

**РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ СТОРОК ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ  
*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. В УСЛОВИЯХ  
ПИЩЕВОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ****И.И. Казанкова, С.В. Казанцев**

Институт природно-технических систем,  
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28  
E-mail: ikazani@bk.ru

Экспериментально исследованы особенности движения створок черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* на ранних стадиях голодания. Определено, что при пищевой недостаточности, но благоприятных других условиях среднесуточное раскрытие створок в ходе эксперимента уменьшается, в основном, за счет увеличения длительности закрытого состояния моллюсков и уменьшения времени нахождения при уровне раскрытия створок более 50%. Изменение суточной ритмики движения створок в значительной степени было связано с режимом смены воды. Рассмотрена возможность сходства процессов, лежащих в основе изменений движения створок мидий как при недостаточности пищи, так и при загрязнении среды.

**Ключевые слова:** вальвометрия, раскрытие створок, уровень раскрытия створок, суточный ритм, пищевая недостаточность, контроль водной среды, Черное море.

Поступила в редакцию: 25.10.2022. После доработки: 08.12.2022.

**Введение.** Исследования движений створок моллюсков под воздействием факторов среды начались еще в 20 веке, в том числе и отечественными учеными (например, [1]). Значительный интерес к поведенческим реакциям моллюсков был вызван возможностью их использования для контроля и мониторинга качества водной среды, так как было определено, что под воздействием неблагоприятных факторов среды увеличивается время нахождения раковины в закрытом состоянии и уменьшается раскрытие створок моллюсков (например, [2, 3]).

Недостаточность пищи, как фактор среды, также вызывает у двустворчатых моллюсков изменение в движении их створок. Например, в лабораторных условиях мидии закрывали раковины при концентрации хлорофилла *a* ниже 0,5 мкг/л [4]. Некормленные ювенильные устрицы находились в закрытом состоянии почти 35% суточного времени, при непрерывной подаче пищи – 4% [5]. При постоянном кормлении моллюсков доля закрытых особей в течение суток не изменялась на всем протяжении опыта, но при низкой концентрации водорослей у моллюсков возникал циркадный ритм, и

доля закрытых особей постепенно увеличивалась [2, 5].

В последнее время появилась возможность эффективно следить за движением створок различных видов моллюсков непосредственно в природных условиях на основе высокочастотной неинвазивной вальвометрии (ВНВ) (high-frequency noninvasive valvometry (HFNI) – по терминологии, предложенной в [6]). Начало этому методу, согласно [7], было положено благодаря применению электронных регистраторов движения створок *Bivalvia* [5].

Эксперимент с использованием метода ВНВ, проведенный в прибрежных водах Галиссии, показал, что *Mytilus galloprovincialis* при концентрации хлорофилла *a* 1–8 мкг/л проводят в закрытом состоянии только 2% времени при относительно постоянном среднесуточном раскрытии створок [8]. Те же значения демонстрировали особи *M. galloprovincialis* у берегов Крыма в относительно чистых водах [3]. В то время как в акваториях с хроническим загрязнением воды продолжительность закрытия створок постепенно увеличивалась, и уменьшалась величина их раскрытия [3].

Для Черного моря изучение поведенческих реакций моллюсков в условиях недостаточности пищи актуально, так как в последнее время на фоне климатических изменений увеличилась вероятность понижения продуктивности верхнего слоя черноморской пелагиали. Спутниковые измерения показали, что здесь наблюдаются длительные сезонные периоды пониженной концентрации хлорофилла *a* (менее  $0,5 \text{ мг/м}^3$ ) [9]. Учет особенностей поведения черноморской мидии при недостатке пищи важен не только для более точной оценки результатов мониторинга морской среды, но и для моделирования продуктивности масштабных марихозяйств, а также для планирования экспериментов с мидиями и интерпретации их результатов.

Цель нашей работы – изучить изменения движения створок черноморской мидии в ходе многосуточного голодания, вызванного недостаточностью пищи, используя метод ВНВ; а также актуализировать учет этих изменений в мониторинговых исследованиях.

**Материал и методы.** *Условия эксперимента.* Моллюски для исследований были отобраны из обрастаний искусственных субстратов в прибрежной зоне. Было проведено три многодневных лабораторных эксперимента, обозначенных как *A*, *B* и *C*. Эксперимент *A* – с мидиями длиной 49–56 мм (октябрь 2016 г.), *B* – 35–41 мм (февраль – март 2018 г.) и *C* – 24–26 мм (май 2018 г.). Длительность экспериментов соответственно составила 13, 21 и 18 суток. Температура воды была комнатной: в эксперименте *A* она достигала 16,5–20,5, *B* – 10–13, *C* – 19–21 °С. В каждом опыте участвовало по 16 мидий. Перед началом эксперимента очищенных и измеренных моллюсков содержали в 20-литровой емкости с аэрируемой морской водой в течение суток. На следующий день с помощью клея "Эмоксипол" их прикрепляли к сенсорной части измерительного комплекса "Биомонитор-Л" [10]. Его особенностью является разделение электронного блока регистрации и сенсорной части, состоящей из датчика температуры и 16 биодатчиков. При определении

раскрытия створок измеритель по величине магнитного поля регистрирует расстояние между магнитом, расположенным возле сифонального края раковины, и датчиком Холла. Эта величина пропорциональна раскрытию створок, которое измеряли с частотой раз в секунду с погрешностью 0,1 мм. После закрепления моллюсков на сенсорных панелях их помещали в четыре 4-литровых сосуда с аэрируемой водой по четыре экземпляра в каждый из них. Для содержания моллюсков использовали нефилтрованную природную воду, которую в течение экспериментов меняли несколько раз. Длительность этой процедуры составляла 1–2 мин. При смене воды микрообращение, развивающееся на стенках сосудов и поверхности прибора, не удаляли. Изменение освещенности в лаборатории соответствовало ее естественному суточному ходу с максимальным значением, не превышающим 50 лк.

Недостаток пищи в эксперименте обеспечивался небольшим объемом приходящейся на особь воды и режимом ее смены. Со свежей водой мидии получали порцию природного фитопланктона. Если исходить из наибольшего значения его биомассы в прибрежных водах Черного моря, достигающей около 2 мг/л [11], и калорийности фитопланктона, составляющей в среднем 250 кал/г [12], то свежая порция фитопланктона, содержащаяся в 16 л воды, максимально будет содержать всего около 8 калорий. Для мидии длиной 24–26 мм, сухой вес мягких тканей которой составляет около 50 мг [13], суточный рацион при 19–21 °С достигает около 12 калорий [14]. Для 16 таких особей соответственно – около 200 калорий. То есть мидии в эксперименте, несомненно, испытывали голод.

По техническим причинам на пятые сутки эксперимента *A* и во второй половине эксперимента *C* аэрация не осуществлялась.

*Получение данных и их обработка.* С помощью программного обеспечения "Биомонитор-Л" было произведено сглаживание выводимых на экран данных и конвертирование их в

программу Excel для дальнейшей их статистической обработки.

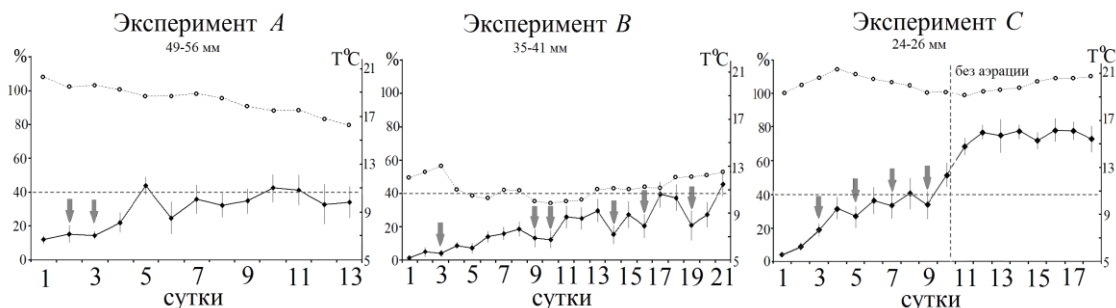
Весь массив данных разбивался по суткам и часам. Значения раскрытия створок были приведены к нулю, за который принималось наименьшее значение их раскрытия за сутки.

Кроме раскрытия створок мидий определяли уровень их раскрытия (УРС) и время нахождения моллюсков при различных УРС. Стопроцентный УРС каждой мидии соответствовал максимальному раскрытию их створок за весь период наблюдения. Данный параметр позволяет нивелировать индивидуальные различия участвующих в эксперименте моллюсков по величине максимального раскрытия их створок, которое зависит от индивидуальных характеристик мидий и особенностей их прикрепления к сенсорной части прибора.

С помощью программного обеспечения "Биомонитор-Л" определяли также скользящее среднее створочной активности моллюсков, выраженное в процен-

тах относительно его максимального значения за весь период исследования. Исходя из формулы [15], створочная активность моллюска есть сумма перемещений, осуществляемых краем створки мидии за единицу времени. Данная величина зависит от количества движений «раскрытие-закрытие» в единицу времени и их амплитуды. Доверительные интервалы средних вычисляли при  $\alpha = 0,05$ .

**Результаты.** *Время нахождения мидий в закрытом состоянии.* (В данном анализе закрытым состоянием створок условно считалось их раскрытие в диапазоне от 0 до 0,5 мм). В ходе всех трех экспериментов среднее за сутки время нахождения мидий в закрытом состоянии постепенно увеличивалось от 2–10 до 40% (рис. 1). Окончанием эксперимента С считали 10-е сутки, так как далее отсутствовала аэрация. Отключение аэрации в эксперименте А в течение пятих суток и в эксперименте С после десятих суток резко увеличивало время закрытого состояния моллюсков.



**Рис. 1.** Среднее для 16 мидий время нахождения в закрытом состоянии с доверительными интервалами. Белые кружки – средняя температура воды. Стрелками указаны дни смены воды

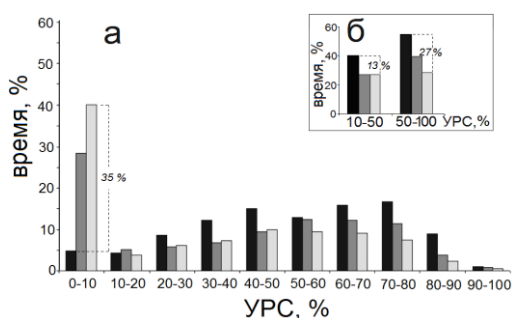
**Fig. 1.** Mean time in the closed state 16 mussels with confidence intervals. White circles are the average water temperature. The arrows indicate the days of the water change

В эксперименте В отмечалось почти двукратное, по сравнению с экспериментами А и С, увеличение количества дней, в течение которых достигалась сорокапроцентная длительность нахождения моллюсков в закрытом состоянии. Это могло быть связано с пониженной температурой воды в этом эксперименте, которая была на 10°C меньше, чем в экспериментах А и С.

Дальнейшие расчеты проводили по результатам эксперимента С. В этом опыте смена воды проводилась более регулярно, что могло уменьшить накопление в воде продуктов метаболизма моллюсков. Как показали дополнительные исследования в экспериментах с мидиями длиной 24–26 мм, проводимых в тех же условиях, что и в эксперименте С, концентрация токсичных ионов мине-

рального азота была значительно ниже предельно допустимой [13]. Кроме того, особи длиной 24–26 мм, как правило, неполовозрелы или находятся в самом начале полового созревания, что исключает их нерест в экспериментальных сосудах и, возможно, позволяет получить статистически более однородные результаты.

*Время нахождения мидий при различных УРС.* На диаграмме (рис. 2) представлено время нахождения мидий при различных УРС в начале (1–2 сутки), середине (5–6 сутки) и конце эксперимента (9–10 сутки). К концу эксперимента длительность закрытого состояния моллюсков при УРС = 0–10% возросла от 5 до 40% (рис 2а). Соответственно, уменьшилось время нахождения моллюсков при остальных УРС.

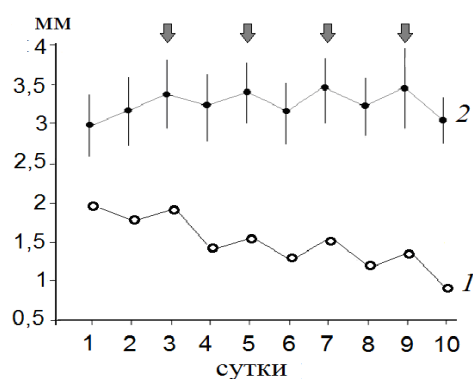


**Рис. 2.** Время нахождения мидий при различном УРС в начале, середине и конце эксперимента – черные, темно-серые и светло-серые столбики соответственно

**Fig. 2.** The residence time of mussels at different levels of valve opening at the beginning, middle and end of the experiment – black, dark gray and light gray bars, respectively

Суммирование показало, что в конце эксперимента длительность нахождения раковины при УРС 50–100% сократилась более, чем в два раза, в то время как при УРС 10–50% – в полтора раза (рис. 2б). Начальное время нахождения мидий при максимальном раскрытии створок (УРС=90–100%) составило 1%, в конце эксперимента оно уменьшилось до 0,5% (рис. 2а).

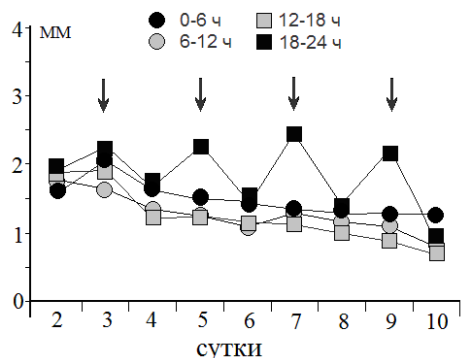
*Среднее и максимальное раскрытие створок.* К концу эксперимента среднее раскрытие мидий уменьшилось почти в два раза – от двух до одного миллиметра (рис. 3). Это уменьшение не было связано с температурой, которая, начиная с четвертого дня, снизилась с 21°C до более благоприятных для черноморской мидии значений – 19°C. В то же время среднее максимальное раскрытие створок 16 мидий в течение эксперимента значимо не изменялось и составляло около 3 мм.



**Рис. 3.** Раскрытие створок в ходе эксперимента: 1 – среднее раскрытие ( $n \gg 100000$ , std = 0,80–1,27 мм), 2 – максимальное раскрытие ( $n=16$ , std = 0,81–1,06 мм)

**Fig. 3.** Average daily opening of mussel valves during the experiment: 1 – average opening ( $n \gg 100000$ , std = 0,80–1,27 мм), 2 – maximum opening ( $n=16$ , std = 0,81–1,06 мм)

*Движение створок мидий в зависимости от времени суток.* Данные по величине раскрытия створок мидий в каждые из суток были разбиты на четыре шестичасовых периода: 0–6, 6–12, 12–18 и 18–24 ч (рис. 4). Посуточное представление раскрытия створок в каждый 6-часовой период показало незначительное различие параметра в первых трех из них. В период с 18 до 24 ч среднее раскрытие створок изменялось скачкообразно, что было связано со сменой воды, проводившейся в вечернее время через день. На следующие сутки после смены воды раскрытие створок резко уменьшалось и приближалось к значениям других 6-часовых периодов.



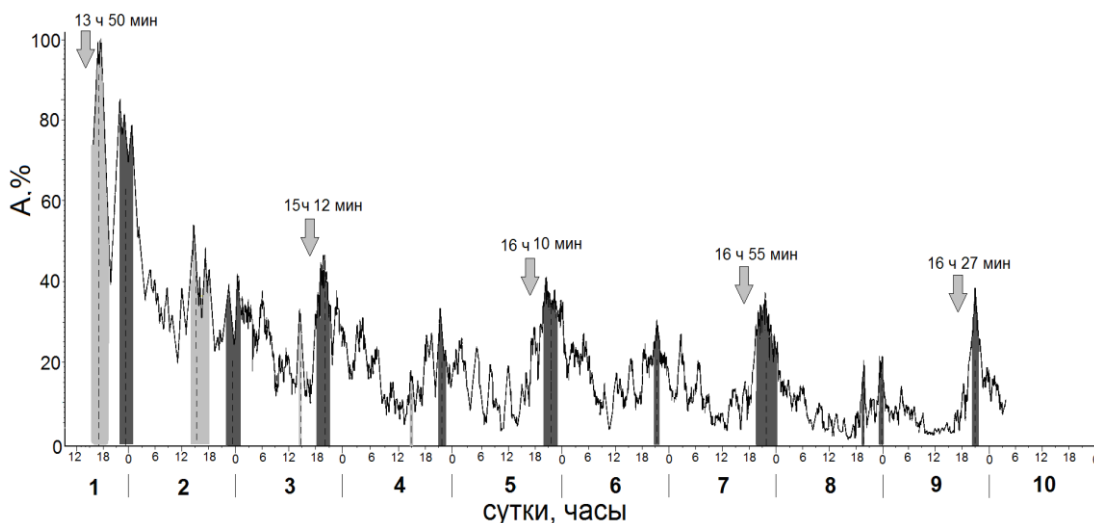
**Рис. 4.** Среднее раскрытие створок за шестичасовые периоды. Стрелками указаны дни смены воды

**Fig. 4.** Mean daily opening of the mollusk valves over six-hour periods. The arrows indicate the days of water change

*Створочная активность мидий в ходе эксперимента.* Более подробно изменение в движении створок мидий в ходе эксперимента в зависимости от времени суток и в связи со сменой воды отражает

график скользящей средней створочной активности.

Как видно из рис. 5, мидии совершали движение створками на протяжении всего эксперимента, постепенно уменьшая створочную активность к его концу. Это выражалось в уменьшении амплитуды ежесуточных пиков активности и их длительности. В первые сутки наблюдался как дневной (через полтора часа после начала эксперимента), так и ночной пик активности, проходивший около полуночи. Через сутки дневной пик повторился в ослабленном виде, и далее он практически исчез. Первая смена воды была проведена на третий день. В эти сутки и далее ночной пик проходил на 2–3 ч раньше, чем в начале эксперимента. В дальнейшем в ходе эксперимента после смены воды движение створок мидий в вечерне-ночной период было заметно активнее, чем в предыдущие и последующие сутки.



**Рис. 5.** Скользящее среднее створочной активности мидий (A) за суточные периоды с шагом в 1 с. За 100% принята максимальная величина A. Вертикальные светлые и темные полосы – дневные и ночные пики соответственно. Стрелками указаны моменты смены воды

**Fig. 5.** Moving average of mussel valve activity (A) for daily periods with a step of 1 s. The maximum value of A was taken as 100%. The vertical light and dark bands are the day and night peaks, respectively. The arrows indicate the moments of water change

**Обсуждение.** *Сходство в движении створок при пищевой недостаточности и загрязнении среды.* В основе этого сходства, выражающегося в уменьшении раскрытия створок и увеличении времени нахождения в закрытом состоянии,

могут лежать одни и те же адаптивные процессы, суть которых заключается в уменьшении фильтрационной активности моллюсков из-за уменьшения раскрытия створок [16]. То есть первично – уменьшение раскрытия створок в ответ

на воздействие факторов среды, вторично – уменьшение скорости фильтрации. Это приводит к сокращению потребления кислорода и позволяет моллюскам экономить расход энергетических субстратов и дольше не переходить на энергетически менее эффективное анаэробное дыхание, при котором на молекулу глюкозы (полученную в результате гидролиза запасенного в тканях гликогена) приходится выход только двух молекул АТФ, тогда как аэробный путь дает 36 АТФ [17]. Показано, что в лабораторных и полевых экспериментах у голодающих мидий потеря веса в течение разных сроков была меньше в 7–12 раз, по сравнению с расчетной потерей веса активно фильтрующих голодающих мидий с постоянно открытыми створками [18].

То есть уменьшение среднесуточного раскрытия раковины моллюска и увеличение времени нахождения в закрытом состоянии при голодании и загрязнении, по всей видимости, необходимо моллюску для экономии своих энергетических ресурсов. Сохранение среднего максимального раскрытия мидий на протяжении всего десятисуточного эксперимента, возможно, является необходимым для мидий поведенческим элементом.

Что касается створочной активности, то обращает внимание её увеличение у моллюсков как при получении ими пищи, на фоне ее отсутствия в предшествующий период (см. рис. 5), так и при попадании в воду токсикантов [19]. В последнем случае рост створочной активности происходит за счет увеличения частоты движений створок, несмотря на уменьшение их амплитуды.

*Суточная ритмика при пищевой недостаточности.* Как было отмечено выше, в экспериментах при постоянной высокой концентрации в воде клеток водорослей у моллюсков отсутствует циркадная ритмика в движении створок, но она возникает при недостаточности пищи [2]. При этом у мидий в естественных условиях или в экспериментах, приближенных к естественным условиям, наблюдается ночной пик активности [2, 3, 20], что увязывают с динамикой изменения освещенности или уменьшением ак-

тивности зрительно ориентирующихся хищников.

В нашем эксперименте некоторое повышение створочной активности в ночной период могло быть связано с суточными изменениями освещенности от 0 до 50 лк. Исчезновение через двое суток после начала эксперимента дневных пиков активности мидий, сохранение ночного пика со сдвигом на два часа раньше, относительно времени его прохождения в первые сутки (см. рис. 4), можно объяснить в первом случае «забыванием», а во втором – «запоминанием» мидиями времени получения пищи во время смены воды. Это предположение основывается на результатах экспериментов, описанных в [21], которые позволили авторам сделать вывод о возможной способности мидий «помнить» и «забывать» время, в которое ранее происходило поступление пищи. Причем, у голодных мидий процесс «забывания» идет медленнее, чем у сытых.

То есть возможной причиной ночного пика активности мидий в природе может быть, в том числе, и улучшение условий питания ночью, относительно дневного периода.

*Вальвометрия в мониторинге прибрежной экосистемы.* Выявление изменений в движении створок мидий при пищевой недостаточности методом ВНВ может быть элементом контроля продукционных возможностей среды и состояния популяции мидии. Для Черного моря это достаточно актуально в связи с существенной деградацией в последние десятилетия мидийных поселений, одной из причин которой может быть ухудшение условий для роста моллюсков. При этом происходит снижение репродукционного потенциала популяции, в том числе и за счет изменения ее половой структуры в сторону увеличения доли самцов, так как на производство яйцеклеток моллюски тратят больше энергии, чем на выработку сперматозоидов [22]. Загрязнение среды при этом может играть второстепенную роль.

**Заключение.** Определено, что при пищевой недостаточности постепенное уменьшение среднесуточного раскрытия створок мидий происходит, в основном, за счет увеличения суммарного времени

нахождения их в закрытом состоянии и уменьшении времени нахождения моллюсков при УРС более 50%. Среднее максимальное раскрытие створок в течение эксперимента значимо не изменялось. Время прохождения пиков створочной активности и его изменение в ходе эксперимента может свидетельствовать в пользу способности моллюсков к «запоминанию» и «забыванию» моментов получения пищи. В целом, основные закономерности изменения движения створок мидий в условиях пищевой недостаточности и при загрязнении среды совпадают, что необходимо учитывать при мониторинге среды. В связи с сезонной, межгодовой и междесятилетней, а также пространственной изменчивостью параметров среды в Черном море мониторинг признаков голодания черноморской мидии методом ВНВ является возможным и перспективным элементом комплексного мониторинга прибрежных экосистем.

Авторы благодарят Гайского П.В. и Шлыка А.В. за техническое обеспечение экспериментов. Работа выполнена в рамках государственных задания ИПТС (№ госрегистрации 121122300072-3).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко А.А., Тюрин А.Н., Морозов А.В. Влияние сублетальных воздействий некоторых факторов среды на двигательную активность двустворчатых моллюсков и возможность использования их для биологического мониторинга водной среды // Прикладная этология: Мат. III Всес. конф. по поведению животных. М.: Наука, 1983. Т. 3. С. 144–146.
2. Borcharding J. Another early warning system for the detection of toxic discharges in the aquatic environment based on valve movements of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* // In Limnology aktuell. «The zebra mussel *Dreissena polymorpha* – Ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management». D. Neumann and H. Jenner (eds.). 1992. V. 4. P. 127–146.
3. Трусевич В.В., Гайский П.В., Кузьмин К.А. и др. Биомаркеры поведенческих реакций черноморской мидии для автоматизированного биомониторинга экологического состояния водной среды // Системы контроля окружающей среды. 2015. № 1 (21). С. 13–18.
4. Maier O., Amouroux J.M., Duchene J.C. et al. Relationship between filtration activity and food availability in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* // Mar. Biol. 2007. 152: 1293–1307.
5. Higgins P.J. Effects of food availability on the valve movements and feeding behaviour of juvenile *Crassostrea virginica* (Gmelin). I. Valve movements and periodic activity // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1980. V. 45. P. 229–244.
6. Schwartzmann C., Durrieu G., Sow M. et al. In situ giant clam growth rate behavior in relation to temperature: a one-year coupled study of high-frequency noninvasive valvometry and sclerochronology // Limnol. Oceanogr. 2011. V. 56. P. 1940–1951.
7. Clements J.C., Comeau L.A. Use of high-frequency, noninvasive electromagnetic biosensors to detect ocean acidification effects on shellfish behaviour // J. of Shellfish Research. 2019. 38 (3): 811–818.
8. Comeau L.A., Babarro J.M.F., Longa A. et al. Valve-gaping behavior of raft-cultivated mussels in the Ría de Arousa, Spain // Aquaculture Reports. 2018. V. 9. P. 68–73.
9. Финенко З.З., Мансурова И.М., Суслин В.В. Динамика концентрации хлорофилла *a* в Черном море по спутниковым измерениям // Морск. биологический журнал. 2019. Т. 4, № 2. С. 87–95.
10. Гайский П.В. Устройство для измерения двигательной активности створок моллюсков. Патент UA № 106661. 2014.
11. Ясакова О.Н. Сезонная динамика фитопланктона Новороссийской бухты в 2007 г. // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 1. С. 92–102.
12. Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. Т. 60 (68). СПб: ЗИН РАН, 2007. 292 с.
13. Казанкова И.И., Байрут М.М. Контроль концентрации минерального азота как возможного фактора влияния на результаты вальвометрии мидий, со-

держатся в непроточных условиях при недостатке пищи // Системы контроля окружающей среды. Севастополь. 2021. № 2 (44). С. 81–87.

14. Печень-Финенко Г.А. Скорость фильтрации воды *Mytilus galloprovincialis* Lam. как функция массы тела и температуры // Экология моря. 1987. Т. 25. С. 54–62.

15. Гайский П.В., Казанкова И.И. Программный алгоритм расчета активности двустворчатых моллюсков на примере перловицы *Unio crassus* // Системы контроля окружающей среды. 2016. № 6 (26). С. 52–58.

16. Jørgensen C.B., Larsen P.S., Møhlenberg F. et al. The bivalve pump: properties and modelling // Marine Ecology Progress Series. 1988. V. 45. P. 205–216.

17. De Zwann A., Mathieu M. Cellular biochemistry and endocrinology // The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and culture (E.M. Gosling, ed.). Amsterdam; New York: Elsevier, 1992. P. 223–307.

18. Riisgård H.U., Larsen P.S. Physiologically regulated valve-closure makes

mussels long-term starvation survivors: test of hypothesis // Journal of Molluscan Studies. 2015. V. 81. P. 303–307.

19. Гайский П.В. Алгоритмически-программный анализ створочной активности моллюсков для обнаружения токсичных загрязнений водной среды // Экол. безопас. прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 4. С. 81–94.

20. Ameyaw-Akumfi C., Naylor E. Temporal patterns of shell-gape in *Mytilus edulis* // Mar. Biol. 1987. V. 95, № 2. P. 237–242.

21. Riisgård H.U., Lassen J., Kittner C. Valve-gape response times in mussels (*Mytilus edulis*) – effects of laboratory preceding-feeding conditions and in situ tidally induced variation in phytoplankton biomass. *J. shellfish res.* 2006/ V. 25. pp. 901–913.

22. Breton S., Capt C., Guerra D. et al. Sex Determining Mechanisms // Sex Determining Mechanisms in Bivalves. In: Leonard J.L., Ed., Transitions between sexual systems: understanding the mechanisms of, and pathways between, dioecy, hermaphroditism and other sexual systems, 2018, pp. 165–192.

#### THE RESULTS OF MONITORING THE MOVEMENT OF THE VALVES OF THE BLACK SEA MUSSEL *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. IN CONDITIONS OF NUTRIENT DEFICIENCY

I.I. Kazankova, S.V. Kazantsev

Institute of Natural and Technical systems, Sevastopol, Russia

Through experiments conducted, movement features of the valves of the Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* in the early stages of starvation are studied. It is revealed that during the experiment under conditions of nutrient deficiency, with other conditions being favorable, the average daily opening of the valves decreases, mainly due to an increase in the duration of the closed state of mollusks and a decrease in the time spent at a level of valve opening is more than 50%. The change in the daily rhythm of valve movement is largely dependent on the regime of water change. The possibility of similarity of the processes underlying the changes in the movement of mussel valves, both in case of nutrient deficiency and environmental pollution, is considered.

**Key words:** valvometry, opening of the valves, level of valve opening, diurnal rhythm, nutrient deficiency, control of aquatic environment, Black Sea.

#### REFERENCES

1. Karpenko A.A., Tyurin A.N., and Morozov A.V. Vliyaniye subletal'nyh vozdeystvij nekotoryh faktorov sredy na dvigatel'nyuyu aktivnost' dvustvorchatykh mollyuskov i vozmozhnost' ispol'zovaniya ih dlya biologicheskogo monitoringa vodnoj sredy (The use of sublethal effects of some environmental factors on the motor activity of bivalve molluscs and the possibility of using them for biological monitoring of the aquatic environment). *Prikladnaya etologiya: Materialy III Vses. konf. po povedeniyu zhivotnyh*, M.: Nauka, 1983, Vol. 3, pp. 144–146.

2. Borcharding J. Another early warning system for the detection of toxic discharges in the aquatic environment based on valve movements of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* // In: Neumann D. and Jenner H., Eds., *Limnology aktuell. «The zebra mussel *Dreissena polymorpha* – Ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management»*, 1992, Vol. 4, pp. 127–146.



3. Trusevich V.V., Gajskij P.V., Kuz'min K.A., and Mishurov V.Zh. Biomarkery povedencheskih reakcij chernomorskoj midii dlya avtomatizirovannogo biomonitoringa ekologicheskogo sostoyaniya vodnoj sredy (Biomarkers of behavioral reactions of Black Sea mussel for automated biomonitoring of the ecological state of the aquatic environment). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2015, No. 1(21), pp. 13–18.
4. Maier O., Amourex J.M., Duchene J.C., and Grémare A. Relationship between filtration activity and food availability in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Biol.*, 2007, 152: 1293–1307.
5. Higgins P.J. Effects of food availability on the valve movements and feeding behaviour of juvenile *Crassosrea virginica* (Gmelin). I. Valve movements and periodic activity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1980, Vol. 45, pp. 229–244.
6. Schwartzmann C., Durrieu G., Sow M., Ciret P., Claire E.L., and Massabuau J.-C. In situ giant clam growth rate behavior in relation to temperature: a one-year coupled study of high-frequency noninvasive valvometry and sclerochronology // *Limnol. Oceanogr.*, 2011, Vol. 56, pp. 1940–1951.
7. Clements J.C. and Comeau L.A. Use of high-frequency, non-invasive electromagnetic biosensors to detect ocean acidification effects on shellfish behaviour. *J. of Shellfish Research*, 2019, No. 38 (3), pp. 811–818.
8. Comeau L.A. and Babarro J.M.F., Longa A., and Padin X.A. Valve-gaping behavior of raft-cultivated mussels in the Ría de Arousa, Spain. *Aquaculture Reports*, 2018, Vol. 9, pp. 68–73.
9. Finenko Z.Z., Mansurova I.M., and Suslin V.V. Dinamika koncentracii hlorofilla a v Chernom more po sputnikovym izmereniyam (Dynamics of chlorophyll a concentration in the Black Sea on satellite data). *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2019, Vol. 4, No. 2, pp. 87–95.
10. Gajskij P.V. Ustrojstvo dlya izmereniya dvigatel'noj aktivnosti stvorok mollyuskov (A device for measuring the motor activity of mollusk valves). Patent UA № 106661, 2014.
11. Yasakova O.N. Sezonnaya dinamika fitoplanktona Novorossijskoj buhty v 2007 g (The annual dynamics of the phytoplankton in the Novorossiysk Bay in 2007). *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2013, Vol. 12, No.1, pp. 92–102.
12. Berger V.Ya. Produkcionnyj potencial Belogo morya. Issledovaniya fauny morej (Production potential of the White Sea. Researches of fauna of the seas). Vol. 60 (68), S.-Pb.: ZIN RAN, 2007, 292 p.
13. Kazankova I.I. and Bajrit M.M. Kontrol' koncentracii mineral'nogo azota kak vozmozhnogo faktora vliyaniya na rezul'taty val'vometrii midij, soderzhashchihsya v neprotochnyh usloviyah pri nedostatke pishchi (Monitoring of mineral nitrogen concentration as a possible factor of influence on the results of valvometry of mussel kept in non-flow conditions with food deficiency). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2021, No. 2 (44), pp. 81–87.
14. Pechen'-Finenko G.A. Skorost' fil'tracii vody *Mytilus galloprovincialis* Lam. kak funkciya massy tela i temperatury (The rate of water filtration in *Mytilus galloprovincialis* Lam. as a function of mass and temperature). *Ekologiya morya*. 1987, Vol. 25, pp. 54–62.
15. Gajskij P.V. and Kazankova I.I. Programmnyj algoritm rascheta aktivnosti dvustvorchatyh mollyuskov na primere perlovicy *Unio crassus* (Program algorithm of calculation of clams activity on the example of a thick shelled river mussel *Unio crassus*). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2016, No. 6 (26), pp. 52–58.
16. Jørgensen C.B., Larsen P.S., Møhlenberg F., and Riisgård H.U. The bivalve pump: properties and modelling. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, Vol. 45, pp. 205–216.
17. De Zwann A. and Mathieu M. Cellular biochemistry and endocrinology. In: Gosling E.M., Ed., *The mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*, Amsterdam; New York: Elsevier, 1992, pp. 223–307.
18. Riisgård H.U. and Larsen P.S. Physiologically regulated valve-closure makes mussels long-term starvation survivors: test of hypothesis. *Journal of Molluscan Studies*, 2015, Vol. 81, pp. 303–307.
19. Gajskij P.V. Algoritmicheski-programmnyj analiz stvorochnoj aktivnosti mollyuskov dlya obnaruzheniya toksichnyh zagryaznenij vodnoj sredy (Algorithm-program analysis of shellfish gape activity for toxic contaminant detection in aquatic environment). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon morya*. 2021. No. 4, pp. 81–94.
20. Ameyaw-Akumfi C. and Naylor E. Temporal patterns of shell-gape in *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 1987, V. 95, No. 2, pp. 237–242.
21. Riisgård H.U., Lassen J., and Kittner C. Valve-gape response times in mussels (*Mytilus edulis*) – effects of laboratory preceding-feeding conditions and in situ tidally induced variation in phytoplankton biomass. *J. shellfish res.*, 2006, Vol. 25, pp. 901–913.
22. Breton S., Capt C., Guerra D., and Stewart D. Sex Determining Mechanisms in Bivalves. In: Leonard J.L., Ed., *Transitions between sexual systems: understanding the mechanisms of, and pathways between, dioecy, hermaphroditism and other sexual systems*, 2018, pp. 165–192.