

МОНИТОРИНГ ВОДНОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕСНОВОДНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

В.В. Трусевич, К.А. Кузьмин, В.Ж. Мишуrow

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: trusev@list.ru

Установлено, что показателем благополучного состояния водной среды является наличие у двустворчатых моллюсков четкого суточного ритма движения створок. Ионы меди обладают наибольшим повреждающим воздействием для пресноводных моллюсков, порог чувствительности составляет 0,006 мг/л. Наличие в водной среде высоких концентраций гуминовых веществ резко снижает негативное воздействие ионов свинца и кадмия, порог чувствительности составляет 0,5 и 0,1 мг/л соответственно. В проточной воде повреждающее воздействие ионов металлов ниже, чем в стоячих водах.

Ключевые слова: биомониторинг, пресноводные водоемы, перловица, движение створок, суточный ритм, ионы меди, кадмия, свинца, лаурилсульфат натрия.

Введение. В современных условиях резко нарастающей интенсивности загрязнения водной среды, с высокой частотой возникновения крупных техногенных аварий, задачей первостепенной важности становится разработка методов и средств эффективного оперативного контроля состояния и защиты водных экосистем. Непрерывный автоматизированный мониторинг качества воды является важной частью защиты водных экосистем. Раннее выявление изменений качества воды возникшее как в результате хронического, так и возможного массового выброса загрязнений в результате техногенных аварий, является необходимой предпосылкой для эффективного реагирования, позволяющей снижать или полностью предотвращать возникновение потенциальных неблагоприятных последствий для здоровья водных экосистем и населения. Особенно важно это для систем водоснабжения городов и крупных населенных пунктов. Не менее важно осуществлять такой контроль и в зонах выпускных коллекторов городов и промышленных предприятий. Пункты автоматизированного контроля должны быть объединены в единые сети, охватывающие большие территории, с единым центром слежения.

В водной среде мы имеем дело со сложной смесью загрязняющих веществ, в которой наблюдается синергический эффект их совместного влияния. При этом следует отметить, что существующие системы контроля, основан-

ные 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 способны обнаружить весь спектр поступающих в воды ксенобиотиков и оценить степень опасности для живых организмов тех или иных видов загрязнений [1].

Отсутствие эффективного контроля делает водные системы незащищенными, ни от постепенного накопления, ни от внезапных залповых выбросов загрязняющих веществ, что обуславливает постепенное расширение зон загрязнения водной среды и создает постоянную угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций [1–3]

С 1990-х годов, наряду с традиционными методами физико-химического контроля, все большую роль играют биоэлектронные системы автоматизированного мониторинга поверхностных вод, в которых животные непосредственно включены в состав электронной системы регистрации тех или иных физиологических, биохимических или поведенческих биомаркеров. Эти системы, в отличие от физико-химических методов мониторинга, преимущественно используемых в настоящее время, позволяют получать интегральную токсикологическую характе-

ристику водной среды, независимо от природы и состава загрязняющих веществ, в реальном времени оценивать качество воды, как среды обитания гидробионтов. Такие комплексы составляют основу систем раннего реагирования (или обнаружения) – BEWS (Biological Early Warning Systems), интенсивно развиваемые в ведущих странах мира [3–5]. Разработанные в Европе системы Musselmonitor и Driessenamonitor, на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков, широко и успешно используются для контроля вод в зонах вывода очистных сооружений городов и промышленных предприятий, на водозаборах, в зонах интенсивной рекреации и являются необходимой составной частью обязательного комплексного мониторинга водной среды [5]. Их действие основано на способности двустворчатых моллюсков (морских и пресноводных) закрывать створки на продолжительное время или изменять ритмику движений при воздействии неблагоприятных факторов.

Однако на территории стран бывшего Советского Союза, об использовании таких систем сведений не имеется.

Нами, в Морском гидрофизическом институте, совместно с Карадагским природным заповедником, разработан комплекс автоматизированного биомониторинга водной среды, на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков, являющийся аналогом систем Musselmonitor, предназначенный для проведения исследований поведенческих реакций моллюсков в натуральных условиях водоемов, с глубиной погружения до 20 м [6]. В Институте природно-технических систем продолжают работу по совершенствованию этих комплексов.

Для разработки систем автоматизированного биомониторинга на основе поведенческих реакций моллюсков, сведения о природе, особенностях поведенческих реакций и характеристиках ритмики активности моллюсков в естественной среде обитания является определяющими. При этом принципиально важно использовать аборигенные виды.

Поведение животного, изменение уровня и характера изменения активности – интегрированная реакция на изменение параметров окружающей среды.

У двустворчатых моллюсков величина раскрытия створок, особенности ритмики их движений характеризуют фильтрационную активность, а следовательно, и уровень их жизнедеятельности в нормальной и в токсической средах [7, 8].

Необходимым элементом успешного функционирования этой системы является оценка чувствительности моллюсков к воздействию основных загрязняющих агентов водной среды.

Наши исследования предыдущих лет были посвящены изучению поведенческих реакций черноморской мидии для использования их в качестве сенсорной составляющей при создании комплекса автоматизированного мониторинга морской водной среды.

Для использования этого комплекса в пресноводных средах необходимо использование пресноводных двустворчатых моллюсков.

Исходя из вышеизложенного, основными задачами исследований были:

1. Исследование особенностей поведенческих реакций – суточной и сезонной динамики движения створок – типичных представителей двустворчатых моллюсков пресноводных водоемов Крыма – перловицы (*Unio pictorum*) в естественных условиях обитания – русло реки Черная в районе 14 и 11 гидроузлов водоканала г. Севастополя.

2. Оценка чувствительности моллюсков к воздействию некоторых основных загрязняющих агентов. Исследование особенностей поведенческих ответных реакций моллюсков на эти воздействия.

Материал и методы. Для проведения работ использовали разработанные в институте модификации комплексов автоматизированного мониторинга водной среды на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков, являющиеся аналогами системы Musselmonitor, предназначенные для проведения исследований в натуральных условиях водоемов, с глубиной погружения до 20 м. Комплексы автоматически, в режиме реального времени, обеспечивают получение цифровой информации о движении створок моллюсков, с помощью закрепленных на них датчиков Холла и

магнита. Одновременно регистрируется индивидуальные реакции 16 животных. Чувствительность прибора 0,1 мм. Непрерывный съем информации, с регистрацией сигналов, осуществляется через 1 мин. Компьютерные программы позволяют в режиме реального времени транслировать информацию в *on-line* режиме. Латентный период реагирования системы на загрязнение, в зависимости от природы и концентрации, от нескольких секунд до нескольких минут [6].

Работа была проведена на пресноводных моллюсках – перловицах *Unio pictorum* размером 40–45 мм, выловленных в районе проведения работ. Для долговременных круглогодичных исследований фоновых характеристик поведения моллюсков прибор опускали в основное русло реки Черная на гидроузле водозабора питьевой воды водоканала г. Севастополя с переходных мостков на глубину 1 м (рис. 1).



Рис. 1. Блок регистрации поведения моллюсков комплекса автоматизированного мониторинга водной среды на переходных мостках гидроузла № 14

Эксперименты по оценке чувствительности к воздействию токсикантов проводили в двух аквариумах, объемом –120 л каждый, установленных на берегу реки, в которых размещались приборы с закрепленными моллюсками, при постоянном протоке воды из основного русла со скоростью 4 л/мин (рис. 2).

Эксперименты проводили в проточном и непроточном вариантах. В непроточном варианте, с целью минимизации фактора беспокойства моллюсков, рассчитанная концентрация загрязнителя вводилась в аквариум, при выключенном на время эксперимента протоке



Рис. 2. Аквариумы с приборами для проведения экспериментов по оценке чувствительности моллюсков к воздействию токсикантов на гидроузле № 11

воды, по трубке с расстояния 3 м. Равномерное перемешивание раствора достигалось использованием аквариумного микронасоса.

В проточном варианте рассчитанная концентрация раствора токсиканта подавалась с помощью перистальтического насоса непосредственно в струе подаваемой проточной воды в аквариум и таким образом поддерживалась необходимая концентрация токсиканта на протяжении всего эксперимента.

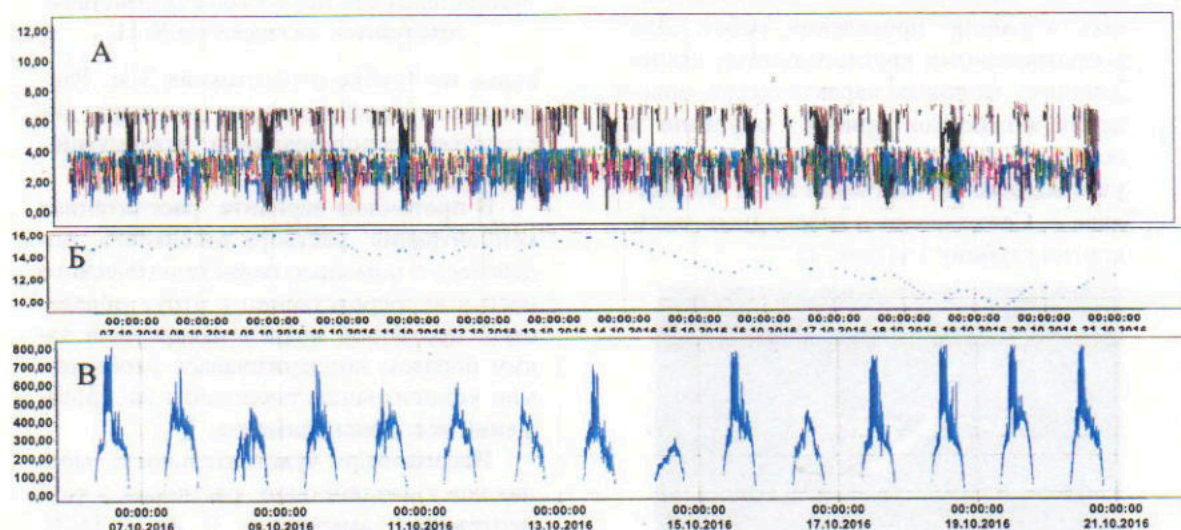
Исследовали чувствительность моллюсков к воздействию растворов в концентрациях: аммиака – 1; 2; 10 ПДК, медного купороса – 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 ПДК; уксуснокислого свинца – 0,5; 2; 10 ПДК, сернокислого кадмия – 5; 20; 100 ПДК (в пересчете на ионы металлов) и лаурилсульфата натрия – 5 и 0,5 мг/л. Использовались величины ПДК, установленные Гигиеническими нормативами ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» РФ с 15 июня 2003 г., а также «Перечнем предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов», принятым согласно приказу Федерального агентства по рыболовству от 20 января 2010 г. № 25. Продолжительность воздействия всех ксенобиотиков составляла, в зависимости от концентрации, 1,5 – 2 ч.

Результаты исследований. Особенности поведенческих реакций моллюсков перловица в естественной среде обитания.

Продолжительные, непрерывные наблюдения (с августа 2015 по ноябрь 2016 гг.) поведения моллюсков показали, что движения створок подчинены строгому суточному ритму, проявляющемуся в том, что с моментом захода солнца резко увеличивается частота аддукций (быстрое сведение и последующее раскрытие створок в течение 0,5–1 мин) (рис. 3, 4).

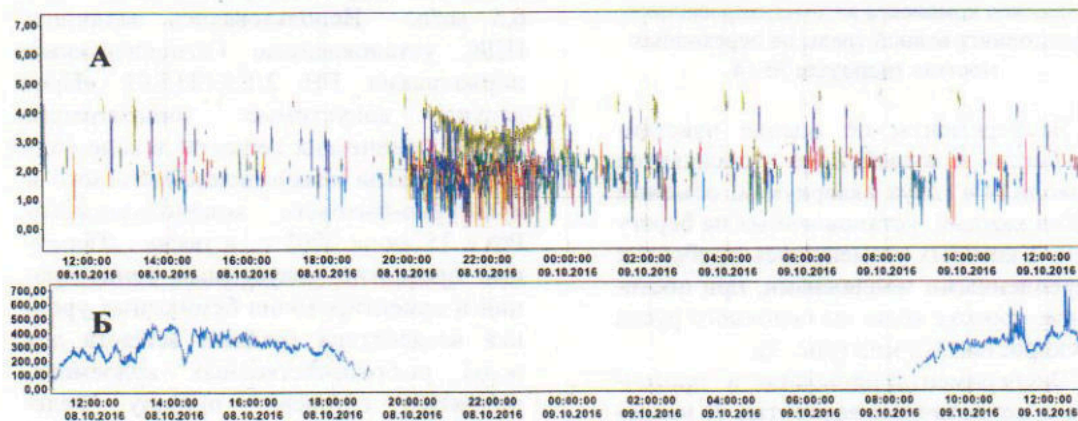
Более подробное рассмотрение этого момента показывает, что появление серий частых аддукций начинается с моментом наступления сумерек и продолжается, с постепенно затухающей частотой, в течение 3–5-ти часов ночного периода суток. В некоторых случаях небольшое увеличение частоты аддукций наблюдается и в момент развития утренних сумерек (рис. 4).

На протяжении суток, в норме, величина (амплитуда) раскрытия створок



А – Суммарный график движения створок моллюсков. Ось ординат – величина раскрытия створок в мм. Ось абсцисс – время, дата. Б – график температуры воды в реке; В – График освещенности. Ось ординат – величина освещенности прибора в люксах. Ось абсцисс – время, дата

Рис. 3. Суммарный график (16 моллюсков) суточной ритмики движения створок

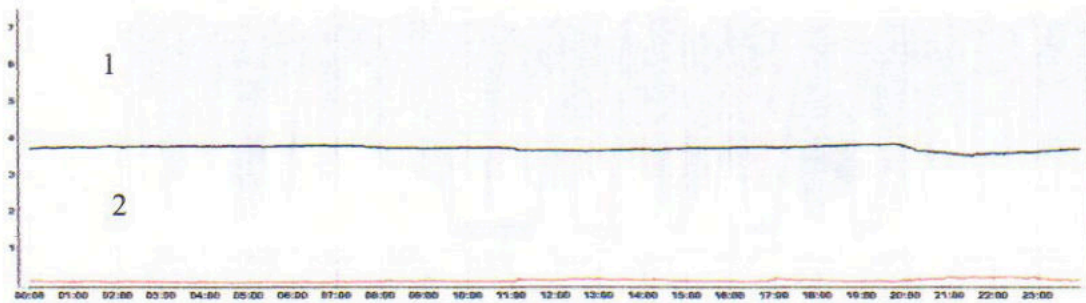


Ось ординат – А величина раскрытия створок в мм; Б.– освещенность в люксах. Ось абсцисс – время, дата.

Рис. 4. Суммарный график движения створок моллюсков переход от дневного к ночной части суточного цикла

практически постоянна и колеблется у отдельных моллюсков от 2 до 4 мм, за исключением момента перехода от дневной к ночной части суточного цикла (рис. 3, 5). Амплитуда раскрытия створок – величина совершенно индивидуальная и варьирует в широких пределах в зависимости от физиологического состояния моллюсков и колебаний факторов среды. В суточном ритме перловиц можно различить, в основном, две груп-

пы движений: а) аддукции (схлопывания) – быстрые, кратковременные движения сведения и раскрытия створок, длящиеся от 0,5 до 1,5–2 мин, обеспечивающие, в основном процессы выведения из организма продуктов метаболизма и псевдофекалий и б) медленные, занимающие большую часть суток, неглубокие колебания, обеспечивающие осуществление процессов фильтрации и дыхания.



Среднее арифметическое (1) и квадратическое отклонение (2).
Ось ординат – величина раскрытия створок в мм. Ось абсцисс – время суток.
Рис. 5. Суточная динамика амплитуды раскрытия створок 16 моллюсков за период 02–30 октября 2016 г.

Частота схлопываний колеблется от 1 в 2–3 часа до 2–3 в час в дневное время. На закате, в моменты перехода к ночной части суточного цикла, частота схлопываний резко увеличивается до 10–15 и более раз в час и продолжается, с постепенно уменьшающейся частотой, после полуночи в течение 2–4 ч (рис. 4). Это является прямым доказательством большей активности питания перловиц как и большинства моллюсков, в ночной период. Сведения литературы по вопросу о наличии, природе и характеристиках суточной ритмики движения створок моллюсков многочисленны и достаточно противоречивы. Большинство исследователей отмечают наличие как у морских, так и пресноводных моллюсков четкой суточной ритмики в движении створок [9]. Рядом исследователей высказывается предположение о наличии в суточных ритмах эндогенно закрепленных компонентов [10, 11]. Вместе с тем, многие исследователи, особенно последних лет, отмечают у двустворчатых моллюсков преимущественно нестабильную циркадианную (околосуточную) ритмику, связывая её вариации с условиями питания, дыхания и други-

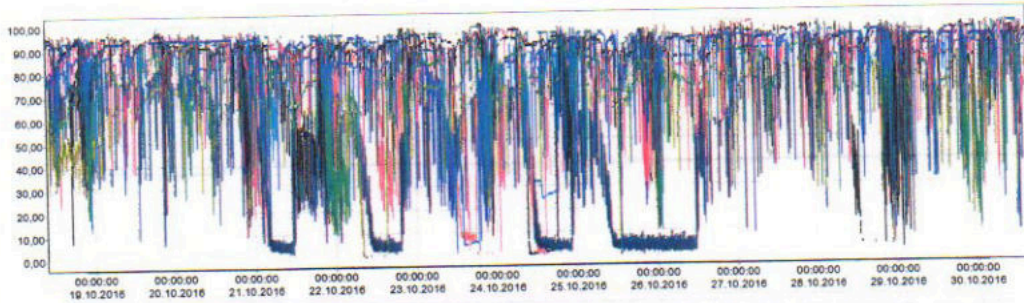
ми изменениями параметров среды обитания [11–13]. Противоречивость мнений обусловлена, очевидно тем, что большинство исследований проведено в лабораторных условиях с искусственно заданными характеристиками среды, не соответствующими природной среде обитания, несовершенством используемой приборной техники, а также некорректностью постановки экспериментов [13, 14].

В отдельные дни, у некоторых моллюсков отмечаются периоды пребывания в течение нескольких часов с закрытыми створками (рис. 6). Переходу моллюсков к закрытию створок предшествует период учащающихся схлопываний у большинства моллюсков и уменьшению амплитуды их раскрытия, обычно у нескольких моллюсков, заканчивающихся закрыванием створок на продолжительное время, что может быть показателем некоторого стрессового состояния, вызванного, скорее всего, появлением каких-либо негативных изменений водной среды. На это указывает также то, что в большинстве случаев у многих моллюсков такие реакции возникают синхрон-

но. Выход из этого состояния сопровождается обратным порядком реакций моллюсков.

Моллюски остро реагируют на многие резкие изменения окружающей среды. Постукивания по аквариуму, резкие звуки, вибрации, резко упавшая тень на аквариум, выключение света (shadow reflex) и т.п. вызывают у моллюсков мгновенное (за 2-3 с) закрытие створок на непродолжительное время (1-2 мин) что очевидно является про-

явлением защитных рефлексов [11]. Но, при частом повторении этих воздействий величина реакции мидий постепенно снижается и даже постепенно исчезает. Такие кратковременные синхронные реакции моллюсков практически не отражаются на общей ритмике движения створок и при создании автоматизированных систем мониторинга водной среды должны исключаться управляющими компьютерными программами как ложные сигналы.

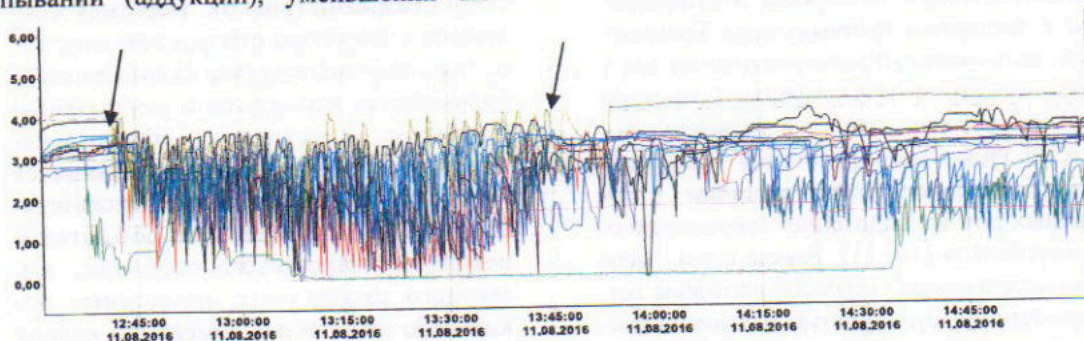


Ось ординат – раскрытие створок в мм. Ось абсцисс – время, дата.

Рис. 6. Суммарный график движения створок моллюсков с несинхронно закрытыми створками

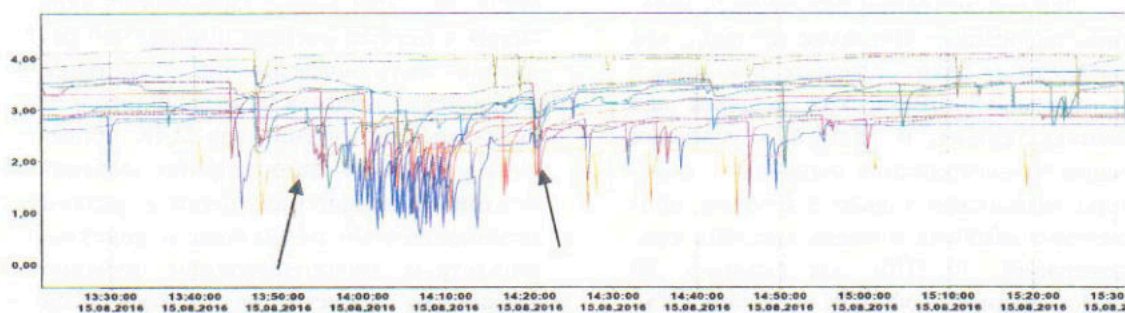
Оценка чувствительности моллюсков к воздействию химических загрязняющих агентов. Результаты наших исследований по оценке чувствительности к воздействию некоторых загрязняющих химических агентов, возможность появления которых в водах реки Черная наиболее вероятна, приведены в табл. 1. Как видно из материалов таблицы реакция моллюсков на появление в воде экспериментальных аквариумов загрязняющих химических агентов, в зависимости от природы и концентрации, проявляется в повышении частоты, амплитуды и продолжительности схлопываний (аддукций), уменьшении ам-

плитуды раскрытия створок и полному их закрыванию на время негативного влияния агентов. В большей части проведенных экспериментов результаты негативного воздействия обнаруживаются в поведенческих реакций моллюсков еще на протяжении нескольких часов после удаления загрязняющих компонентов из воды аквариумов. Для наглядности, в качестве примеров поведенческих реакций приведены суммарные графики реакции моллюсков на жесткие воздействия высоких (рис. 7) и низких концентраций (рис. 8) раствора аммиака.

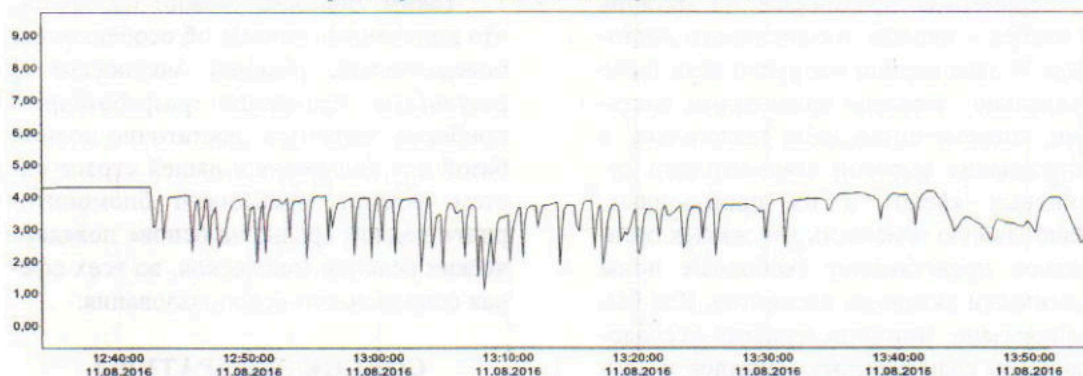


Стрелками отмечены моменты начала и конца воздействия токсиканта

Рис. 7. Суммарный график 16 моллюсков на воздействие раствора аммиака в концентрации 10 мг/л



Стрелками отмечены моменты начала и конца воздействия токсиканта.
Ось ординат – величина раскрытия створок в мм; ось абсцисс – время, дата.
Рис. 8. Суммарный график 16 моллюсков на воздействие раствора аммиака в концентрации 2 мг/л



Обозначения осей как на рис. 8.
Рис. 9. Аддукции одного моллюска в период воздействия аммиака в концентрации 10 мг/л

Одним из важнейших показателей изменения физиологического состояния моллюсков является величина и частота раскрытия створок. Как видно на рис. 7 воздействие высоких концентраций ксенобиотика вызывают практически мгновенное синхронное резкое увеличение числа аддукций до 1-2 в мин, превращающееся в хаотическое бессистемное хлопанье створок.

В моменты повышения активности, чаще всего вызванной негативными воздействиями, моллюски вместо правильно чередующихся аддукций совершают беспорядочные, кратковременные открывания створок, которые скорее напоминают «обратную аддукцию» (flapping activity) [15]. Это является явным признаком развития стрессовой ситуации, когда моллюски усилением вентиляции жабр пытаются освободиться от опасных для жизни компонентов и свидетельствует о нарушении процессов фильтрации, дыхания и питания (рис. 9). Учащение схлопываний сопровождается быстрым уменьшением амплитуды раскрытия створок,

чаще всего заканчивающимся полным закрытием их.

Результаты наших экспериментов показывают, что наличие ионов меди в воде является для моллюсков наиболее высоким стрессорным фактором. Даже концентрации, составляющие 1/16 ПДК по Гигиеническим нормативам РФ, вызывают у моллюсков перловицы ярко выраженную продолжительную негативную реакцию, сопровождающуюся резким увеличением интенсивности схлопываний в начальной фазе и полным закрытием створок не только до момента снятия нагрузки, но еще и протяжении 2-3 ч после неё. Постепенное восстановление ритма и нормального уровня раскрытия створок происходит только к утру следующих суток. В то же время концентрации ионов меди на уровне 1 ПДК для рыбохозяйственных организаций и питьевой воды, что составляет 0,006 мг/л, не оказывает заметного негативного воздействия.

При рассмотрении полученных материалов обращает внимание тот факт, что воздействие таких опасных для живых организмов химических веществ как аммиак, свинец и кадмий в условиях нашего эксперимента вызывали реакцию моллюсков только в случаях применения высоких и очень высоких концентраций: 10 ПДК для аммиака, 50 ПДК – кадмий, 100 ПДК – свинца. Объяснения этому факту, очевидно, следует искать в химическом составе воды русла Черной реки в период проведения экспериментов. Основным периодом проведения экспериментов приходился на октябрь и ноябрь – период интенсивного листопада. В этот период все русло реки было буквально завалено падающими листьями, которые интенсивно разлагались, с образованием высокой концентрации гуминовых кислот и их производных. Наибольшую опасность для живых организмов представляют свободные ионы химически активных элементов. Как было показано многочисленными исследованиями, соли тяжелых металлов и других химически активных веществ, попадая в водную среду с высоким содержанием гуминовых кислот, практически мгновенно образуют комплексные соединения различного уровня стабильности и большей частью переводятся в осадок в донные илы [5, 16, 17]. При этом следует учитывать, что по интенсивности связывания ионов металлов гуминовыми кислотами они располагаются в следующем ряду; свинец; кадмий; хром; железо; медь [18].

Вместе с тем при оценке степени загрязненности вод по уровню ПДК чаще всего оперируют величинами общего (тотального) содержания металлов в воде и илах и поэтому следует учитывать причины возможного расхождения показателей в оценке токсичности, определяемой разными методами. Кроме этого, существенные расхождения в оценке токсичности могут возникать при определении токсичности того или иного вещества в условиях текущих и стоячих вод. В условиях стоячих вод, как показывают наши исследования, глубина воздействия существенно возрастает

(табл. 1). Этот вывод заслуживает внимания в первую очередь потому, что основная часть исследований влияния токсических веществ на гидробионтов и установления нормативов ПДК проведена в условиях лабораторных экспериментов, в аквариумах, часто с редкой периодичностью смены воды и, конечно, результаты характеризующие влияние токсичных веществ на гидробионтов полученных в лабораторных экспериментах могут существенно отличаться от полученных в условиях естественных водоемов.

Таким образом, можно заключить, что полученные данные об особенностях поведенческих реакций моллюсков и результаты испытаний разработанных приборов являются достаточно полной базой для внедрения в нашей стране систем автоматизированного биомониторинга водной среды, на основе поведенческих реакций моллюсков, во всех сферах современного водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *EPA Technologies and Techniques for Early Warning Systems to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: A State-of-the-Art Review* // U.S. Environmental Protection Agency: Office of Science and Technology; Health and Ecological Criteria Division. 2005. 236 p.
2. *Крайнюкова А.Н.* Биотестирование в системе оценки и контроля источников загрязнения водной среды: автореф. ... докт. биол. наук. Харьков, 1991. 23 с.
3. *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.
4. <http://www.mosselmonitor.nl>.
5. <http://www.mermaid.nl>
6. *Трусевич В.В., Гайский П.В., Кузьмин К.А.* Автоматизированный биомониторинг водной среды с использованием реакций двусторчатых моллюсков // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 3 (май–июнь). С. 75–83.

Таблица 1. Оценка чувствительности моллюсков к воздействию некоторых химических агентов

Дата	Концентрация испытуемого раствора	ПДК по Гигиеническим нормативам	ПДК по рыбохозяйственным нормативам	Реакция моллюсков	
				Протоchnый	Непротоchnый
10.08.16	0,1 мг/л	-	2	Аммиак - NH ₃ ; Рассчитано по NH ₃ отсутствует	
11.08.16	1 мг/л	-	10	Практически отсутствует	
12.08.16	10 мг/л	10	-	Мощная синхронная реакция; учащение схлопываний у всех моллюсков до 15-20 раз в час. Уменьшение амплитуды раскрытия 2 раза	
Медный купорос CuSO₄ * 5 H₂O; Рассчитано по Cu 2*					
15.08.16	2 мг/л	2	-	Незначительное учащение схлопываний к концу 1 ч воздействия	
09.09.16	2 мг/л	2	-	Синхронное полное закрытие створок в течение 5-7-х мин. Несинхронное хлопанье створок - приоткрывание на 2-3 мин. После подачи чистой воды постепенное восстановление амплитуды до нормы у 50% моллюсков за 3 ч. Сохраняется возбуждение - частое хлопанье в течение 5-7 ч.	
12.09.16	1 мг/л	1	-	Синхронное закрытие створок за 5-7 мин. Частые хлопанья первый час воздействия. Постепенное снижение частоты хлопанья. Быстрое восстановление амплитуды раскрытия через 2 ч после подачи чистой воды	
13.09.16	0,5 мг/л	0,5	-	Синхронное снижение амплитуды раскрытия створок в течение 30 мин, резкое увеличение частоты и амплитуды схлопываний, сменяющееся закрытием створок с редкими схлопываниями. Восстановление ритма через 2,5-3 ч, некоторыми признаками возбуждения после начала промывки	
29.09.16	0,25 мг/л	0,25	-	Синхронное уменьшение амплитуды открытия створок до полного закрытия, сопровождаемое увеличением частоты и схлопываний створок в первые 30 мин нагрузки. В дальнейшем постепенное снижение частоты схлопываний. Восстановление амплитуды раскрытия до нормы через 1,5-2 ч после подачи чистой воды	
				Незначительное учащение схлопываний у отдельных моллюсков	
				Некоторое учащение схлопываний у всех моллюсков	
				Мощная синхронная реакция; учащение схлопываний у всех моллюсков до 15-20 раз в час. Уменьшение амплитуды раскрытия в 2 раза	
				Заметное учащение схлопываний у всех моллюсков через 0,5 ч воздействия	
				Синхронное полное закрытие створок в течение 3-4 мин. Несинхронное хлопанье створок - приоткрывание на 2-3 мин. После подачи чистой воды постепенное восстановление амплитуды до нормы через 4-5 ч. Сохраняется возбуждение - частое хлопанье в течение 7-9 ч.	
				Синхронное закрытие створок за 5 мин. Створки остаются закрытыми весь период воздействия купороса. Редкие схлопывания. Начало восстановления амплитуды через 4 ч после начала промывки.	
				Синхронное снижение амплитуды раскрытия створок в течение 20 мин. В дальнейшем створки закрыты у всех моллюсков. Очень редкие схлопывания. Восстановление уровня раскрытия и ритма через 3,5-5 ч	
				Синхронное закрытие створок, сопровождаемое частыми мелкими схлопываниями. Через 30 мин нагрузки створки закрыты у большинства моллюсков с редкими мелкими схлопываниями до момента подачи чистой воды. Полное восстановление амплитуды раскрытия створок через 2-3 ч после снятия нагрузки. Возбуждение продолжает наблюдаться еще в течение 4-5 ч.	

30.09.16	0,125 мг/л	0,125	Синхронное увеличение частоты схлопываний, с постепенным снижением амплитуды раскрытия створок. Через 0,5 ч частота схлопываний уменьшается. Восстановление амплитуды раскрытия возвращается к норме через 3-40 мин после снятия нагрузки.	Синхронное медленное понижение амплитуды раскрытия, с редкими медленными схлопываниями створок. Через 1 ч после начала нагрузки моллюски все закрывают створки до конца нагрузки
03.10.16	0,0625 мг/л	0,0625	Синхронное увеличение частоты схлопываний до 1-2 в мин, без снижения амплитуды раскрытия створок, до момента снятия нагрузки. Ритм практически сразу же восстанавливается.	Синхронное увеличение частоты редких схлопываний. Амплитуда раскрытия створок постепенно уменьшается и до момента снятия нагрузки моллюски находятся в закрытом состоянии. Ритм восстанавливается через 1,5-2 ч
10.10.16	0,002 мг/л	2	Реакция практически отсутствует	Синхронное быстрое, за 5-8 мин, закрытие створок, сопровождаемое частыми схлопываниями, постепенно сменяющееся на редкие, до момента подачи чистой воды. Восстановление амплитуды раскрытия створок через 2-3 ч после снятия нагрузки. Возбуждение наблюдается еще 3-4 ч
Свинец - Pb(CH₃COO)₂; Рассчитано по Pb²⁺				
04.10.16	0,005	0,5	Нет реакции	Нет реакции
06.10.16	0,01	2	Нет реакции	Практически отсутствует
07.10.16	0,025	5	Нет реакции	Незначительное учащение схлопываний у трети моллюсков
11.10.16	0,5	50	Незначительное увеличение частоты схлопываний у 3-4 моллюсков	Незначительное увеличение частоты схлопываний у половины моллюсков
Кадмий - Cd SO₄ *8H₂O; Рассчитано по Cd²⁺				
27.10.16	0,025	2	Нет реакции	Незначительное учащение схлопываний
28.10.16	0,5	100	Синхронное увеличение частоты схлопываний с быстрым снижением амплитуды раскрытия. Быстрое восстановление ритма сразу же после снятия нагрузки.	Синхронное увеличение частоты схлопываний с быстрым снижением амплитуды раскрытия. Через 0,5 ч воздействия створки 12 из 16 моллюсков закрываются и находятся в таком состоянии еще 3-5 ч после снятия нагрузки
01.11.16	0,1	20	Синхронное незначительное увеличение частоты схлопываний. Восстановление ритма практически сразу же после снятия нагрузки.	Синхронное увеличение частоты схлопываний с постепенным снижением амплитуды раскрытия. Восстановление ритма через 2 ч после снятия нагрузки.
08.11.16	5 мг/л		Лаурилсульфат натрия Очень интенсивное синхронное увеличение частоты схлопываний с уменьшением амплитуды раскрытия наполовину. Постепенно частота схлопываний уменьшается и практически прекращается у половины моллюсков после снятия нагрузки. Полное восстановление ритма через 2-3 ч.	Синхронное увеличение частоты схлопываний, с быстрым переходом в течение 25-35 минут к закрытию створок до момента снятия нагрузки. Полное восстановление ритма через 3-3,5 ч.
10.11.16	0,5 мг/л	1	Нет реакции на протяжении 3-х ч воздействия	Реакция практически отсутствует

7. Особенности движения створок и кардиоактивности двустворчатых моллюсков при действии различных стрессоров / С.В. Холодкевич, Т.В. Кузнецова, В.В. Трусевич [и др.] // Ж. эвол. биохим. и физиол. 2009. Т. 45. № 4. С. 432–434.
8. *New physiological biomarkers for express indication of aquatic ecosystems state on the base of adaptive capacities assessment of bivalves using standard test-stimuli* / S.V. Kholodkevich, A.V. Ivanov, V.V. Trusevich [et al.] // SETAC Europe 21th Annual Meeting. Milan. 15–19 May. 2011. Abstract Book. P. 168–169
9. Ашофф Ю. Биологические ритмы. 1984. М.: Мир. 414 с.
10. Galtsoff P.S. *The American oyster, Crassostrea virginica Gmelin* // Fisheries bull. Washington. 1964. V. 664.
11. Ameyaw-Akumfi C., Naylor E. Temporal patterns of shell-gape in *Mytilus Edulis* // Marine Biology. 1987. N. 95. P. 237–242. Hydrobiologia.
12. Newell C.R., Wildish D.J., MacDonald B.A. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of mussel *Mytilus edulis* // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2001. V. 262. P. 91–111.
13. *Behavioural adaptations of mussels to varying levels of food availability and predation risk* / Robson A.A., C. Garcia de Leaniz, R.P. Wilson [et al.] // Journal of Molluscan Studies. 2010. V. 76 (4). P. 348–353.
14. *Salanki J.* Effect of environmental factors on the endogenous rhythm of the fresh water mussel (*Anodonta cygnea*) // Ann. Inst. Biol. Acad. Sci. Hung. (Tihany). 1977. V. 44. P. 126–129.
15. *Curtis T.M., Williamson R., Depledge M.H.* Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper // Mar. Biol. 2000. V. 136. P. 837–846.
16. *Lorenzo J.I.* Effect of humic acids on speciation and toxicity of copper to *Paracentrotus liidus* larvae in seawater. J.I. Lorenzo O. Nieto R. Beiras // Aquatic Toxicology 58 (2002) 27–41
17. *Lorenzo J.I., Nieto O., Beiras R.* Cooper uptake by *mytilus edulis* in the presence of of humic acids // Environmental Toxicology and Chemistry, 2005. Vol. 24. No. 4. P. 973–980.
18. Лебедева Л.С., Чернышова Н.Н. Исследование сорбционных свойств гуминовых кислот различного происхождения по отношению к некоторым катионам металлов // Успехи в химии и химической технологии. 2008. Т. 22. № 3 (83). С. 113–118.

BIOMONITORING OF THE SURFACE WATER QUALITY WITH USE OF FRESH-WATER BIVALVIA MOLUSCS

V.V. Trusevich, K.A. Kuzmin, V.J. Mishurov

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

It is positioned that an index safe state of a fresh-water reservoirs is presence at bivalvia of an accurate day-night rhythm locomotion of shells. Copper ions possess the greatest damaging influence for fresh-water mussels, limit of sensibility compounds 0,006 mg/l. Presence in an water reservoirs of high concentration of humic substances sharply reduces negative influence of ions of lead and cadmium, limit of sensibility compounds 0,5 and 0,1 mg/l accordingly. In running water damaging influence of ions of metals more low, than in stagnant waters.

Keywords: biomonitoring, fresh-water reservoirs, перловица, locomotion of shells, a day-night rhythm, ions of copper, cadmium, lead, laurilsulfat.