

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

ВЕРГОЛЯС МАЙЯ РОЗМЕТІВНА

УДК 574.522:576.8:591.8

**ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ
ВОДИ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ УКРАЇНИ**

03.00.16 «Екологія»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ПВНЗ «Міжнародна академія екології та медицини» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник,
Дмитруха Наталія Миколаївна,
ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва
НАМН України», лабораторія промислової
токсикології і гігієни праці при використанні хімічних
речовин, провідний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук,
член-кореспондент НАН України, професор
Євтушенко Микола Юрійович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України,
кафедра гідробіології та іхтіології, професор

доктор біологічних наук,
член-кореспондент НАН України, професор
Стойка Ростислав Стефанович,
Інститут біології клітини НАН України, відділ
регуляції проліферації клітин та апоптозу, завідувач

доктор біологічних наук, професор
Федоненко Олена Вікторівна,
Дніпровський національний університет імені Олеся
Гончара, кафедра загальної біології та водних
біоресурсів, професор

Захист відбудеться «20» грудня 2019 року о 10-00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.04 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України за адресою: 49010, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 72, біолого-екологічний факультет, ауд. 711.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Казакова, 8.

Автореферат розісланий «19» листопада 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук, доцент

А.О.Дубина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних умовах проблема забезпечення населення якісною питною водою стає все більш актуальною. Якість питної води визначається за багатьма факторами: природою джерела, регіональними особливостями ґрунтотворних порід і мінералів, ефективністю методів очищення та знезараження, ступенем антропогенного навантаження (хімічне або мікробне забруднення) (І. М. Трахтенберг, 2016). У багатьох регіонах земної кулі вже помітні значні проблеми з водозабезпеченням внаслідок кількісного та якісного виснаження й вичерпання водних ресурсів через їхнє нераціональне використання (С. В. Дудник, М. Ю. Євтушенко 2013; О. В. Федоненко, Н. Б. Єсіпова, Т. С. Шарамок та ін. 2008).

Відомо, що важливий внесок у добову забезпеченість організму макро- та мікроелементами робить питна вода. З питною водою людина отримує від 8 до 25% добової потреби мінеральних речовин (Ca – до 20%, Mg – 25%, F – 50-80%, I – до 50%). Цим обумовлений і характер біозасвоюваності певних хімічних елементів організмом людини (М.-Р. Savant, D. Перун, 2002, М. Г. Проданчук., І. В. Мудрий, В. І. Великий, 2006; F. Gil, A. F. Hernandez, C. Marquez, P. Femia, P. Olmedo, O. Lopez-Guarnido, A. Pla, 2011; І. М. Андрусишина, 2015).

Сьогодні водопровідна вода стає активним чинником шкідливого впливу на здоров'я людини й першопричиною виникнення багатьох небезпечних інфекційних і неінфекційних захворювань. За даними ВООЗ вода містить 13 тисяч токсичних елементів, понад 80% усіх захворювань передається через воду (В. О. Прокопов, О. М. Кузьмінець, В. А. Соболев, 2008; В. В. Никифиров, 2011; В. О. Прокопов 2014; І. М. Трахтенберг, 2016).

На жаль, класичні технології очищення води не тільки не виконують своє призначення, а й додатково забруднюють воду. Тому при розв'язанні цієї проблеми на рівні зміни інфраструктури водопостачання, яка передбачає виникнення нових форм водозабезпечення, у тому числі використання популярної сьогодні фасованої води, необхідним є постійний контроль якості питної води на всіх етапах водопідготовки та водопостачання. При цьому основними критеріями є значення концентрацій домішок, встановлені стандартами, та повноцінність складу води за макро- та мікроелементами (Руководство по обеспечению качества питьевой воды, 2004; І. М. Трахтенберг, 2019).

Дані, отримані з наукової літератури, свідчать про тісний зв'язок між мінеральним складом питної води та рівнем захворюваності населення. Встановлено, що тривале вживання питної води з жорсткістю понад 10 мг-екв/л (високий вміст Ca) призводить до патологічних змін з боку серцево-судинної та сечостатевої систем. Підвищений вміст у воді Fe негативно впливає на печінку та шкіру людини. Велика концентрація Ca, Sr, Si, Fe, Cl у воді корелює із захворюваністю на сечокам'яну хворобу (N. Mickleley, L. M. De Carvalho Fortes, C. I. Porto da Silveira, M. B. Lima, 2001; Г. К. Фетисова, 2004; М. Г. Проданчук., І. В. Мудрий, В. І. Великий, 2006; F. Gil, A. F. Hernandez, C. Marquez, P. Femia, P. Olmedo, O. Lopez-Guarnido, A. Pla, 2011).

Як відомо в організмі за дії несприятливих чинників навколишнього середовища виникають фізіологічні, генетичні, біохімічні, морфологічні та інші

зміни. Серед інтегральних показників, що дозволяють простежити порушення на різних рівнях функціонування організму, є показники периферичної крові. Використання гематологічних та біохімічних показників крові для моніторингу стану здоров'я людини відзначено в роботах багатьох авторів (Р. С. Стойка, С. И. Сушельницький, С. И. Кусень, 1989).

Сьогодні для контролю якості питної води використовують мікробіологічний аналіз та фізико-хімічні методи визначення органолептичних, санітарно-токсикологічних показників. При цьому провідними критеріями є значення концентрацій домішок, встановлені стандартами, та повноцінність складу води за макро- та мікроелементами.

Варіювання впливу води на споживача узалежнюється як комбінацією власне домішок, так і їх концентрацією, навіть за умов відповідності встановленим нормам. Також у воді можуть бути наявні біологічно впливові домішки, які не нормуються. Сучасні фізико-хімічні методи аналізу складу води не дають можливості вичерпно оцінювати якість води та прогнозувати комплексний вплив наявних речовин і структури води на біологічні об'єкти. Отже, оцінка якості води, що ґрунтується на гідрохімічних показниках, не може бути достатньою.

На жаль, в Україні не проводиться комплексний моніторинг якості природних і питних вод, що не гарантує їх безпечність для людини й інших живих істот. Отже, виникає потреба у розробці й використанні нових методів комплексної оцінки якості води та її можливого впливу на біологічні об'єкти. Таким методом є біотестування, яке повинно стати першим етапом у системі екологічної безпеки України й головним у визначенні можливих несприятливих наслідків впливу води на живі організми (В. В. Гончарук та ін., 2011; В. В. Никифиров, 2011; Н. М. Дмитруха, І. М. Андрусишина, 2015; І. М. Трахтенберг, В. В. Гончарук, 2016; А. В. Мокієнко, Н. Ф. Петренко та ін., 2017; В. О. Прокопов, 2016; І. М. Трахтенберг, 2019).

Усе викладене вище визначає актуальність обраного напрямку досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Пропонована розвідка виконувалась у межах науково-дослідної теми Міжнародної академії екології та медицини, а саме: «Впровадження сучасних технологій, організації висококваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги населенню з використанням міжнародного досвіду як формування екологічної безпеки країни в період економічної кризи» (державний реєстраційний номер 0118U006640). У межах науково-дослідної тематики Інституту колоїдної хімії та хімії води НАН України «Розробка нових підходів до оцінки та кондиціювання якості води», III-1-12 (державний реєстраційний номер 0112U000040); «Створення концепції управління біологічною активністю та фізико-хімічними властивостями води, у тому числі її ізотопним складом, при очищенні природних вод з урахуванням сучасних вимог до якості питної води», III-2-12 (державний реєстраційний номер 0112U000038). У дисертації узагальнено результати галузевих пріоритетних НДР НАМН України, які виконувались в ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН»: «Удосконалення методичних підходів контролю безпеки застосування нових пестицидів та інших хімічних речовин сільськогосподарського призначення» (державний реєстраційний номер 0113U001442); «Удосконалення методології

мультикомпонентного аналізу щодо пріоритетних забруднювачів виробничого середовища та довкілля» (державний реєстраційний номер 0116U000503).

Мета та завдання дослідження. *Мета дослідження* – наукове обґрунтування тест-моделей і показників біотестування для підвищення ефективності моніторингу якості та безпеки водного середовища.

Завдання дослідження, обумовлені поставленою метою, передбачали:

- узагальнити вітчизняний та міжнародний досвід щодо застосування методів і показників для оцінки якості водного середовища;
- оцінити можливість застосування різних біологічних тест-об'єктів для встановлення безпечності води;
- визначити стан цитогенетичних параметрів крові в гідробіонтів, дослідити залежність цих порушень від вмісту токсичних речовин у водному середовищі;
- встановити особливості токсичної дії води з різних джерел водопостачання за умови моделювання субхронічної інтоксикації у щурів;
- оцінити цитотоксичний ефект води з різних джерел водопостачання в дослідях *in vitro* на моделі культури клітин різного походження;
- провести аналіз показників комплексної оцінки якості води з використанням різних біологічних тест-об'єктів;
- обґрунтувати комплекс методів та показників біотестування для підвищення ефективності моніторингу якості водного середовища.

Об'єкт дослідження – біологічні тест-об'єкти різного рівня організації за умови експозиції водних розчинів різного походження в умовах *in vivo* та *in vitro*.

Предмет дослідження – цитологічні та цитогенетичні показники рослин, гідробіонтів, земноводних; гематологічні, біохімічні, імунологічні та гістологічні показники лабораторних тварин; життєздатність клітин у культурі за впливу води з різних джерел.

Методи дослідження: хіміко-аналітичні, цитологічні, токсикологічні, гематологічні, біохімічні, імунологічні, гістологічні, статистичні.

Наукова новизна отриманих результатів. *Уперше*:

- застосовано комплекс біологічних тест-моделей (рослини, гідробіонти, земноводні, теплокровні тварини, культура клітин) при дослідженні якості природних і питних вод та одержано нові дані, які дозволяють оцінити їх безпечність;
- встановлено негативний вплив води на морфометричні параметри, ріст і розвиток та цитогенетичні показники рослин (цибуля, пшениця, салат);
- доведено вплив токсичних речовин, що містяться у воді, на цитогенетичні показники клітин крові гідробіонтів та земноводних, запропоновано цитогенетичні та мутагенні критерії оцінки якості та безпечності водного середовища;
- в експерименті на щурах встановлено порушення біохімічних показників, імунологічної реактивності організму, гістологічні та морфофункціональні зміни внутрішніх органів залежно від хімічного складу води;
- у дослідях на культурі клітини *in vitro* встановлено цитотоксичну дію речовин, що містяться в питній воді централізованого і нецентралізованого водопостачання;

- обґрунтовано комплекс методів та показників біотестування для підвищення ефективності екологічного моніторингу якості водного середовища.

Практичне значення одержаних результатів.

Доведено доцільність використання комплексного біотестування (на тест-організмах різного рівня організації) з моніторинговою метою, що засвідчують експериментальні результати. Запропоновано біологічні критерії оцінки якості та безпечності води. Як інтегральний показник безпечності води запропоновано індекс загальної токсичності (ІЗТ), який дає змогу характеризувати її за категорією від «безпечної» до «дуже небезпечної».

За результатами досліджень отримано 4 патенти України на корисну модель: «Спосіб визначення генотоксичності водного середовища» (№ 201004569, 2011), «Спосіб визначення мутагенної активності питної води і культуральне середовище для його реалізації» (№ 201000606, 2011), «Спосіб підготовки біологічного об'єкта для визначення токсичності води» (№ 201012982, 2012), «Спосіб визначення цито- та генотоксичності питної води» (№ 201113123, 2014) та розроблено 2 Національні стандарти України: «Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо репю (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan)» (ДСТУ 7387:2013), «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» (ДСТУ 7527:2014).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі біології тварин факультету тваринництва та водних біоресурсів Національного університету біоресурсів і природокористування України; у навчальний процес на кафедрі природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту; у роботу державних установ: ДП «Український науково-дослідний інститут медицини транспорту Міністерства охорони здоров'я України»; ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені Л. І. Медведя» Міністерства охорони здоров'я України; ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва» Національної академії медичних наук України (лабораторія аналітичної хімії і моніторингу токсичних речовин); НУБіП «Українська лабораторія якості та безпеки продукції АПК».

Особистий внесок здобувача. Автором особисто проаналізовано вітчизняну й зарубіжну літературу за проблемою, визначено мету й поставлено завдання, обрано методичні підходи щодо проведення досліджень в умовах експериментів на лабораторних тваринах та альтернативних тест-системах в умовах *in vitro*. Ідею, щодо використання біологічних об'єктів при визначенні якості води сформовано разом з науковим консультантом. Автором самостійно виконано цитологічні, цитогенетичні, біохімічні й імунологічні дослідження, які включали: визначення показників крові в гідробіонтів, земноводних та теплокровних; дослідження цитотоксичних ефектів в умовах *in vitro*. Дисертантом самостійно здійснено аналіз первинного матеріалу, статистичну обробку результатів, проведено узагальнення результатів, сформульовано провідні положення дисертаційної роботи та висновки. Окремі дослідження було виконано на базі ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва» Національної академії медичних наук України, а саме: токсикологічні дослідження на базі лабораторії промислової токсикології і гігієни праці при використанні хімічних речовин під керівництвом академіка НАМНУ, члена-

кореспондента НАНУ Трахтенберга І. М.; хіміко-аналітичні дослідження складу питної води виконано у співпраці зі старшим науковим співробітником кандидатом біологічних наук Андрусишиною І. М.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи обговорювались під час доповідей на:

1. Міжнародних наукових форумах: Міжнародній науковій конференції «Достижения науки и передовые технологии по восстановлению засоленных земель и улучшению эксплуатации ирригационных сооружений» (Ашгабат, Туркменістан, 2011); III Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Вінниця, Україна, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології» (Одеса, Україна, 2012); Workshop: Cooperation in GreenTec with Eastern Europe Focussing Water Treatment (Hannover Fair, Germany, 2012); Workshop: Water Management Network – Membrane Technologies (Berlin, Germany, 2013); Міжнародній науковій конференції «Механізми функціонування фізіологічних систем» (Львів, Україна, 2014); Міжнародній науковій конференції «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху могущества и счастья» (Ашгабат, Туркменістан, 2015); Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (Київ, Україна, 2015); X Міжнародній науковій конференції «Фактори експериментальної еволюції організмів» (Київ, Україна, 2015); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы медицины» (Гомель, Беларусь, 2015); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки» (Київ, Україна, 2015); Міжнародній науковій конференції «Інноваційні підходи і сучасна наука» (Київ, Україна, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефекти радіації та інших ксенобіотиків на репродуктивну систему і організм (Долина, Івано-франківська обл., Україна, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (Київ, Україна, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы медицины» (Гомель, Беларусь, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «XV Чтения им. В. В. Подвысоцкого» (Одеса, Україна, 2016); XI Міжнародній науковій конференції «Фактори експериментальної еволюції організмів» (Київ, Україна, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Public health: problems and development priorities» (Острог, Україна, 2018); XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Ресурси природних вод карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання» (Львів, Україна, 2019); III Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водо підготовки», присвяченій 135-річчю НУХТ (Київ, Україна, 2019).

2. Національних та регіональних наукових форумах: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Екологія міст та рекреаційних зон» (Одеса, Україна, 2010); Науково-практичній конференції «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України», XI марзеєвських читаннях (Івано-Франківськ, Україна, 2015); VI Національному конгресі з біоетики (Київ, Україна, 2016); Науково-практичній конференції «Актуальні питання громадського здоров'я та

екологічної безпеки України», XIV марзєєвських читаннях (Київ, Україна, 2018); VII Національному конгресі з біоетики (Київ, Україна, 2019).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 64 наукових праці, у тому числі 22 статті – у наукових фахових виданнях, перелік яких затверджений МОН України (з них 5 – без співавторства), 4 патенти на корисну модель, розроблено та затверджено 2 стандарти загальнодержавного значення (ДСТУ)., розділи у монографії, 14 статей – у журналах та збірниках наукових праць, 21 – тези доповідей у збірниках матеріалів наукових форумів.

Структура дисертації. Дисертація викладена на 342 сторінках друкованого тексту. Основний текст, який містить 47 таблиці та 49 рисунків, викладено на 287 сторінках. Робота складається зі змісту, переліку умовних позначень, анотації, вступу, 7 розділів (аналітичний огляд літератури; матеріали та методи дослідження; 6 розділів результатів власних досліджень), аналізу та узагальнення результатів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел, який включає 407 джерела (з них 242 – кирилицею, 145 – латиницею) та 15 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СУЧАСНІ ДАНІ СТОСОВНО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ

Розділ присвячено аналізу даних літератури з проблеми екотоксикологічної оцінки якості води поверхневих і підземних джерел України за сучасних умов антропогенного забруднення. Узагальнено дані вітчизняних і зарубіжних авторів, обґрунтовано загальні характеристики основних забруднювачів водного середовища, їх дію на тест-об'єкти, а також висвітлено екологічні проблеми водокористування та якості води поверхневих і підземних джерел за сучасних умов, що зумовило вибір теми, мети та завдань наукового дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження, відображені в дисертації, здійснювались у кілька етапів: біотестування води на рослинах; оцінка безпечності води на гідробіонтах та земноводних; визначення токсичності вод з різних джерел водопостачання в субхронічному експерименті на щурах Вістар та дослідах *in vitro* на культурі клітин людини та тварин. Для дослідження впливу антропогенного забруднення на якість води зразки було відібрано з прісноводних водойм України – річок Десна та Дніпро в районі міста Києва: зразок № 1 – проба води з ріки Дніпро (район Гідропарк, м. Київ); зразок № 2 – проба води з ріки Дніпро (район Бортничі, м. Київ); зразок № 3 – проба води з ріки Десна (с. Хотянівка).

Біотестування на рослинах проводили на таких видах: цибуля *A. Сера*, салат *L. Sativa* та м'яка пшениця (*Triticum vulgare Host*) сорту озима «Миронівська 808». Метод біотестування на рослинах – простий і чутливий спосіб визначення інтегральної токсичності води, викликаній різними чинниками. Показником токсичності виступає пригнічення або стимулювання росту корінців під впливом токсичних речовин у водному середовищі у порівнянні з контролем. Цей метод дає

змогу визначити не тільки токсичність водного середовища, але і його мутагенні властивості. Ступінь токсичності досліджуваних зразків води оцінювали вимірюванням довжини кожного корінця із загальної кількості корінців. Особливу увагу приділяли цитологічним дослідженням на клітинах кореневої меристеми рослин. Для цитологічних досліджень з клітин кореневої меристеми цибулі, салату та м'якої пшениці готували цитологічні препарати з відростлого коріння рослин, забарвлювали ацеторсеїном при температурі 22–25°C протягом 15 хв, після чого їх промивали в 45 % розчині оцтової кислоти, що запобігає потраплянню часточок барвника на препарат. Відділяючи зону росту корінців, готували давлені препарати. При мікроядерному аналізі для кожного препарату підраховували по 3000 клітин, визначали мітотичний індекс, кількість клітин з мікроядрами, подвійними ядрами та з іншими патологіями мітозу, якщо такі траплялись.

Біотестування (визначення гострої та хронічної токсичності) проводили на гідробіонтах: ракоподібних – дафніях (*Daphnia magna* Straus, *Ceriodaphnia affinis* Lilleborg); гідрі (*Hydra attenuate* Palla); рибах: даніо репіо (*Brachidanio rerio* Hamilton – Buchanan), гупі (*Poecilia reticulata*), срібний карась (*Carassius auratus gibelio*); земноводних – шпорцева жаба *Xenopus*. Методика ґрунтується на визначенні зміни виживання дафній, гідр та риб при впливі токсичних речовин, що містяться в досліджуваній воді в порівнянні з контролем. Короткочасне біотестування (до 96 год) дозволяє визначити гостру токсичну дію води на гідробіонти за їх виживанням. Показником виживання слугує середня кількість тест-організмів, які вижили в досліджуваній воді щодо контролю за певний час. Критерієм гострої токсичності є загибель 50 і більше, а також хронічної токсичності від 20 до 40 % дафній та гідр за період часу в досліджуваній воді в порівнянні з контролем. Показником хронічної токсичної дії води, що тестується на *Hydra attenuate* Pallas, можуть слугувати її морфологічні реакції.

Цитологічні дослідження на рибах і жабах. Для цитологічних досліджень кров у риб відбирали з хвостової вени, краплю крові наносили на попередньо знежирене предметне скло. У жаб кров відбирали з вени задніх кінцівок. Препарати висушували на повітрі, запобігаючи потраплянню пилу, фіксували в 96 % етанолі 30 хв і знову висушували. Фіксовані препарати зберігались у сухому місці до проведення цитологічного аналізу. Препарати фарбували за методикою Паппенгейма-Крюкова, яка полягає в комбінованій обробці мазків розчином Мая-Грюнвальда та 2 % розчином Романовського-Гімза, що дає можливість краще диференціювати складові частини клітин. Цитологічні препарати аналізували під світловим мікроскопом із загальним збільшенням $\times 1000$. Для мікроядерного тесту використовували клітини крові, зябер та хвостового плавця риби. Кількість клітин, проаналізованих для кожної риби, складала 3000.

Токсикологічні дослідження на щурах. Під час дослідження визначали токсичну дію контрольної води, води з водопроводу, бювету й фасованої води. Обрані зразки води відрізнялись між собою за хімічним складом. Експеримент проведено на статевозрілих щурах-самцях лінії Вістар з початковою масою тіла 150–180 г, які впродовж двох місяців утримувалися в умовах віварію на стандартному харчовому раціоні з вільним доступом до питної води. Тварини були розділені на дослідні групи (по 10 особин у кожній групі). Перша група щурів (контрольна)

впродовж експерименту пила контрольну воду, отриману згідно з рекомендаціями ДСТУ 4174:2003 у лабораторії Інституту колоїдної хімії та хімії води НАН України імені А. В. Думанського; друга група тварин вживала воду з водопроводу; третя група – воду з кювету, і четверта група пила фасовану воду «Знаменівська».

Для дослідження кров та внутрішні органи у тварин забирали під час декапітації під легким ефірним наркозом. Усі процедури здійснювались відповідно до конвенції Ради Європи щодо захисту хребетних тварин, яких використовують у наукових цілях. У крові щурів визначали загальний аналіз крові з підрахунком лейкоцитарної формули за стандартними методами. Дослідження біохімічних показників, що характеризують білковий, ліпідний та вуглеводний обміни, стан печінки та нирок, виконано за допомогою біохімічного аналізатора Hymalyzer 2000 (Німеччина) з використанням стандартних тест-наборів EliTech (Франція). Неспецифічну резистентність організму тварин досліджували за показниками фагоцитарної активності нейтрофілів крові (ФІ, ФЧ), їх бактерицидності в НСТ-тесті, рівнем високо- й низькомолекулярних циркулюючих імунних комплексів.

Дослідження на культурі клітин в умовах in vitro. Оцінка цитотоксичної дії води з різних джерел водопостачання була проведена на клітинах лінії НЕК-293 (ембріональні клітини нирки людини), лінії L-929 (фібробласти миші) та РТР (перещеплювальні клітини тестикул поросят), отримані з Інституту мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України. Дослідження цитотоксичної дії проводили за умови наявності у клітинній суспензії не менше 90 % живих клітин. Цитотоксичну активність досліджуваних зразків води щодо культур клітин визначали за нормативними документами INVITTOX у тестах з метилтетразолієм (МТТ), сульфородаміном «В» (SRB) та нейтральним червоним (NR).

Дослідження мутагенної активності вод виконано на культурі лімфоцитів периферичної крові людини in vitro без і з метаболічною активацією. Досліджувану речовину піддавали процесу біотрансформації за допомогою ферментів мікосомального окиснення, що містяться в постмітохондріальній супернатанті гомогената печінки щурів – фракції S-9. Культивування лімфоцитів і приготування препаратів хромосом виконували за стандартними методиками з модифікаціями.

У дослідженні використано штам E.coli ДО-12, отриманий з колекції Державного науково-дослідного Інституту стандартизації й контролю медичних біологічних препаратів імені Л. А. Тарасевича.

Фотографії цитологічних препаратів робили за допомогою системи аналізу відеозображень, яка складається з мікроскопа Jenaval (Carl Zeiss, Jena), камери відеоспостереження (Color CCD Camera, Vision), та PC – сумісного комп'ютера.

Основні види, методи та обсяги виконаних досліджень наведено в таблиці 1.

Статистична обробка даних. На завершальному етапі досліджень проводили аналіз та статистичну обробку результатів. Результати виконаних досліджень обраховані з використанням загальновизнаних методів статистичної обробки результатів медико-біологічних досліджень з визначенням середньоарифметичних величин показників (M), стандартної похибки (m), квадратичного відхилення (σ), параметричних методів перевірки статистичних гіпотез (t -критерій Ст'юдента), непараметричним ϕ – критерієм Фішера та кореляційного аналізу за допомогою пакету статистичних програм.

Таблиця 1

Основні види, методи та обсяг виконаних досліджень

№	Тест-об'єкт та методи дослідження, показники	Кількість проб
1	<i>Досліди на рослинах (цибуля, пшениця, салат)</i>	
	Гостра та хронічна токсичність – морфометричні показники; цитотоксичність, мікроядерний тест.	1660 1660
2	<i>Досліди на гідробіонтах, земноводних (жаби)</i>	
	Гостра та хронічна токсичність – виживання, розмноження, тест-реакція; загальний аналіз крові та лейкоцитарна формула; генотоксичність, цитотоксичність, мікроядерний тест.	1775 1775 1775
3	<i>Досліди на теплокровних тваринах (щур)</i>	
	Гостра та хронічна токсичність – морфометричні показники.	120
	Гематологічні: загальний аналіз крові та лейкоцитарна формула; біохімічні показники сироватки крові.	150 560
	Неспецифічна резистентність: фагоцитарна активність нейтрофілів (ФІ – фагоцитарний індекс, ФЧ – фагоцитарне число); НСТ-тест (спонтанний і стимульований) циркулюючі імунні комплекси (ЦІК).	80 80 160
4	<i>Досліди в експериментах in vitro</i>	
	- лімфоцити периферичної крові людини in vitro; <i>Клітин лінії НЕК-293:</i> - МТТ-тест; - тест із сульфородаміном «В».	320 180 180
	<i>Клітин лінії L-929; клітин лінії РТР:</i> - МТТ-тест; - тест із сульфородаміном «В»; - тест із нейтральним червоним.	180 180 180
	Загальна кількість проб	11015

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ І ТВАРИННИХ ТЕСТ-ОРГАНІЗМІВ

Оцінка якості проб води різних джерел водопостачання м. Києва.

Дослідження були спрямовані на оцінку якості поверхневих вод річок Дніпро й Десна в районі м. Києва, у тому числі й у безпосередній близькості водозаборів Дніпровської та Деснянської водопровідних станцій; з'ясування ступеня антропогенного впливу мегаполісу на якість вод ріки Дніпро за допомогою методів комплексного біотестування.

Результати комплексного біотестування показали, що проби води, відібрані вище м. Києва, не чинили токсичної дії на тваринні й рослинні тест-організми. Отже, дніпровську та деснянську воду в районі Вишгорода й Хотянівки можна

віднести згідно з величиною індексу загальної токсичності (ІЗТ) до категорії «безпечні води».

Проби води, відібрані в м. Києві та у 5 км нижче, що здійснювали до певної міри токсичний вплив на тест-організми, за ІЗТ віднесені до категорії води «небезпечна» та «дуже небезпечна» відповідно. Комплексне біотестування показало негативний антропогенний вплив мегаполісів на водні екосистеми. Зростання середнього значення індексу загальної токсичності дніпровських вод у міру проходження території мегаполісу засвідчує факт антропогенного забруднення поверхневих вод ріки Дніпро.

Порівнюючи якість вихідної природної води (Дніпровський і Деснянський водозабори) та водопровідної хлорованої води, можна дійти висновку, що процес хлорування значно підвищує токсичність вихідної води внаслідок утворення стійких хлорорганічних сполук, небезпечних для здоров'я людини.

Проводилась також оцінка якості води централізованого водопостачання населення м. Києва за допомогою комплексного біотестування. Використовувався набір рослинних і тваринних тест-організмів різних трофічних рівнів. Результати біотестування на організменому рівні підсумовувалися, визначався індекс загальної токсичності, величина якого вказувала на категорію якості води щодо тест-організмів (таблиця 2).

Таблиця 2

Результати комплексного біотестування
водопровідної води в м. Києві (2012–2015 рр.)

Зразки проб води, рік дослідження	Тест-організми					Категорія якості води
	Церіодафнія <i>Cereodaphnia affinis</i>	Гідра <i>Hydra attenuate</i>	Риба <i>Brachida nio rerio</i>	Цибуля <i>Allium sepa</i>	Індекс загальної токсич- ності	
Контрольна вода						
2012	0	0	0	0	0	Безпечна (0–40)
2013	0	0	0	0	0	
2014	10	0	0	0	10	
2015	0	0	0	0	0	
Водопровідна вода						
2012	60	20	30	20	130	Небез- печна (121–200)
2013	50	30	20	25	125	
2014	80	10	30	15	135	
2015	70	20	10	25	125	

Водопровідна хлорована вода за результатами комплексного біотестування чинила на тест-організми токсичну дію та відповідала на підставі величини індексу загальної токсичності категорії «небезпечні води». При цьому ракоподібні *Cereodaphnia affinis* відчували гострий токсичний вплив, а прісноводна гідра *Hydra attenuate* і риби *Brachidanio rerio* отримали хронічну токсичну дію.

Біотестування артезіанських вод із бюветів м. Києва.

Гідрохімічні умови формування запасів артезіанської прісної води в київському регіоні почали вивчати в 90-х роках XIX століття, коли вирішувалося питання пошуку джерел централізованого водопостачання для м. Києва. Відтоді починається використання артезіанської питної води, яка видобувається з сеноманського (глибина 90–195 м) і юрського (глибина 256–340 м) водоносних горизонтів. Тому ми провели комплексне біотестування підземних вод юрського й сеноманського горизонтів. Проби води відібрали в десяти бюветах м. Києва, розташованих у різних районах. Результати досліджень подано в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати біотестування артезіанських вод
із бюветів м. Києва (2014 та 2015 роки)

Місцезнаходження бювета	Тест-організми					
	Церіодафнія <i>Ceriodaphnia affinis</i>	Гідра <i>Hydra attenuate</i>	Риба <i>Poecilia reticulata</i>	Цибуля <i>Allium cepa</i>	Індекс загальної токсичності	Категорія якості води
вул. Артема	0	0	10	0	10	Безпечна (0–40)
Парк ім. Шевченка	10	10	0	0	20	Безпечна (0–40)
вул. Сабурова	0	0	0	10	10	Безпечна (0–40)
вул. Туполева	0	10	0	15	25	Безпечна (0–40)
вул. Бальзака	0	10	0	15	25	Безпечна (0–40)
вул. Прирічна	20	0	0	10	30	Безпечна (0–40)
вул. Вербицького	10	0	0	10	20	Безпечна (0–40)
вул. Закревського	10	20	0	10	40	Безпечна (0–40)
Проспект Тимошенка	30	10	0	0	40	Безпечна (0–40)
вул. Почайнинська	20	50	20	0	90	Небезпечна (41–120)
Контрольна вода	0	0	0	0	0	Безпечна (0–40)

З десяти артезіанських бюветних вод тільки одна вода проявила гостру токсичність для прісноводної гідри та хронічну токсичність для ракоподібних і риб. За показником індексу загальної токсичності вона віднесена до категорії «небезпечна вода». Решта проб артезіанських вод не виявляли токсичність при

біотестуванні їх на тваринах і рослинах. Виняток становили артезіанські води з бювету по просп. Тимошенка (хронічна токсичність для *Cereodaphnia affinis* та по вул. Закревського (хронічна токсичність для *Hydra attenuate*). Але ця обставина не завадила за значенням індексу загальної токсичності віднести 90 % проб артезіанських вод до категорії «безпечні води». За цим показником якість артезіанських вод із бюветів м. Києва вигідно відрізняється від водопровідної хлорованої води, яка в наших дослідженнях певною мірою здійснювала токсичний вплив на тваринні й рослинні тест-організми у 100 % проб (таблиця 3).

Щодо особливостей хімічного складу артезіанських вод із бюветів м. Києва, то їх можна розділити на чотири групи:

- бювети, у яких вода добувається з Сеноманського горизонту і яка має мінералізацію менше 450 мг/дм³, вміст основних макроелементів у ній становить у мг/дм³: Са <70, Mg 8–22, Na <25, К <12;

- бювети, у яких вода добувається з Юрського горизонту з мінералізацією 400–550 мг/дм³, вміст основних макроелементів у ній становить у мг/дм³: Са 40–50, Mg 20–30, Na 38–45, К 12–15;

- бювети, у яких вода надходить із Юрського горизонту на масиві Вигурівщина-Троєщина з мінералізацією 700–800 мг/дм³, вміст основних макроелементів у ній становить у мг/дм³: Са 30–80, Mg 13–25, Na 180–270, К 30–40;

- бювети, у яких вода надходить з двох горизонтів і змішується перед подачею споживачеві, ця вода має проміжний хімічний склад, який може змінюватися залежно від співвідношення сеноманської та юрської вод.

Отже, результати проведених досліджень засвідчують, що в різних бюветах м. Києва вода має різний хімічний склад та за індексом загальної токсичності належить до категорії «небезпечна».

Дослідження якості фасованих негазованих питних вод з торгової мережі м. Києва. На підставі багаторічних досліджень запропонована процедура комплексного біотестування питних вод розглядається нами як оптимальна й ефективна. Комплексна оцінка якості фасованих вод дозволила об'єктивно оцінити їх можливу біологічну небезпеку та визначити води, які не є небезпечними для вживання як питних. Такі води повинні однозначно задовольняти вимоги, що висуваються до питної води високої якості. Ми дослідили 17 марок фасованих негазованих вод із торгової мережі м. Києва. Досліди з використанням тваринних і рослинних тест-організмів проведені в період з травня по вересень 2016 року, коли термін зберігання для всіх досліджуваних фасованих вод не перевищував рекомендованого фірмами-виробниками.

За узагальненими результатами біотестування на рослинних, безхребетних і хребетних тест-організмах досліджувані фасовані води можна умовно розділити на 4 групи залежно від значення індексу загальної токсичності.

До першої групи – категорія «безпечні» питні води – було віднесено марки вод, які мали величину індексу загальної токсичності в інтервалі від 0 до 40 умовних одиниць при застосуванні чотирьох біотестів. У наших дослідженнях цим умовам відповідали марки питних вод «Моршинська», «Ордана», «ВопАqua», «Нірр», «Вода питна», «Знаменівська» та «Каліпсо».

До другої групи – категорія «відносно небезпечні» – увійшли питні води зі значеннями індексу загальної токсичності в діапазоні від 41 до 120, наприклад, «Старий Миргород», «Сімейна».

До третьої групи – категорія «небезпечні» – ми віднесли питні води з індексом загальної токсичності від 121 до 200, у нашому випадку – це «Прозора», «Софія Київська». Бутельована вода «Доктор» за значенням індексу загальної токсичності 210 у.о. віднесена до категорії «дуже небезпечна». Ці води, згідно з результатами біотестування, за умови тривалого вживання можуть становити високий ступінь ризику для здоров'я людини.

Результати оцінки якості питних фасованих вод методами біотестування показали, що води, вироблені за затвердженими нормативами й токсикологічно безпечні за даними хімічного аналізу, можуть мати шкідливий, негативний вплив на тваринні й рослинні тест-організми. Отже, застосування методів аналітичної хімії, мікробіології та радіології, внесених до національних стандартів та нормативів, недостатньо для визначення біологічних властивостей досліджуваної води. Об'єктивна оцінка якості води вимагає використання, поряд зі стандартними підходами, і методів біотестування.

Проведені дослідження показали, що біотестування із застосуванням набору тест-організмів є ефективним підходом для інтегральної оцінки якості питних вод. Біотести виявляють токсичні властивості водного середовища, диференціюють різні марки фасованих вод відповідно до можливих ризиків для здоров'я людини.

Комплексний підхід до оцінки якості питних негазованих вод дає об'єктивну вірогідну характеристику хімічного складу та мікробіологічне обсіменіння досліджуваних марок вод, але найбільш важливим компонентом інтегральної оцінки якості вод є результати біотестування, що характеризують біологічні властивості питної води й можливий ступінь ризику для здоров'я її споживачів. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що методи біотестування повинні обов'язково застосовуватися для нормування якості питних вод, у тому числі й фасованих.

ТОКСИКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ НА ГІДРОБІОНТАХ

Визначення токсичності питної води за цитогенетичними параметрами крові гідробіонтів. Досліджено зразки вод, отриманих після очищення від нітратів з використанням цитогенетичних підходів, з'ясовано принцип їх впливу на тест-організми (риби, жаби) та на їх клітини крові – структурні й функціональні зміни геному (гено- та цитотоксичність). А саме: було встановлено зміни в лейкоцитарній формулі крові риб *Brachidanio rerio Hamilton – Buchanan*, жаб *Xenopus* та генетичні зміни в еритроцитах за мікроядерним тестом. Використання цих методів дає можливість оцінити цитотоксичність та генотоксичність водного зразка на клітинному рівні. У лейкоцитарній формулі крові встановлено підвищення загальної кількості лейкоцитів. В еритроцитах крові риб і жаб зустрічались мікроядра та подвійні ядра, що свідчить про наявність мутагенної дії досліджуваного зразка води. Вода викликала порушення процесів життєдіяльності в риб, про що свідчила 30 % загибель цих тест-організмів. На клітинному рівні спостерігались морфо-функціональні зміни клітин крові та відхилення в лейкоцитарній формулі

(зменшення кількості лімфоцитів). Встановлені зміни у складі периферичної крові риб і жаб дають підстави рекомендувати використання лейкоцитарної формули крові риб як біомаркера несприятливого впливу. Визначення формених елементів крові: паличкоядерні нейтрофіли, сегментоядерні нейтрофіли, еозинофіли, базофіли, моноцити, лімфоцити в досліджуваних риб, які перебували в контрольних та токсичних (до очищення від нітратів) водних зразках, дає змогу одержати більш повну картину впливу нітратів на клітинний склад крові риб. Це, у свою чергу, підвищує чутливість та інформативність методу щодо оцінки цитотоксичності водного середовища.

Дослідження дії іонів важких металів на динаміку росту молоді риб, личинок амфібій та вплив на клітини крові риби й жаби. Були проведені дослідження впливу важких металів (залізо, свинець, мідь та марганець), які додавали до водного середовища акваріумних риб гупі. В експериментах з Cu^{2+} ріст маси тіла молоді гупі майже не супроводжувався різкими коливаннями. Проте зіставлення цих даних з динамікою зміни значення питомої швидкості росту молоді риб в акваріумах з різною концентрацією іонів виявило, що коливання даних щодо зміни маси тіла чітко виражені в динаміці питомої швидкості росту. А саме: значення питомої швидкості росту гупі в акваріумах з найбільшою концентрацією Cu^{2+} з часом поступово знижувалися, що свідчить про наявність токсичного ефекту. В акваріумах з найменшою концентрацією токсиканта й у контролі спостерігали коливання значень показника питомої швидкості росту гупі. При наявності в акваріумах Cd^{2+} в різних концентраціях істотних змін маси тіла риб не спостерігали. В акваріумах з найбільшою концентрацією значення цього показника постійно знижувалося, а за найменшої концентрації Cd^{2+} та в контролі значення питомої швидкості росту різко зростало.

Питома швидкість росту пуголовків в акваріумах з найбільшою концентрацією Cu^{2+} схожа з попередніми результатами в експериментах з рибами гупі. Встановлено постійне зниження значення швидкості росту пуголовків, тоді як в акваріумах з найменшою концентрацією та в контролі питома швидкість росту їх швидко зростала.

В обох експериментах з молоддю гупі та пуголовками жаб за дії Cu^{2+} значення показника ефективності використання раціону було найбільшим у контролі та знижувалося зі зростанням концентрації іонів важких металів в акваріумах. Крім того, пуголовки жаб виявились більш чутливими до забруднення води, ніж молодь риб, оскільки в однакових умовах за дії найбільших концентрацій іонів Cu^{2+} спостерігалися зниження значень досліджуваних показників у пуголовків жаб відразу після внесення токсиканту до модельної системи, на відміну від повільнішої реакції молоді гупі.

При дослідженні впливу на клітини крові риби та жаби зразки вод, що містили важкі метали: свинець (Pb) 0,03 мг/дм³, заліза (Fe) 0,3 мг/дм³ і марганець (Mn) 0,1 мг/дм³, викликали загибель тест-організмів до 60 %. У гідробіонтів (риби, жаби), що вижили, кількості мікроядер і подвійних ядер вірогідно ($p < 0,05$) збільшилися від 3,33 % до 5,33 % у порівнянні з контрольною водою.

Різниця в чутливості досліджуваних тест-об'єктів до іонів важких металів зумовлена фізіолого-біохімічними особливостями досліджуваних організмів.

Встановлено істотний вплив важких металів, що можна визначити за зміною питомої швидкості росту та ефективністю використання раціону. При екстраполяції результатів експерименту на природні екосистеми можна передбачати результати токсичного забруднення водного середовища іонами важких металів.

Згідно з експериментальними даними максимальне за тривалістю виживання спостерігалось в піддослідній групі ракоподібних у водному середовищі при співвідношенні кальцію до магнію 4 до 1. Враховуючи нетоксичність водного середовища, можна зробити висновок, що при такому співвідношенні цих елементів метаболічні процеси в організмі перебувають в оптимальному режимі, що подовжує виживаність у *Daphnia magna*. Виходячи з того, що водні ракоподібні використовують для побудови зовнішніх стулок (скелета) кальцій, дослідження необхідно продовжити з іншими представниками набору тест-організмів – рибою, прісноводною гідрою, рослинами. Завдяки комплексному біотестуванню питних вод з різним сольовим складом можна отримати результати їх біологічних властивостей.

Проте підвищення мінералізації й жорсткості водного розчину може призвести до зниження токсичності розчинених у ньому токсичних речовин внаслідок зв'язування, утворення комплексів і підвищення резистентності тест-організмів. Тому при значних відхиленнях сольового складу від оптимального необхідно вносити певні корективи результатів біотестування.

Оцінка генотоксичності наноаквацитратів срібла та міді. Було досліджено токсичність водних (штучна та природна ставкова вода) розчинів наноаквацитратів міді та срібла за допомогою методів біотестування на тваринних і рослинних тест-організмах різних трофічних рівнів. Також проаналізовано вплив суміші наноаквацитратів міді та срібла на клітинному рівні за допомогою мікроядерного тесту. При концентраціях суміші наноаквацитратів срібла та міді 0,02 мг/дм³ для штучно приготованої води та 0,05 мг/дм³ для ставкової – виживання прісноводної гідри (*Hydra attenuata*) склало 100 %. Для ракоподібних – церіодафній (*Ceriodaphnia affinis*) – усі досліджувані концентрації наноаквацитратів срібла та суміші срібла й міді виявились летальними, що вказує на їх високу чутливість до дії цих речовин. Зміну розмірно-масових показників корінців ріпчастої цибулі (*Allium cepa*) у досліджуваній воді при різному розведенні в порівнянні з контрольною групою після експозиції протягом 96 годин не було помічено.

Дослідження впливу наноаквацитратів срібла та суміші срібла й міді на ростові показники корінців озимої пшениці «Миронівська-808» (*Triticum aestivum* L.) показали, що вірогідні зміни розмірно-вагових показників спостерігалися при концентрації 0,05 мг/дм³ для ставкової води. У цих умовах відбувалося пригнічення проростання тестових рослин. Водночас для контрольної води вірогідні зміни розмірно-масових показників не спостерігалися. Визначено на ембріонах *Danio rerio* для оцінки токсичності наноаквацитратів срібла, суміші срібла та міді, цинку, заліза, що концентрації не викликають ембріотоксичності. Слід зазначити, що близько 10–15 % ембріонів мали сублетальний ефект, що проявлявся в порушенні пігментації та розвитку очного яблука, і може мати ефект надалі. Водночас відсоток особин, у яких проявлявся сублетальний ефект, доволі низький, що свідчить про можливість безпечного практичного використання наноаквацитратів у рибництві.

У цілому результати досліджень свідчать про можливість використання наноаквацитратів у концентрації близько 0,01 мг/дм³ в акваріумістиці та рибному господарстві.

Інтегральна оцінка токсичності гербіцидів. Актуальність роботи обумовлена появою безлічі небезпечних гербіцидів в Україні й необхідність визначення їх наявності у водоймах стоїть дуже гостро. Було досліджено токсичний вплив розчинів гербіцидів гліфосата 0,01 мг/дм³; 0,02 мг/дм³; 0,03 мг/дм³ (ГДК у воді 0,02 мг/дм³) та клетодима 0,001 мг/дм³; 0,002 мг/дм³; 0,003 мг/дм³ (ГДК у воді 0,002 мг/дм³) за допомогою методів біотестування. У визначенні токсичності різних концентрацій гербіцидів гліфосата та клетодима на організменому рівні церіодафнії (*Ceriodaphnia affinis*), гідра (*Hydra attenuata*), риби (гупі (*Poecilia reticulata*) та даніо реріо (*Danio rerio*) отримали дані гострої та хронічної токсичності від 10 до 100 % на рівні ГДК. Для риб клетодим виявився більш токсичним ніж для гідр, при концентраціях 0,002 мг/дм³ загальна токсичність для риб складала 10 %, а при 0,003 мг/дм³ – 20 %. У гідр, які показали найвищу стійкість у розчинах гліфосату, 25 % смертності настуило в концентрації 0,002 мг/дм³, при 0,003 мг/дм³ – майже 40 %. У цьому гербіциді смертність церіодафній спостерігали при концентраціях вище ГДК, а при 0,002 мг/дм³ вона складала 70 %. При використанні тест-об'єкту рослинного походження цибулі *Allium* сера відмічене інгібування ростових процесів у обох розчинах гербіцидів та виявлено мікроядра, подвійні ядра в усіх концентраціях клетодима, навіть на рівні ГДК. Виникає необхідність у подальших дослідженнях, адже цибуля не є цільовим бур'яном для гліфосату і не повинна була зазнати посутніх змін.

Дослідження впливу мікроорганізмів на якість води. Необхідність дослідження впливу мікроорганізмів на якість води обумовлена тим, що в питній воді, включаючи фасовану, повсюдно визначається кишкова паличка. Однак вплив *E. coli* й продуктів її метаболізму на токсичність питної води не вивчався. Загальноприйняті дослідження з використання *E. coli* як показника санітарно-гігієнічного стану води не включають токсичну оцінку води, засіяної кишковою паличкою. Результати дослідження показали, що використання як тест-організмів так і їхніх клітин доцільно застосовувати для комплексної оцінки якості питних вод, поряд зі стандартними методами. Структурні й кількісні зміни ядер і клітин спостерігалися вже при концентрації бактерій *E. coli* 10². Зміна компонентів клітинного ядра, які є носіями генетичної інформації, призводить до мутацій клітин. Це може спричинити помилкову діагностику певного захворювання, а також проліферацію онкологічних клітин.

Відповідно до чинних гігієнічних вимог до якості води централізованих систем питного водопостачання (ВОЗ) загальна кількість кишкових паличок *E. coli* в 1 мол води не повинна перевищувати 3 КОЕ. Наші дослідження доводять, що наявність бактерії *E. coli* в питній воді категорично неприпустима.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИЧНОГО ВПЛИВУ ВОДИ НА ОРГАНІЗМ ЩУРІВ ВІСТАР

Проведені дослідження впливу води з різних джерел водопостачання на організм щурів виявили зміни маси тіла контрольних і дослідних щурів у динаміці

експерименту. Так, у щурів контрольної групи, які пили контрольну воду, приготовлену за рецептурою, маса тіла в динаміці експерименту поступово зростала (через 1 тиждень – на 7,8 %, через 1 місяць – на 12,1 % і через 2 місяці – на 22,4 %). У дослідній групі тварин № 2, які споживали воду з водопроводу, динаміка зміни маси тіла мала різнонаправлений характер, тобто через 1 тиждень вона знизилась на 12,4 %, а через 1 і 2 місяці зросла на 16,9 % і 8,4 % у порівнянні з їх початковою масою. Маса тіла щурів у дослідній групі № 3 після вживання води з бювету через 1 тиждень зменшилась на 10,4 %, а після 1 і 2-х місяців зросла на 26,6 % і 7,8 % у порівнянні з вихідним станом. У щурів групи № 4, які пили фасовану воду, також було визначено зменшення маси через 1 тиждень на 10,5 %, тоді як через 1 і 2 місяці вона збільшилась на 20,9 % і 8,2 % у порівнянні з початком експерименту (рис. 1).

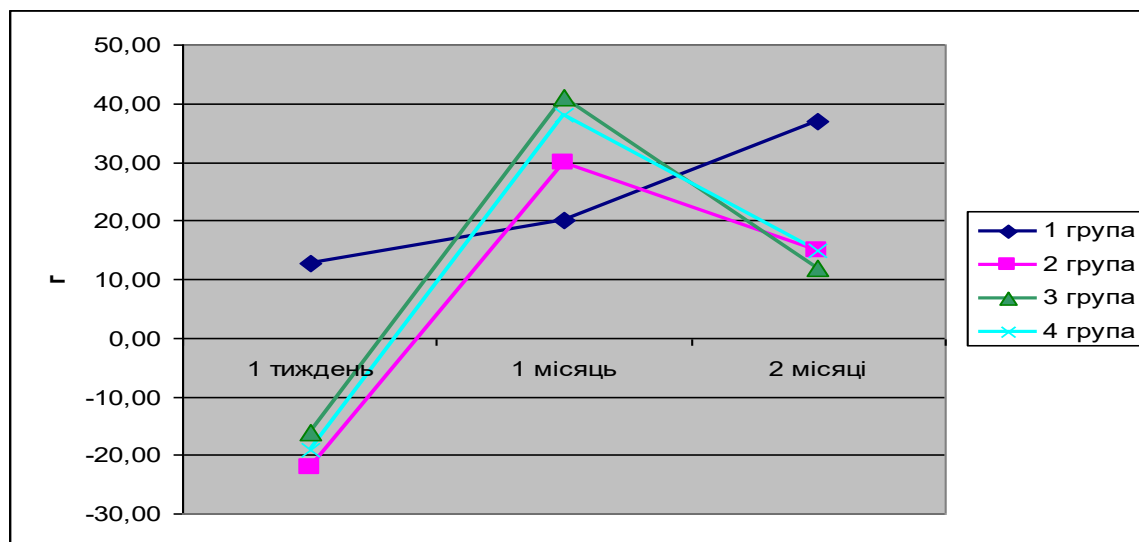


Рис. 1. Динаміка зміни маси тіла контрольних і дослідних щурів, які пили воду з різних джерел водопостачання.

Примітка: 1 група – вода контрольна; 2 група – вода з водогону; 3 група – вода з бювету; 4 група – вода фасована.

Отже, отримані дані дають змогу припустити, що найбільш несприятливий вплив на організм щурів справляла вода з водогону.

Щодо розподілу клітин лейкоцитарного ряду, то вони також характеризувались певними змінами (таблиця 4).

Визначені зміни у клітинному складі периферичної крові дослідних щурів можуть вказувати на активацію клітин неспецифічної природної резистентності. Порушення співвідношення клітинних популяцій крові тварин, яким давали фасовану воду, були найменшими, при цьому відзначали збільшення кількості лейкоцитів (на 21,0 %, $p < 0,05$) (таблиця 5).

Під час експерименту в дослідних щурів були встановлені зміни окремих біохімічних показників, що характеризують обмінні процеси в організмі. Так, після вживання щурами води з водопроводу, бювету та фасованої в сироватці крові було визначено незначне збільшення вмісту загального білка проти 1-шої контрольної групи (на 4,8 %, 4,7 % і 12,8 % відповідно).

Таблиця 4

Показники периферичної крові дослідних щурів,
які пили воду з різних джерел водопостачання, $M \pm m$

Показники	Групи дослідних щурів, які пили воду			
	контрольну	з водопроводу	з бювету	фасовану
еритроцити, $\times 10^{12}/л$	9,72 $\pm$ 0,44	11,30 $\pm$ 1,27	10,02 $\pm$ 0,43	10,08 $\pm$ 0,12
гемоглобін, г/л	111,40 $\pm$ 9,94	148,40 $\pm$ 8,75*	136,60 $\pm$ 11,08*	131,00 $\pm$ 3,11*
гематокрит, %	40,80 $\pm$ 1,93	46,40 $\pm$ 2,38	44,40 $\pm$ 1,50	43,80 $\pm$ 1,56
лейкоцити, $\times 10^9/л$	7,58 $\pm$ 0,35	11,52 $\pm$ 0,95*	10,04 $\pm$ 1,28*	9,18 $\pm$ 0,25*
лімфоцити, %	45,40 $\pm$ 1,89	35,40 $\pm$ 1,63*	25,45 $\pm$ 3,03*	41,80 $\pm$ 2,82
моноцити, %	28,40 $\pm$ 1,50	23,40 $\pm$ 1,54*	25,00 $\pm$ 1,67	26,40 $\pm$ 4,39
нейтрофіли с/я, %	23,00 $\pm$ 1,34	37,60 $\pm$ 1,91*	45,00 $\pm$ 3,74*	28,40 $\pm$ 2,25
нейтрофіли п/я, %	2,60 $\pm$ 0,51	3,20 $\pm$ 0,86	2,60 $\pm$ 0,51	4,00 $\pm$ 0,63
еозинофіли, %	0,60 $\pm$ 0,24	0,40 $\pm$ 0,24	2,00 $\pm$ 0,45*	1,40 $\pm$ 0,68

Примітка: у цій та наступних таблицях* – $p < 0,05$ у порівнянні з показниками в 1-шій контрольній групі щурів, які вживали контрольну воду.

Слід відзначити, що вміст альбуміну в крові щурів усіх дослідних груп був на рівні контрольних значень. Під час експерименту встановлено, що в щурів 2-гої та 3-тьої дослідних груп вміст холестерину в крові був вищим у 1,4 і 1,3 раза, а тригліцеридів – на 14,3 % і 36,7 %, $p < 0,05$ у порівнянні з показниками в 1-шій контрольній групі тварин. Встановлене підвищення рівня холестерину та тригліцеридів може бути ознакою несприятливого впливу води з водопроводу та бювету на ліпідний обмін. В усіх дослідних щурів концентрація глюкози в крові була підвищеною (в 1,5; 1,3 і 1,5 раза) у порівнянні зі значенням в 1-шій групі тварин, що може вказувати на порушення її утворення та обміну. У результаті проведених досліджень виявлено деякі особливості специфіки впливу питної води залежно від джерела її відбору та елементного складу на регулювальні системи, внутрішні органи та біохімічні процеси в організмі дослідних щурів, насамперед – на периферичну кров та паренхіматозні органи (печінка, нирки, підшлункова залоза).

Встановлені порушення вмісту гемоглобіну, ліпідного та вуглеводного обмінів, активність внутрішньоклітинних ферментів вказують на зміни у функціонуванні печінки, нирок і підшлункової залози в дослідних щурів за умови вживання питної води з водопроводу та бювету.

Води з водопроводу та бювету в щурів спричиняли негативний вплив на клітинні механізми неспецифічної природної резистентності, також пригнічували фагоцитарну активність нейтрофілів крові й резервні можливості фагоцитів. Такий прояв, у свою чергу, може позначитися на зниженні резистентності організму до інфекцій. Зменшення рівня циркулюючих імунних комплексів у сироватці крові дослідних щурів із низькою молекулярною масою на тлі зниження фагоцитозу в нейтрофілах може вказувати на відкладання їх у судинах з наступним розвитком імунного запалення.

Дослідження впливу води з різних джерел водопостачання на прооксидантно-антиоксидантну рівновагу в організмі щурів показало, що у групах щурів, які впродовж двох місяців отримували воду з водопроводу та бювету, виявлено збільшення кінцевого продукту ПОЛ вмісту МДА в сироватці крові на 24,9 % і 19,3 % у порівнянні зі щурами, яким давали контрольну воду. З боку ферментів антиоксидантів у цих двох дослідних групах щурів встановлено зниження активності СОД (на 11,2 % і 33,0 %) і КТ (на 45,9 % і 47,3 %) відповідно. У групі щурів, які вживали воду фасовану, суттєвих порушень встановлено не було.

Важливим показником токсичного ураження будь-якого органу є його відносна маса та структурні зміни, які надалі позначаються на його функції. У результаті досліджень отримані дані показали особливості специфіки впливу питної води залежно від джерела її відбору та елементного складу на регулювальні системи та внутрішні органи. Відносна маса тимуса у щурів усіх дослідних груп не відрізнялась від контрольних значень, тоді як маса селезінки вірогідно знизилась у групі тварин, які пили воду з водопроводу (на 24,0 %) і фасовану воду (на 26,0 %). Це може вказувати на дистрофічні зміни в селезінці, які формуються за несприятливого впливу цих типів води.

Проведено порівняльну оцінку впливу води річки Дніпро (м. Київ, райони Гідропарк та Бортничі) на гістоморфологічні показники печінки й нирки дослідних щурів (*Vistar*) та срібного карася (*Carassius gibelio*).

У щурів, які вживали воду з річки, відзначали дискомплексацію печінкових балок, поліморфізм часточок. Печінкові клітини неправильної багатокутної форми з округлими ексцентрично розташованими великими ядрами, що містять 2–4 компактних ядерця. Відзначаються окремі лімфогістіоцитарні гранульоми в області порталних трактів з локалізацією великої кількості лімфоцитів по периферії гранульоми, у центрі – лімфоцити, плазматичні клітини, гістіоцити. Осередкове повнокров'я (помірне й виражене) центральних, міжчасточкових вен та синусоїдних капілярів. У нирках піддослідних тварин виявили тонку капсулу, клітинна будова клубочків відповідає нормі, відзначається осередкове повнокров'я капілярів клубочків, набрякання та «гіперхромія» ендотеліоцитів. Місцями відзначається зерниста дистрофія нефротелію проксимальних (звивистих) каналців нирок з наявністю у просвіті білкових мас. Дистальні (прямі) висхідні й низхідні каналці здебільшого не змінені. Ектазія й повнокров'я нечисленних венул кори. Збірні каналці мозкового шару мономорфного виду, епітеліальні клітини однорідної структури; зрідка відзначається везикуляція їх цитоплазми.

У печінці досліджуваних риб *Carassius gibelio*, яких виловили з річки, виявлені некрози, дистрофія гепатоцитів, місцями виявили скупчення двоядерних

клітин і проліферацію купферовських клітин. Також спостерігалися зниження кількості клітин з глікогеном (ШИК-реакція). Виявлені численні осередки некрозів у печінці риб вказують на серйозне забруднення водного середовища. Некрози гепатоцитів у печінці риб є результатом забруднення вод важкими металами, також наслідком паразитарних інвазій. На гістологічних препаратах вогнища некротичні зміни клітин частіше виявлялися в печінці карася з району Бортничі.

На гістологічних препаратах нирок срібного карася (*Carassius gibelio*), які мешкали в річці Дніпро, спостерігали фрагменти нирки з канальцями різних розмірів, що спричиняє розширення просвітів. Епітелій збережений. В окремих канальцях відзначаються дистрофічні зміни епітелію канальців. У стромі гістіоцитарна реакція, що відрізняється від норми й може свідчити про несприятливі умови для риб. Беручи до уваги збільшення кількості забруднювачів у річкових акваторіях, прилеглих до регіонів з високим рівнем індустріалізації, ці показники життєдіяльності гідробіонтів можуть бути використані для проведення постійного екологічного моніторингу природних вод, а також для оцінки потенційного токсикологічного ризику наявних у воді хімічних речовин для здоров'я людини.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ЗРАЗКІВ ВОДИ В ЕКСПЕРИМЕНТАХ IN VITRO

Оцінка впливу зразків води на життєздатність та функції клітин. Дослідження цитотоксичної дії 4-х зразків питної води з різних джерел водопостачання в МТТ-тесті показали, що найбільшу токсичну активність щодо ембріональних клітин нирки людини лінії НЕК-293 проявляла вода з водопроводу та бювету (кількість життєздатних клітин за їх впливу становила 64,41 % і 77,00 % відповідно). Контрольна вода та бутельована вода «Знаменівська» справляли значно менший вплив, кількість життєздатних клітин була 91,73 % та 81,75 %. У тесті з сульфородаміном «В» кількість живих клітин за впливу контрольної води становила 100,00 %, води з водопроводу – 82,45 %, води з бювету – 89,20 %, а «Знаменівської» – 96,75 %) (таблиця 5).

Таблиця 5

Життєздатність клітин лінії НЕК-293 за дії питної води
з різних джерел водопостачання

Методи дослідження	% життєздатних клітин			
	Вода контрольна	Вода з водопроводу	Вода з бювету	Вода «Знаменівська»
МТТ-тест	91,73±0,06	64,41±6,98*	77,00±6,14*	81,75±0,64
Тест з сульфородаміном «В»	100,00±0,00	82,45±0,50*	89,20±3,40*	96,75±1,05

Примітка: * – вірогідна різниця у порівнянні з контролем ($p < 0,05$).

Отримані результати дають змогу припустити, що досліджувані зразки питної води здійснюють приблизно однаковий вплив на синтез білка ембріональних клітин нирки людини.

При дослідженні токсичності питної води з різних джерел щодо фіброblastів мишей (лінія L-929) було встановлено, що при додаванні до середовища

культивування контрольної води кількість живих клітин склала 88,55 %. Найбільшу цитотоксичну активність проявляла вода з бювету, кількість живих клітин при її додаванні до середовища інкубації була на рівні 58,56 %, а також бутельована вода «Знаменівська» (кількість живих клітин склала 61,9 %). Водночас при додаванні до клітин води з водопроводу спостерігали до 54,3 % у порівнянні з контрольними лунками. Це вказує на стимуляцію мітохондріальної активності та дихальної функції клітин і може бути обумовлено хімічним складом води, імовірно, внаслідок надлишкового вмісту в ній заліза, яке є окислювачем і активує окисно-відновні процеси у клітинах. У тесті з сульфородаміном «В» для всіх зразків води було встановлено приблизно однакову виживаність клітин (на рівні 64–72 %). Тобто досліджувана питна вода виявляла приблизно однаковий вплив на синтез білка клітинами. За результатами, що були отримані в тесті з нейтральним червоним усі досліджувані зразки води у порівнянні з контрольними показниками справляли незначний вплив на проникність мембрани клітин (таблиця 6).

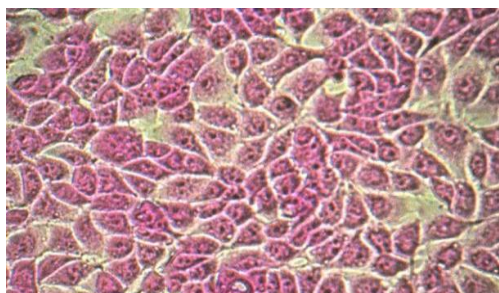
Таблиця 6

Життєздатність клітин лінії L-929 за дії води з різних джерел водопостачання

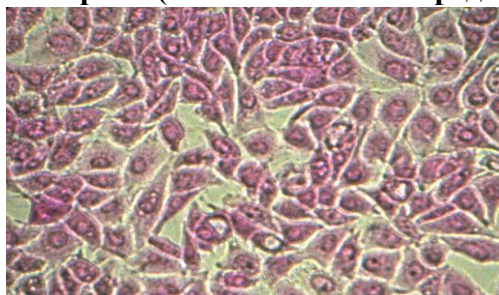
Метод дослідження	% життєздатних клітин			
	Вода контрольна	Вода з водопроводу	Вода з бювету	Вода «Знаменівська»
МТТ- тест	88,55±8,55	54,30±0,01*	58,56±1,45*	61,90±0,80*
Тест з сульфородаміном «В»	70,40±1,50	66,85±3,05*	65,50±1,60*	68,90±4,50
Тест з нейтральним червоним	100,00±3,00	91,55±4,15*	93,70±8,60*	99,60±6,00

Примітка: * – вірогідна різниця у порівнянні з контролем ($p < 0,05$).

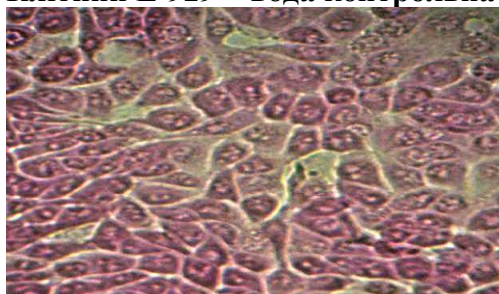
При дослідженні токсичності різних видів питної води було встановлено їх різний вплив не тільки на життєздатність клітин, а й на їх морфологічні зміни (рис. 2). Так, додавання контрольної води у поживне середовище для культивування клітин лінії L-929 не викликало суттєвого порушення моношару клітин. В окремих клітинах було виявлено збільшені вакуолі. При додаванні до клітин води з водопроводу спостерігали округлення та роз'єднання клітин, збільшення ядер, підвищення вакуолізації, зниження адгезії, і як наслідок – порушення моношару клітин. Інкубація клітин з водою з бювету сприяла підвищеній вакуолізації клітин, втраті клітинних контактів, їх округленню та лізису. Незначне порушення моношару фібробластів було встановлено за впливу бутельованої води «Знаменівська». За своєю морфологією клітини були подібні до тих, що зазнавали впливу контрольної води, клітинні контакти не були порушені, цілісність моношару зберігалась (рис. 2). Принцип МТТ-тесту ґрунтується на здатності сукцинатдегідрогенази – ферменту мітохондріальної мембрани клітини відновлювати жовту сіль метилтетразолію (3-[4,5-диметилтіазол-2-іл] – 2,5-дифенілтетразолію бромід) до кристалів формагану фіолетового кольору, що накопичуються в результаті цієї реакції в цитоплазмі живих клітин. Отже, за інтенсивністю накопичення кристалів формагану в цитоплазмі можна судити про рівень мітохондріального дихання клітини, що є показником їхньої життєздатності.



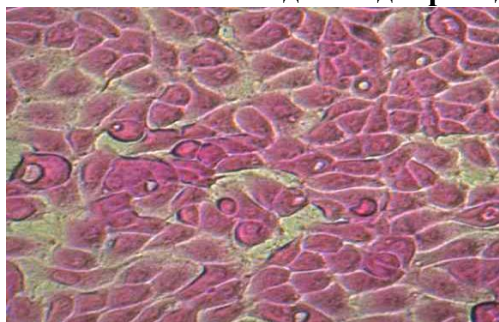
Контроль (клітини L-929 + середовище)



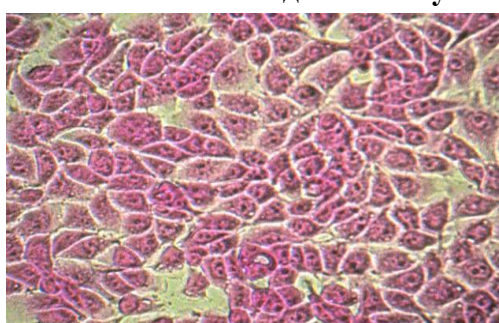
Клітини L-929 + вода контрольна



Клітини L-929 + вода з водопроводу

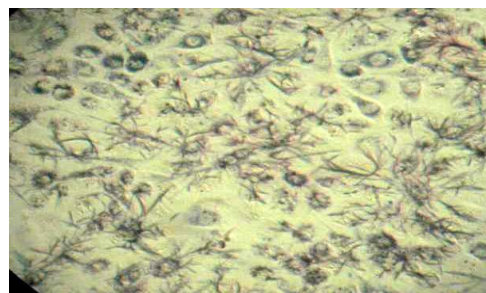


Клітини L-929 + вода з бювету

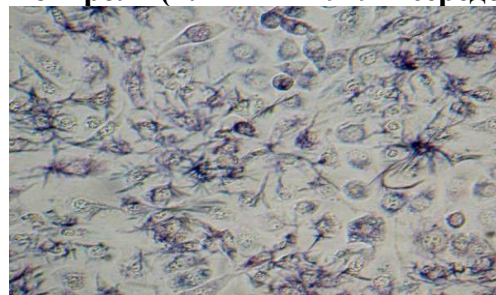


Клітини L-929 + вода «Знаменівська»

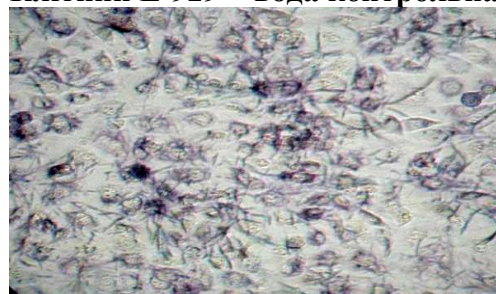
Рис. 2. Морфологія клітин лінії L-929 після 24 год інкубації з різними зразками питної води (тест з сульфородаміном «В»).



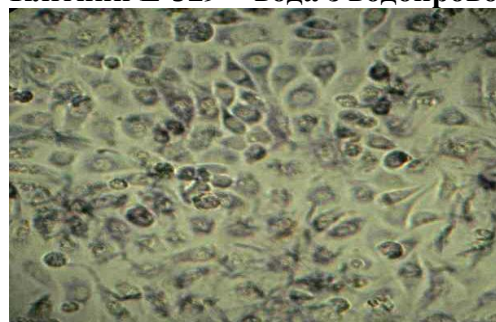
Контроль (клітини L-929 + середовище)



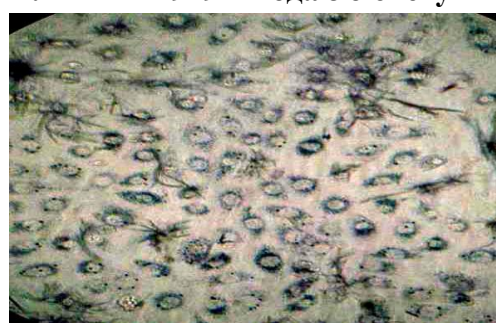
Клітини L-929 + вода контрольна



Клітини L-929 + вода з водопроводу



Клітини L-929 + вода з бювету



Клітини L-929 + вода «Знаменівська»

Рис. 3. Утворення кристалів формазану в клітинах лінії L-929 після 24 год інкубації з різними зразками питної води (MTT-тест).

Виконані дослідження показали, що в МТТ-тесті найбільш інтенсивне утворення кристалів формазау було встановлено в клітинах L-929, які зазнавали впливу води з водопроводу. Менша кількість кристалів формазау утворювалась у клітинах за дії води з бювету (рис. 3). Підвищена активність води з водопроводу в МТТ-тесті може бути обумовлена наявністю в ній надмірної концентрації заліза, що є сильним окиснювачем. Слабке утворення кристалів формазау за методикою є ознакою низького рівня мітохондріального дихання клітин і, відповідно, їх низької життєздатності. Бутельована вода «Знаменівська» проявляла помірну цитотоксичну дію за даними МТТ-тесту (рис. 3).

Дослідження, які були виконані на клітинах лінії РТР, дозволили встановити, що найбільшою цитотоксичною активністю в МТТ-тесті володіла вода з бювету (кількість живих клітин була 61,5 %), а найменшою – вода контрольна (кількість живих клітин була 72,8 %). Вода з водопроводу й бутельована «Знаменівська» мали однаковий вплив на виживаність клітин лінії РТР (65,5 % і 66,75 % відповідно живих клітин) (таблиця 7). У тесті з сульфородаміном «В» кількість життєздатних клітин була найбільшою після додавання контрольної води (81,45 %), води «Знаменівська» – 69,45 %, води з водогону – 68,2 %, а найменша – за впливу води з бювету – 66,95 %. Фарбування нейтральним червоним показало, що найбільшою цитотоксичною активністю володіла вода з бювету, про що свідчило зменшення кількості живих клітин до 88,1 % у порівнянні з іншими зразками (таблиця 7).

Таблиця 7

Життєздатність клітин лінії РТР за дії питної води з різних джерел водопостачання

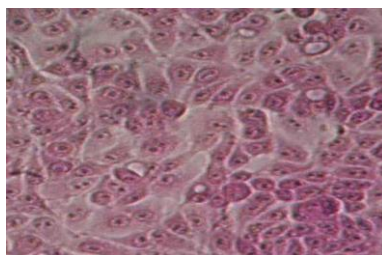
Метод Дослідження	% життєздатних клітин			
	Вода контрольна	Вода з водопроводу	Вода з бювету	Вода «Знаменівська»
МТТ-тест	72,80±0,60	65,50±4,40*	61,50±8,00*	66,75±5,45
Тест з сульфо- родаміном «В»	81,45±6,90	68,20±1,80*	66,95±1,95*	69,45±4,65
Тест з нейтральним червоним	101,25±6,35	93,75±10,35	88,10±12,50*	89,65±4,85

Примітка: * – вірогідна різниця у порівнянні з контролем ($p < 0,05$).

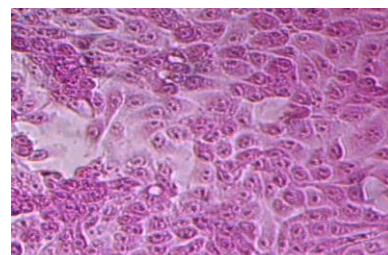
При дослідженні морфології клітин лінії РТР після інкубації їх з контрольною водою було встановлено округлення окремих клітин та появу великих вакуолей, схожих на повітряні пухирці, при цьому порушення моношару не спостерігали. При додаванні до клітин РТР води з водопроводу було виявлено порушення моношару шляхом округлення й роз'єднання клітин, збільшення кількості мертвих клітин. В окремих клітинах були наявні збільшені вакуолі. Вода з бювету при додаванні до клітин РТР викликала найбільший токсичний ефект. Спостерігали порушення моношару, появу округлених інтенсивно забарвлених апоптичних клітин. За впливу води «Знаменівська» суттєвих змін у структурі моношару та самих клітин не виявлено (рис. 4).



Контроль (клітини РТР + середовище)



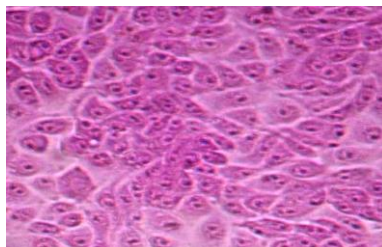
Клітини РТР + вода контрольна



Клітини РТР + вода з водопроводу



Клітини РТР + вода з бювету



Клітини РТР + вода «Знаменівська»

Рис. 4. Морфологія клітин лінії РТР після 24 годин інкубації з різними зразками питної води (тест з сульфородаміном «В»).

Отримані результати досліджень з визначення цитотоксичності питної води з різних джерел водопостачання на культурі клітин нирок лінії ХЕК-293 дозволяють констатувати, що найбільший цитотоксичний ефект за даними МТТ-тесту та тесту з SRB на нирки справляла вода з водопроводу, а на фібробласти миші та тестикули поросят – вода з бювету. Найменший вплив на життєздатність клітин спричиняла вода контрольна. Отже, дослідження цитотоксичних ефектів вод на культурі клітин свідчить, що їх негативний вплив на життєздатність клітин проявлявся в порушенні функції мітохондрій та синтезу білка. Більш чутливими до токсичної дії води виявились клітини лінії РТР, що може вказувати на можливий негативний вплив води на статеву систему організму.

Оцінка цито- та генотоксичності різних типів вод (артезіанська, фасована, дехлорована водопровідна) на клітинах крові.

Відомо, що утворення мікроядер, фрагментація хромосом часто виникають у процесі розвитку онкозахворювань, при вірусній інфекції, бактеріальному інфікуванні, а також при впливові на клітини іонізуючого опромінення й різних хімічних речовин – мутагенів.

Для оцінки цито- та генотоксичності різних типів води вивчали їх вплив на генетичний апарат клітини крові людини та риб, клітини корінців цибулі *Allium* сера. Слід відзначити, що результати оцінки генотоксичності фасованих вод на культурі лімфоцитів периферичної крові на 87 % повторювали дані, отримані в мікроядерному тесті на клітинах риб і *Allium* сера. Отримані дані дозволили до категорії «безпечні» віднести води «Моршинська», «Старий Миргород», «BonAqua»; до категорії «небезпечні» – води «Ордана», «Софія Київська», «Вода питна», «Vittel», «Bebivita», «Hipp»; інші води віднесені до категорій «умовно небезпечні» або «небезпечні».

Аналіз та узагальнення всієї сукупності отриманих у роботі даних дозволяє дійти висновку, що використання комплексу біологічних тест-об'єктів (рослини та

гідробіонти) для характеристики стану забруднення водного середовища дозволяє ефективно швидко та дешево визначити наявність загального токсичного ефекту (за показниками пригнічення росту або загибелі організму) та скласти попереднє уявлення про природу забруднення.

У складних випадках для визначення негативного впливу води на здоров'я людини слід проводити подальші, більш складні та вартісні дослідження на теплокровних тваринах та культурі клітин людини, які варто спрямувати на визначення системних, органотоксичних та віддалених (мутагенних і генотоксичних) ефектів (рис. 5).

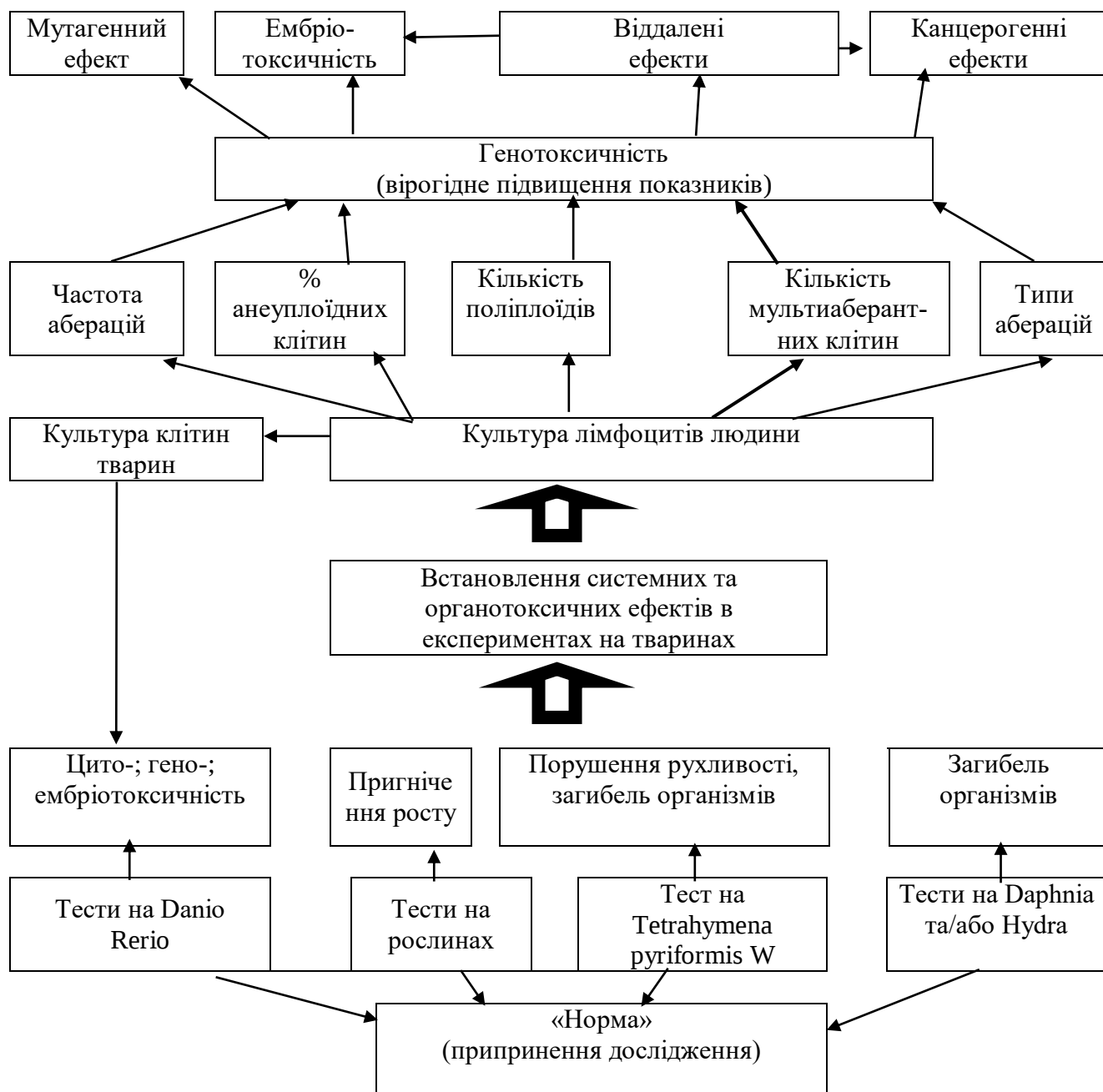


Рис. 5. Алгоритм проведення біотестування для оцінки якості питної води та водних середовищ.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та практичне розв'язання комплексної проблеми щодо моніторингу стану та екологічної безпеки водного середовища із застосуванням сучасних методів та тест-об'єктів біотестування експрес оцінки якості поверхневих і питних вод України, їх безпечності для здоров'я людини та інших живих істот.

1. Моніторингові дослідження на основі комплексного біотестування показали, що водні проби в районі Вишгорода і Хотянівки можна віднести до II-го класу 3 категорії та схарактеризувати як добру (добра вода). Водні проби, відібрані в м. Києві та в 5 км нижче міста, відносяться до V-го класу 7 категорії та характеризуються як дуже погана (дуже брудна). Зростання середнього значення індексу загальної токсичності дніпровських вод у міру проходження території мегаполісу підтверджує факт екологічного забруднення поверхневих вод ріки Дніпро.

2. У багатьох регіонах України реєструють перевищення ГДК (45 мг/л) нітратів у воді. Забруднення води нітратами має антропогенне і природне походження. Встановлено, що вода, забруднена нітратами, негативно впливає на організм риб і їх клітини крові. За її впливу відбувалася 30 % загибель риб. На клітинному рівні спостерігалися морфофункціональні зміни клітин крові й відхилення в лейкоцитарній формулі крові риб – зменшення лімфоцитів (на 18,3 %). Виявлено аномалії ядер, в еритроцитах траплялися мікроядра (1 %) і подвійні ядра (1 %). Використання риб і їх клітин як тест-об'єктів дає можливість визначення цитотоксичності й генотоксичності водного зразка на клітинному рівні.

3. Використання екотоксикологічних біотестів (рослинних і тваринних тест-організмів) і їх клітинних біомаркерів дозволило виявити токсичність розчинів наноаквацитратів міді та срібла з концентрацією 0,01–0,05 мг/дм³. При концентраціях суміші наноаквацитратів срібла та міді 0,01–0,02 мг/дм³ виживання прісноводної гідри (*Hydra attenuata*) склало 100 %, водночас концентрація 0,03–0,05 мг/дм³ негативно вплинула на їх життєдіяльність. Зміну розмірно-масових показників корінців цибулі (*Allium sera*) в досліджуваній воді при різних розведеннях розчинів наноаквацитратів міді та срібла не було помічено. Концентрації суміші наноаквацитратів срібла та міді 0,01–0,05 мг/дм³ на ембріонах і рибах *Danio rerio* токсичність не викликали. Оцінка токсичності на клітинному рівні дозволить отримати інформацію про стан імунітету біоти й рівень впливу стресових факторів. Результати досліджень свідчать про можливість використання наноаквацитратів міді та срібла у концентрації 0,01 мг/дм³ в рибному господарстві й акваріумістиці.

4. При дослідженні впливу розчинів гербіцидів гліфосата та клетодиму з використанням тест-організмів отримали дані гострої та хронічної токсичності від 10 % до 100 % на рівні ГДК. Для риб клетодим (ГДК у воді 0,002 мг/дм³) при концентраціях 0,002 мг/дм³ загальна токсичність складала 10 %, у гідр – 25%, спостерігали 100 % смертність церіодафній при концентраціях вище ГДК, а при 0,002 мг/дм³ вона складала 70 %. При використанні цибулі *Allium sera* відзначено інгібування ростових процесів в обох розчинах гербіцидів та виявлено мікроядра,

подвійні ядра в усіх концентраціях клетодиму, навіть на рівні ГДК. Виникає необхідність у подальших дослідженнях, адже цибуля не є цільовим бур'яном для гліфосату й не повинна була зазнати суттєвих змін. Одержані результати дають змогу впевнено сказати, що біотести можна застосовувати для виявлення токсичності гербіцидів у воді. Отримані дані свідчать про високу токсичність гербіцидів у воді. Забруднення довкілля гербіцидами має глобальний характер, оскільки вони передаються трофічними ланцюгами від рослин до тварин, у тому числі й до людини. Нераціональне використання пестицидів стає причиною гострих отруєнь від 3,5 млн людей щороку.

5. Результати оцінки якості питних фасованих вод методами біотестування показали, що води, вироблені за затвердженими нормативами є безпечні за даними хімічного аналізу, проте можуть мати негативний вплив на тваринні й рослинні тест-організми. Отже, застосування методів аналітичної хімії, мікробіології та радіології, внесених до національних стандартів, та встановлені їх нормативи є недостатніми для визначення біологічних властивостей води. Об'єктивна оцінка якості води вимагає використання, поряд зі стандартними підходами, і методів біотестування. Запропоновані біотести виявляють токсичні властивості водного середовища, диференціюють різні марки фасованих вод відповідно до можливих ризиків для здоров'я людини.

6. Токсикологічні дослідження впливу води різного походження на організм щурів дозволили встановити їх негативний вплив на клітинний склад периферичної крові. Вода з водогону й бювету в порівнянні з контрольними величинами викликали зниження поглинальної активності нейтрофілів до $33,80 \pm 2,37 \%$ і $31,80 \pm 4,22 \%$ (на $43,7 \%$ і $47,0 \%$ відповідно). Механізми неспецифічної природної резистентності, зокрема пригнічення фагоцитарної та бактерицидної активності нейтрофілів крові, зниження їх резервних можливостей приводять до зміни окремих біохімічних показників, що характеризують обмінні процеси в організмі та функціональний стан печінки, нирок, підшлункової залози.

7. Гістологічні дослідження структури органів-мішеней (печінка, нирки) риб і щурів показали зміни їх структури залежно від якості води. У щурів, які пили воду з ріки Дніпро, у печінці виявлялися клітини неправильної багатокутної форми з округлими ексцентрично розташованими великими ядрами, дискомплексация печінкових балок, поліморфізм частинок, окремі лімфогістіоцитарні гранульоми в області порталних трактів. А на гістологічних препаратах печінки риб виявлено некрози, дистрофія гепатоцитів, скупчення двоядерних клітин і проліферація купферовських клітин, зниження кількості клітин з глікогеном (ШИК-реакція). Виявлено численні осередки некрозів у печінці риб, які вказують на серйозне забруднення водного середовища. У нирках досліджуваних щурів відзначалася дистрофія, повнокров'я капілярів клубочків, пікнотичні зміни ядер на тлі вираженого розширення просвіту каналців. У риб відзначали дистрофічні зміни епітелію каналців нирок. У стромі гістіоцитарна реакція, що відрізняється від норми і може свідчити про несприятливі умови для риб. Отримані результати з виявлення зміни паренхіматозних органів щурів та риб під впливом забруднювачів прісної води можуть бути екстрапольовані в певній мірі на організм людини,

враховуючи той факт, що річкова вода є одним з основних джерел питної води для населення України та інших країн світу.

8. Дослідження на культурі клітин показали, що найбільший цитотоксичний ефект за даними МТТ-тесту та тесту з сульфородаміном «В» на клітини нирки людини лінії ХЕК-293 виявляла вода з водопроводу (кількість життєздатних клітин за їх впливу становила 64,41 % і 77,00 % відповідно). Контрольна вода і бутельована вода «Знаменівська» справляли значно менший вплив, кількість життєздатних клітин була 91,73 % та 81,75 %. У тесті з сульфородаміном «В» кількість живих клітин за впливу контрольної води становила 100,00 %, води з водопроводу – 82,45 %, води з бювету – 89,20 %, а «Знаменівської» – 96,75 %. Дослідження на клітинах РТР дали змогу встановити, що найбільшою цитотоксичною активністю в МТТ-тесті володіла вода з бювету (кількість живих клітин 61,5 %), а найменшою – вода контрольна (кількість живих клітин 72,8 %). Вода з водопроводу й «Знаменівська» мали однаковий вплив на виживаність клітин (65,5 % і 66,75 %). Найменший вплив на життєздатність усіх клітин спричиняла вода контрольна. Негативний вплив води на життєздатність клітин проявлявся в порушенні функції мітохондрій та синтезу білка. Морфологічні зміни клітин після інкубації з водою з бювету та з водопроводу характеризувались підвищеною вакуолізацією клітин, втратою клітинних контактів, їх округленням та лізисом. Більш чутливими до токсичної дії досліджуваних зразків води виявились клітини лінії РТР, що може вказувати на імовірний негативний вплив води на статеву систему організму.

9. В експериментах *in vivo* й *in vitro* встановлено мутагенні властивості бюветної води. Визначено здатність речовини, що містяться у воді, індукувати хромосомні й геномні мутації. Встановлено наявність у воді протоксикантів, що мають потенційну мутагенну активність, впливають на систему репарації клітин. Запропоновано оцінку цито- та генотоксичності різних типів вод (артезіанська, фасована, дехлорована водопровідна) на клітинах тест-організмів (крові риби) і лімфоцитів людини. Отримані значення коефіцієнтів лінійної кореляції свідчать про взаємозв'язок майже всіх показників, досліджених на рибах, і кількості ушкоджених аберрантних метафаз із метаболічною активацією, виявлених на лімфоцитах людини.

10. На основі результатів проведених комплексних еколого-токсикологічних, цитологічних, цитогенетичних, гематологічних, біохімічних, імунологічних, гістологічних досліджень удосконалено методичні підходи щодо оцінки якості водного середовища, яке зазнає антропогенного впливу, науково обґрунтовано класи й категорії якості вод різного походження за їх екологічним станом, запропоновано методи біологічної оцінки, які сприяють зменшенню токсичного впливу забруднювачів на водну екосистему та підвищенню її захисту.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З метою підвищення ефективності, всебічної оцінки якості природного водного середовища рекомендовано використання простих і економічних методів біотестування на таких тест-об'єктах як рослини та гідробіонти, завдяки яким можна здійснити інтегральну оцінку якості води з помірними витратами та максимальною ефективністю. У складних випадках для визначення негативного впливу води на

здоров'я людини слід проводити подальші, більш складні та вартісні дослідження на теплокровних тваринах та культурі клітин людини, які слід спрямувати на визначення системних, органотоксичних та віддалених (мутагенних і генотоксичних) ефектів.

2. У зв'язку з тим, що кількість фасованих вод постійно збільшується, а це призводить до збільшення кількості фальсифікату та загалом погіршення якості таких питних вод попри збереження вимог до наявності певної кількості мінералів, солей та інших сполук пропонується використання хіміко-фізичного та мікробіологічного аналізу цих вод доповнити комплексним біотестуванням, що сприятиме більшій точності оцінки їх якості та зменшенню ризиків для здоров'я людини.

Список публікацій здобувача, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації

Монографія

1. Таран О. П., Пармон В. Н., **Верголяс М. Р.** Каталитические, сорбционные, микробиологические и интегрированные методы для защиты и ремедиации окружающей среды: монография. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 298 с. *(Особистий внесок: аналіз літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

Статті в наукових фахових виданнях України

2. **Vergolyas M. R.**, Veyalkina N. N., Goncharuk V. V. Effect of copper ions on hematological and cytogenetic parameters of freshwater fishes of *Carassius auratus gibelio* // Cytology and genetics. 2010. 44 (2). P. 124–128. **Scopus.** *(Особистий внесок: виконано аналіз літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, підготовлено матеріал до опублікування.)*
3. Goncharuk V. V., **Vergolyas M. R.**, Boltina I. V. Investigation of drinking water mutagenicity and genotoxicity // Journal of Water Chemistry and Technology. 2013. 35 (5). P. 426–435. **Scopus.** *(Особистий внесок: здійснено експериментальні дослідження та проаналізовано представлений матеріал, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
4. **Vergolyas M. R.**, Lutsenko T. V., Goncharuk V. V. Cytotoxic effect of chlorophenols on cells of the root meristem of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seeds // Cytology and genetics. 2013. 47 (1). P. 34–38. **Scopus.** *(Особистий внесок: здійснено аналіз літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, підготовлено матеріал до опублікування, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
5. Goncharuk V. V., **Vergolyas M. R.** Toxic impact of *Escherichia coli* bacteria depending on their content in water on test organisms // Journal of Water Chemistry and Technology. 2014. 36 (1). P. 46–50. **Scopus.** *(Особистий внесок: здійснено аналіз літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, підготовлено матеріал до опублікування, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

результатів, підготовлено матеріал до опублікування, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)

6. **Vergolyas M. R.**, Lutsenko T. V., Zlatskii I. A., Goncharuk V. V. Determination of the quality of artesian waters // Journal of Water Chemistry and Technology. 2014. 36 (5). P. 252–256. **Scopus**. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

7. **Vergolyas M. R.**, Goncharuk V. V. The effect of isotopic composition of water on biological organisms analyzed by a cytological method // Journal of Water Chemistry and Technology. 2015. 37 (1). P. 44–47. **Scopus**. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

8. **Vergolyas M. R.**, Goncharuk V. V. Evaluation of water quality control by using test organisms and their cells // Journal of Water Chemistry and Technology. 2016. 38 (1). P. 62–66. **Scopus**. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

9. Болтіна І. В., **Верголяс М. Р.**, Повякель Л. І., Злацький І. А., Завальна В. В., Коваленко О. В., Васецька О. П., Заєць Є. Р., Семенова А. Ю. Комплексне дослідження якості води різного призначення // Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології. УТГіС. Київ : ЛОГОС, 2012. Т. 4. С. 219–224. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

10. Кравченко О. О., **Верголяс М. Р.**, Максін В. І. Оцінка генотоксичності наноаквацитратів срібла та міді за допомогою мікроядерного тесту на клітинах риб *Danio rerio* // Біоресурси і природокористування. 2013. № 1–2. Т. 5. С. 31–35. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

11. Болтіна І. В., Костик Е. Л., **Верголяс М. Р.** Применение краткосрочных тестов для исследования мутагенной активности бутылированной питьевой воды // Проблемы харчування: наук.-практ. журнал. 2011. № 1/2. С. 70–74. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

12. **Верголяс М. Р.** Визначення токсичності водних зразків з використанням гематологічних параметрів риб // Фактори експериментальної еволюції організмів. Київ, 2015. Т. 17. С. 299–302. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

13. Осмалений М. С., Головков А. М., Нанієва А. В., **Верголяс М. Р.** Комплексна оцінка токсичності водних зразків за допомогою рослинних і тваринних тест-організмів // Фактори експериментальної еволюції організмів. Київ, 2015. Т. 16.

С. 74–77. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

14. **Верголяс М. Р.**, Головков А. Н., Наниева А. В., Пелишенко А. В., Гончарук В. В. Генотоксическое влияние фтора питьевой воды // Фактори експериментальної еволюції організмів. Київ, 2016. Т. 18. С. 33–35. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

15. **Верголяс М. Р.**, Трахтенберг И. М., Дмитруха Н. Н., Гончарук В. В. Оценка токсического влияния воды из разных источников на тест-организмы // Фактори експериментальної еволюції організмів. Київ, 2016. Т. 19. С. 97–102. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

16. **Верголяс М. Р.** Визначення токсичної вплив гербіцидів на тест-організми у воді // Екологічні науки : наук.-практ. журнал. Київ : ДЕА, 2019. № 26. С. 84–87. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

17. **Vergolyas M.** Safety analysis of drinking water on the test-organisms // Біоресурси і природокористування. Київ, 2019. Т. 11. № 3–4. URL: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/viewFile/bio2019.03.004/11350> *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

Статті в міжнародних фахових виданнях або виданнях, які входять до наукометричної бази даних

18. Tsangaris C., **Vergolyas M.**, Fountoulaki E., Nizheradze K. Oxidative stress and genotoxicity biomarker responses in grey mullet (*Mugil cephalus*) from a polluted environment in Saronikos Gulf, Greece // Achieves of Environmental Contamination and Toxicology. 2011. 61 (3). P. 482–490. **Web of Science.** *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

19. Tsangaris C., **Vergolyas M.**, Fountoulaki E., Goncharuk V. Genotoxicity and oxidative stress biomarkers in *Carassius gibelio* as endpoints for toxicity testing of Ukrainian polluted river waters // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. 74. № 16. P. 2240–2244. **Web of Science.** *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

20. **Vergolyas M. R.**, Goncharuk V. V. Toxic effects of heavy metals on the hydrobionts' organism // Journal of Education, Health and Sport. 2016. № 6 (6). P. 436–

444. eISSN 2391-8306.DOI. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

21. **Vergolyas M. R.**, Trakhtenberg I. M., Dmytrukha N. M. Assessment of toxic effects of drinking water from various sources on indicators rats Wistar immune system. Journal of Education, Health and Sport. 2016. № 6 (9). P. 855–866. eISSN 2391-8306.DOI. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

22. **Vergolyas M.** Assessment of drinking water quality at the cellular level // Adv Tissue Eng Regen Med Open Access. 2019. № 5 (1). P. 53–55. **DOI: 10.15406/atroa.2019.05.00099. BASE, Google Scholar.** *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

23. **Vergolyas M.** Research of cytotoxic activity of water from different water supply sources // Adv Tissue Eng Regen Med Open Access. 2019. № 5 (3). P. 92–96. **DOI: 10.15406/atroa.2019.05.00105. BASE, Google Scholar.** *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

Патент України на винахід

24. Спосіб визначення генотоксичності водного середовища : патент 95717 Україна. № 201004569 ; заявл. 19.04.2010 ; опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16. 8 с. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

25. Спосіб визначення мутагенної активності питної води і культуральне середовище для його реалізації: патент 93964 Україна. № 201000606; заявл. 22.01.2010; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 6. 10 с. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

26. Спосіб підготовки біологічного об'єкта для визначення токсичності води : патент 97199 Україна. № 201012982 ; заявл. 01.11.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. 10 с. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

27. Спосіб визначення цито- та генотоксичності питної води: патент 104175 Україна. № 201113123; заявл. 07.11.2011; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. 6 с. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

Національний стандарт України

28. ДСТУ 7387:2013 Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо реріо (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

29. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

30. **Верголяс М. Р., Гончарук В. В.** Використання морфофункціональних змін клітин риб як біоіндикаторів хімічного забруднення водойм // III-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology – 2011). Вінниця, 2011. Т. 2. С. 298–301. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

31. **Верголяс М. Р.** Определение токсичности нитратов с использованием цитоморфологических параметров разных тканей рыб как биомаркера // Scientific Journal "ScienceRise". 2015. № 9/4 (14). Р. 10–13. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

32. **Vergolyas M. R.** Blood as integrated system of organism // ScienceRise. 2016. № 2 (1). Р. 7–11. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

33. **Верголяс М. Р., Трахтенберг І. М., Дмитруха Н. М., Гончарук В. В.** Оцінка токсичного впливу питних вод на організм щурів wistar // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2016. № 2 (44). С. 52–59. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

34. **Верголяс М. Р., Пелишенко А. В., Наниева А. В., Осмаленый Н. С.** Оценка цитотоксического влияния глутамата натрия методом биотестирования // Первый независимый научный вестник. 2016. № 7. С. 5–9. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

35. **Верголяс М. Р., Трахтенберг І. М., Дмитруха І. М.** Оцінка цитотоксичної активності води з різних джерел водопостачання // Довкілля та здоров'я. Київ, 2016. № 4 (80). С. 19–22. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)

36. **Верголяс М. Р.**, Дмитруха Н. М., Андрусишина І. М. Особливості впливу питної води з різних джерел водопостачання на організм щурів вістар // Современные проблемы токсикологи. Киев, 2016. № 4. С. 80–86. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

37. **Верголяс М. Р.** Альтернативный метод оценки качества питьевых вод при помощи биотестирования // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2016. № 4 (46). С. 159–167. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

38. **Vergolyas M.** Cytogenetic evaluation of the drinking water toxicity // EUREKA: Life Sciences. 2016. № 1. Р. 47–54. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

39. **Верголяс М. Р.** Екотоксикологічна оцінка якості питних вод на тест-організмах // Sciences of Europe. 2016. № 8 (8). С. 4–8. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

40. **Vergolyas M.** Use of hematological indicators of hydrobionts as bioindicators of anthropogenic pollution of the water environment // Magyar Tudományos Journal. 2019. Vol. 31. № 1 (1). Р. 3–6. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

41. **Верголяс М. Р.** Оцінка антропогенного забруднення водного середовища за допомогою гістоморфологічної характеристики паранхіматозних органів тест-об'єкта // Magyar Tudományos Journal. 2019. Vol. 34. № 3 (1). Р. 4–8. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

42. Болтіна І. В., **Верголяс М. Р.**, Богданович Л. В., Завальна В. В., Селіван А. Ю., Панченко І. В. Дослідження якості води за допомогою біотестів // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міст та рекреаційних зон» (3–4 червня 2010 р., м. Одеса). 2010. С. 40–43. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

43. **Верголяс М. Р.** Оценка антропогенного загрязнения природных вод с помощью гематологических показателей тест-объекта (рыб) // Сборник научных работ Международной научной конференции «Достижения науки и передовые технологии по восстановлению засоленных земель и улучшению эксплуатации ирригационных сооружений» (2–3 апреля 2011 г., г. Ашхабад). 2011. С. 321–323.

(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)

44. **Vergolias M.** Quality assessment aquatic environment using test-objects and its cells // Cooperation in GreenTec with Eastern Europe Focussing Water Treatment : Workshop (25–26 April 2012, Hannover Fair). 2012. P. 34. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

45. **Vergolias M.** Fundamental and applied research in the field of biology of water // Water Management Network – Membrane Technologies : Workshop (14–16 April 2013, Berlin). 2013. P. 61. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

46. **Верголяс М. Р.,** Осмалений М. С. Визначення цитотоксичності та генотоксичності водного середовища при використанні комплексних методів біотестування // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Механізми функціонування фізіологічних систем», приуроченої до 70-ліття біологічного факультету та 230-ліття фізіології у Львівському університеті (15–17 жовтня 2014 р., м. Львів). 2014. С. 22–23. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

47. **Верголяс М. Р.** Цитогенетический способ оценки качества питьевых фасованных вод / «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху могущества и счастья» : материалы Международной научной конференции (11–13 июня 2015 г., г. Ашхабад). 2015. Ч. 1. С. 353–354. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

48. **Верголяс М. Р.** Визначення токсичності нітратів у питної води з використанням цитогенетичних параметрів крові у гідробіонтів // Матеріали Науково-практичної конференції «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України»: XI марзєєвські читання (8–9 жовтня 2015 р., м. Івано-Франківськ). 2015. С. 11–12. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

49. **Верголяс М. Р.,** Осмаленый Н. С., Головков А. Н. Оценка токсического влияния тяжелых металлов на организм гидробионтов // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (28–30 жовтня 2015 р., м. Київ). 2015. С. 67–69. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

50. **Верголяс М. Р.** Генотоксическое влияние тяжелых металлов на клетки крови тест-организмов / Актуальные проблемы медицины. Сборник научных статей.

Республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию основания учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» (5–6 ноября 2015 г., г. Гомель, Беларусь). 2015. С. 142–143. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формування висновків.)*

51. **Верголяс М. Р.**, Злацький І. А., Осмаленый Н. С., Головков А. Н., Пелишенко А. В., Наниева А. В. Дії іонів важких металів на динаміку росту молоді риб та личинок амфібій // Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водо підготовки: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (18–19 листопада 2015 р., м. Київ). 2015. С. 168–169. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

52. **Верголяс М. Р.** Цитогенетические критерии оценки безопасности питьевых вод / Бюллетень XV чтений им. В. В. Подвысоцкого (26–27 мая 2016 г., г. Одесса). 2016. С. 41. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

53. **Верголяс М. Р.**, Головков А. Н., Пелишенко А. В., Наниева А. В. Оценка токсичности и безопасности питьевых вод // Матеріали II Міжнародної конференції «Інноваційні підходи і сучасна наука» (31 травня 2016 р., м. Київ). 2016. С. 46–50. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

54. **Верголяс М. Р.**, Трахтенберг І. М., Дмитруха Н. М. Оценка безопасности водной среды // Матеріали VI Національного конгресу з біоетики (27–30 вересня 2016 р., м. Київ). 2016. С. 77. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

55. **Верголяс М. Р.** Наниева А. В., Пелишенко А. В. Інтегральна оцінка токсичності гербіцидів // Матеріали Науково-практичної конференції з міжнародною участю «Ефекти радіації та інших ксенобіотиків на репродуктивну систему і організм» (4–7 жовтня 2016 р., м. Долина, Івано-франківська обл.). 2106. С. 29. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

56. Трахтенберг І. М., **Верголяс М. Р.**, Дмитруха Н. М. Оцінка якості питної води в дослідах на культурі клітин // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (26–28 жовтня 2016 р., м. Київ). 2016. С. 105–107. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*

57. **Верголяс М. Р.,** Головков А. Н., Пелишенко А. В., Наниева А. В. Токсическое и генотоксическое влияние бактерий *E.coli* на тест-организмы в питьевой воде // «Актуальные проблемы медицины»: матеріалі Республіканської науково-практичної конференції с міжнародним участєм (3–4 ноября 2016 г., м. Гомель). 2016. С. 75–81. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
58. **Верголяс М. Р.,** Дмитруха Н. М. Вплив питної води з різних джерел водопостачання на гематологічні показники крові щурів вістар // Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України»: XIV марзеєвські читання (11–12 жовтня 2018 р., м. Київ). 2018. С. 218–221. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
59. **Vergolyas M.,** Konturova S., Rathore D. Ecotoxicological assessment of natural water safety // «Public health: problems and development priorities» (November 29, 2018, Ostroh). 2018. P. 101–106. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
60. **Верголяс М. Р.** Визначення якості питної води на тестових організмах // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод карпатського регіону» (23–24 травня 2019 р., м. Львів). 2019. С. 98–102. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
61. **Верголяс М. Р.,** Ратхоре Д. С. Вплив важких металів у воді на клітини крові гідро біонтів // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод карпатського регіону» (23–24 травня 2019 р., м. Львів). 2019. С. 102–104. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
62. **Верголяс М. Р.** Перспективність досліджень водних зразків з використанням альтернативних методів *in vitro* // Матеріали VII Національного конгресу з біоетики (30 вересня – 2 жовтня 2019 р., м. Київ). 2019. С. 109–110. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
63. **Верголяс М. Р.** Кореляційно-регресійний аналіз для моделювання впливу компонентного складу вод на тест-об'єкти / III International Scientific and Practical Conference. Scientific achievements of modern society (6–8 November, 2019, Liverpool, United Kingdom). 2019. С. 534–543. *(Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.)*
64. **Верголяс М. Р.,** Дмитруха Н. М. Оцінка безпечності та якості питної води за допомогою біотестування / Матеріали III Міжнародної науково-практичної

конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водо підготовки» (до 135-річчя НУХТ). Київ, 2019. (*Особистий внесок: аналітичний огляд, добір та опрацювання літератури, виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз результатів, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.*)

АНОТАЦІЯ

Верголяс М. Р. Еколого-токсикологічний моніторинг стану води різних джерел України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. – Дніпро, 2019.

У дисертаційній роботі здійснені теоретичне узагальнення та практичне розв’язання проблеми щодо еколого-токсикологічного моніторингу стану води та водних джерел України. На підставі результатів комплексного експериментального дослідження за допомогою біологічних тест-моделей різного рівня організації (рослини, гідробіоти, земноводні, теплокровні тварини, культура клітин) і застосування хіміко-аналітичних, цитологічних, цитогенетичних, токсикологічних, гематологічних, біохімічних, імунологічних, гістологічних та статистичних методів удосконалено методичні підходи щодо оцінки якості водного середовища, яке зазнає антропогенного впливу, науково обґрунтовано ступінь безпечності води (класи й категорії). Розроблено комплекс методів біотестування й запропоновано для оцінки якості водного середовища в системі екологічної безпеки України та впливу на здоров’я людини. Для експрес оцінки рекомендовано використання простих і економічних методів і тест-об’єктів біологічної оцінки, завдяки яким можна здійснити інтегральну оцінку якості води з помірними витратами та максимальною ефективністю.

Ключові слова: водне середовище, вода артезіанська, токсичні речовини, біотестування, якість води, тест-об’єкти, мутагенна активність, екологічна безпечність.

АННОТАЦИЯ

Верголяс М. Р. Эколого-токсикологический мониторинг состояния воды различных источников Украины. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.16 «Экология». – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара. – Днепр, 2019.

В диссертационной работе проведены теоретическое обобщение и практическое решение проблемы эколого-токсикологического мониторинга состояния воды и водных источников Украины. На основании результатов комплексного экспериментального исследования с помощью биологических тест-моделей различного уровня организации (растения, гидробионты, земноводные, теплокровные животные, культура клеток) и применения химико-аналитических, цитологических, цитогенетических, токсикологических, гематологических,

биохимических, иммунологических, гистологических и статистических методов усовершенствованы методические подходы к оценке качества водной среды, подвергающейся антропогенному влиянию, научно обоснованы степень безопасности воды (классы и категории). Разработан комплекс методов биотестирования, который предложен для оценки качества водной среды в системе экологической безопасности Украины и ее влияния на здоровье человека. Для экспресс оценки рекомендуется использование простых и экономичных методов и тест-объектов биологической оценки, благодаря которым можно осуществить интегральную оценку качества воды с умеренными затратами и максимальной эффективностью.

Ключевые слова: водная среда, вода артезианская, токсические вещества, биотестирование, качество воды, тест-объекты, мутагенная активность, экологическая безопасность.

SUMMARY

Vergolyas M.R. Ecological and toxicological monitoring of water condition of various sources Ukraine. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a scientific degree of Doctor of Biological Sciences in specialty 03.00.16 "Ecology". – Oles Honchar Dnipro National University. – Dnipro, 2019.

In the dissertation the theoretical synthesis and practical solution of the complex problem concerning application of modern methods and indicators of estimation of quality of drinking water are carried out. On this basis, the system of measures of complex water quality assessment using various biological test objects was substantiated. We were offered a procedure for complex biotesting of natural and drinking water. At the same time, it is mandatory to carry out research (analytical chemistry, microbiology, radiology and biotesting) that establish the minimum risk of a water sample for human health, that is, using different methods, water safety is justified.

A comparative analysis of the results of biotesting of waters of different sources of Ukraine, using a complex of test organisms of animals and plants. This comparative characteristic revealed the safest water for consumption by the population. Assessment of the quality of surface water - sources of centralized water supply in Kiev showed that the outgoing water of the Dnieper and Desna in the water intakes in terms of the total toxicity index corresponded to the category of "safe water". Comparing the quality of the source of natural water (Dnieper and Desniansky water intakes) and chlorinated tap water, we came to the conclusion that the chlorination process significantly increases the toxicity of the source water due to the formation of persistent organochlorine compounds hazardous to human health.

As a result of this work, the estimated role and usefulness of each of the bioassays for assessing the quality of natural and drinking water. Biotest with crustacea (daphnia and ceriodaphnia), according to our data, is the most sensitive among used biotestes. Due to its simplicity and high sensitivity, this test organism is one of the most common in the world of practice. It is included in international standards, used as a national standard, in many countries, is included in standard sets of test organisms to determine the toxicity of water samples. It is recommended to use this test object in acute and chronic experiments to assess the quality of drinking water.

During the experiment, experimental rats were able to detect changes in certain biochemical parameters characterizing metabolic processes in the body. As a result of the research, some features of the specificity of the influence of drinking water on the basis of the source of its selection and the elemental composition on the regulatory systems, internal organs and biochemical processes in the organism of the experimental rats, first of all, peripheral blood and parenchymal organs (liver, kidneys, pancreas). Our research has proved that biotesting using an optimal set of test organisms objectively characterizes the biological component of water quality. Monitoring of the quality of drinking water, including the various stages of its preparation, purification and decontamination, should be carried out according to toxicological parameters. Biotesting methods should be used at all stages of the assessment of drinking water quality, including the final (risk profile), on which the eco-epidemiological risk assessment for the health of the population may become the main criterion.

Considering modern approaches to sanitary-hygienic standardization of drinking water quality, we proposed for these purposes the use of the results of integrated biotesting of water samples with the calculation of the index of total toxicity. The correlation coefficient between the results of biotesting and the incidence rate of the population consuming tap water for 10 years was 0.70-0.94. This suggests that almost every third indicator of morbidity is significantly associated with the toxicity of tap water.

Based on the results of a comprehensive experimental study using biological test models of various levels of organization (plants, hydrobionts, amphibians, warm-blooded animals, cell culture) and the use of chemical-analytical, cytological, toxicological, hematological, biochemical, immunological, histological and statistical methods, theoretical generalization of the data obtained is scientifically sound biotesting of water with the determination of the characteristics of its toxic properties and calculation index of overall toxicity as an important assessment of the aquatic environment in the ecological security of Ukraine and its influence on human health. For express assessment, it is recommended to use simple and economical methods of humans and animals, thanks to which it is possible to carry out an integrated assessment of water quality with moderate costs and maximum efficiency.

Key words: water environment, artesian water, toxic substances, biotesting, water quality, test objects, mutagenic activity, ecological carelessness.

Підписано до друку 18.11.2019. Формат 60х84/16
Папір друкарський. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 2,38. Тираж – 100 прим. Зам. № 328.

Видавництво ПП «Ліра ЛТД»,
49107, м. Дніпро, вул. Наукова, 5.
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК № 6042 від 26.02.2018.