

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОЛЛЮСКОВ,  
ИНСТАЛЛИРОВАННЫХ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА  
ТОКСИЧНОСТИ ВОДЫ «SYMBIO», К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ  
ВЕЩЕСТВ**

**Сообщение 2. Ионы тяжелых и цветных металлов в концентрациях  
более 20 ПДК для водоемов культурно-бытового назначения**

© 2011 г. А.Н. Попов, А.С. Фоминых, О.С. Ушакова, В.Ф. Мухутдинов, Н.А.

Сечкова

*ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования  
и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург*

**Ключевые слова:** токсичность, двустворчатые моллюски, поведенческая реакция моллюска, биоиндикация, безопасность водопользования, мониторинг питьевой воды, качество воды.

В сообщении представлены результаты экспериментов по оценке чувствительности моллюсков, инсталлированных в систему оперативного мониторинга токсичности воды «Symbio», по отношению к ионам меди (2+), цинка (2+), кадмия (2+) при их концентрациях, превышающих 20 ПДК для водоемов культурно-бытового назначения.

## **Введение**

В предыдущем сообщении [1] описаны результаты оценки влияния неорганических поллютантов (ионов металлов) в концентрациях от 0 до 20 ПДК для водных объектов культурно-бытового назначения на двигательную активность моллюсков. Эксперименты продемонстрировали неоднозначность стрессового ответа моллюсков при воздействии указанных концентраций меди (2+), цинка (2+), кадмия (2+) свинца (2+) и хрома (6+). Для оценки возможности применения системы «Symbio» в биосигнализации о воздействии на водный объект соединений исследуемых

металлов были проведены эксперименты с повышенными концентрациями меди (2+), цинка (2+) и кадмия (2+).

## Методы и материалы

Схема экспериментальной установки «Symbio» представлена на рис. 1

Эксперименты по определению чувствительности моллюсков, инсталлированных в системе «Symbio», к воздействию тяжелых металлов проводились в двух повторностях. Для введения загрязняющих веществ в воду была установлена бюретка с постоянной скоростью подачи испытуемого раствора. Каждый эксперимент заканчивался срабатыванием sireны системы «Symbio» (когда 5 моллюсков закрывали створки ниже 5 %) или долговременным отсутствием ответной поведенческой реакции моллюсков на поступающий токсикант.

**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки.

Биологическим материалом для инсталляции в систему «Symbio» использовалась перловица обыкновенная (живописцев) *Unio pictorum* – наиболее массовый вид крупных двустворчатых моллюсков водоемов Среднего Урала.

Температура воды в лотке с моллюсками поддерживалась около 12 °С. Объем лотка составлял 100 л. В экспериментах использовали здоровых и демонстрирующих активную фильтрацию особей, предварительно акклимированных. Перед началом эксперимента моллюски стимулировались на более активную фильтрацию воды путем введения корма в лоток. Перед подачей токсиканта исследовалась нормальная активность моллюсков. Эксперимент начинался только в том случае, когда средняя величина открытия створок моллюсков превышала значение 55 %.

Испытания проводились с использованием следующих веществ:  $\text{CuSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ . Отбор проб воды производился периодически в ходе развития ответной реакции моллюсков на химическое воздействие. После эксперимента с одним веществом в системе «Symbio» заменялась вся вода и 8 моллюсков, задействованных в эксперименте.

## Результаты исследований

### *Медь (2+)*

Средняя степень открытия створок моллюсков в начале эксперимента составляла 77 %. Продолжительность эксперимента – 2 часа.

Как и в первой серии экспериментов с медью (2+) [1], эффективная концентрация данного вещества в эксперименте, при которой отмечается снижение степени открытия створок моллюсков, составила менее 1 мг/л (менее 1 ПДК).

При превышении концентрации меди (2+) в испытуемой воде до 3 мг/л наблюдалось резкое непрерывное снижение степени открытия створок у 6 моллюсков (рис. 2а). За 30 минут среднее значение открытия створок упало с 70 до 20 % (рис. 2б). У первого и третьего моллюсков (рис. 2б, зеленый и желтый цвет) наблюдалось полное закрытие створок. Четыре моллюска находились в состоянии «неполного закрытия створок», демонстрируя низкую активность их колебаний.

**Рис. 2.** Реакция моллюска на возрастание концентрации меди (2+) в среде: *а* – средний процент открытия створок моллюсков в зависимости от концентрации меди (2+) в воде, *б* – временная диаграмма степени открытия моллюсков при увеличении концентрации меди (2+).

При повышении содержания меди (2+) до 68 мг/л отмечается резкое смыкание створок моллюсков ниже границы 5 %. Отмечается срабатывание системы «Symbio» (включение светового и звукового сигнала тревоги). Однако, несмотря на полное смыкание створок, некоторые моллюски приоткрывали створки с последующим резким их закрытием.

В ряде работ, посвященных изучению токсичности меди (2+) для разных видов моллюсков, отмечается четкая корреляция «доза-эффект» [2–4]. Результаты представленных выше экспериментов показывают аналогичную картину. В эксперименте с низкими концентрациями меди (2+) отмечается резкое снижение степени открытия створок с последующим неполным их смыканием [1]. В эксперименте с высоким содержанием меди отмечалась достаточно высокая корреляция ( $R^2=0,80$ ) величины среднего открытия створок с концентрацией токсиканта. В конечном итоге произошло полное смыкание створок всех моллюсков, участвующих в эксперименте.

### *Кадмий (2+)*

Средняя степень открытия створок моллюсков в начале эксперимента равнялась 80 %. Продолжительность эксперимента – 3 часа.

Концентрация кадмия (2+), вызвавшая снижение средней степени открытия створок, составила 0,5 мг/л.

В отличие от эксперимента с медью, моллюски в загрязненной кадмием (2+) воде не демонстрировали резкого снижения степени открытия створок. За 120 минут среднее значение открытия створок снизилось с 80 до 20 % (рис. 3а). В первые 30 мин. первый моллюск полностью закрыл створки (рис. 3б, зеленый цвет), еще три моллюска вышли на уровень «неполного закрытия створок». У четырех моллюсков наблюдалось увеличение частоты неполного смыкания створок раковин (скачкообразные короткие смыкания менее 1 мин.) с тенденцией к полному закрытию. Отмечалась достаточно высокая корреляция ( $R^2=0,83$ ) величины среднего открытия створок с концентрацией кадмия(2+).

При содержании кадмия (2+) в воде 1,8 мг/л наблюдалось закрытие створок раковин ниже 5 % границы открытия и отмечается срабатывание системы оповещения. Второй и третий моллюски (рис. 3б, синий и желтый цвет) находились в состоянии «неполного закрытия створок» (16 и 10 % соответственно). Степень открытия восьмого моллюска была относительно высокой (45 %), однако, фильтрационной активности моллюск не демонстрировал.

**Рис. 3.** Реакция моллюска на возрастание концентрации кадмия (2+) в среде: а – средний процент открытия створок моллюсков в зависимости от концентрации кадмия (2+) в воде, б – временная диаграмма степени открытия моллюсков при увеличении концентраций кадмия (2+).

При содержании кадмия (2+) в воде 1,8 мг/л наблюдалось закрытие створок раковин ниже 5 % границы открытия и отмечается срабатывание системы оповещения «Symbio». Второй и третий моллюски (рис. 3б, синий и желтый цвет) находились в состоянии «неполного закрытия створок» (16 и 10 % соответственно). Степень открытия восьмого моллюска была относительно высокой (45 %), однако, фильтрационной активности моллюск не демонстрировал.

Сработка системы произошла через 175 мин. от начала опыта при концентрации кадмия 1,8 мг/л (1800 ПДК).

Ранее в исследованиях [2,3] была показана различная реакция морских и пресноводных двухстворчатых моллюсков на кадмий (2+). Морские моллюски *Mytilus galloprovincialis* не демонстрировали стрессовый ответ при используемых концентрациях кадмия (2+) в эксперименте [2]. Напротив, в экспериментах с пресноводным моллюском *Potomida littoralis* при превышении концентрации кадмия (2+) 0,08 мг/л все последующие концентрации вызвали стрессовый ответ [3]. В представленной работе стрессовый ответ моллюсков на кадмий (2+) наблюдался при его содержании в воде 0,02 мг/л. Концентрация кадмия (2+) в воде, вызвавшая полное смыкание створок, составила 1,8 мг/л.

#### *Цинк(2+)*

Средняя степень открытия створок моллюсков в начале эксперимента равнялась 55 %. Как и в первой серии экспериментов с цинком (2+), концентрация токсиканта в воде, при которой отмечается снижения степени открытия створок, составила 15 мг/л [1]. С последующим непрерывным поступлением токсиканта все моллюски демонстрировали постепенное «ступенчатое» снижение степени открытия створок. В процессе закрытия створок не наблюдалось увеличения частоты скачкообразных коротких смыканий. Фильтрационная активность снижалась (рис 4б).

Снижение величины среднего открытия створок протекало плавно. За 180 минут средний процент открытия створок снизился с 52 до 27 %. В дальнейшем, до завершения эксперимента, среднее значение открытия существенно не изменилось (рис 4а). Полного смыкания створок моллюсков даже при очень высоких содержаниях цинка (2+) в воде не произошло.

В ряде работ, посвященных изучению влияния цинка (2+) на активность различных видов моллюсков, отмечается аналогичная картина [5, 6]. В небольших концентрациях цинк (2+) приводит к существенному изменению в двигательной активности. При экспонировании моллюсков в воде с высоким содержанием цинка (2+) наблюдается закрывание створок, не приводящее к их полному смыканию. Низкая чувствительность моллюсков к данному веществу, по всей видимости, обусловлена биологической значимостью данного металла.

В проводимом эксперименте с цинком (2+) моллюски не продемонстрировали полного смыкания створок при конечной концентрации токсиканта 640 мг/л. Пороговая концентрация, которая привела бы к полному закрыванию створок моллюсков, должна быть выше используемой в рамках данного эксперимента.

**Рис. 4.** Реакция моллюска на возрастание концентрации цинка (2+) в среде: *a* – средний процент открытия створок моллюсков в зависимости от концентрации цинка (2+) в воде; *b* – временная диаграмма степени открытия моллюсков при увеличении концентрации цинка (2+).

## **Выводы**

В экспериментах с высоким содержанием токсикантов отмечается корреляция величины среднего открытия створок с концентрациями токсикантов.

Пороговая концентрация меди (2+) ,приведшая к полному смыканию створок моллюсков, в эксперименте составила 68 мг/л. Пороговая концентрация кадмия (2+) – 1,8 мг/л. Концентрации цинка (2+), достигнутые в эксперименте (640 мг/л), не вызвали полного смыкания створок.

По результатам двух серий экспериментов было выявлено, что тип стрессового ответа для каждого исследованного токсиканта при увеличении его концентрации в воде индивидуален.

При возрастании токсической нагрузки было выделено 3 типа стрессового ответа:

1. Увеличение частоты смыкания створок.
2. Редкое скачкообразное смыкание створок с продолжительным периодом покоя (до 6 часов).
3. Полное смыкание створок.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о необходимости учета особенностей стрессового ответа моллюсков при токсическом воздействии соединений металлов (медь, цинк, кадмий, хром, свинец) при анализе работы системы биосигнализации «Symbio».

Авторы выражают свою искреннюю благодарность Оболдиной Г.А. за ценные советы и замечания при обсуждении материала статьи, а так же Павлюк Е.Л. за помощь в сборе материала.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Попов. А.Н., Фоминых А.С., Ушакова О.С., Мухутдинов В.Ф., Сечкова Н.А. Определение чувствительности моллюсков, инсталлированных в системе оперативного мониторинга токсичности воды «Simbio» к воздействию загрязняющих веществ. Сообщение 1. Ионы тяжелых и цветных металлов в интервале концентраций 0–20 ПДК для культурно-бытовых водных объектов // Водное хозяйство России. 2011. № 2. С. 72.
2. Fdil M.A., Mouabad A., Outzourhit A., Benhra A., Maarouf A., Pihan J.C. Valve movement response of the mussel *mytilus galloprovincialis* to metals (Cu, Hg, Cd and Zn) and phosphate industry effluents from Moroccan Atlantic coast // Ecotoxicology. 2006. № 15. P. 477.
3. Mouabad, A., Fdil, M.A., Maarouf, A., Pihan, J.C. (2001). Pumping behaviour and filtration rate of the freshwater mussel *Potomida littoralis* as a tool for rapid detection of water contamination // Aquatic. Ecology. 2001. № 35 P. 51–60.
4. Redpath K.J., Davenport J. The effect of copper, zinc and cadmium on the pumping rate of *Mytilus edulis* L. // Aquatic Toxicology. 1988. № 13. P. 217–225.
5. Kramer K.J.M., Jenner H., De Zwart D. The valve movement response of mussels: a tool in biological monitoring // Hydrobiologia. 1989. 188/189. P. 433–443.
6. Salanki J. Heavy metal induced behaviour modulation in mussels: possible neural correlates // Acta Biol. Hungaria. 1992. № 43. P. 375–386.

#### **Сведения об авторах:**

Попов Александр Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий отделом восстановления рек и водоемов, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23, e-mail: pan1944@rambler.ru

Фоминых Алексей Сергеевич, научный сотрудник, сектор гидробиологических исследований, ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург, e-mail: Fominich@mail.ru

Ушакова Ольга Сергеевна, магистр биологии, инженер 2-й категории, сектор гидробиологических исследований, ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург, e-mail: darilindan@gmail.com

Мухутдинов Валерий Фаметдинович, главный специалист, сектор гидробиологических исследований, ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург.

Сечкова Наталья Александровна, ведущий инженер, отдел восстановления рек и водоемов, ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург.