

А. Я. СТОЛБОВ, В. В. ТРУСЕВИЧ, В. Ж. МИШУРОВ, В. А. ШЕЯНОВ

## ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ СТОРОК МИДИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ

Разработан и использован в экспериментах прибор — биорегистратор активности раскрытия створок моллюсков в условиях нормы и при гипоксии. Многосуточные эксперименты показали достоверные различия ( $P < 0,01$ ) величины раскрытия створок мидий в зависимости от уровня насыщения воды кислородом. Величина раскрытия створок может служить биоиндикатором состояния водной среды и использоваться в мониторинговых наблюдениях.

Анализ качественного состояния водной среды является основополагающим моментом в мониторинговых системах наблюдений. В этих наблюдениях наряду с традиционными методами химического анализа используют биологические сенсоры, которые достаточно быстро и четко реагируют на изменения среды.

Двустворчатые моллюски, в частности, мидии довольно успешно используются как индикаторы при изучении воздействия различных неблагоприятных факторов на качество водной среды [2, 6, 8, 9, 16].

Особенности поведения моллюсков (закрытие створок на продолжительное время в условиях стресса) позволили разработать метод регистрации изменения движения створок в условиях воздействия различных факторов среды и использовать его в качестве индикатора мониторинговых наблюдений [11, 12]. Была проведена серия работ с использованием этого показателя для оценки сочетанного воздействия поллютантов и факторов среды: температуры, освещенности [5], приливно-отливных ритмов, солености [7], качества и количества пищи [10], а также отдельных микроколичеств тяжелых металлов и органических соединений [10, 17, 14], микрополлютантов [15]. В то же время проблема дефицита кислорода в водной среде и его влияние на бентосные и пелагические сообщества остается актуальной. В этой связи использование биоиндикаторов, в том числе двигательной активности створок моллюсков как физиологического показателя позволит подойти к оценке дефицита кислорода (гипоксии) и вести мониторинговые наблюдения за состоянием водной среды в регионе.

**Материал и методика.** Мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) для опытов собирали в районе биотопа 1 — "Золотые ворота" Карадагского природного заповедника со скальной поверхности на глубине 1—1,5 м. Моллюсков размером  $60 \pm 1,5$  мм очищали от эпibiонтов и размещали в емкостях с проточной водой, фильтрованной через газсито (20 мкм).

После 2-х суточной выдержки в проточной воде, мидий (7 экз) размещали по одному экземпляру в лотки объемом 1,7 л, в которых находились индукционные датчики, система механического преобразования сигнала и герметичный выход на регистратор. Здесь же находилась пластиковая ячейка, на поверхность которой приклеивали цианакрилатом мидию. Лотки выполнены из оргстекла и, в зависимости от условий эксперимента, были открытого и закрытого типов и размещены в термостатированной емкости. Обмен воды обеспечивали дозирующим насосом производительностью 6 л/час при температуре 14—15 °С соответствующей среде обитания на данный период времени.

В экспериментах по дыханию мидий использовали герметизированные лотки-респирометры замкнутого типа с прокачкой воды перистальтическим насосом через

респирометр и кислородную ячейку. Изменение содержания кислорода определяли с помощью оксиметра хлорсеребряным электродом Кларка и выражали в мг  $O_2/l$ .

Гипоксические условия при этом обеспечивали аутогенно за счет естественного потребления моллюсками кислорода из респирометра.

Регистрацию степени открытия и закрытия створок проводили с помощью прибора-биорегастратора, разработанного совместно с Карадагским природным заповедником, отделом физиологии животных и биохимии ИнБЮМ и Морским гидрофизическим институтом.

Прибор имеет 10 датчиков, работающих на эффекте Холла и имеющих чувствительность 0,1 мм раскрытия створок. Информация, полученная в ходе эксперимента преобразуется в цифровую и накапливается на 1024 страницах в течение 18 суток. Данные снимаются с датчиков каждую минуту. Полученная информация передается на компьютер и обрабатывается в программе EXEL-KADR-264. Общий вид прибора показан на рис. 1. Управление и настройка прибора производится пусковыми кнопками лицевой панели блока управления биорегастратора. Сетевое питание 220 в адаптируется в 5 в постоянного тока.

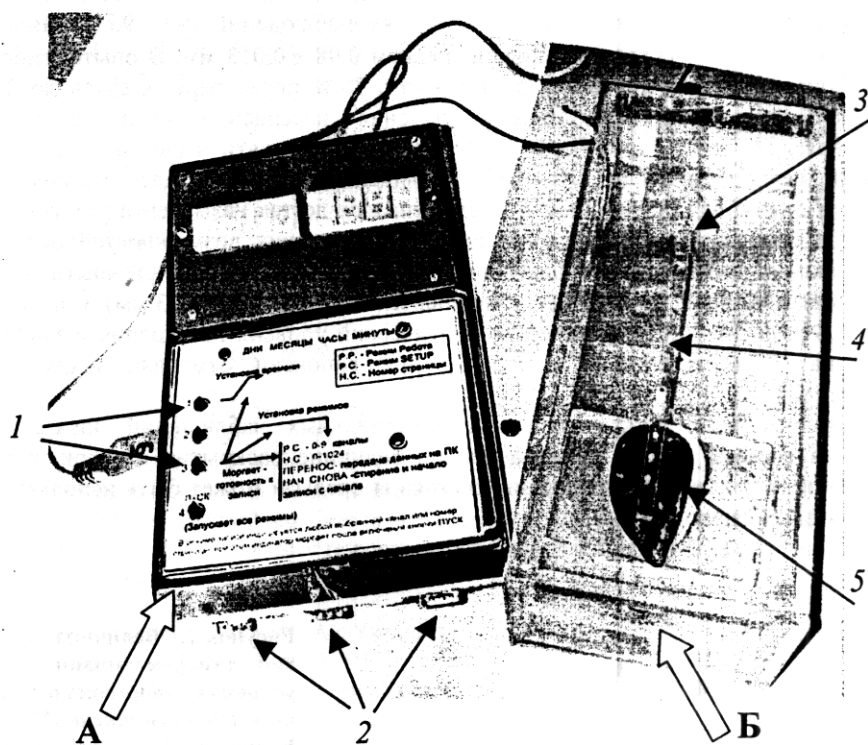


Рисунок 1. Биорегастратор активности створок мидий. А — электронный блок: 1 — клавиши управления, 2 — разъемы для подключения датчиков. Б — лоток для размещения мидий: 3 — индукционный датчик, 4 — планка регистратора с толкателем, 5 — ячейка для размещения мидий

Figure 1. The biorecorder of mussel valve activity. А — the electronic module: 1 — push control buttons, 2 — connectors for the inductive sensors. Б — vessel for mussels, 3 — the inductive sensor, 4 — strap for the sensor, 5 — the cell for mussel

Модель 4-канального биорегастратора активности створок мидий была впервые апробирована в 2002 г. в аквариальных условиях Карадагского природного заповедника НАН Украины. Реализация замечаний и предложений по работе прибора была

осуществлена в экспериментальных исследованиях модели 10-канального прибора, проведенных там же в весенне-летний период 2003 г. Изменение величины раскрытия створок контрольной (6 лотков) и опытной (1 лоток) групп животных оценивали по количеству оцифрованных импульсов-квантов, появляющихся на табло дисплея биорегистратора для каждого рассматриваемого канала. Показания прибора снимали лишь в дневное время, с интервалом от 15 минут до 2,5 часов, суточная изменчивость раскрытия не рассматривалась. Общая продолжительность эксперимента составляла 6 суток. Исходный отсчет фоновых данных начинали, после того как мидия была закреплена в ячейке лотка и планка датчика была соединена с электронным блоком регистратора. Створки раковины при этом находились в закрытом состоянии. Предварительная калибровка прибора показала, что на 1 мм раскрытия створок приходится  $8,26 \pm 1,8$  импульсов (квантов).

Цифровой материал подвергался статистической обработке с привлечением *t*-критерия Стьюдента.

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследований представлены на рис. 2. В течение всего времени эксперимента в контроле (нормоксия) концентрация кислорода в воде изменялась незначительно ( $8,6-8,2$  мг  $O_2$ /л), что соответствовало её естественному насыщению при данных условиях наблюдений (94—96 %). Величина раскрытия створок за 6 суток составила в среднем  $0,98 \pm 0,018$  мм. В опыте (гипоксия) концентрация кислорода снижалась постепенно с 78 % после первых суток до 21 % в конце эксперимента. Промежуточные значения насыщения после двух суток соответствовали — 68 %, трех — 41 %, четырех — 40%, пяти и шести суток — 21%. Начальный период гипоксии (70—40 % насыщения) сопровождался максимальным раскрытием створок до 3,5—4,2 мм и поддерживался до так называемого критического уровня, т. е. до предела компенсаторных физиологических возможностей организма, обеспечивающих доставку кислорода тканям [1]. Ниже этого уровня раскрытие створок ограничивается и при 21 % насыщения становится минимальным (2,3 мм) и превышает норму в 3,8 раза ( $p < 0,01$ ). Переход на критический уровень насыщения и зависимый тип обмена у двустворчатых моллюсков при гипоксии отмечали также другие исследователи [3,4].

Таким образом, материалы экспериментальных наблюдений показали, что дыхательная система мидий, оцениваемая по величине раскрытия створок, является чувствительным показателем изменения состояния среды и может быть использована в мониторинговых наблюдениях.

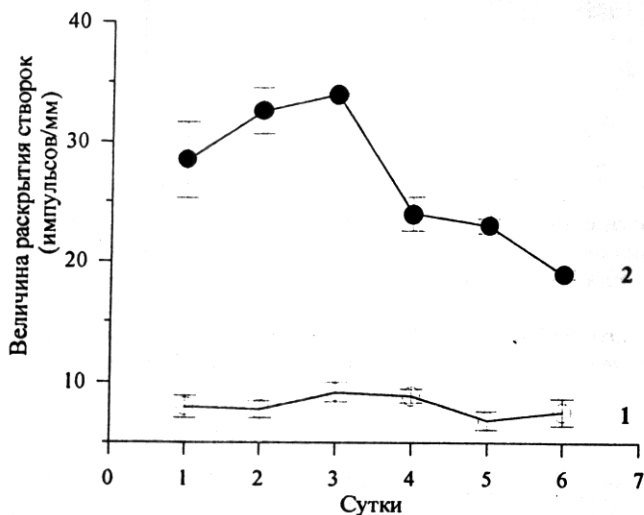


Рисунок 2. Величина раскрытия створок мидий (мм) в условиях нормоксии (1) и аутогенной гипоксии (2)  
Figure 2. The level of mussel valve opening (mm) under the normal conditions (1) and autogenic hypoxia (2)

**Заключение.** Разработка и использование прибора–биорегистратора активности створок мидий позволяет осуществить переход от дискретного сбора информации к непрерывному контролю среды с использованием величины раскрытия створок в качестве биосенсора.

1. Столбов А. Я., Вялова О. Ю. Респираторный метаболизм черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* в условиях дефицита кислорода (экспериментальные исследования) // Экология моря. – 2001. – 56. – С. 59 – 62.
2. Alongy D. M. The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems // Oceanography and Marine Biology. Annual Review. – 1990. – 28. – P. 381 – 496.
3. Bayne B. L. Ventilation. The heartbeat and oxygen uptake by *Mytilus edulis* in declining oxygen tension // Comp. Biochem. Physiol. – 1971. – 40A. – P. 1065 – 1085.
4. Bayne B. L. Responses of *Mytilus edulis* to low oxygen tension: Acclimation of the Rate of Oxygen Consumption // J. Comp. Physiol. – 1977. – 114. – P. 129 – 142.
5. Bennet M. F. The rhythmic activity of the quahog *Venus mercenaria* and its modification by light // Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. – 1954. – 107. – P. 174 – 191.
6. Dauer D. M. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure // Mar. Pollution Bull. – 1993. – 26. – P. 49 – 257.
7. Davenport J. The isolation response of mussels exposed to falling seawater concentrations // J. Mar. Biol. Ass. UK. – 1979. – P. 123 – 132.
8. Diaz J. R. Rosenberg, Marine benthic hypoxia: a review its ecological effects and the behavioral responses of benthic macro fauna // Ocean. Mar. Biol. Annual Rev. – 1995. – 33 – P. 245 – 303.
9. Famme P. Effect of shell valve closure by the mussel *M. edulis* on the rate of oxygen consumption in declining oxygen tension // Comp. Biochem. Physiol. – 1980. – 67A. – P. 167 – 1701.
10. Higgins I. D. Effects of food availability on valve movements and feeding behavior of juvenile *C. virginica* Valve movements and period activity // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1980. – 45. – P. 229 – 244.
11. Kees J. M. Kramer, N. A. Jenner, and D. de Zwart. The valve movement response of mussels: a tool in biological monitoring // Hydrobiologia. – 1989. – 188/189. – P. 433 – 443.
12. Sloff D, Zwart J. Detection limits of a biological monitoring system for chemical water pollution based on mussel activity // Bull. Envir. Contam. Toxicol. – 1983. – 30. – P. 400 – 405.
13. Stromgren T. Effect of heavy metals on the length growth of *M. edulis* // Mar. Biol. – 1982. – 72. – P. 69 – 72.
14. Salanki J., Balla I. Ink-Lever equipment for continuous recording of activity in mussel // Annal. Biol. Tihany. – 1964. – 31. – P. 117 – 121.
15. Trenit B. Influence de quelques, micropollutants sur l'activite valvaire de deux Bivalves l'huître creuse *crassostrea Gigas* et la Moule *Mytilus edulis* // IFREMER, La Trinite sur Mer. – 1996. – 46 p.
16. Widdows J. J. Physiological responses to pollution // Mar. Pollut. Bull. – 1985. – 6 – P. 129 – 134.
17. Wu R. S. Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses // Mar. Pollut. Bull. – 2002. – 45. – P. 35 – 45.

Институт биологии южных морей НАН Украины,  
Карадагский природный заповедник НАН Украины,  
Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
г. Севастополь.

Получено 26.08.2004

A.Y. STOLBOV, V.V. TRUSEVICH, V.G. MISCHUROV, V.A. SHEJANOV.

## VALVE MOVEMENT ACTIVITY OF MUSSEL AS A TOOL FOR BIOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

### Summary

The device–biorecorder was elaborated and used for automatic registration of the mussel movement value at hypoxic and normal conditions. The results of the prolonged experiments showed the significant differences in mussel response. That method may be useful for the continuous monitoring of the environmental conditions.