання сигналу → хімічний аналіз → якщо концентрація шкідливої речовини порівнянна з ГДК → акція, тобто вживаються відповідні заходи».

Доктор Джейрід Фіскесжу (Dr. Geirid Fiskesjo, Lund University, Sweden). Університет м. Лунда (Швеція):

«Протягом багатьох років, досліджуючи якість вод, зокрема питних, методами біотес-

тування, у тому числі застосовуючи макро- і мікроскопічні параметри цибулі звичайної (*Allium* тест), я переконалася у корисності й ефективності біологічного підходу. Тому мені незрозумілі якісь сумніви щодо його використання: які можуть виникати труднощі і проблеми? Адже розроблено і застосовуються на практиці дуже багато тестів як системи раннього попередження (EASY tests). І я тільки б вітала рішення Вашої місцевої влади ввести біологічні методи оцінки до стандартів.

Щодо проблеми екстраполяції результатів біотестування на організм людини, то її обговорюють уже тривалий час. Я впевнена, що у Вас знайдеться достатня кількість посилань на статті, де виявлено кореляцію між різними системами. У своїх роботах я також підтверджувала подібний зв'язок. Наприклад, досліджуючи парацетамол у невисоких концентраціях, я виявила хромосомні порушення у клітинах цибулі; пізніше вчений з Осло підтвердив мої результати на клітинах ссавців. Вивчаючи органічну ртуть, я спостерігала подібні ефекти на чотирьох різних системах.

Загалом будь-який рослинний і тваринний біотест можна використати для оцінки хімічного забруднення водного середовища. Хімічний аналіз недостатній із простої причини: ви не зможете хімічно протестувати тисячі речовин, які забруднюють воду. А застосовуючи біотестування, ви можете знайти те, що спричинює шкідливий ефект у водному середовищі.

Наведу приклад з особистої практики. В 1985 р. я вивчала стічні води одного хімічного підприємства. Місцева влада просила дослідити ці стоки тільки за допомогою простого хімічного тестування, яке входить до офіційних стандартів. Але стоки містили феноксиоцтову кислоту та її похідні, а вони стандартами не визначалися. У цьому районі запах води був неприємним, люди і тварини хворіли. І лише біотест на цибулі чітко засвідчив незадовільний стан водного середовища. Ці дані опубліковані.

І на завершення: перспективним є комплексне біотестування за допомогою батареї біо-

тестів. На мою думку, генотоксичність і мутагенність — більш небезпечні характеристики, ніж просто токсичність води. Необхідно враховувати всі параметри, розробляючи повноцінну програму аналізу якості води».

Доктор Крістіан Блейз (*Dr. Christian Blaise, St. Lawrence Centre, Environment Canada, Montreal, Canada*), провідний фахівець Сент-Лоуренського центру при Агентстві з охорони навколишнього середовища (Канада):

«Ідея використання біотестів для оцінки якості питних вод заслуговує найсерйознішої підтримки. Чутливість і релевантність біологічних тестів — це важливі критерії і, наприклад, хронічний тест з гідрою має такі властивості. Як модель тваринного тест-організму гідра показала дуже високу відповідність у порівнянні результатів дослідження тератогенних сполук, отриманих на мишах і щурах, підтверджуючи тим самим доцільність свого використання в оцінці ризику водних зразків для здоров'я людини (результати роботи, виконаної Е.М. Johnson у 80-ті роки). Отже, застосування хронічного тесту з гідрою для оцінки якості питних вод цілком обґрунтоване. Мій висновок: біоаналітичний критерій має бути в системі оцінок безпечності води, яку споживають люди».

У низці наукових публікацій провідні зарубіжні фахівці обґрунтовують важливу роль біотестування для об'єктивної оцінки якості води. Зокрема, Такаші Кусуї (Японія) підкреслює, що існуючі і зростаюча кількість створюваних хімічних речовин потребують екоотоксикологічної характеристики — з метою оцінки їхнього ризику для здоров'я людини [6]. Як засвідчує практика, японські стандарти на специфічні хімічні речовини недостатні за сучасних умов, необхідна комплексна оцінка з використанням біотестів і отриманням токсикологічних даних. Тому в Японії розробляють законодавчі акти, що передбачають біотестування всіх речовин, які вже надійшли і надходять на ринок країни: «premarketing and postmarketing risk assessments».

На основі дослідження питних вод, отриманих за різними технологіями хлорування, італійські та американські фахівці рекомендують спільне використання біотестування і хімічного аналізу, оскільки їхні результати не корелюються між собою [7]. Автори підкреслюють необхідність комплексного біотестування, що включає тест-організми (біотести) різних трофічних рівнів (прокаріоти й еукаріоти) та різні тести на генотоксичність і мутагенність (біомаркери). Результати, отримані за допомогою такого комплексного тестування, дають детальний і ширший профіль токсичних і генотоксичних сполук, що впливають на здоров'я людей, котрі споживають хлоровану питну воду.

Отже, як висловлювання, так і публікації зарубіжних фахівців щодо оцінки якості питних вод однозначно засвідчують на необхідність використання біологічних методів, зокрема біотестів і біомаркерів, разом зі стандартними хімічними підходами. Це потрібно для об'єктивної та всебічної характеристики різних типів токсичності цих вод, а отже, визначення ступеня їхнього ризику для здоров'я людини.

1. *Архипчук В.В., Малиновская М.В.* Применение комплексного подхода в биотестировании природных вод // Хімія і технологія води. — 2000. — **22**. — № 4. — С. 428–443.
2. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* Биотестирование качества воды на клеточном уровне // Там само. — 2001. — **23**. — № 5. — С. 531–544.
3. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* Проблемы качества питьевых бутылированных вод // Там само. — 2004. — **26**. — № 4. — С. 403–414.
4. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* Оценка качества питьевых бутылированных вод методами биотестирования // Там само. — 2004. — **26**. — № 5. — С. 485–525.
5. *Гончарук В.В., Архипчук В.В., Терлецька Г.В., Корчак Г.І.* Комплексна оцінка якості фасованих вод // Вісн. НАН України. — 2005. — № 3. — С. 47–58.
6. *Kusui T.* Japanese application of bioassays for environmental management // Scientific World Journal. — 2002. — **2**. — P. 537–541.
7. *Guzzella L., Monarca S., Zani S., Feretti D., Zerbini I.* In vitro potential genotoxic effects of surface drinking water treated with chlorine and alternative disinfectants // Mutat. Res. — 2004. — **564** (2). — P. 179–193.