

УДК: 504.4.064.36:614.777

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТОКСИЧНОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

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

*Украинский НИИ медицины транспорта МЗ Украины, Одесса;
natali_niimtr@rambler.ru*

Методы биотестирования питьевых вод, являясь одними из современных биологических методов контроля качества питьевых вод, приобретают все большую актуальность и значимость по определению токсикантов в водной среде. Показателем состояния живых организмов является эффективность физиологических процессов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность организма. Рассмотрены биологические методы контроля качества воды, основанные на использовании для измерения реакций биологических объектов физиологических и поведенческих характеристик, и целесообразность использования батареи тестов.

Ключевые слова: биотестирование, токсикант, питьевая вода, физиологический биомаркер, поведенческий биомаркер.

Вода играет в организме человека важную роль. Без воды не происходит ни один физико-химический, биохимический и физиологический процесс обмена веществ и энергии, она принимает участие практически во всех жизненно важных процессах: всасывании, транспорте, расщеплении, окислении, гидролизе, синтезе, осмосе, диффузии, резорбции, фильтрации, выведении и др. [1]. Поэтому для протекания физиолого-биохимических процессов живому организму необходимо достаточное количество, причем качественной воды.

В последнее время ведущими в определении качества воды становятся методы биотестирования, благодаря которым по реакции живых организмов (тест-объектов) можно констатировать непосредственное, в том числе и токсичное влияние воды на организм. При этом предпочтительней выбирать биотесты, отвечающие требованиям высокой чувствительности, доступности, простоты содержания и культивирования, а также получения биотестов в количествах, до-

статочных для выполнения массовых анализов [2, 3, 4].

Из-за видовых особенностей восприимчивости к загрязнителям целесообразно использовать набор объектов, представляющих разные таксономические группы [5]. Также необходимо учитывать при выборе тест-объекта среду их обитания.

Любое живое существо является организмом и находится во взаимодействии с окружающей их средой, успешно выживает и размножается в конкретной среде обитания, из которой получает все необходимое для жизни и в нее же выделяет продукты обмена веществ. Среда обитания каждого организма складывается из множества элементов неорганической и органической природы и элементов, привносимых человеком и его производственной деятельностью. При этом одни элементы могут быть частично или полностью безразличны организму, другие необходимы, а третьи оказывают отрицательное воздействие [6].

Показателем состояния живых организмов является эффективность физиологических процессов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность организма. Главной особенностью живых организмов является способность в процессе жизнедеятельности сохранять состояние внутреннего динамического равновесия (гомеостаза), которое поддерживается возобновлением основных структур и постоянной саморегуляцией ее компонентов. Под воздействием неблагоприятных условий механизмы поддержания гомеостаза могут быть нарушены, что приводит к состоянию стресса. Немаловажную роль играет обмен веществ, в процессе которого организмы способны сохранять относительное постоянство химического состава, поддерживать функции и противодействовать колебаниям внешней среды [7].

Воздействие среды на биологические организмы можно оценивать по морфо-физиологическому состоянию, эффективности биохимических реакций, в том числе уровню ферментативной активности и накоплению определенных продуктов обмена [8]. Причем, все воздействия можно подразделить на экологически адекватные, которые вызывают реакцию тех или иных адаптивных физиологических систем, а также на неадекватные нормальным условиям обитания, которые определяются как стрессирующие, вызывающие нарушение в живых системах. Причем эти воздействия можно регистрировать по изменениям в функционирующих структурах и системах, также по наличию и степени проявления генетических изменений, характеризующих в том числе мутагенную активность среды. Большинство генетических нарушений распознаются клеткой с последующей элиминацией повреждения клетки, например путем апоптоза за счет внутриклеточных систем или посредством иммунной системы. Генетические изменения могут выявляться на геномном, хромосомном и геномном уровнях [9, 10, 11]. В дополнение к генетическому под-

ходу, возможно исследование параметров иммунитета, таких как состав крови и гемолимфы, определение наличия антител в жидкостях организма, концентрации белков плазмы, перивисцеральной жидкости и гемолимфы, оценка динамики клеточного состава.

Воздействие на организм стрессирующих факторов приводит к отклонениям от нормального строения и появлению различных морфологических признаков, в том числе различным аномалиями (асимметрия тела и т.д.), а также и процессам воспроизведения организмов [12].

Стрессовое воздействие среды на организм оценивается и физиологическим состоянием. В то же время каждый физиологический процесс требует определенных затрат энергии, поэтому любое изменение физиологического состояния немедленно сказывается на энергетическом обмене. Биоэнергетические показатели живых систем позволяют выявлять последствия стрессового воздействия среды до наступления необратимых изменений в организме. На реализацию одного и того же физиологического процесса в неблагоприятных условиях организму требуется больше энергии, чем в оптимальных, из-за необходимости компенсации таких воздействий среды [6, 13].

Таким образом, методы биотестирования позволяют изучить влияние неблагоприятных условий на физиологическое состояние организма. Эти неблагоприятные стрессирующие воздействия, в свою очередь можно подразделить на дисрегуляторные и токсические. К дисрегуляторным следует отнести такие воздействия, на которые реагируют адаптивные физиологические механизмы, однако их приспособительная мощность недостаточна, что приводит к нарушениям внутренней среды организма. К токсическим следует отнести те, неадекватные, чаще химические воздействия, к которым отсутствуют реакции адаптации, вследствие чего их действие

носит исходно патогенный характер [14, 15].

Таким образом, существенный интерес представляют методы, основанные на использовании для измерения реакций биологических объектов физиологических и поведенческих экотоксикологических биомаркеров. Знания физиолого-биохимических основ действия токсичных веществ также крайне важны для разработки мероприятий по диагностике, классификации отравлений водных животных. В последнее время они приобретают особую актуальность и практическую направленность в связи с необходимостью развития методов биотестирования по определению токсикантов в водной среде для оценки качества питьевых вод [16].

Наибольшие успехи достигнуты в измерении реакций (физиологических и поведенческих) бентосных беспозвоночных с экзоскелетом (раков, крабов, раковинных моллюсков) на изменения качества среды их обитания. Измерительные системы, с помощью которых регистрируют такие показатели, получили название биоэлектронных. Биоэлектронные системы – это информационно-измерительные системы, с помощью которых у животных регистрируют физиологические или поведенческие индикаторы состояния здоровья. Существенным преимуществом метода является экспрессность и возможность интегральной оценки воздействия загрязняющих веществ на биоту. Биоэлектронные системы имеют широкие перспективы применения в области контроля качества воды на станциях питьевого водоснабжения. В ряде зарубежных стран функционируют системы раннего биологического оповещения (СРБО) об опасном уровне загрязнения в водной среде на базе измерений величины раскрытий створок (ВСП) моллюсков.

В качестве физиологических биомаркеров в биоэлектронных системах используются характеристики кардиоактивности животных: частота сердечных

сокращений (ЧСС), стресс-индекс, коэффициент вариации индивидуальных ЧСС тест-организмов исследуемой выборки. Обусловливается это тем, что сердечно-сосудистая система является одной из основных функциональных систем организма, которая обеспечивает и отражает работу других систем организма, характеризуется наличием ритмичности; отличается быстротой отклика [17].

В качестве поведенческих биомаркеров рассматривают характер движения створок раковин моллюсков: ВРС; число аддукций (кратковременных полных или частичного закрывания створок) в единицу времени; коэффициент вариации индивидуальных ВРС тест-организмов исследуемой выборки, отражающий характер движения створок; соотношение временных интервалов нахождения створок в раскрытом и закрытом состоянии и др. Основанием для этого является реакция закрывания створок раковины в биоэлектронных системах на время, в течение которого качество среды обитания не отвечает условиям их нормальной жизнедеятельности (в результате нарушения кислородного режима, изменения солёности воды, наличия в воде ксенобиотиков и других воздействий) [18, 19].

Поведенческие реакции у животных — одно из средств приспособления к окружающей среде и ее изменениям. Поэтому в последнее время стали уделять все больше внимания физиолого-биохимическим основам поведенческих реакций, при помощи которых можно выявить незначительные отклонения, вызываемые токсикантами задолго до нарушения целостных функциональных ответов организма. С условиями среды обитания у гидробионтов вырабатываются определенные ритмы жизнедеятельности. Сюда относятся не только ритмы активности, но и другие: репродуктивная (спаривание, откладка яиц), онтогенетические (линька, вылупление молоди), метаболическая (питание, выделение, дыхание), биохимическая и др. [17]. Попадающие в природную среду ксеноби-

отики, являясь чужеродными, непривычными, с которыми организмы ранее не сталкивались, проникая в живой организм подавляют действие ферментных систем, воздействуют на генетические системы, на клеточные биомембраны, нарушают их структуру, проницаемость, мембранный потенциал и т. д. Попадание в межклеточную жидкость токсиканта изменяет её физико-химические свойства, вступает в химическое взаимодействие со структурными элементами. Изменение свойств межклеточной жидкости немедленно приводит к реакции со стороны клеток. Вредное действие токсикантов проявляется на всех уровнях организации живых систем: субклеточном, клеточном, тканевом, органном, онтогенетическом, популяционном и биогеоэкологически — биосферном [20, 21].

С изменением условий среды у гидробионтов также регистрируют: разницу в концентрациях растворенного кислорода на входе и выходе, ингибирование нитрификации (концентрация NH_3 на входе и выходе остается почти одинаковой (бактерии *Photobacterium*)); угнетение фотосинтеза, замедление флуоресценции, электрофизиологические показатели регистрации состояния мембраны клеток водорослей (*Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitella*); снижение активности и дыхания (речные раки); снижение скорости движения ножек (дафнии); нарушение фототаксиса (инфузории, коловратки); частоты сердечных сокращений, изменения уровня глюкозы в крови, снижение артериального давления, изменения содержания гемоглобина и эритроцитов, лейкоцитов, снижение локомоторной активности, реакции избегания токсических веществ (покидание «жилой» зоны), увеличение частоты движения жаберных крышек, раздражение поверхности жабр, при котором обычно наблюдается обратный ток воды через жабры (рыбы) [22].

Любая патология (в том числе вызываемая ксенобиотиками) может разви-

ваться вследствие нарушения гомеостаза — постоянного поддержания структуры и функции организма в границах нормы. Обнаружить отклонения механизмов поддержания гомеостаза помогут методы биотестирования. Как метод, биотестирование, дает возможность оценивать качества природной среды при всем многообразии экологических изменений, путем ее воздействия на организм с дальнейшей регистрацией изменений функций организма.

В соответствии с физиологическими особенностями реагирования гидробионтов на любое воздействие неблагоприятных условий, исследования с применением методов биотестирования актуально использовать для определения качества питьевых вод [5, 7].

На современном этапе известно большое количество методов биотестирования с применением различных тест-объектов, но стандартизированных не так уж и много. В Украине это тесты с пресноводными рыбами (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan, *Poecilia reticulata* Peters), ракообразными (*Daphnia magna* Straus, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg), водорослями (*Scenedesmus subspicatus*, *Selenastrum capricornutum*), инфузориями (*Tetrahymena pyriformis*), бактериями (*Photobacterium phosphoreum*), мухами (*Drosophila melanogaster*) [23-36].

В последние годы для оценки качества питьевых вод, как правило, используют батарею биологических тестов. Это обусловлено тем, что одиночный биологический объект либо не реагирует на все возможные отклонения в параметрах питьевой воды, контроль которых необходим, либо по его реакциям затруднительно все их зарегистрировать. Поэтому, как правило, батарея тестов включает представителей разных таксономических групп, наиболее часто используемые из них: бактерии (*Photobacterium phosphoreum*), водоросли (*Scenedesmus subspicatus*, *Selenastrum capricornutum*, *Chlorella* sp.), лук (*Allium cepa* L.), инфу-

зории (*Tetrahymena pyriformis*), гидра (*Hydra*), мухи (*Drosophila melanogaster*), двухстворчатые моллюски рода *Unio*, *Anodonta*, ракообразные (*Daphnia magna Straus*, *Ceriodaphnia affinis Lilljeborg*), раки (*Astacus leptodactylus*), рыбы (*Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan*, *Poecillia reticulata Peters*) [2, 9, 10, 18, 37].

В Украине пионером использования биотестирования и разработки батарей тестов является академик В.В. Гончарук. В его лаборатории на протяжении последних десятилетий разработан комплексный подход к оценке безопасности питьевых вод с использованием батареи тест-организмов. Объектами для исследований служат целостные организмы разных систематических групп и трофических уровней, с последующим определением острой и хронической токсичности, а также используются для исследований клетки растений и животных (структурные и функциональные изменения генома — гено- и цитотоксичность). Так например, для определения острой и хронической токсичности используют следующие организмы животных и растений: цериодафнии, гидры, рыбы (гуппи), лук (*Allium test*). Параллельно исследования проводят на клеточном уровне, используя при этом клетки лука и клетки рыб (плавник, жабра и кровь (эритроциты)) для выявления структурных и функциональных изменений генома клеток (образование микроядер и двойных ядер). Такой выбор предопределяется определенными факторами: клетки плавника непосредственно взаимодействуют с веществами водной среды; в жабрах сочетают эффекты от контакта клеток с растворенными ксенобиотиками и продуктами их биотрансформации; эритроциты крови испытывают влияние веществ окружающей среды после их превращения в организме рыбы. [10, 37-42].

Следовательно, биотестирование является важным и перспективным способом оценки качества питьевых вод, использование которого существенно

дополняет общепринятые санитарно-химические методы. Однако в настоящее время отсутствует единая биологическая и физиологическая (батарея тестов) обоснованная система биотестирования, которая может эффективно использоваться в контроле качества питьевой воды.

Выводы

1. Живые организмы, находясь в постоянной взаимосвязи со средой их обитания, реагируют на малейшие изменения в ней. Показателем состояния организмов, при этом, является эффективность и механизмы протекания физиологических процессов в организме.
2. Биотестирование является универсальным методом контроля веществ как вредных для живого организма, так и полезных, являющихся жизненно-необходимыми, и поступающими из внешней среды.
3. Биотестирование воды, как метод позволяет определять действие токсических веществ с последующим их вмешательством в физиолого-биохимические процессы организма, которые обеспечивают функционирование определенных органов и систем и определяют конечные ответные реакции.
4. Наиболее перспективным способом биотестирования является использование батареи тестов.

Литература

1. Гончарук В.В. Вода – всемирный буфер планеты и ее иммунная система / В.В.Гончарук //Вода: гигиена и экология. – 2013. – №1 (т.1). – С. 8 – 19.
2. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: [Учебное метод-пособие] /Бубнов А.Г., Буймова С.А., Гушин А.А., Извекова Т.В. 6 Иваново, 2007. 6 112с.
3. 3. Вишневецкий В.Ю. Принципы построения биотестовой системы / В.Ю.Вишневецкий, Н.Г. Булавкова, В.С.Ледяева // Известия ЮФУ. 6 2011. 6 № 9. 6 Т. 122. 6 С. 12-17.

4. Goncharuk V.V. Theoretical Aspects of Natural and Drinking Water Biotesting / V.V.Goncharuk, V.F.Kovalenko// J. of Water Chemistry and Technology. – 2012. – V.34. – № 2. – P. 103 – 106.
5. Кравченко О.О. Визначення токсичності наноаквацитратів срібла та міді за допомогою тест-організмів різних трофічних рівнів /О.О. Кравченко, В.І. Максін, В.Ф. Коваленко// Наукові записки Тернопільського нац.пед.університету імені В.Гнатюка. 6 2013. 6 №1(54). 6 С.70-75.
6. Николайкин Н.И. Экология: учебник для вузов/ Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. – 3.е изд., стереотип. – М.:Дрофа. – 2004. – 624 с.
7. Постнов Е.Ф. Разработка принципов биотестирования физиологически активных веществ в объектах природной среды: дис. доктора биол. наук 03.00.13, 03.00.16/ Постнов Иван Евстафьевич. – Н. Нов., 2001. – 230 с.
8. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование / Ляшенко О.А. – СПб.: – СПб ГТУРП, 2012. – 67 с.
9. Биотестирование с помощью лука обыкновенного [Электронный ресурс] / Geirid Fiskesjo // 6 режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/feht/fomina/library/article5a.htm>.
10. 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.
11. de Rainho C.R. Ability of *Allium cepa* L. root tips and *Tradescantia pallida* var. *purpurea* in N-nitrosodiethylamine genotoxicity and mutagenicity evaluation /de Rainho C.R., Kaezer A, Aiub C.A, Felzenszwalb I. // *An. Acad.Bras. Cienc.* – 2010. – P. 925-932.
12. Howd R.A. Can we protect everybody from drinking water contaminants?/ Howd R.A./ *J. Toxicol.* – 2002. – V.21(5). – P.389-95.
13. Ferrao-Filho A. A rapid bioassay for detecting saxitoxins using a *Daphnia* acute toxicity test /A. Ferrao-Filho, M. C. S. Soares, V. F. de Magalhães, S. M. Azevedo/ *Environmental Pollution*. – 2010. – V. 158(6). – P. 2084-93.
14. Каниева Н.А. Воздействие тяжелых металлов на химический состав организма двустворчатых моллюсков / Каниева Н.А., Андреев А.А., Федорова Н.Н., Гольбина О.В. // Вестник АГТУ. 6 2013. 6 № 1. – С. 135-139.
15. Wong P.T.S. Bioassessment of Water Quality/Wong P.T.S., Dixon D.G. // *Environ. Toxicol. and Water Quality*. – 1995. – V. 10 – P. 9 – 17.
16. 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.
17. Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод [Электронный ресурс] /С.В. Холодкевич, А.В. Иванов, Е.Л. Корниенко, А.С. Куракин, В.А. Любимцев// – режим доступа: <http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-continuous-18708.htm>
18. Крайнюкова А.Н., Рязанов А.В., Емельяненко В.В. Метод биотестирования по реакции закрывания створок раковин двустворчатых моллюсков // Методы биотестирования вод. – Черногловка: ГК ОП СССР, 1988. – С. 57–60.
19. Экотоксикологический биомаркер для биоиндикации состояния водных экосистем на основе оценки адаптационной способности обитающих в них двустворчатых моллюсков / С. В. Холодкевич, А. В. Иванов, В. В. Трусевич, Т. В. Кузнецова // Доповіді Національної академії наук України. – 2012. – № 6. – С. 138-142.
20. Основы токсикологии [Электронный ресурс] / Куценко С.А. // – режим доступа: http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxicology.pdf.
21. Механизмы реагирования водных организмов на воздействие токсичных веществ / О. Филенко, А. Дмитриева, Е. Исакова и др. // Антропогенные влияния на водные экосистемы / Ред. О.Ф. Филенко. (К 100-летию со дня рождения профессора Н. С. Строганова). — КМК Пресс М., 2005. — С. 70–93.
22. Метод биотестирования в практике работы экоаналитических лабораторий [Электронный ресурс] /Власова К.С.// — режим доступа: <http://www.sjes.esrae.ru/pdf/2013/1/6.doc>
23. Якість води. Визначення 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.

24. 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.
25. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [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.
26. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [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.
27. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. НД Методика визначення генотоксичності об'єктів довкілля за частотою виникнення домінантних летальних мутацій у мух *Drosophila melanogaster*. Затв. наказом Мінекобезпеки України 12.08.99 № 189.
37. V. V. Arkhipchuk Cytogenetic study of organic and inorganic toxic substances on *Allium cepa*, *Lactuca sativa*, and *Hydra attenuata* cells /V. V. Arkhipchuk, M. V. Malinovskaya and N. N. Garanko// *Environmental Toxicology*. – 2000. – V.15. – № 4. – P. 338 – 344.
38. Біотестування як метод оцінки якості питних вод // Вісник національної академії наук України. 6 2006. 6 № 10. – С. 54 – 57.
39. Гончарук В. Комплексна оцінка якості фасованих вод / Гончарук В., Архипчук В., Терлецька Г., Корчак Г.// Вісник НАН України. – 2005.- №3. – С.47-58.
40. Гончарук В. В. Сравнительная характеристика качества питьевых вод различного происхождения по результатам комплексного биотестирования / В. В. Гончарук, В. Ф. Коваленко, И. А. Злацкий // *Химия и технология воды*. – 2012. – Т. 34, № 1. – С. 98-104.
41. Гончарук В. Знесолена вода і життєдіяльність організмів / В. Гончарук, В.Архипчук // Вісник Національної академії наук України. — 2002. — № 9. — С. 45-48.
42. Архипчук В.В. Биотестирование качества воды на клеточном уровне Архипчук В.В., Гончарук В.В.//*Химия и технология воды*. – 2001. – 23. — № 5. – С.531 – 544.

References

1. Goncharuk V.V. Water - a global buffer planet and its immune system / V.V.Goncharuk // *Water: Hygiene and*

- Ecology. - 2013. - №1 (v.1). - Definition aqua citrate toxicity of nano silver and copper using test organisms of different trophic levels. 8 - 19.
2. 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. - 112с.
 3. Vishnevetskiy V.Y. Principles of construction biotesting system / Vishnevetskiy 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.
 4. Goncharuk V.V. Theoretical Aspects of Natural and Drinking Water Biotesting / V.V.Goncharuk, V.F.Kovalenko// J. of Water Chemistry and Technology. - 2012. - V.34. - № 2. - P. 103 - 106.
 5. Kravchenko O.O. Definition aqua citrate toxicity of nano silver and copper using test organisms of different trophic levels /O.O. Kravchenko, V.I. Maxine, V.F. Kovalenko // Scientific notes Ternopil nats.ped.universytetu V.Hnatyuka name. 6 2013. 6 №1 (54). 6 P. 70-75.
 6. Nykolaykyn N.I. Ecology: Textbook for Universities / Nykolaykyn N.I., Nykolaykyna N.E., Melekhova A.P. - 3.e ed., Stereotype. - Moscow: Bustard. - 2004. - 624 p.
 7. Postnov E.F. Development of the principles of bio-testing of physiologically active substances in the environment: dis. Dr. biol. Sciences 03.00.13, 03.00.16 / Postnov Ivan Evstafievich. - N. New msg., 2001. - 230 p.
 8. Lyashenko, O.A. Bioindication and bioassay / O. Lyashenko - SPb .: - GTURP St. Petersburg, 2012. - 67 p.
 9. Bioassay using ordinary onions [Electronic resource] / Geirid Fiskesjo// 6 access mode: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/feht/fomina/library/article5a.htm>.
 10. Vergolyas M.R. Pro-apoptosis changes in erythrocytes of fish *Danio rerio* when exposed copper cations / M.R. Vergolyas, R.O. Bilyy, R.S. Stoika, V.V. Goncharuk / Biological Studios / *Studia Biologica*. - 2009. - V. 3, № 2. - P. 15-22.
 11. de Rainho C.R. Ability of *Allium cepa* L. root tips and *Tradescantia pallida* var. *purpurea* in N-nitrosodiethylamine genotoxicity and mutagenicity evaluation /de Rainho C.R., Kaezer A, Aiub C.A, Felzenswalb I. // *An. Acad.Bras. Cienc.* - 2010. - P. 925-932.
 12. Howd R.A. Can we protect everybody from drinking water contaminants?/ Howd R.A./ / *J. Toxicol.* - 2002. - V.21(5). - P.389-95.
 13. Ferrao-Filho A. A rapid bioassay for detecting saxitoxins using a *Daphnia acute* toxicity test /A. Ferrao-Filho, M. C. S. Soares, V. F. de Magalhães, S. M. Azevedo/ / *Environmental Pollution*. - 2010. - V. 158(6). - P. 2084-93.
 14. 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.
 15. Wong P.T.S. Bioassessment of Water Quality/Wong P.T.S., Dixon D.G. // *Environ. Toxicol. and Water Quality*. - 1995. - V. 10 - P. 9 - 17.
 16. 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.
 17. Bioelectronic monitoring of surface water [electronic resource] /S.V. Kholodkevich, A.V. Ivanov, E.L. Kornienko, A.S. Kurakin, V.A. Pets // - mode of access: <http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-continuous-18708.htm>
 18. Kraynyukova A.N. Ryazanov, A.V., Fedor V. Bioassay method by the reaction of closing the valves shells of bivalves // *Methods bioassay waters*. - Chernogolovka: GK OP USSR, 1988. - P. 57-60.
 19. Eco-toxicological biomarker for bioindication of aquatic ecosystems based on evaluation of the adaptive capacity of living in these bivalves / S.V. Kholodkevich, A.V. Ivanov, V.V. Trusevich, T.V. Kuznetsova / / *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. - 2012. - № 6. - P. 138-142.
 20. Fundamentals of toxicology [electronic resource] / Kutsenko S.A // - Access Mode: http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxicology.pdf.
 21. Mechanisms of response of aquatic organisms to the impact of toxic substances /O. Filenko, A Dmitrieva, E. Isakov et al. // *The anthropogenic influence on aquatic ecosystems / Ed. of Panels. (The 100th birth anniversary of Professor NS Stroganov)*. - KMK Press M., 2005. - P. 70-93.

22. The method of biological testing in the practice of eco-analytical laboratories [electronic resource] / Vlasova K.S.// - mode of access: <http://www.sjes.esrae.ru/pdf/2013/1/6.doc>.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. GRD 211.1.4.057-97. Methods for determining acute lethal toxicity water for fishes *Poecilia reticulata* Peters. Approved by order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 № 68.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. Arkhipchuk V. V. Cytogenetic study of organic and inorganic toxic substances on *Allium cepa*, *Lactuca sativa*, and *Hydra attenuata* cells /V.V. Arkhipchuk, M.V. Malinovskaya and N. N. Garanko// Environmental Toxicology. – 2000. – V.15. - № 4. – P. 338 – 344.
38. 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.
39. Goncharuk V. Comprehensive assessment of quality of packaged water /V. Goncharuk, V.Arkhypchuk, G. Terletska, G. Korczak / herald NAS of Ukraine. –2005. – № 3. – C. 47-58.
40. Goncharuk V.V. Comparative characteristics of the quality of drinking water of different origin as a result of a complex bioassay / V.V. Goncharuk, V.F. Kovalenko, I.A. Zlatsky // Chemistry and technology of water. - 2012. - V. 34, № 1. - pp 98-104.

41. Goncharuk V. Demineralized water and livelihoods organisms / V. Goncharuk, V.Arhipchuk // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. - 2002. - № 9. - P. 45-48.
42. Arhipchuk V.V. The bioassay of water quality at the cellular level Arhipchuk V.V., Goncharuk V.V.// Chemistry and technology of water. - 2001. - 23. - № 5. - S.531 - 544.

Резюме

БІОЛОГІЧНА ОСНОВА І ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТОКСИЧНОСТІ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

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

Методи біотестування питних вод, будучи одними з сучасних біологічних методів контролю якості питних вод, набувають все більшої актуальності і значимості за визначенням токсикантів у водному середовищі. Показником стану живих організмів є ефективність фізіологічних процесів, що забезпечують нормальну життєдіяльність організму. Розглянуто біологічні методи контролю якості води, які засновані на використанні для вимірювання реакцій біологічних об'єктів фізіологічних і поведінкових характеристик, та доцільність використання батареї тестів.

Ключові слова: біотестування, токсикант, питна вода, фізіологічний біомаркер, поведінковий біомаркер.

Summary

BIOLOGICAL BASIS AND PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF BIOLOGICAL METHODS OF TOXICITY OF WATER ECOSYSTEMS CONTROL

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

Methods of biological testing of drinking waters belong to modern biological methods of drinking water quality control and acquire the greater urgency and importance for determination of toxicants in aqueous media. The efficacy of physiological processes supporting normal life-ability of an organism is an index of living organisms condition. The biological methods of control for water quality based on the measurement of physiological and behavioral reactions are discussed, advisability of test battery use is substantiated.

Key words: biotesting, toxicant, drinking water, physiological biomarker, behavioural biomarker.

Впервые поступила в редакцию 17.09.2015 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования