

УДК 574.632.; 504.064.3.; 594

Опыт использования пресноводных двустворчатых моллюсков – перловиц (*Unio pictorum*) в качестве биосенсоров в системах автоматизированного биосенсорного контроля нефтяного загрязнения вод в системах водоснабжения населения

Трусевич В. В., Журавский В. Ю.

*Институт природно-технических систем
Севастополь, Россия
trusev@list.ru*

Исследовали эффективность использования моллюсков – перловиц в комплексах биосенсорного контроля для обнаружения нефтяного загрязнения вод в системах водообеспечения населенных пунктов. Установлена высокая чувствительность моллюсков к нефтяному загрязнению – нижний порог чувствительности моллюсков составляет 0,005мл/л, что соответствует уровню ПДК для рыбохозяйственных предприятий. Долговременная эксплуатация комплекса показала высокую эффективность его использования для оценки качества водной среды пресноводных водоемов и рек.

Ключевые слова: биомониторинг, пресноводные водоемы, перловица, движение створок, нефтяное загрязнение, дизтопливо.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях быстро возрастающей интенсивности загрязнения рек, пресноводных водоемов и других источников водообеспечения населения, все большее значение приобретают автоматизированные биоэлектронные системы контроля вод, поступающих в системы водообеспечения населенных пунктов. Своевременное обнаружение возможности возникновения чрезвычайных ситуаций, в подавляющем большинстве случаев, позволяет успеть обеспечить проведение мероприятий по предотвращению нанесения ущерба среде и снизить последствия их воздействий. Особенно важно это для систем водоснабжения и в зонах выпускных коллекторов городов и промышленных предприятий. Первичные пункты автоматизированного контроля с использованием современных систем связи и обработки данных должны быть объединены в единые сети, охватывающие большие водные территории, с единым центром слежения (Kramer, Foekema, 2000; Borchherding, 2006; Musselmonitor, 2021).

В водной среде мы имеем дело со сложной смесью загрязняющих веществ, в которой наблюдается синергический эффект их совместного влияния. Современные системы мониторинга, базирующиеся преимущественно на физико-химических методах, трудоемки, дорогостоящи, дают фрагментарные сведения, охватывают традиционный узкий круг загрязняющих агентов, не обеспечивают непрерывного мониторинга и своевременного обнаружения внезапного выброса загрязнений и, в принципе, не могут оперативно определить степень опасности того или иного агента для экосистемы и человека (Крайнюкова, 1991; Kramer, Foekema, 2000; Borchherding 2006).

Объективная оценка состояния водных экосистем невозможна без использования биологических методов экологического мониторинга. С 1990-х годов в мире в решении проблемы организации непрерывного автоматизированного биомониторинга поверхностных вод, все большую роль играют биоэлектронные системы, так называемые системы раннего обнаружения (BEWS – Biological Early Warning Systems), в которых животные в качестве

сенсоров включены в электронную схему регистрации тех или иных физиологических, биохимических или поведенческих показателей (Крайнюкова, 1991; Kramer, Foekema, 2000; Borcharding 2006). В настоящее время в ряде стран Европы для контроля вод во всех сферах современного водопользования широко и успешно используются различные модификации биоэлектронных систем Musselmonitor и Dreissenamonitor в природных условиях водоемов. Их действие основано на регистрации поведенческих реакций морских и пресноводных двустворчатых моллюсков, то есть способности их закрывать створки на продолжительное время или изменять ритмику движений при воздействии неблагоприятных факторов (Borcharding, 2006). Эти системы, в отличие от физико-химических методов мониторинга, позволяют в реальном времени непрерывно получать интегральную токсикологическую характеристику среды, оценивать качество воды, как среды обитания гидробионтов и передавать информацию в on-line режиме (Borcharding, 2006; Musselmonitor, 2021). Наряду с описанными системами в практике экологического мониторинга вод используются системы автоматизированного контроля вод на основе оценки кардиоактивности моллюсков (Curtis et al., 2000). В РФ с 2005 года на 11 водозаборах водоканала Санкт-Петербурга успешно функционирует система автоматизированного мониторинга воды с использованием кардиоактивности речных раков (Холодкевич, 2007).

Нами в 2008 году разработан и испытан в течение ряда лет комплекс автоматического контроля и on-line оповещения в реальном времени об изменениях характеристик водной среды, являющийся аналогом систем Musselmonitor и Dreissenamonitor, предназначенный для эксплуатации в природных условиях морских и пресноводных водоемов (Трусевич и др., 2008).

В качестве биосенсоров при создании систем автоматизированного мониторинга для пресноводных систем очевидно наиболее целесообразно использовать наиболее распространенных двустворчатых моллюсков пресных вод – перловиц (*Unio pictorum*, Linnaeus 1758).

Однако в литературе имеются только единичные сведения об использовании этих моллюсков в системах биосенсорного мониторинга пресных вод (Трусевич и др., 2017).

Для разработки и использования систем автоматизированного биомониторинга на основе поведенческих реакций моллюсков, сведения об особенностях поведенческих реакций и характеристиках ритмики активности моллюсков в естественной среде обитания является определяющими. При этом принципиально важно использовать аборигенные виды. Необходимым элементом успешного функционирования этой системы является также оценка порогов чувствительности моллюсков к воздействию основных загрязняющих агентов водной среды (Трусевич и др., 2017).

В водные системы ежегодно поступают миллионы тонн сотен тысяч загрязняющих веществ, среди которых нефтяное загрязнение занимает одно из ведущих мест. Нефтяное загрязнение является одним из ведущих факторов негативного антропогенного воздействия на водные экосистемы. Основными источниками загрязнения пресноводных водоемов, не связанных с нефтедобычей и водным транспортом, являются сточные воды коммунально-бытовой деятельности. Также углеводороды поступают в водоемы и в ходе дождевых смывов с полей и дорог, ветровой эрозии почв, выпадения атмосферных осадков (Коршунова и др., 2019). Нефть – это неспецифический групповой токсикант переменного состава, который относится к категории слаботоксичных и/или умеренно токсичных веществ. Наибольшую опасность для живых организмов представляют растворимые моноциклические ароматические углеводороды и устойчивые высокомолекулярные полиароматические углеводороды (ПАУ) (Патин, 2017).

Нефть и нефтепродукты являются наиболее опасными загрязнителями водной среды, которые оказывают отрицательное воздействие на трофические связи и круговороты веществ, накапливаются во всех слоях водной толщи и донных илах, загрязняют берега рек и озер, приводят к ухудшению физических и органолептических свойств воды, затрудняющие все виды водопользования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения работ использовали разработанные нами модификации комплексов автоматизированного мониторинга водной среды на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков, являющиеся аналогами системы Musselmonitor, предназначенные для проведения исследований в натуральных условиях морских и пресноводных водоемов, с глубиной погружения до 20 метров. Комплексы автоматически в режиме реального времени обеспечивают получение цифровой информации о движении створок моллюсков, с помощью закрепленных на них датчиков Холла и магнита. Одновременно регистрируются индивидуальные реакции 16 животных. Чувствительность прибора 0,1 мм. Непрерывный съем информации, с регистрацией сигналов, осуществляется через 1 минуту. Латентный период реагирования системы на загрязнение, в зависимости от природы и концентрации, от нескольких секунд до нескольких минут. Компьютерные программы позволяют в режиме реального времени транслировать информацию в on-line режиме в соответствующие центры управления крупных водных регионов (Трусевичи др., 2008; Трусевич и др., 2016).

Работа была проведена на пресноводных моллюсках – перловицах (*Unio pictorum* Linnaeus, 1758) размером 40–45 мм, собранных в районе проведения работ. Для исследований фоновых характеристик поведения моллюсков приборы с закрепленными моллюсками находились в погруженном состоянии в основное русло реки Черная на гидроузлах № 11 и № 14 водоканала Севастополя с переходных мостков на глубину 1 метра практически непрерывно на протяжении 3-х лет. В качестве модельного объекта нефтяного загрязнения использовали водную эмульсию дизельного топлива в соотношении 1:1, которое является наиболее агрессивным компонентом нефтяного загрязнения и наиболее часто используется в лабораторных исследованиях изучению влияния нефтяного загрязнения на гидробионты (Клишин и др., 2016; Коршунова, Логинов, 2019). Эксперименты по оценке чувствительности к воздействию токсикантов, в том числе дизтоплива, проводили на гидроузле № 11 в аквариуме, объемом 120 литров, установленном на берегу реки, в котором размещались прибор с закрепленными моллюсками, при постоянном протоке воды из основного русла со скоростью 6 литров в минуту.

В качестве первого этапа биотестирования осуществлен скрининг воздействия стандартного дизельного топлива. Скрининг тесты были выполнены для установления самых низких концентраций солярового масла, которые способны вызывать немедленные отклонения в поведении моллюсков, с последующим использованием его результатов в системах биосенсорной индикации качества водной среды. Во избежание расслоения дизтоплива вносили в экспериментальные аквариумы в виде водной эмульсии, приготовленной продолжительным (15 минут) интенсивным взбалтыванием смеси воды и солярового масла в соотношении 1: 1.

Исследовались концентрации соляра: 0,5 мл/л (1,4 ПДК); 0, 05 мл/л (0,14 ПДК); 0,025 мл/л (0,071 ПДК) и 0,005 мл/л (0,0014 ПДК). Продолжительность каждого экспериментального воздействия составляла 2 часа. При проведении экспериментов рассчитанная концентрация поллютанта вводилась в аквариум, при выключенном на время эксперимента протоке воды, по трубке с расстояния 3-х метров. Равномерное перемешивание раствора в аквариуме достигалось использованием аквариумного микронасоса. Результаты экспериментов представлены на рисунках 1 и 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наши исследования моллюски-перловицы демонстрируют высокую чувствительность к присутствию дизельного топлива в водной среде. Реакция моллюсков на воздействия дизельного топлива носит ярко выраженный дозозависимый характер. Появление в воде аквариума дизельного топлива в концентрации 0,5 мл /литр (1,4 ПДК) уже в первые минуты вызывает практически мгновенную синхронную реакцию моллюсков, проявляющуюся в резком увеличении частоты бессистемных схлопываний створок (10–20 в

час) (рис. 2), сопровождающихся уменьшением амплитуды раскрытия створок в среднем на 40 % от величины максимального раскрытия, сохраняющееся 8–10 часов после удаления токсиканта, что является характерным признаком стрессовой ситуации.



Рис. 1. График раскрытия створок моллюсков в течении эксперимента: черная стрелка – момент начала, красная – момент окончания воздействия

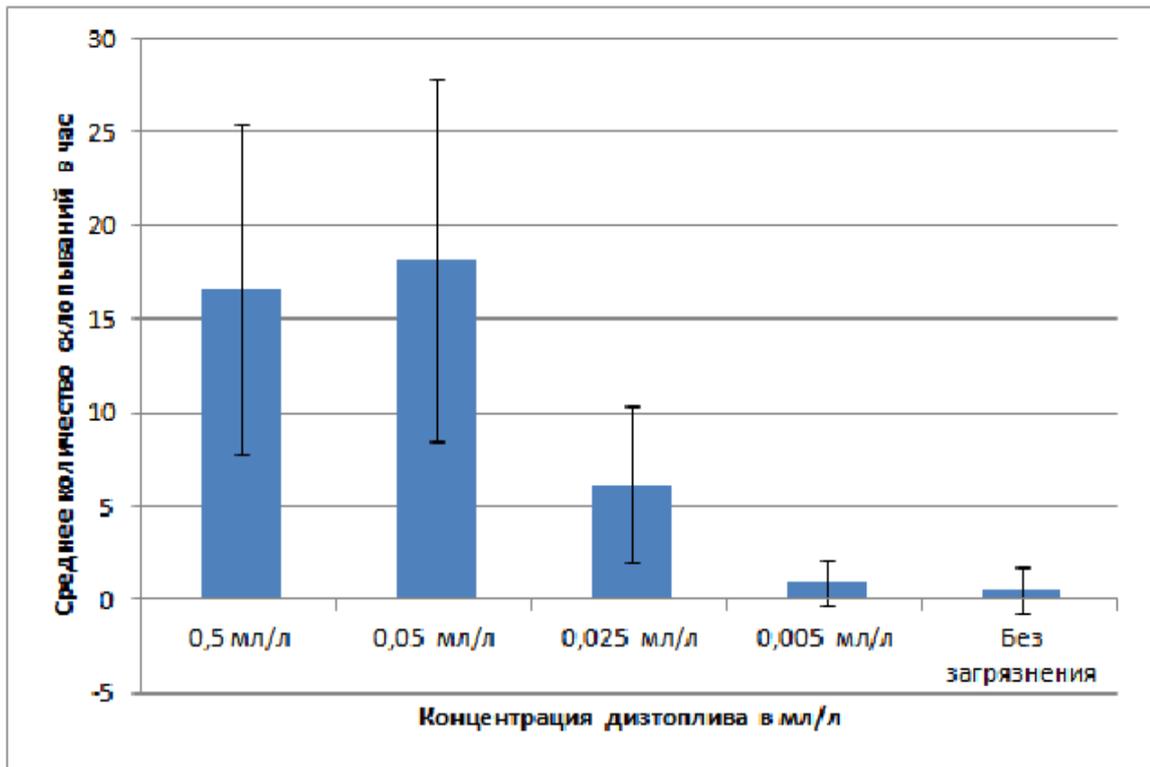


Рис. 2. Частота схлопываний створок в час при воздействиях

Реакция моллюсков уменьшается по мере снижения концентрации токсиканта. Скрининг – тесты воздействия дизельного топлива на поведенческие реакции моллюсков-перловиц

позволили установить что нижний порог чувствительности моллюсков составляет 0,005 мл/л, что соответствует уровню ПДК для рыбохозяйственных предприятий.

Мы не обнаружили в литературе сведений о чувствительности моллюсков – перловиц к кратковременным воздействиям нефти и дизельного топлива, что является важнейшим необходимым элементом функционирования комплекса автоматизированного мониторинга вод. Вместе с тем, имеется достаточно большое количество работ характеризующих влияние долговременных воздействий на выживаемость, изменение физиологических реакций, активности ферментных систем пресноводных моллюсков. Показано, что нефть и нефтепродукты провоцируют нарушения газового и фильтрационного процессов у бентосных беспозвоночных, изменение дыхательного и сердечного ритмов, поведенческих реакций, в том числе и двустворчатых моллюсков. Большинство видов водной фауны особенно уязвимы к действию нефти на ранних стадиях своего развития (икра, личинки, молодь) (Коршунова, Логинов, 2019; Патин, 2017). Двустворчатые моллюски характеризуются наибольшей устойчивостью к воздействию нефтеуглеводородов. Тем не менее, анализ выживаемости моллюсков под влиянием дизельного топлива показывает, что при концентрации дизельного топлива 0,5 мл/л численность моллюсков снижается на 20% в девятые и двенадцатые сутки. При концентрации дизельного топлива 1 мл/л численность моллюсков снижалась 40 % и 50 % на шестые и девятые сутки хронического влияния (Коршунова, Логинов, 2019). Главными изменениями внутренних органов моллюсков рода *Unio* под влиянием различных концентраций нефти являлись нарушения строения эпителиальной ткани жабр, кишечника, почечного мешка (Клишин и др., 2016). Эти материалы давая представление об общих реакциях пресноводных двустворчатых моллюсков, к сожалению, не отвечают на вопрос о возможности их использования в системах биосенсорного контроля вод. Наши предшествующие долговременные (на протяжении 3-х лет) и настоящее исследования показали, что моллюски-перловицы вполне успешно могут быть использованы в системах автоматизированного мониторинга пресных вод, сохраняя работоспособность в комплексах на протяжении не менее 2-х лет во все сезоны года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные об особенностях поведенческих реакций пресноводных моллюсков и результаты испытаний разработанных приборов являются достаточно полной базой для разработки и внедрения в нашей стране систем автоматизированного биомониторинга водной среды, на основе поведенческих реакций моллюсков, во всех сферах современного водопользования. Долговременная эксплуатация комплекса показала высокую эффективность его использования для оценки качества водной среды пресноводных водоемов и рек.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-45-920061.

Список литературы

- Крайнюкова А. Н. Биотестирование в системе оценки и контроля источников загрязнения водной среды // автореф. докт. биол. наук. Харьков, 1991. – 23 с.
- Клишин А. Ю., Каниева Н. А., Баджаева О. В., Фёдорова Н. Н. Нарушения органов и тканей моллюсков рода *Unio* под воздействием нефти // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 162. – С. 82–86.
- Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. – 2019. – Том 2, № 2. – С. 157–174
- Патин С. А. // Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х т. Т. 1 // Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО, 2017. – 326 с.
- Трусевич В. В., Мишуков В. Ж., Кузьмин К. А. Современные биотехнологии в организации мониторинга водной среды // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – С. 395–399.

Трусевич В. В., Кузьмин К. А., Мишуров В. Ж. Биомониторинг водной среды с использованием пресноводных двустворчатых моллюсков // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2017. – Вып. 7 (27). – С. 83–93.

Холодкевич С. В. Биоэлектронный мониторинг уровня токсичности природных и сточных вод в реальном времени // Экологическая химия. – 2007. – 16 (4). – С. 223–232.

Холодкевич С. В. Кузнецова Т. В., Трусевич В. В., Куракин А. С., Иванов А. В. Особенности движения створок и кардиоактивности двустворчатых моллюсков при действии различных стрессоров // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 432–434.

Borcherding J. Ten years of practical experience with the Dreissena-Monitor, a biological early warning system for continuous water quality monitoring // Hydrobiologia. – 2006. – N 556. – P. 417–426.

Curtis T. M., Williamson, M. H. Depledge M. H. Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper // Marine Biology. – 2000. – Vol. 136. – P. 837–846.

Kramer K. J. M., Foekema E. M. The 'Musselmonitor (r)' as biological early warning system // Plenum «Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change. – New York, 2000. – Vol. II. – P. 59–87.

Musselmonitor [Электронный ресурс]. – Официальный сайт консалтинговой компании Mermayde. – 2021. – Режим доступа: <https://www.mermayde.nl/> (просмотрено 15.08.2022).

Trusevich V.V., Zhuravsky V.Yu. Experience with freshwater bivalve mollusks (*Unio pictorum*) as biosensors in systems for automated biosensor control of oil pollution of waters in systems water supply for the population // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 202–207.

The effectiveness of the use of bivalve mollusks in biosensor control complexes for detecting oil pollution of waters in public water supply systems was studied. A high sensitivity of mollusks to oil pollution has been established - the lower threshold of sensitivity of mollusks is 0.005 ml / l, which corresponds to the maximum permitted concentration level for fisheries. The long-term operation of the complex has shown the high efficiency of its use for assessing the quality of the aquatic environment of freshwater reservoirs and rivers.

Key words: biomonitoring, freshwater reservoirs, *Unio pictorum*, valve movement, oil pollution, diesel fuel.

Поступила в редакцию 25.11.22

Принята к печати 15.02.23