

ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ БАХМЕТ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)  
igor.bakhmet@gmail.com

## ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ МИДИИ СЪЕДОБНОЙ *MYTILUS EDULIS* L. К ПОЛЛЮТАНТАМ

Проанализировано изменение частоты сердечных сокращений мидий в ответ на воздействие различных концентраций нефтепродуктов и тяжелых металлов Cd и Cu. Наблюдался резкий рост сердечной активности почти во всех экспериментальных группах моллюсков. Также были отмечены выраженные флуктуации сердечной ритмики животных при различных концентрациях поллютантов. Возросший сердечный ритм означает увеличение уровня потребления кислорода и, соответственно, рост уровня метаболизма. Данные изменения могут быть связаны с удалением загрязняющих веществ из тканей или их окисление. Общеизвестно, что адаптационный процесс имеет осцилляторный характер вследствие инерции адаптационных механизмов. По-видимому, флуктуации сердечного ритма при воздействии поллютантов указывают на активный процесс акклимации моллюсков к воздействию. Главный довод в поддержку данной гипотезы заключается в том, что сходный характер изменений сердечной активности отмечен во всех экспериментальных группах.

Ключевые слова: мидия, *Mytilus edulis*, сердечный ритм, флуктуации, нефтепродукты, тяжелые металлы

### ВВЕДЕНИЕ

Физиологические методы, используемые при биомониторинге загрязнений окружающей среды, позволяют выявить не только токсическое действие загрязнителей, но и дают возможность объяснить механизмы ответной реакции организма на такие воздействия. К числу широко используемых физиологических параметров относится сердечная активность (частота сердечных сокращений, ЧСС) [5]. Показатели ЧСС позволяют достаточно точно охарактеризовать физиологический статус животного [10]. Ранее проведенные исследования показали наличие достоверной корреляции между изменениями сердечной ритмики и такими факторами, как потребление кислорода, варьирование температуры и солености [1], [6], [8]. Кроме того, установлена высокая чувствительность сердечной активности моллюсков к тяжелым металлам и аммиаку [3], [4]. В то же время отсутствуют работы по изучению реакций моллюсков на воздействие нефтепродуктов. Результаты исследований изменения ЧСС мидий при добавлении тяжелых металлов достаточно противоречивы.

Цель настоящей работы – оценка влияния различных концентраций нефтепродуктов и кадмия (тяжелый металл) на сердечную активность мидий *Mytilus edulis* L.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты были проведены на Беломорской биологической станции им. акад. О. А. Скарлато ЗИН РАН (губа Чула, Кандалакшский залив, Белое море). Сублитораль-

ные моллюски были собраны с установок для искусственного выращивания мидий. Сразу после сбора моллюски были измерены (размер раковин варьировал от 58,3 до 73,5 мм, средний размер составил 66,6 мм). Для акклимации к лабораторным условиям моллюски были помещены на 7 дней в аквариумы с морской водой с постоянной продувкой при температуре 10 °С. Ежедневно осуществлялась частичная смена воды. Кормление мидий не производилось, чтобы избежать специфического динамического действия пищи. За один день до эксперимента к раковинам моллюсков были приклеены оптические сенсоры CNY-70, после чего мидии были помещены в 11 аквариумов (по 9 экземпляров).

В качестве нефтепродуктов применялось тяжелое дизельное топливо. Легкие фракции нефти не использовались, так как они быстро испаряются и в долговременном эксперименте влияние данных компонентов было бы минимальным. Концентрации нефтепродуктов были выбраны с учетом всего спектра – от минимальной до сублетальной (см. таблицу). Были использованы следующие концентрации кадмия (концентрации даны по металлам): 10 (ПДК), 100 и 500 мкг/л.

Концентрации нефтепродуктов, используемые в эксперименте

	1	2	3	4	Контроль
Расчетные (мг/л)	700	210	70	0	0
Истинные (мг/л)	38,80	8,41	1,88	0,35	0,02

Регистрация ЧСС осуществлялась каждые 2 часа в течение первых суток перед добавлением поллютантов и в течение 6 суток после начала воздействия. Использовалась методика дистантной записи сердечной активности, основанной на излучении инфракрасного света в область расположения сердца и регистрации отраженных лучей [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

После добавления нефтепродуктов в высоких концентрациях (38,0 и 8,0 мг/л) ЧСС мидий резко возрастала (рис. 1). Далее были отмечены циклические изменения сердечной активности с периодом в 1 и 2 суток. При этом сердечная активность не снизилась до контрольных показателей вплоть до конца эксперимента. В случае использования более низких концентраций нефтепродуктов (0,4 и 1,9 мг/л) только на четвертые сутки опыта было обнаружено достоверное понижение ЧСС мидий. К концу эксперимента сердечная активность вернулась к контрольным значениям (рис. 1). Флуктуации ЧСС, регистрируемые у мидий, находящихся в условиях влияния низкой концентрации нефтепродуктов, были сходны с изменением сердечной активности у моллюсков из аквариумов с высокими концентрациями нефтепродуктов.

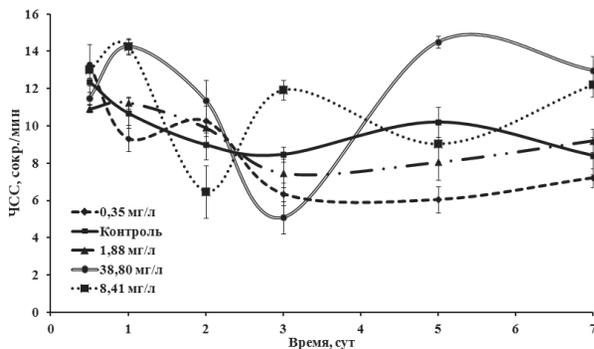


Рис. 1. Изменение ЧСС мидий при воздействии нефтепродуктов разной концентрации

В случае кадмия повышение сердечной активности сразу после воздействия составило 11, 17 и 31 % при концентрациях металла 10, 100 и 500 мкг/л соответственно (рис. 2). Таким образом, мы наблюдали зависимость выраженности реакции сердечной системы от концентрации металла. В то же время небольшое количество данных не позволяет вывести окончательное уравнение зависимости изменения ЧСС мидий от концентрации данного металла. На вторые сутки эксперимента сердечная активность животных понижалась до контрольного уровня с последующим достоверным повышением. Более того, на третьи сутки опыта наблюдался резкий, более чем в два раза, рост ЧСС (рис. 2). В дальнейшем сердечная активность вернулась к контрольному уровню во всех экспериментальных группах (рис. 2).

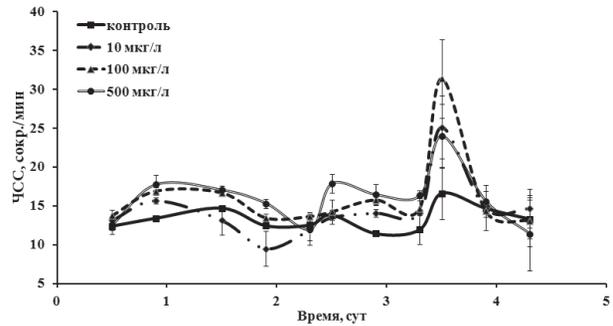


Рис. 2. Изменение ЧСС мидий при воздействии кадмием в разных концентрациях

## ОБСУЖДЕНИЕ

Повышение ЧСС моллюсков в нашем эксперименте свидетельствует о возрастании уровня потребления кислорода и, соответственно, общего уровня обмена веществ. Учитывая, что мидия является активным фильтратором, возможны несколько причин данного эффекта. Первая – моллюскам необходима дополнительная энергия для выведения поллютантов из тканей. Вторая – дополнительный кислород используется при окислении загрязняющих веществ. Третья возможная причина заключается в том, что одним из важных аспектов детоксикации является синтез таких белков, как металлотронеины, белки теплового шока и глутатионы. Указанные вещества способны формировать устойчивые комплексы как с компонентами нефтяных углеводородов, так и с тяжелыми металлами [9].

Все вышеуказанные процессы, происходящие в организме мидий, связаны с адаптацией животных к воздействию загрязняющих веществ. Мы полагаем, что флуктуации сердечной активности поддерживают данную гипотезу. Ранее было доказано, что в процессе адаптации различные показатели организма животных колеблются вследствие инерции адаптационных механизмов [2]. Таким образом, флуктуирующий характер ЧСС при воздействии поллютантов свидетельствует о происходящем процессе адаптации животных к загрязняющим веществам. Сходное предположение было высказано также при оценке воздействия тяжелых металлов на мидий [7].

Еще один важный результат нашего исследования, на котором следует остановиться, это временная зависимость от воздействия поллютантов. К примеру, если бы мы регистрировали показатели сердечной активности через 24 ч после воздействия поллютантов, мы могли бы прийти к выводу об отсутствии реакции организма моллюсков. Таким образом, в экотоксикологических исследованиях следует учитывать временной фактор, и в особенности при оценке физиологических и поведенческих характеристик.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о высокой чувствительности сердечной ритмики моллюсков к загрязняющим веществам. При этом реакция животных может заключаться не только в повышении или пони-

жении сердечной активности, но и в характере изменений ЧСС на протяжении воздействия.

Выражаем признательность сотрудникам ББС ЗИН РАН «Картеш» за неоценимую помощь при проведении экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V. The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. № 318. P. 121–126.
2. Berger V. J., Kharazova A. D. Mechanisms of salinity adaptations in marine molluscs // Hydrobiol. 1997. № 355. P. 115–126.
3. Bloxham M. J., Worsfold P. J., Depledge M. H. Integrated biological and chemical monitoring: in situ physiological responses of freshwater crayfish to fluctuations in environmental ammonia concentrations // Ecotoxicol. 1999. № 8 (3). P. 225–237.
4. 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. № 136 (5). P. 0837–0846.
5. Depledge M. H., Andersen B. B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates // Comp. Biochem. Physiol. 1990. № 96. P. 474–477.
6. Marshall D. J., McQuaid C. D. Effects of hypoxia and hyposalinity on the heart beat of the in-tertidal limpets *Patella granularis* (Prosobranchia) and *Siphonaria capensis* (Pulmonata) // Comp. Biochem. Physiol. 1993. A. № 106. P. 65–68.
7. Nechev J., Stefanov K., Popov S. Effect of cobalt ions on lipid and sterol metabolism in the marine invertebrates *Mytilus galloprovincialis* and *Actinia equine* // Comp. Biochem. Physiol. 2006. A. № 144 (1). P. 112–118.
8. Santini G., Williams G. A., Chelazzi G. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore // Mar. Biol. 2000. № 137 (2). P. 291–296.
9. Snyder M. J., Girvetz E., Mulder E. P. Induction of marine mollusc stress proteins by chemical or physical stress // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001. № 41. P. 22–29.
10. Wedderburn J., McFadzen I., Sanger R. C., Beesley A., Heath C., Hornsby M., Lowe D. The field application of cellular and physiological biomarkers, in the mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassays and adult histopathology // Mar. Pollut. Bull. 2000. № 40. P. 257–267.

Bakhmet I. N., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### CHARACTERISTIC PROPERTY OF BLUE MUSSEL *MYTILUS EDULIS* L. ADAPTATION TO POLLUTANTS

In our work, we analyzed blue mussels' heart rate in response to exposure of various oil product and such heavy metals as Cd and Cu. A sharp rise in HR was observed almost in all experimental groups. Strong fluctuations of cardiac activity were noted under all concentrations. Accelerated HR points to the increased oxygen consumption and, consequently, to the elevated rate of basic metabolism. These changes can be associated with the removal of pollutants from tissues or their oxidation. It is now common knowledge that any adaptation process has oscillatory nature due to inertia of adaptation mechanisms. It seems that in our experiment the oscillatory nature of HR, triggered by pollutants, indicates progressing acclimatization of mussels to external exposure. The main argument for this hypothesis is that the same effect was observed in all experimental groups.

Key words: blue mussel, *Mytilus edulis*, heart rate, oscillations, oil, trace metals

#### REFERENCES

1. Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V. The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. № 318. P. 121–126.
1. Berger V. J., Kharazova A. D. Mechanisms of salinity adaptations in marine molluscs // Hydrobiol. 1997. № 355. P. 115–126.
1. Bloxham M. J., Worsfold P. J., Depledge M. H. Integrated biological and chemical monitoring: in situ physiological responses of freshwater crayfish to fluctuations in environmental ammonia concentrations // Ecotoxicol. 1999. № 8 (3). P. 225–237.
1. 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. № 136 (5). P. 0837–0846.
1. Depledge M. H., Andersen B. B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates // Comp. Biochem. Physiol. 1990. № 96. P. 474–477.
1. Marshall D. J., McQuaid C. D. Effects of hypoxia and hyposalinity on the heart beat of the in-tertidal limpets *Patella granularis* (Prosobranchia) and *Siphonaria capensis* (Pulmonata) // Comp. Biochem. Physiol. 1993. A. № 106. P. 65–68.
1. Nechev J., Stefanov K., Popov S. Effect of cobalt ions on lipid and sterol metabolism in the marine invertebrates *Mytilus galloprovincialis* and *Actinia equine* // Comp. Biochem. Physiol. 2006. A. № 144 (1). P. 112–118.
1. Santini G., Williams G. A., Chelazzi G. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore // Mar. Biol. 2000. № 137 (2). P. 291–296.
1. Snyder M. J., Girvetz E., Mulder E. P. Induction of marine mollusc stress proteins by chemical or physical stress // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001. № 41. P. 22–29.
1. Wedderburn J., McFadzen I., Sanger R. C., Beesley A., Heath C., Hornsby M., Lowe D. The field application of cellular and physiological biomarkers, in the mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassays and adult histopathology // Mar. Pollut. Bull. 2000. № 40. P. 257–267.

Поступила в редакцию 09.07.2013