

УДК 613.31:543.3:57.083

БИОТЕСТИРОВАНИЕ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ВОД

Квасневская Н.Ф., Лебедева Т.Л., Бадюк Н.С., Гоженко А.И.

Украинский НИИ медицины транспорта, Одесса

Приведен обзор литературных данных существующих методов биотестирования, как способа биологической оценки качества питьевых вод. Рассмотрены тест-объекты используемые в биотестировании питьевых вод и их реакции на токсическое действие веществ.

Ключевые слова: биотестирование, тест-объект, тест-реакция, питьевая вода, ксенобиотки.

Вода является самым распространенным веществом нашей планеты, незаменимым компонентом человеческого организма и необходимым условием для жизни. Физико-химические функции, которые выполняет вода в любом живом организме, обеспечивают нормальное протекание биохимических процессов. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) — 85 % заболеваний передается водным путем и ежегодно 25 миллионов потребителей умирает от этих заболеваний.

От качества питьевой воды зависит состояние здоровья населения, экологическая чистота продуктов питания и наличие других экологических последствий [1]. Количество загрязняющих химических соединений в окружающей среде составляет уже несколько тысяч, и многие из них находясь в микродозах, совместно воздействуют на живые организмы как токсический агент, распознать который химическими методами порой невозможно. Кроме того, иногда нельзя вовремя и быстро получить информацию о качестве питьевой воды, поэтому все популярнее становятся независимые исследования и методика биотестирования, благодаря которой по реакции живой системы можно констатировать непосредственное токсичное влияние питьевой воды на организм [2, 3].

Во многих странах биотестирование является ведущим в тестировании качества воды [4]. Биотестирование предус-

матривает целенаправленное использование тест-организмов и методов для определения токсичности водных образцов, и в широком смысле представляет собой методический прием, основанный на оценке влияния фактора среды на организм, его отдельную функцию или систему. Находясь в исследуемой среде, «тест-объекты» сигнализируют об опасности независимо от того, какие вещества и в каких сочетаниях приводят к изменениям их жизненно важных функций. Предпочтение отдается самым чувствительным и универсальным «тест-объектам», способным реагировать на внешнее воздействие, с помощью которых определяют даже незначительные изменения окружающей среды на начальных стадиях негативного влияния. Из-за видовых особенностей восприимчивости к загрязнителям как правило должен использоваться набор объектов, представляющих разные таксономические группы. Во многих случаях биологические методы технически проще и значительно дешевле, ограничены во времени, более чувствительны по сравнению с химическим анализом. В целом, это приводит к уменьшению числа необходимых процедур, значительному упрощению исследовательского процесса по оценке качества воды [5, 6, 7]. А значит, биотестирование должно быть основным в определении влияния и возможных последствий на живые организмы, а также одним из главных этапов определения качества воды [8].

На современном этапе известно большое количество методов биотестирования с применением более чем 145 различных тест-объектов, но стандартизированных не так уж и много. В Украине это тесты с пресноводными рыбами (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan, *Poecillia reticulata* Peters), ракообразными (*Daphnia magna* Straus, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg), водорослями (*Scenedesmus subspicatus*, *Selenastrum capricornutum*), инфузориями (*Tetrahymena pyriformis*), бактериями (*Photobacterium phosphoreum*), мухами (*Drosophila melanogaster*) [9-22]. Выбор тест-организмов определяется их распространенностью, простотой содержания и культивирования в лаборатории, низкой стоимостью, легкостью наблюдений эффектов ксенобиотиков на организм и разработанностью простых методик таких наблюдений, предпочтительны также краткосрочные (экспрессные) автоматизированные методы с использованием чувствительных живых организмов или их систем [23, 24]. В настоящее время однозначно не установлено, какие тест-объекты наиболее подходят для оценки качества питьевых вод методами биотестирования. Поэтому исследования качества воды из разных источников, применяемых для питьевых целей, с помощью различных тест-объектов (комплексного подхода к оценке безопасности питьевых вод) являются актуальными.

В качестве источников питьевых вод для тестирования используют:

- поверхностные воды;
- родниковые воды;
- колодезные воды;
- межпластовые воды на примере скважинного водозабора;
- артезианские воды;
- водопроводные воды;
- талые воды;
- бутилированные воды [25-32].

Задачами исследований является создание системы эколого-токсикологической оценки водных объектов, которая позволяет охватить разные категории ис-

точников питьевых вод, а также учесть вред токсичных поллютантов как для организмов, так и для человека [33].

Влияние токсичности изучают как на организменном, так и клеточном уровнях методами, которые дают возможность получать комплексную оценку токсичного действия водной среды. В частности, по реакциям целостного организма анализируют реакции представителей разных трофических уровней (острая токсичность – при кратковременном биотестировании; хроническая токсичность – при длительном биотестировании). Культуры клеток используются для изучения закономерностей протекания внутриклеточных процессов, общих для всех типов клеток: механизмов регуляции ионного транспорта, метаболизма, клеточного цикла, внутриклеточной сигнализации, структурных и функциональных изменений генома (гено- и цитотоксичность). Существенную роль играет выбор тест-реакции – того параметра организма, который собственно и измеряется при тестировании [34].

Важное место среди тест-объектов, применяемых при разработке новых методов биотестирования токсичности водной среды, занимают светящиеся бактерии. Природные их штаммы (*Vibrio aquamarinus*) и генно-инженерные конструкции (трансформация клеток *E. coli*) могут быть использованы в качестве биологической основы биосенсоров, позволяющих в режиме *on-line* регистрировать гибель, либо изменение параметров метаболизма живых систем. Билюминесцентные тесты обладают достаточной степенью чувствительности и могут быть успешно использованы для определения интегральной токсичности, генотоксичности и прооксидантной активности воды. Экспрессность биотестов с использованием бактериальных биосенсоров (время ответа не более двух часов), способность к детекции приоритетных токсикантов позволяют значительно сократить время анализа и подвергать последующему химическому анализу в первую очередь пробы, показавшие токсичность в исследова-

нии с применением биосенсоров [35]. Также используют фотобактерию *Photobacterium phosphoreum* (рис.1), где критерием токсичности является снижение уровня люминесценции на 50 % за 30 минут по сравнению с контролем. Такой метод чаще применим для токсикологического анализа вод с высоким уровнем токсичности: сточных, загрязненных питьевых, подземных и поверхностных. Токсикологическая оценка водной среды с помощью люминесцирующих бактерий обеспечивает раннюю диагностику качества воды [21, 36, 37].

Кроме светящихся бактерий, используют изобретенный штамм бактерий *Enterobacter aerogenes*, используемый в качестве индикаторного при биотестировании качества питьевой воды. *Enterobacter aerogenes* является достаточно чувствительным к суммарному действию загрязнителей для оценки интегральной токсичности питьевой воды, позволяет проследить реакцию на вредные примеси одновременно на миллионах индивидуальных клеток (особей) и поэтому обеспечивает наибольшую достоверность результатов. Качество исследуемой воды оценивают по способности индикаторного штамма выживать после выдерживания в ней. Если штамм сохраняет выживаемость, то это свидетельствует в пользу хорошего качества этой воды, о ее нетоксичности и безвредности для живых организмов [38].

Среди водорослей в биотестировании наиболее часто используют виды *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Scenedesmus quadricauda* (рис.2), *Ankistrodesmus falcatusi*, *Chlorella vulgaris* (рис.3). При исследовании фиксируют изменения размерно-возрастной структуры и функциональных характеристик клеток водорослей под влиянием различных токсикантов [14, 19, 39, 40].

Широкое применение в методиках биотестирования находит лук репчатый *Allium cepa* (рис.4) благодаря высокой чувствительности, устойчивой реакции как на молекулярно-клеточном, так и организ-

менном (ингибирование роста корней) уровнях, простоте и оперативности методик [41, 42]. Методы биотестирования на растительных тест-объектах по изучению влияния различных поллютантов позволяют выяснить мутагенность и цитотоксичность исследуемых веществ [43]. Корневые клетки лука содержат определенные ферменты, которые способствуют превращению многих немутагенных веществ в мутагенные. Подобная система активации позволяет обнаружить те химические вещества, которые усиливают свой токсический эффект в процессе метаболизма [44]. Биометрические показатели пророщенного семени *Allium test* можно использовать для экспресс-анализа качества питьевой воды [45].

Среди растений также используют пшеницу *Triticum aestivum L.*, фасоль *Phaseolus vulgaris*, при этом измеряется скорость и схожесть семян, а также сравнение показателей массы и длины проростков [46], а также используют при создании биологически активных вод в качестве технологического контроля в процессе обработки воды [47, 48].

В число организмов используемых в биотестировании входят представители подцарства простейших. История применения *Protozoa* в качестве тест-организмов насчитывает не одно десятилетие. Преимуществами методов биотестирования, основанных на применении одноклеточных организмов в качестве тест-объектов являются: относительно короткий жизненный цикл; объединение признаков отдельной клетки и целого организма; сходство с животными по кислотно-щелочному типу пищеварения, аналогичных ферментных систем, хорошо развитых митохондрий и характеризуются универсальным кодом нуклеиновых кислот, сходным с кодом высших животных [49]. Биотестирование на инфузориях (рис.5) позволяет прогнозировать интегральное воздействие изучаемого объекта на живые организмы, поскольку реакция биологической тест-системы зависит не только от отдельных токсичных соединений, содержащих-

ся в объекте исследования, но и от их взаимодействия между собой, а также от присутствия веществ, обладающих ярко выраженным влиянием на токсичность указанных соединений [50]. При постановке тестов на токсичность регистрируются, как правило, гибель/выживаемость, интенсивность движения, изменения внешней формы, иногда изменение интенсивности размножения; описывается действия токсикантов на тест-объекты, прежде всего, изменения размеров и внешней формы инфузорий. Под действием токсических веществ у многих видов инфузорий наблюдаются различные изменения в клетке: разрушение пелликулы, иногда и всей клетки; временное нарушение осморегуляции (набухание), при котором наблюдается интенсивное перемещение, образование и исчезновение различных структур; повышение вязкости и дифференцировка цитоплазмы; образование дополнительных пульсирующих вакуолей [51].

Также используют в качестве тест-объекта в биотестировании представителя кишечнорастворимых *Hydra* (рис.6), при анализе регистрируются морфологические изменения и выживаемость особей при 96-часовой экспозиции в исследуемых растворах [46]. Используют и двухстворчатых моллюсков, позволяющих диагностировать хроническое воздействие загрязняющих веществ [52].

По чувствительности среди тест-организмов, используемых для биотестирования водных объектов выделяют ракообразных, среди которых по степени изученности наиболее часто используют *Daphnia magna* (рис.7) и *Ceriodaphnia affinis*. Ракообразные легко культивируются в лабораторных условиях в любое время года, являются очень чувствительными к токсикантам различной природы. Такая высокая чувствительность может объясняться физиологическими особенностями питания дафний, при котором за счет фильтрации у этих ракообразных происходит накопление токсических веществ на фильтрующем органе с дальнейшей интоксикацией организма. Оценка

токсичности проводится по разнообразным тест-функциям: плодовитости, выживаемости, поведенческим реакциям, двигательной активности, по качеству потомства [10, 25, 34, 46].

Среди гидробионтов для оценки состояния водных экосистем применяют также и коловраток, которые реагируют изменением численности и биомассы, перестройкой и изменением видового состава и массовым развитием отдельных видов, толерантных к определенному фактору. Биотестирование требует использования не столько регистрации гибели организмов, но, в первую очередь, изучения питания, обеспечивающего размножение и в конечном итоге сохранение вида [53].

Для определения генотоксичности питьевых вод используют мух *Drosophila melanogaster* (рис. 8) [22]. Дрозофила имеет малое число хромосом, короткий жизненный цикл, большую плодовитость; метаболическая активация веществ, поступающих в организм, близка к человеку. Данные, полученные при помощи этого тест-организма, могут быть использованы как прогноз риска загрязнения среды для здоровья человека [33, 36, 37].

Все больше внимания в биотестировании уделяют рыбам, наиболее часто используемые из них в качестве тест-объекта виды *Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan* (рис.9) [11-13, 15], *Poecillia reticulata Peters* (рис.10) [18], *Carasius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Abramis brama* и др. Рыбы являются очень удобным объектом в водной токсикологии. Большинство исследований проводят на организменном уровне с учетом выживаемости, поведенческих реакций, двигательной активности, качества потомства и т.д. Не меньшего внимания заслуживают исследования с помощью микроядерного теста, который является очень чувствительным методом оценки генотоксичности действия веществ. При этом используют клетки жабр, хвостового плавника и эритроциты периферической крови. Образование в клетке микроядер объясняется поврежде-



Рис. 1. *Photobacterium phosphoreum*

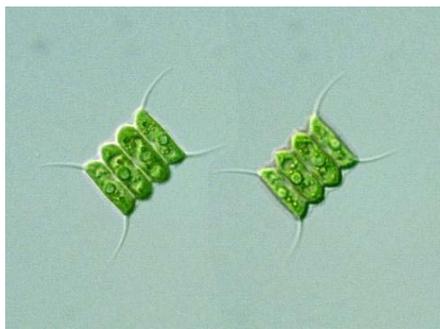


Рис. 2. *Scenedesmus quadricauda*

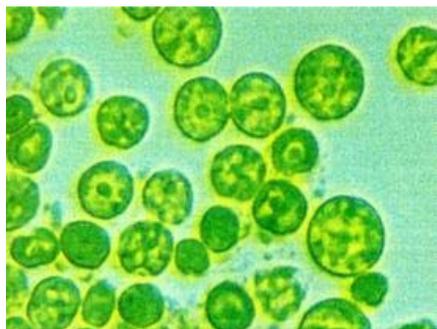


Рис. 3. *Chlorella vulgaris*

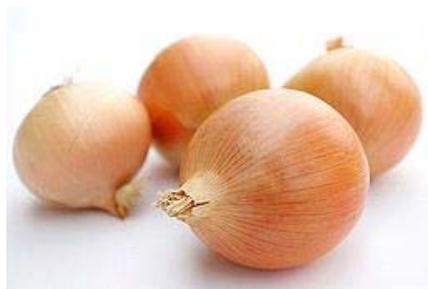


Рис. 4. *Allium cepa*



Рис. 5. *Tetrahymena pyriformis*



Рис. 6. *Hydra*



Рис. 7. *Daphnia magna*

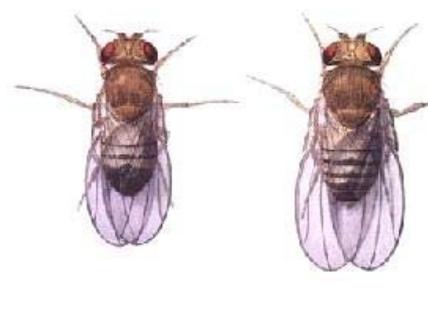


Рис. 8. *Drosophila melanogaster*



Рис. 9. *Brachydanio rerio*
Hamilton-Buchanan



Рис. 10. *Poecilia reticulata*
Peters

нием молекул ДНК и/или хромосомных белков. Анализ ядерных аномалий эритроцитов рыб позволяет получить информацию об уровне антропогенной нагрузки мест существования рыб в мониторинговых исследованиях. А сочетание микроядерного теста с определением формулы крови позволяет получить информацию о возможном влиянии исследуемых проб на структурную целостность ядра и об их влиянии на систему крови данных тест-организмов.

Также особое внимание уделяется методу выявления апоптоза, которое происходит за счет отрицательного химического действия на клетки-мишени [54, 55]. Такие методы выявления изменений в генетическом аппарате под действием загрязнителей используют при анализе пресной воды и могут быть экстраполированы на здоровье человека, учитывая тот факт, что речная вода является одним из основных источников поставки питьевой воды для населения Украины и других стран Европы [56].

Следовательно, биотестирование как

способ оценки качества питьевых вод является перспективным направлением для выявления токсичности и скрининговой оценки. В настоящее время имеется настоятельная необходимость систематизации существующих материалов на основе биологической значимости и физиологических механизмах их ответа на воздействие ксенобиотиков, а также сформированная на основе их комплексной линейки биологических объектов для тестирования качества питьевых вод.

Выводы

1. Методы биотестирования позволяют давать оценку физиологического состояния живых организмов в ответ на воздействия различных веществ, находящихся в водной среде, и направлены на улучшение качества питьевой воды.
2. Изучение влияния токсичности необходимо как на организменном, так и клеточном уровнях методами, которые дают возможность получать комплексную оценку токсичного действия водной среды.
3. Биологический анализ качества вод требует использования чувствительных тест-объектов, способных отвечать реакциями различных тест-показателей на воздействие низких концентраций комплекса загрязняющих веществ.
4. В настоящее время особую важность приобретает вопрос о комплексном подходе к биотестированию. Биотестирование существенно использовать одновременно с химическими и микробиологическими методами оценки качества питьевых вод.
5. Из-за видовых особенностей восприимчивости к загрязнителям целесообразно использовать набор объектов, представляющих разные таксономические группы.
6. Необходимо способствовать развитию, стандартизации и унификации уже разработанных методов, а также созданию новых, более совершенных (расширение круга тест-объектов, учет специфики оценки качества вод и обеспечение гарантий качества биологической информации).

Таким образом, можно заключить, что исследования в указанной области являются актуальными и имеют важное теоретическое и прикладное значение.

Литература

1. Визначення рівня токсичності фасованої води методом біотестування [Електронний ресурс] /Антонова Г.С., Засядько Т.А. // 6 режим доступу: <http://intkonf.org/antonova-gs-zasyadko-ta-viznachennya-rivnya-toksichnosti-fasovan>.
2. Вишневецкий В.Ю. Принципы построения биотестовой системы / Вишневецкий В.Ю., Булавкова Н.Г., Ледеява В. С.// Известия ЮФУ. 6 2011. 6 № 9. 6 Т. 122. 6 С. 12-17.
3. Зерщикова Т.А. Современная проблематика анализа качества питьевой воды путем биотестирования /Зерщикова Т.А., Флоринская Л.П. // «Современное естественнонаучное образование»: III научная конференция с международным участием, 1-8 октября 2006г. 6 Лутраки (Греция), 2006. 6 С. 54-55.
4. Біотестування як метод оцінки якості питних вод // Вісник національної академії наук України. 6 2006. 6 № 10. – С. 54 – 57.
5. Веялкіна Н. М. Використання клітинних біомаркерів рослинних і тваринних тест-організмів для оцінки токсичності води: автореф. дис. на здобуття канд. біол. наук, спец. 03.00.16 – «Екологія»/ Веялкіна Н. М. 6 Киев, 2011. 6 20 с.
6. Биотестирование качества воды в системе водоподготовки [Електронний ресурс] / Шевцова Л. В., Серенко П. В. // 6 режим доступу: <http://0973.ru/archives/645>
7. Єфремова О.О. Біотестування. Сучасний стан практичного використання /Єфремова О.О., Крайнов І.П. // Вісник КДПУ. 6 2006. 6 №. 6 (41), Ч. 1. 6 С. 142-144.
8. Авраменко А.Є. Визначення стану екологічної безпеки поверхневих і підземних вод центральної частини Полтавської області / Авраменко А.Є. // Екологічна безпека. 6 2014. 6 №1 (17). 6 С. 46-49.
9. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD): ДСТУ

- 4173-2003. 6 [Чинний від 01.07.2004]. 6 22 с.
10. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 1076:2000, MOD): ДСТУ 4174-2003. 6 [Чинний від 01.07.2004]. 6 26 с.
 11. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній риби [Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Частина 1. Статичний метод (ISO 7346-1:1996, MOD): ДСТУ 4074-2001. 6 [Чинний від 01.07.2003]. 6 21 с.
 12. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній риби [Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Частина 2. Напівстатичний метод (ISO 7346-2:1996, MOD): ДСТУ 4075-2001. 6 [Чинний від 01.07.2003]. 6 20 с.
 13. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній риби [Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Частина 3. Проточний метод (ISO 7346-3:1996, MOD): ДСТУ 4076-2001. 6 [Чинний від 01.07.2003]. 6 22 с.
 14. Якість води. Випробування на гальмування росту прісноводних водоростей із застосуванням *Scenedesmus subspicatus* та *Selenastrum capricornutum* (ISO 8692:1989, MOD): ДСТУ 4166-2003. 6 [Чинний від 01.07.2004]. 6 16 с.
 15. Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо реріо (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan): ДСТУ 7387:2013. 6 [Чинний від 2014.07.01]. 6 16 с.
 16. КНД 211.1.4.055-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 17. КНД 211.1.4.056-97. Методика визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 18. КНД 211.1.4.057-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на рибках *Poecilia reticulata* Peters. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 19. КНД 211.1.4.058-96. Методика визначення гострої токсичності води на водоростях *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 20. КНД 211.1.4.059-97. Методика визначення токсичності води на інфузоріях *Tetrahymena pyriformis* (Ehrenbrg) Schewiakoff. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 21. КНД 211.1.4.060-97. Методика визначення токсичності води на бактеріях *Photobacterium phosphoreum* (Cohn) Ford. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 № 68.
 22. НД Методика визначення генотоксичності об'єктів довкілля за частотою виникнення домінуючих летальних мутацій у мух *Drosophila melanogaster*. Затв. наказом Мінекобезпеки України 12.08.99 № 189.
 23. Черкашин С.А. Биотестирование: терминология, задачи, основные требования и применение в рыбохозяйственной токсикологии / Черкашин С.А. // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2001. – № 1-3. – Т. 128. – С.1020-1035.
 24. Опыт ЦИКВ по определению токсичности водных сред методом биотестирования [Электронный ресурс] / Зайцева И.И. // 6 режим доступа: // [https://cikv.ru/v\(id=3940883297711669273,ald=633472092167258137\)](https://cikv.ru/v(id=3940883297711669273,ald=633472092167258137)).
 25. Дегтярь С.В. Сравнительный анализ результатов биотестирования водопроводной воды в Кременчугском районе / Дегтярь С.В. // Экологія та неосферологія. – 2012. – № 1-2. – Т.23. – С. 79-83.
 26. Токсичность воды поверхностного источника водоснабжения [Электронный ресурс] / В.В. Артамонов, М.Г. Василенко / 6 режим доступа: <http://www.ecologylife.ru/voda-i-zdorovje-2002/toksichnost-vodyi-poverhnostnogo.html>
 27. Никифоров В.В. Биотестирование в системе гидроэкологического мониторинга / Никифоров В.В., Штрбова Э.Д. // Экологічна безпека. 2011 6 №1(11). 6 С. 31-35.
 28. Биоиндикация и биотестирование как методы определения загрязненности водных объектов [Электронный ресурс] / Е.С. Фомина, Е.А.Трошина // Сборник статей V Международной научной конф. студентов и аспирантов "Охрана окружающей

- среды и рациональное использование природных ресурсов”, 12 — 14 апреля 2006 г, Донецк. 6 режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/masters/2006/feht/fomina/library/library.htm>.
29. Визначення рівня токсичності фасованої води методом біотестування [Електронний ресурс] / Антонова Г.С., Засядько Т.А // 6 режим доступа: <http://intkonf.org/antonova-gs-zasyadko-ta-viznachennya-rivnya-toksichnosti-fasovan>.
 30. Гончарук В. Комплексна оцінка якості фасованих вод / Гончарук В., Архипчук В., Терлецька Г., Корчак Г. // Вісник НАН України. 6 2005. 6 № 3. – С. 47-58.
 31. Ильина Е.Г. Определение качества питьевых вод, расфасованных в емкости / Ильина Е.Г. // Известия Алтайского гос. университета. – 2011. – № 3-1. – С. 118-120.
 32. Содоль Г.А. Методы биотестирования в оценке качества бутилированных вод / Содоль Г.А., Ружицкая Н.А. // Збірник тез доповідей III науково-практичної конференції «Вода в харчовій промисловості. 6 2012, Одеса: ОНАХТ. – С. 26-27.
 33. Использование биотестирования для эколого-токсикологической оценки водной среды [Электронный ресурс] / Е.В. Усенко // 6 режим доступа: http://www.rusnauka.com/4_SWMN_2010/Ecologia/58821.doc.htm.
 34. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: [Учебное метод-пособие] / Бубнов А.Г., Буймова С.А., Гуцин А.А., Извекова Т.В. 6 Иваново, 2007. 6 112с.
 35. Кхатаб З. С. Эколого-генетическая оценка качества воды родников г. Ростова-на-Дону методом биотестирования с использованием светящихся бактерий : дис. кандидата биологических наук : 03.02.08, 03.02.07 / Кхатаб Зозк Сардар. 6 Ростов-на-Дону, 2013. 6 184 с.
 36. Использование биологического тестирования для эколого-токсикологической оценки объектов окружающей среды [Электронный ресурс] / С. В. Журавлева, А. В. Панкина, Т. Г. Сахарова // 6 режим доступа: http://sociosphaera.com/publication/conference/2013/170/ispolzovanie_biologicheskogo_testirovaniya_dlya_ekologotoksikologicheskoy_ocenki_obektov_okruzhayuwej_sredy.
 37. Усенко Е.В. Использование биотестов на бактериях *Photobacterium phosphoreum*, инфузориях *Tetrahymena pyriformis* и мухах *Drosophila melanogaster* для эколого-токсикологической оценки / Е.В. Усенко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. 6 2006. 6 Вип. 3. 6 № 729. – С. 202-207.
 38. Патент RU 2225000 Штамм бактерий *Enterobacter aerogenes*, используемый в качестве индикаторного при биотестировании питьевой воды (s- чувствительный) [Электронный ресурс] / Леванова Г.Ф., Кашников С.Ю., Мазепа В.Н., Якимычева Е.А. // 6 режим доступа: <http://bd.patent.su/2225000-2225999/pat/servlet/servlet3fff.html>.
 39. Моисеенко Т.И. Биологические методы оценки качества вод: часть 2. Биотестирование / Моисеенко Т.И., Гашев С.Н., Петухова Г.А., Елифанов А.В., Селюков А.Г. // Вестник Тюменского гос. университета. – 2010. – № 7. – С. 40-51.
 40. Прохоцкая В. Ю. Структурно-функциональные характеристики модельной популяции *Scenedesmus quadricauda* при интоксикации: дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук: 03.00.18 / Прохоцкая Валерия Юрьевна. – Москва, 2000. – 135 с.
 41. Влияние биологически-активных веществ на морфометрические и биохимические показатели *Allium sera L.* [Электронный ресурс] / Толкачева Т.А. // 6 режим доступа: http://www.rusnauka.com/30_NNM_2012/Biologia/2_119605.doc.htm.
 42. Биотестирование с помощью лука обыкновенного [Электронный ресурс] / Geirid Fiskesjo // 6 режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/feht/fomina/library/article5a.htm>.
 43. Верголяс М.Р. Цитотоксичний вплив хлорфенолів на клітини кореневої меристеми насіння цибулі батуну (*Allium fistulosum L.*) / Верголяс М.Р., Луценко Т.В., Гончарук В.В. // Цитология и генетика. 6 2013. 6 Т. 47. 6 № 1. 6 С. 44-49.
 44. Концевая И.И. Совершенствование методики биотестирования на основе *Allium test* / И.И. Концевая, Т.А. Толкачева // Веснік ВДУ. 6 2012. 6 № 6(72). – С. 57-65.
 45. Сидорович М.М. Використання біометричних показників *Allium test* для визначення якості питної води міста / Сидорович М.М. // Науковий часопис Національного педагогічного університету ім.М.П.Драгоманова. 6 2013. 6 Вип. 5. 6 С. 182-192.

46. Кравченко О.О. Визначення токсичності наноаквацитратів срібла та міді за допомогою тест-організмів різних трофічних рівнів / Кравченко О.О., Максін В.І., Коваленко В.Ф. // Наукові записки Тернопільського нац. пед.університету імені В.Гнатюка. 6 2013. 6 №1(54). 6 С.70-75.
47. Определение оптимальной экспозиции питьевой воды на красном свете методом биотестирования проростков пшеницы [Электронный ресурс] / Софронова Н.М., Пятков Е.А. // 6 режим доступа: // <http://rudocs.exdat.com/docs/index-327031.html>.
48. Яковлев В.В. Биотестирование природных вод Харьковской области для оценки их токсичности /Яковлев В.В., Бирюкова Т.Ю., Мацюк С.А.// «Коммунальное хозяйство городов»: научно-технический сборник. 6 2008. 6 № 84. 6 С.102-110.
49. Влияние детергентов на живые системы [Электронный ресурс] / Налимова Е.А., Журавлева С.В., Панкина А.В. // 6 режим доступа:// <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/6789-2013-03-11-09-47-53>.
50. Виноходов Д.О. Научные основы биотестирования с использованием инфузорий: дис. на соискание ученой степени доктора биол. наук: 03.00.23/ Виноходов Дмитрий Олегович. 6 Санкт-Петербург, 2007. 6 270 с.
51. Присный А.В. Механизмы устойчивости инфузорий к химическим повреждениям и их преодоление летальными концентрациями синтетических поверхностно активных веществ (СПАВ) / Присный А.В., Волынкин Ю.Л., Кампос Н.Н.// Научные ведомости Белгородского государственного университета. 6 2009. 6 № 9-2. 6 Т. 11. 6 С. 45-54.
52. Каниева Н.А. Воздействие тяжелых металлов на химический состав организма двухстворчатых моллюсков / Каниева Н.А., Андреев А.А., Федорова Н.Н., Гольбина О.В. // Вестник АГТУ. 6 2013. 6 № 1. – С. 135-139.
53. Бакаева Е.Н. Эколого-биологические основы жизнедеятельности коловраток в норме и в условиях антропогенной нагрузки: дис. доктора биол. наук: 03.00.29. 6 Москва, 2000. 6 317 стр.
54. Верголяс М.Р. Проапоптичні зміни в еритроцитах риби *Danio rerio* за впливу катіонів міді /М.Р. Верголяс, Р.О. Білий, Р.С. Стойка, В.В. Гончарук // Біологічні Студії / Studia Biologica. – 2009. – Том 3, № 2. – С. 15-22.
55. Верголяс М.Р. Морфофункціональні зміни клітин крові, зябер і хвостового плавця риб при оцінці якості водного середовища і дії токсичних чинників: автореф.на здобуття наук. ступеня. к. біолог. наук: спец. 03.00.11 «Цитологія, клітинна біологія, гістологія» / Верголяс М.Р. – Львів, 2010. – 21 с.
56. Верголяс М.Р. Використання морфофункціональних змін клітин риб як біоіндикаторів хімічного забруднення водойм /Верголяс М.Р., Гончарук В.В. // Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю”. – Вінниця, 2011. – Том.1. – С.298–301.

References

1. Determination of toxicity of packaged water by biotesting [Electronic resource] / Antonova G.S., Zasad'ko T.A. // 6 access mode: <http://intkonf.org/antonova-gs-zasyadko-ta-viznachennya-rivnya-toksichnosti-fasovan>
2. Vishnevetskii V.Y. Principles of construction biotesting system / Vishnevetskii V.Y., Bulavkova N.G., Ledjaeva V.S. // Journal SFU. Technical sciences. Special Issue. 6 2011. 6 Number 9, V. 122. 6 P. 12-17.
3. Zerschikova T.A. Modern problems of drinking water quality analysis by bioassay/ Zerschikova T.A., Florinskaya L.P. // III scientific conference with international participation «Modern science education», October 1-8, 2006. 6 Loutraki (Greece), 2006. 6 P. 54-55.
4. Biotesting as a method of assessing the quality of drinking water // Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine. 6 2006. 6 № 10. 6 P. 54 – 57.
5. Vyeyalkina N.M. The use of cellular biomarkers of plant and animal test organisms for assessing water toxicity : abstract of dissertation for Cand. of Biol. Sciences, spec. 03.00.16 – “Ecology”/ Vyeyalkina N.M. – Kyiv – 2011. – 20 p.
6. Biological testing of water quality in the water treatment system [Electronic resource] / Shevtsova L.V., Serenko P.V. // 6 access mode: <http://0973.ru/archives/645>
7. Efremova O.O. Biotesting. The current state of practical use / Efremova O.O., Krainov I.P. // Journal Kirovograd State Pedagogical University. 6 2006. 6 № 6 (41), part 1. 6 P.142-144.
8. Avramenko A.E. Defining the environmental

- safety of surface and groundwater central part of Poltava region / Avramenko A.E. // Environmental Safety. 6 2014. 6 №1 (17). 6 P. 46-49.
9. The quality of water. Determination hostroi letalnoi toksychnosti on *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea)(ISO 6341:1996, MOD): SSU 4173-2003. 6 [Effective as of 01.07.2004]. 6 22 p.
 10. The quality of water. Determination subletalnoi and hronichnoi toksychnosti chemical substances and water *Daphnia magna* Straus i *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 1076: 2000, MOD): SSU 4174-2003. 6 [Effective as of 01.07.2004]. 6 26 p.
 11. The quality of water. Determination of acute lethal toxicity of chemicals and water for freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Part 1. Static method (ISO 7346-1: 1996, MOD): SSU 4074-2001. [Effective as of 01.07.2003]. 6 21 p.
 12. The quality of water. Determination of acute lethal toxicity of chemicals and water for freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Part 2. (ISO 7346-2: 1996, MOD): SSU 4075-2001. 6 [Effective as of 01.07.2003]. 6 20 p.
 13. The quality of water. Determination of acute lethal toxicity of chemicals and water for freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Part 3. (ISO 7346-3: 1996, MOD): SSU 4076-2001. 6 [Effective as of 01.07.2003]. 6 22 p.
 14. The quality of water. Test algae growth inhibition using *Scenedesmus subspicatus* and *Selenastrum capricornutum* (ISO 8692: 1998, MOD): ДСТУ 4166-2003. 6 [Effective as of 01.07.2004]. 6 16 p.
 15. The quality of water. Method of determining the cyto- and genotoxicity of water and aqueous solutions in blood cells of freshwater fish *Danio rerio* (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan): ДСТУ 7387:2013. 6 [Effective as of 2014.07.01]. 6 16 p.
 16. GRD 211.1.4.055-97. Method of determining the acute lethal toxicity water on crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated om 21.05.97 № 68.
 17. GRD 211.1.4.056-97. Method of determining the chronic toxicity of water on crustaceans *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
 18. GRD 211.1.4.057-97. Methods for determining acute lethal toxicity water for fishes *Poecillia reticulata* Peters. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
 19. GRD 211.1.4.058-96. Method of determining the acute toxicity of water algae *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
 20. GRD 211.1.4.059-97. Methods for determining the toxicity of water on *Tetrahymena pyriformis* (Ehrenbrg) Schewiakoff. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
 21. GRD 211.1.4.060-97. Methods for determining the toxicity of water for bacteria *Photobacterium phosphoreum* (Cohn) Ford. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
 22. RD Method of determining the genotoxicity of the environment on the occurrence of dominant lethal mutations in flies *Drosophila melanogaster*. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 12.08.99 № 189.
 23. Cherkashin S.A. Biotesting: terminology, tasks, basic requirements and application in fisheries Toxicology/ Cherkashin S.A. / News Pacific Fisheries Research Center. – 2001. – № 1-3, T. 128. – P.1020-1035.
 24. Experience Center for the Study of water quality to determine the aquatic toxicity biotesting method [Electronic resource] / Zaitseva I.I. // 6 access mode: [https://cikv.ru/v\(id=3940883297711669273,ald=633472092167258137\)](https://cikv.ru/v(id=3940883297711669273,ald=633472092167258137)).
 25. Degtar S.V. Comparative analysis of the biological testing of tap water in the area Kremenchug / Degtar S.V./Ecology is the neosferologiya. – 2012. – № 1-2, T.23. – C.79-83.
 26. The toxicity of the water surface water source [Electronic resource] / V.V. Artamonov, M.G. Vasilenko // 6 access mode: <http://www.ecologylife.ru/voda-i-zdorovje-2002/toksichnost-vodyi-poverhnostnogo.html>.
 27. Nikiforov V.V. Biotesting system hydroecological monitoring / Nikiforov V.V., Shtrbova E.D. //Ecological security. 6 2011. 6 №1 (11) P.31-35.
 28. Bioindication and biotesting methods for

- determining how pollution of water bodies [Electronic resource] / E.S.Fomina, E.A.Troshina // Collection of articles V International scientific conference of students and graduate students "Environmental protection and sustainable natural resources use". 6 12 — 14 April 2006, Donetsk. 6 access mode: <http://6www.uran.donetsk.ua/masters/2006/feht/fomina/library/library.htm>.
29. Determining the level of toxicity of packaged water by biotesting [Electronic resource] / Antonov A.S., Zasyad'ko T.A. // 6 access mode: <http://intkonf.org/antonova-gs-zasyadko-ta-viznachennya-rivnyatoksichnosti-fasovan>.
30. Goncharuk V. Comprehensive assessment of quality of packaged water / V. Goncharuk, Arkhynchuk V. Terletska G., G. Korczak / Herald NAS of Ukraine. – 2005. – № 3. – С. 47-58.
31. Ilina E.G. Determination of quality of drinking water, packaged in a container / Ilina E.G. / News of Altai State University. – 2011. – № 3-1. – P.118-121.
32. Sodol G.A. Biotesting methods to assess the quality of bottled water / Sodol G.A., Ruzhitsky N.A. / Abstracts of the III scientific-practical conference «Water in the food industry». – Odessa: ONAFT, 2012. – S.26-27.
33. Using a biotesting for eco-toxicological evaluation of water environment [Electronic resource] / Usenko E.V. // 6 access mode: http://www.rusnauka.com/4_SWMN_2010/Ecologia/58821.doc.htm.
34. Bubnov A.G. Analysis of biotesting — an integrated method for assessing the quality of the environment [The training method-manual] / Bubnov A.G., Buymova S.A., Gushchin A.A., Izvekova T.V. – Ivanovo, 2007. – 112c.
35. Khatab Z.S. Ecological and genetic evaluation of the quality of water springs in Rostov-on-Don by biotesting using the luminescent bacteria: The dissertation of the candidate biological sciences: 03.02.08, 03.02.07 / Khatab Zozk Sardar. 6 Rostov-on-Don, 2013. 6 184.
36. The use of biological testing for eco-toxicological assessment of the environment [Electronic resource] / S. Zhuravlev, A. Pankin, T. Sakharov // 6 access mode: // http://sociosfera.com/publication/conference/2013/170/ispolzovanie_biologicheskogo_testirovaniya_dlya_ekologotoksikologicheskoy_ocenki_obektov_okruzhayuwej_sredy.
37. The use of bioassays on bacteria *Photobacterium phosphoreum*, ciliate *Tetrahymena pyriformis* and *Drosophila melanogaster* for eco-toxicological evaluation / Usenko E.V. // Bulletin of the Kharkiv National University V.N.Karazina. 6 2006. 6 V. 3, № 729. 6 P. 202 -207.
38. Patent RU 2225000 The strain of the bacteria *Enterobacter aerogenes*, used as an indicator in drinking water during biotesting (s- sensitive) [Electronic resource] / Levanova G.F., Kashnikov S.Y., Mazepa V.N., Yakimycheva E.A. // 6 access mode: <http://bd.patent.su/2225000-2225999/pat/servlet/servlet3fff.html>.
39. Moiseenko T.I. Biological methods of water quality assessment: Part 2. Biotesting / Moiseenko T.I., Gashev S.N., Petukhov G.A., Elifanov A.V. Selyukov A.G. // Bulletin of the Tyumen State University. – 2010. – № 7. – P. 40-51.
40. Prohotskaya V.Y. Structural and functional characteristics of the model population *Scenedesmus quadricauda* intoxication: the thesis for the degree of cand.of boil. sciences: 03.00.18 / Prohotskaya Valeria Yu. — Moscow, 2000. — 135 c.
41. Influence of biologically active substances on morphological and biochemical indices of *Allium cepa* L. [Electronic resource] / Tolkacheva T.A. // 6 access mode: http://www.rusnauka.com/30_NNM_2012/Biologia/2_119605.doc.htm.
42. Biotesting using ordinary onions [Electronic resource] / Geirid Fiskesjo // 6 access mode: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/feht/fomina/library/article5a.htm>.
43. Vergolyas M.R. The cytotoxic effect of chlorine phenols in the root meristem cells of welsch onion seeds onion (*Allium fistulosum* L.) / Vergolyas M.R., Lutsenko T.V., Goncharuk V.V. // Cytology and Genetics. – 2013. – V. 47, № 1. – P. 44-49.
44. Kontsevaya I. Improving methods of biotesting based on the *Allium* test / I.Kontsevaya, T. Tolkacheva // Herald VNU. – 2012. – № 6 (72). – P.57-65.
45. Sidorovich M.M. The use of biometric indicators *Allium* test for determining the quality of drinking water of the city / Sidorovich M.M. // Scientific journal of the National Pedagogical University im. M.P.Dragomanova. – 2013. – № 5. – P.182-192.

46. Kravchenko A.A. Toxicity nanoakvacitrate silver and copper with the test organisms of different trophic levels / Kravchenko A.A., Maxine V.I. Kovalenko V.F. / Scientific Notes Ternopil nat. ped.universitetu the V. Hnatiuk. – 2013. – №1 (54). – P.70-75.
47. Determination of the optimal exposure of drinking water on a red light by biotesting wheat germ [Electronic resource]/ Sofronova N.M., Pyatkov E.A.// 6 access mode: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-327031.html>.
48. Yakovlev V.V. Biotesting natural water Kharkov region to assess their toxicity / Yakovlev V.V. Biryukov T.Y., Matsyuk S.A. // "Utilities cities" scientific and technical collection. – 2008. – № 84. – P.102-110.
49. Effect of detergents on living systems [Electronic resource]/ Nalimova EA., Zhuravlev S.V., Pankina A.V. // 6 access mode: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/6789-2013-03-11-09-47-53>.
50. Vinohodov D.O. Scientific basis of biotesting using ciliates: Thesis for the degree of doctor of biol. sciences: 03.00.23 / Vinohodov Dmitry. 6 St. Petersburg, 2007. 6 270.
51. Mechanisms of resistance to chemical damage ciliates and overcoming them lethal concentrations of synthetic surfactants (detergents) / Prisiy A.V. Volinkin Y.L., Campos N.N. // scientific statements Belgorod State University. – 2009. -- № 9-2, m. 11. – P. 45-54.
52. Effects of heavy metals on the chemical composition of the body clam / Kanieva N.A., Andreev A.A., Fedorova N.N., Golbina O.V. / Bulletin ASTU. – 2013. – № 1. – P. 135-139.
53. Bakaeva EN Ecological and biological foundations of the life of rotifers in normal conditions and anthropogenic pressures: The thesis of the doctor biological sciences: 03.00.29. 6 Moscow, 2000. 6 317 p.
54. Vergolyas M.R. Pro-apoptosis changes in erythrocytes of fish *Danio rerio* when exposed copper cations / M.R. Vergolyas, R.O. Biliy, R.S. Stoika, V.V. Goncharuk / Biological Studios / *Studia Biologica*. – 2009. – V. 3, № 2. – P. 15-22.
55. Vergolyas M.R. Morphological changes of blood cells, gills and tail fin fish in assessing water quality and the effect of toxic factors: abstract for the degree of candidate biologist. sciences specialty 03.00.11 "Cytology, Cell Biology, Histology" / MR Verholyas — Lviv, 2010. — 21 p.
56. Vergolyas M.R. The use of morphological and functional changes in the cells of fish as bioindicators of chemical pollution of water bodies / Vergolyas M.R., Goncharuk V.V. / Collected articles "Third All-Ukrainian Congress of ecologists with international participation". — Ball, 2011. — Tom.1. — S.298-301. Collected articles "III-th All-Ukrainian Congress of ecologists with international participation". – Vinnitsa, 2011. – Tom.1. – P. 298-301.

Резюме

БІОТЕСТУВАННЯ В ОЦІНЦІ ЯКОСТІ ПИТНИХ ВОД

Квасневська Н.Ф., Лебедева Т.Л., Бадюк Н.С., Гоженко А.І.

Наведено огляд літературних даних існуючих методів біотестування, як способу біологічної оцінки якості питних вод. Розглянуто тест-об'єкти, які використовуються в біотестуванні питних вод та їх реакції на токсичну дію речовин.

Ключові слова: біотестування, тест-об'єкт, тест-реакція, питна вода, ксенобіотики.

Summary

BIOASSAY IN THE ASSESSING OF DRINKING WATER QUALITY

Kvasnevskaya N.F., Lebedeva T.L., Baduk N.S., Gozhenko A.I.

An overview of existing literature data concerning bioassay methods as a way of assessing the biological quality of drinking water is provided. Test objects used in the bioassay of drinking water and their reactions to the toxic effects of different substances are considered.

Keywords: biological testing, test object, test reaction, drinking water, ksenobiotiki

Впервые поступила в редакцию 30.01.2015 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования