

## ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ И ЗВУКА НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ МИДИИ И ПЕРЛОВИЦЫ

П.В. Гайский

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

E-mail: gaysky@inbox.ru

Результаты лабораторных и натуральных экспериментов показывают, что черноморская мидия в отличие от пресноводной перловицы четко реагирует на световые и звуковые кратковременные изменения в окружающей среде. Эти свойства, выраженные в показателях изменения створочной активности данных моллюсков, используемых как биосенсоров, необходимо учитывать при автоматизированном экологическом мониторинге с помощью разрабатываемых биоэлектронных комплексов.

**Ключевые слова:** биоэлектронный контроль, двустворчатый моллюск, биосенсор, биоиндикатор, биодатчик, перловица, черноморская мидия.

Поступила в редакцию: 16.10.2020.

**Введение.** Процесс совершенствования автоматизированных систем биомониторинга водных объектов, использующих в своем составе в качестве биодатчиков-индикаторов двустворчатые моллюски, сопровождается изучением и анализом реакций этих живых организмов на различные возможные природные физико-химические и “тест” воздействия. Результаты этих лабораторных и натуральных экспериментов используются при создании и модернизации автономных программных алгоритмов оперативного анализа створочной активности, а также на основе ее статистических показателей автоматического принятия решений для экологических систем мониторинга и обнаружения отравляющих загрязнений.

Объем этих исследований растет и расширяется список воздействующих факторов [1–8]. Если химические примеси в воде в разных концентрациях должны восприниматься системой как отравляющие или загрязняющие, то физические чаще являются естественными и связаны с условиями обитания моллюсков. В целом для алгоритмов автоматического экологического контроля они являются факторами помехи, которые также должны быть обнаружены и исключены из анализа, выявляющего критическую ситуацию [9].

Одними из самых важных и постоянно присутствующих физических воздействий являются освещенность и акустические волны (звук). Несмотря на упоминание в ряде источников [10–13] об их большей или меньшей значимости в жизнедеятельности и развитии двустворчатых моллюсков и их личинок, отсутствуют прямые экспериментальные данные, подкрепленные прямыми измерительными характеристиками.

Натурные и лабораторные исследования [13–14] по изучению створочной активности пресноводных (перловица *Unio pictorum*) и морских (черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis*) моллюсков и использование их в качестве индикаторов в разрабатываемых нами биоэлектронных системах поставили ряд вопросов о значимости факторов света и звука для каждого данного рода (и вида).

Были проведены эксперименты, которые являлись продолжением лабораторных исследований [7, 8] поведенческих реакций указанных моллюсков на физические, химические и биологические воздействия.

**Основная часть.** Опыты проводились в лабораторных условиях с использованием биоэлектронного комплекса «Биомонитор-Л» и аквариумной системы «Среда» с комплексом измерительных каналов и погружных датчиков.

Основные условия экспериментов:

- Пластиковые открытые сверху аквариумные емкости (2 шт.) объемом по 30 л (по 8 моллюсков-биодатчиков на каркасных креплениях в каждой) (рис. 1);

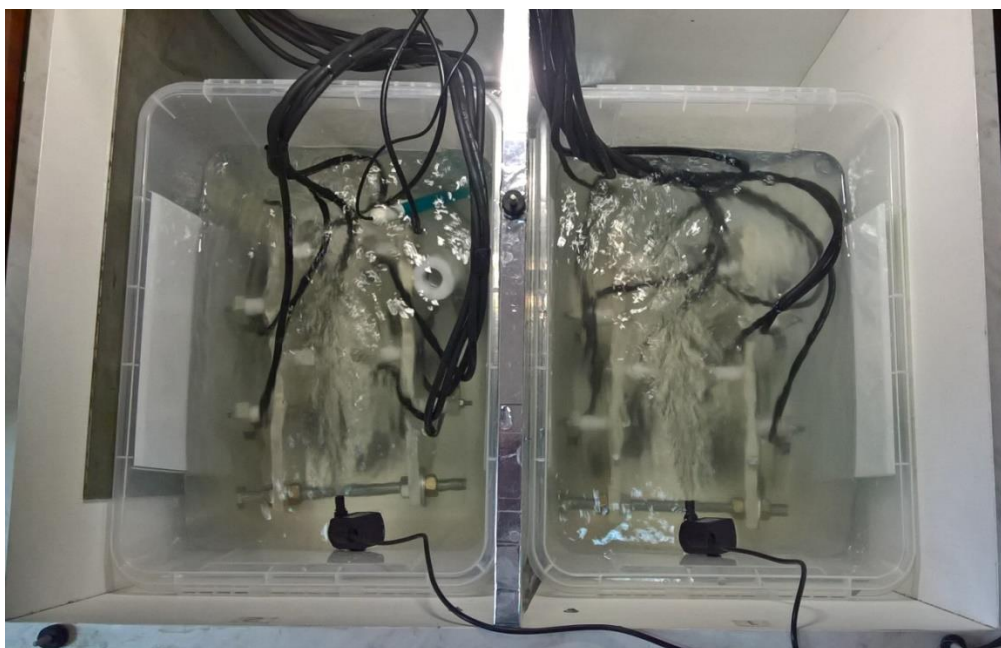
- Пресноводные моллюски (перловица) размером от 5 до 7 см (рис. 2а) – собраны на р. Альма и с условиями хранения (до проведения эксперимента) в проточном садке на р. Черная (Крым) на глубине порядка 1,5 м;

- Пресная вода – свежая из р. Черная в объеме 20 л на емкость;

- Общие физические параметры во время опытов с перловицей: температура воздуха =  $19 \div 22^{\circ}\text{C}$ , температура воды в емкостях =  $14 \div 18^{\circ}\text{C}$ , освещенность в воздухе (дневное/ночное время) =  $1000 \div 4000 / 0 \div 8$  Лк, pH воды =  $8,7 \div 8,95$  о.е., дата: 17–18/02/2020;

- Морские моллюски (черноморская мидия) размером от 4 до 6 см (рис. 2б) – собраны на металлических сваях моста (30 м от берега) у входа в Севастопольскую бухту на глубине 3–5 м;

- Морская вода – свежая из Карантинной бухты (внешней) г. Севастополя в объеме 20 л на емкость;



**Рис. 1.** Вид аквариумной установки с биодатчиками-моллюсками  
**Fig. 1.** View of aquarium plant with bio-sensors-mollusks

- Общие физические параметры во время опытов с мидиями: температура воздуха =  $24 \div 27^{\circ}\text{C}$ , температура воды в емкостях =  $22,9 \div 24,3^{\circ}\text{C}$ , освещенность в воздухе (дневное/ночное время) =  $800 \div 2000 / 0 \div 8$  Лк, pH воды =  $7,44 \div 7,95$  о.е. (за время эксперимента опустилась в емкостях до 7,44 и 7,5 о.е. (очевидно повысилась кислотность вследствие метаболизма моллюсков)), дата: 08–09/10/2020;

- Сопутствующие измерения (температура воздуха и воды в обеих емкостях, соленость и pH воды, освещенность под водой и на воздухе, ЭМП, относительные показатели УФ и ИК излучений под водой);

- Перемешивающие и барботирующие устройства – погружные помпы 12В / 3Вт / 200л/ч.



a)



б)

**Рис. 2.** Моллюски: а) пресноводная перловица *Unio pictorum* и б) черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis*, использованные в лабораторных экспериментах

**Fig. 2.** Mollusks: a) river bivalve mussel – *Unio pictorum* and b) Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* used in the experiments

Каждый эксперимент длился двое суток. Первый день: забор воды и моллюсков, установка моллюсков в биодатчики, опыты с освещенностью, УФ и ИК излучением, звуком различной природы (частота и мощность). Ночная запись без воздействий. Второй день – повторение экспериментов с освещенностью и звуком.

В качестве УФ (UV-A) излучателей использовались: погружной светодиодный (405 нм, 1,5 Вт) и две наружные лампы (316÷365 нм, по 8 Вт (действующее – 1,3 Вт)). В качестве ИК излучателя использовался погружной светодиодный (940 нм, 1 Вт). В качестве искусственных источников видимого спектра: люминесцентная настольная лампа 11 Вт и верхний комнатный свет.

В качестве звуковых источников использовались хлопки в ладоши и удары молотком в металлический гонг диа-

метром 80 см в непосредственной близости от емкостей (без перекрытия света) на протяжении 1 мин с интервалом в 2 сек. Ранее в натуральных экспериментах: на речном водозаборе [14] использовались подводные холостые выстрелы из пневматического оружия на расстоянии 1,5 м от погружного измерителя с перловицей и анализировались данные активности мидий при ремонтных работах на судне с установленным подвесным морским измерителем.

В качестве тестовых воздействий до и после каждого опыта с целью проверки ответной стандартной реакции (группового защитного схлопывания створок) и жизнеспособности моллюсков применялось механическое простукивание каркасных креплений биодатчиков.

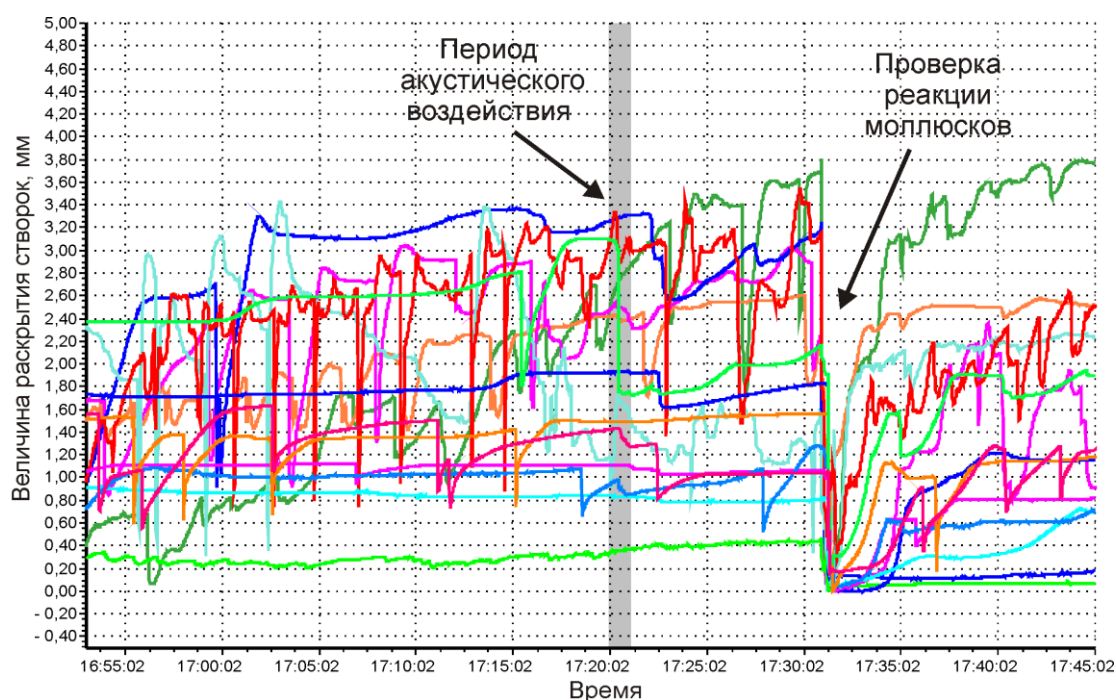
**Результаты лабораторных экспериментов.** Для проведения окончательных оценок как в случае опытов с перло-

вицей, так и с мидией были отобраны показания створочной активности 14 моллюсков.

Описанное выше акустическое воздействие не вызвало никакой ответной реакции у перловицы (рис. 3). Мидии четко отреагировали на звук групповым схлопыванием (рис. 4). Стоит отметить, что, как и в ранних наблюдениях, мидии как в натуральных, так и в лабораторных условиях четко реагировали на внезапный или новый шум даже низкой амплитуды. Это требовало соблюдения тишины в лаборатории и на объектах. В то же время к систематическому относительно однородному по мощности и диапазону частот звуковому воздействию мидии адаптировались уже на

10-ой минуте и, судя по восстановлению створочной активности, входили в стандартный режим жизнедеятельности. Реакция же на резкое изменение громкости присутствовала, но соотносилась уже со средним уровнем акустического фона.

Отсутствие какой-либо значимой реакции у перловицы вплоть до прямого механического акустического низкочастотного эффекта показывает отсутствие у нее сенсорных “слуховых” способностей. Это позволяет при ее использовании в системе биомониторинга исключить необходимость установки и анализа дополнительного акустического измерительного канала, отслеживающего внешние звуковые факторы.



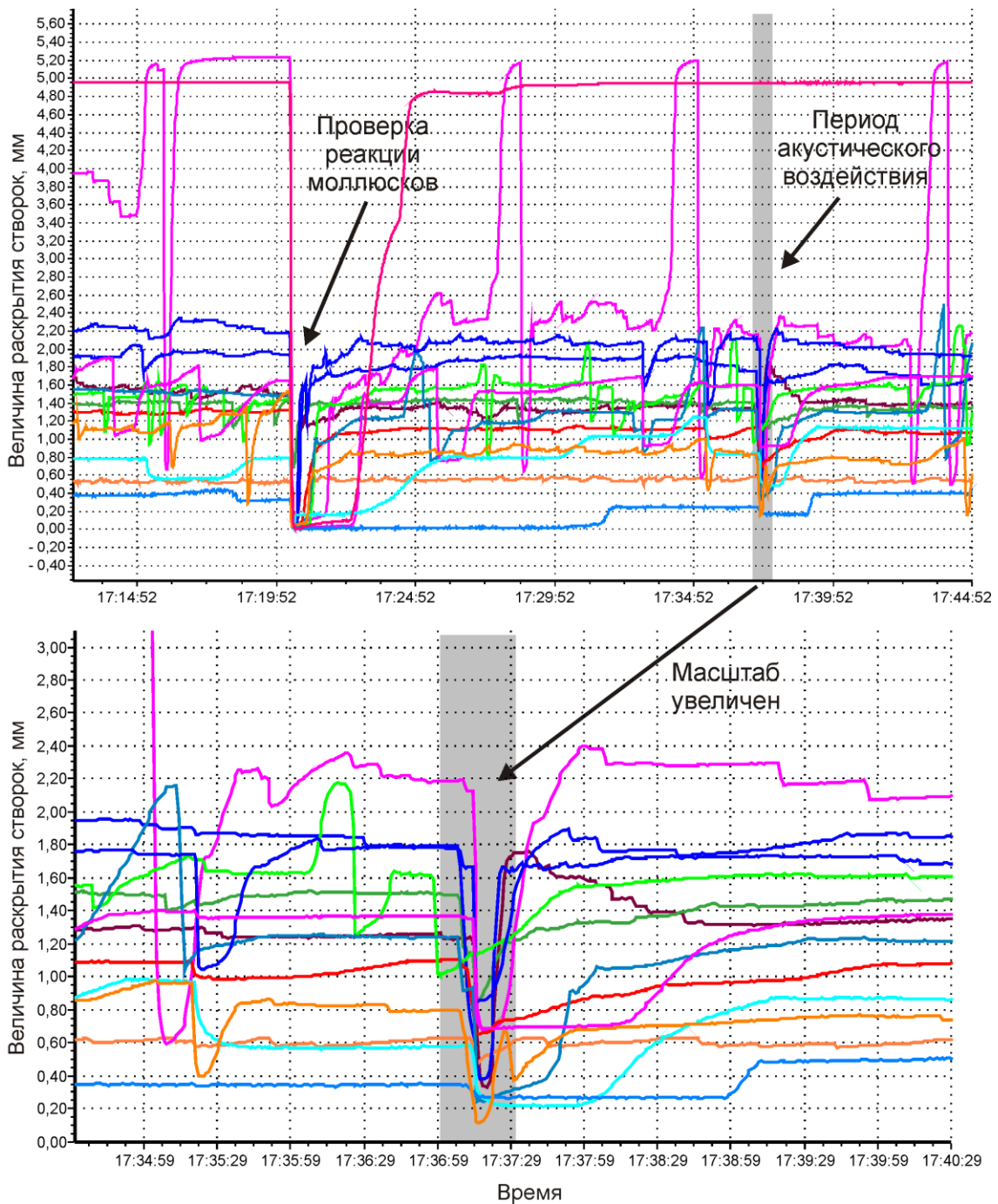
**Рис. 3.** Пример акустического воздействия на перловицу  
**Fig. 3.** Example of acoustic effect on pearl

В рамках экспериментов по изучению кратковременного светового воздействия на реакции моллюсков кроме естественного освещения использовались как искусственные источники наружного видимого и УФ света (ламповое освещение), так и погружные инфракрасные и ультрафиолетовые излучатели относительно малой мощности (1–2 Вт).

Влияние светового потока использо-

ванных диапазонов ИК и УФ излучения (см. выше) на створочную активность перловицы и мидии в присутствии и отсутствии дневного света выявлено не было.

Эффект включения / выключения видимого света при экспериментах с перловицей был очень слабым и незначительное влияние на створочную активность наблюдалось только в тем-



**Рис. 4.** Пример акустического воздействия на мидии  
**Fig. 4.** Example of acoustic effect on mussels

ное время суток (рис. 5). Статистически значимыми для анализа эти показания не являются. Одновременный контроль освещенности (лк) осуществлялся погружным датчиком видимого спектра.

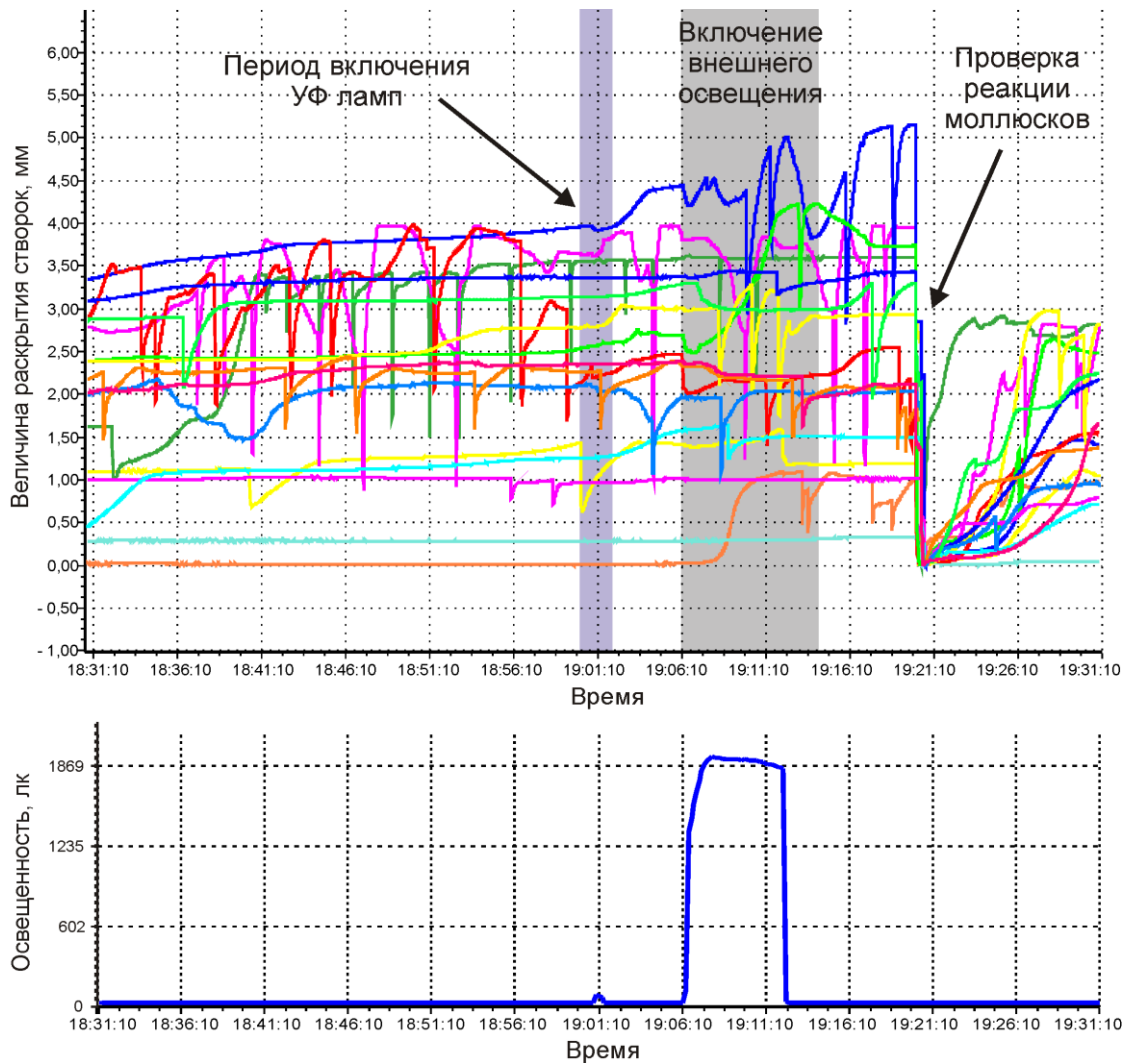
Резкое изменение освещенности в случае с мидиями вызывало выраженное синхронное групповое схлопывание створок (рис. 6) как в случае наличия,

так и в случае отсутствия фонового дневного естественного света. Эффект выключения дополнительного освещения в статистических показателях на порядок превосходил эффект включения (рис. 7), что, по всей видимости, прежде всего связано с защитной реакцией моллюска на хищника затеняющего световой поток. Особенно эта разница прояв-

лялась в дневное время суток, когда присутствовало фоновое изменение освещенности, к которой моллюск со временем приспосабливался и на включение дополнительного света не реагировал (рис. 8).

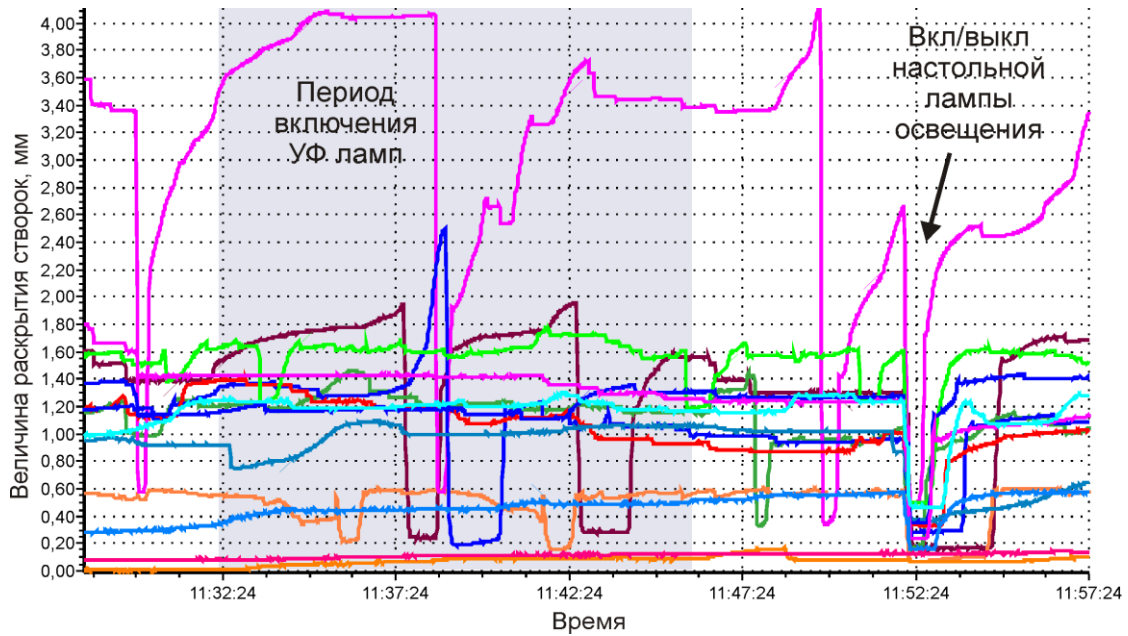
Сравнительная значимость звуковых воздействий и включения-выключения дополнительного искусственного освещения на мидии в лабораторных условиях присутствия акустического уличного фонового шума и дневного света наглядно отражена на рис. 9. Представленные на графике отдельные оперативные статистические показатели (групповая активность и синхронность), которые используются в автоматическом био-

электронном анализе имеют наиболее высокие значения при резком уменьшении освещенности, что включает в естественных условиях облачность, хищника и надводные объекты. Даже при небольшом изменении освещенности в 400 лк этот эффект по значимости соизмерим с механическим воздействием. По всей видимости у мидии, как и у ее личинки [10], в отличие от перловицы довольно хорошо развит светочувствительный аппарат который позволяет ей защищаться, а также как и в случае со звуком довольно быстро приспосабливаться к внешним фоновым характеристикам изменения освещенности.



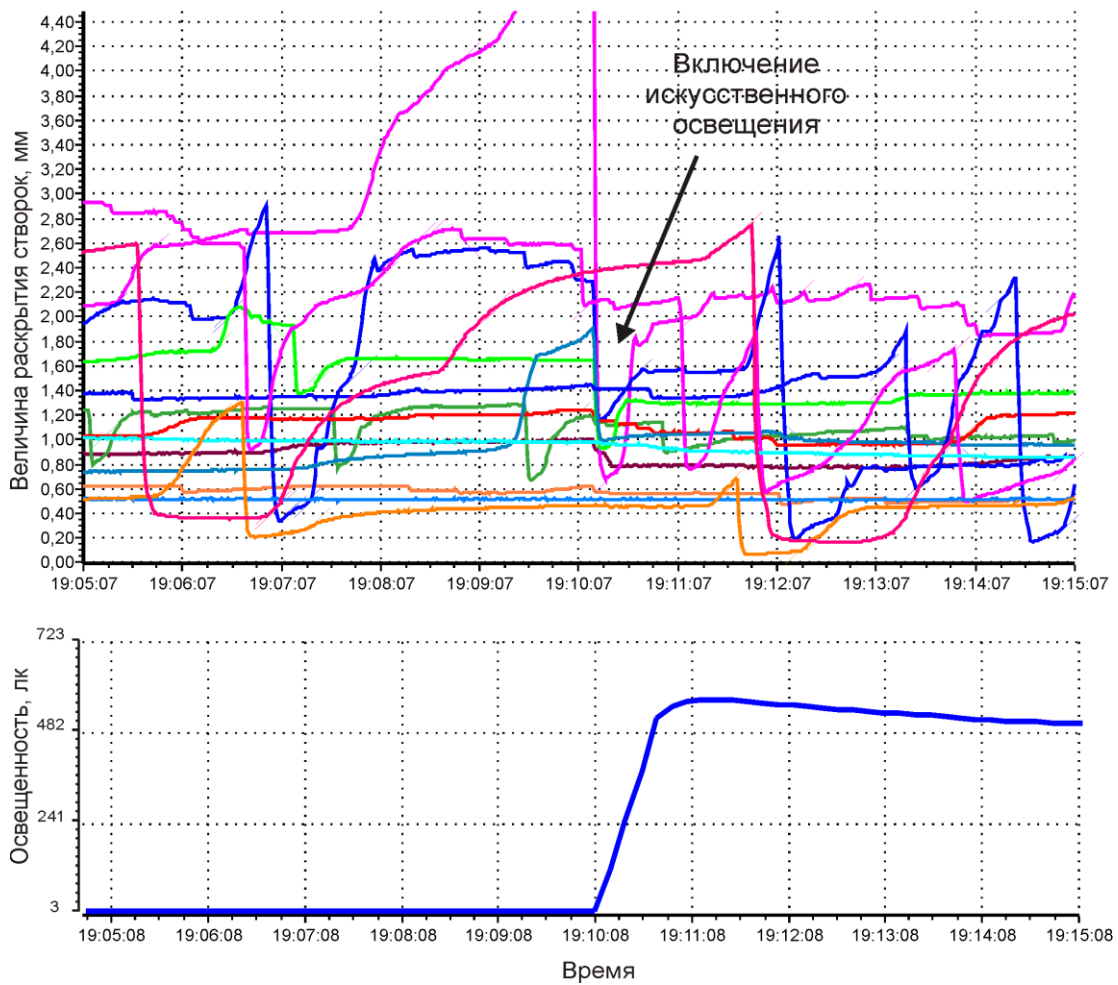
**Рис. 5.** Реакция перловицы на кратковременное изменение освещенности и UV-A воздействие

**Fig. 5.** Pearl response to short-term change of the illumination and UV-A exposure when rainwater flows into a river



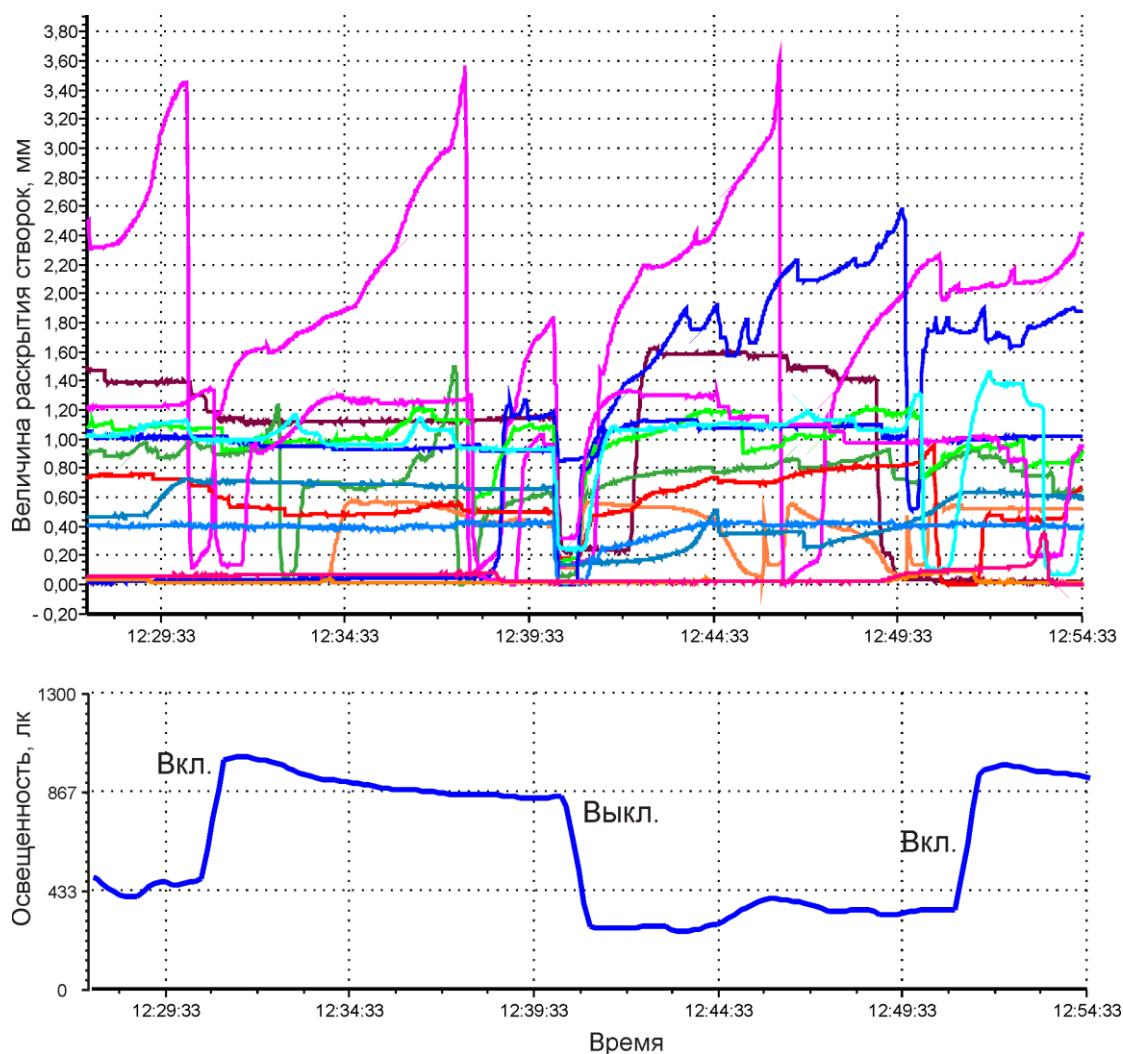
**Рис. 6.** Реакция мидий на кратковременное изменение освещенности и UV-A воздействие

**Fig. 6.** Mussel response to short-term change of the illumination and UV-A exposure



**Рис. 7.** Реакция мидий на включение искусственного света в ночное время

**Fig. 7.** Reaction of mussels to the inclusion of artificial light at night



**Рис. 8.** Графики освещенности и оперативной створочной активности мидии при последовательном включении-выключении искусственного освещения в дневное время  
**Fig. 8.** Charts of illumination and operational valve activity of the mussel at sequential switching on/off of artificial lighting in daytime

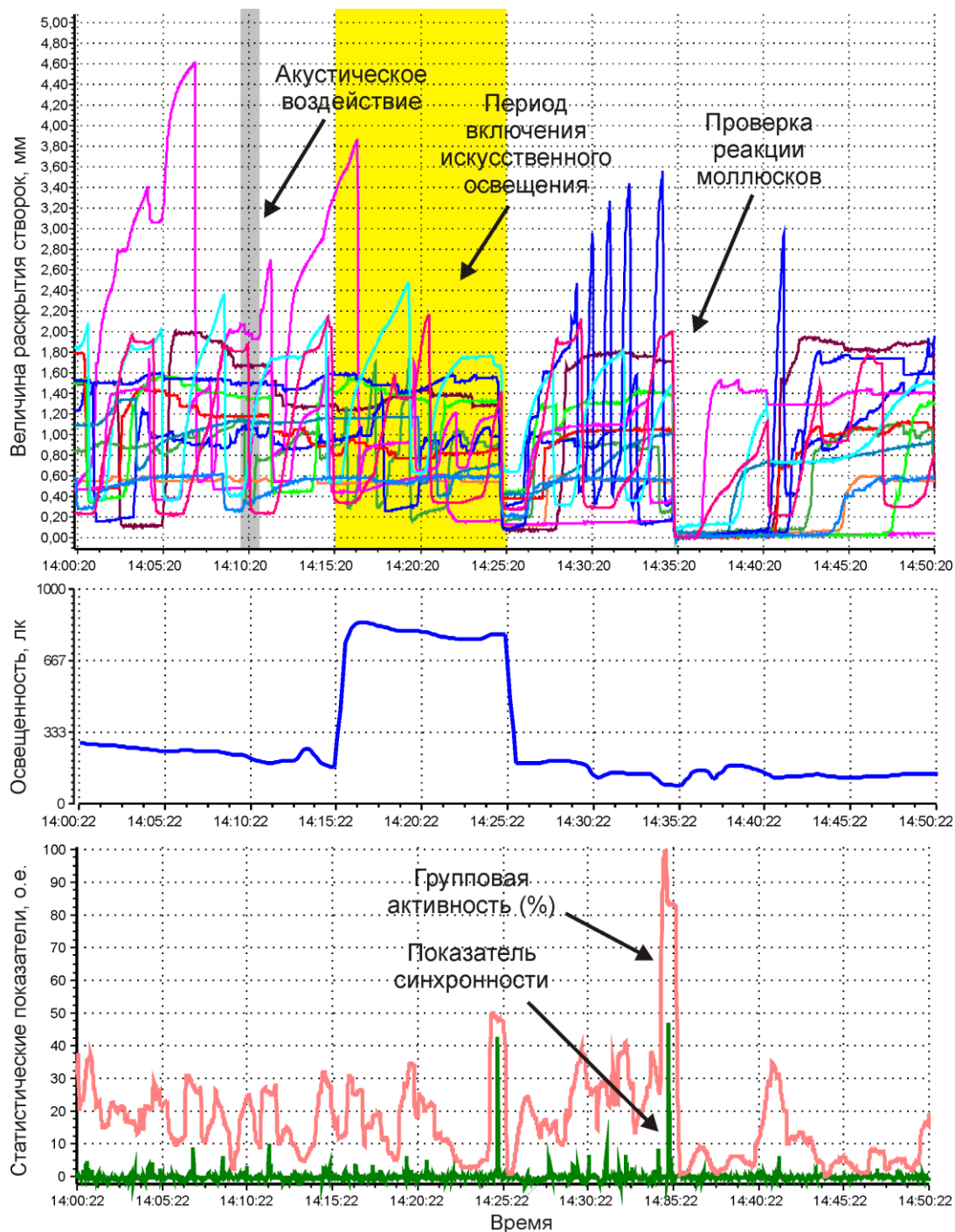
**Заклучение.** Результаты лабораторных и натурных экспериментов показывают, что мидия в отличие от перловицы четко реагирует на световые и звуковые кратковременные изменения в окружающей среде, что очевидно является следствием рефлекторной защитной реакции от угрозы (хищника).

Реакция, выраженная в показателях изменения створочной активности мидии, на затенение светового потока на порядок выше ее реакции на звуковые воздействия. Кроме того, мидия, имея более совершенную сенсорную систему, довольно быстро адаптируется к естественным фоновым колебаниям как внешней освещенности, так и звуковых волн, что, по всей видимости, говорит о ее

более высокой биологической организации по сравнению с перловицей.

Эти выводы дополнительно показывают как достоинства, так и недостатки использования одного и другого моллюска в биосенсорных технологиях и необходимость их обязательного учета в алгоритмически-программном анализе автоматизированных систем контроля. В частности, в отсутствии особой необходимости сопутствующих измерений освещенности и естественного уровня звуковых колебаний для пресноводных биоэлектронных систем, построенных на анализе створочной активности перловицы и, наоборот – для систем с мидиями.





**Рис. 9.** Эксперимент последовательных воздействий на мидии (относительное сравнение)  
**Fig. 9.** Experiment of sequential effects on mussels (relative comparison)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод» (№ госрегистрации АААА-А19-119040590054-4).*

1. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations / S.V. Kholodkevich, A.V. Ivanov, A.S. Kurakin [et al.] // Journal of Environmental Bioindicators. 2008. V. 3, № 1. P. 23–34.

2. 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.
3. Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод / С.В. Холодкевич, А.В. Иванов, Е.Л. Корниенко [и др.] // Мир измерений. 2011. № 10. С. 6–13.
4. Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Кузнецова Т.В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива // Региональная экология. 2015. № 2 (37). С. 16–26.
5. Чупихина А.А., Шаров А.Н., Обуховская А.С. Двустворчатые моллюски - индикатор качества окружающей среды // Сб. науч. тр. Всероссийской научно-практической конференции “Профилактическая медицина – 2018”, Санкт-Петербург. 2018. С. 178–181.
6. Трусевич В.В., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж. Мониторинг водной среды с использованием пресноводных двустворчатых моллюсков // Системы контроля окружающей среды. 2017. Вып. 7 (27). С. 83–93.
7. Гайский П.В., Степанова О.А. Поведенческие реакции пресноводных моллюсков перловица *Unio pictorum* на ряд распространенных абиотических химических загрязнений // Системы контроля окружающей среды. 2020. Вып. 2(40). С. 87–96.
8. Гайский П.В., Степанова О.А. Поведенческие реакции пресноводных моллюсков перловица *Unio pictorum* на бытовые производные нефтепродуктов // Системы контроля окружающей среды. 2020. Вып. 3(41). С. 123–132.
9. Гайский П.В. 2020. Программа для первичной регистрации и обработки измерительных данных биоэлектронных комплексов экологического мониторинга на базе двустворчатых моллюсков «BIOMON». Программа для ЭВМ. Свидетельство: RU2020661537. 24.09.2020.
10. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. Воронеж: ООО «ИЗДАТ-ПРИНТ». 2017. 508 с.
11. Жилыкова И.Г. Промышленное разведение мидий и устриц. Издательская группа АСТ. М., 2004. 110 с.
12. Гаевская А. В. Паразиты, болезни и вредители мидий (*Mytilus, Mytilidae*). I. Простейшие (*Protozoa*). Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2006. 101 с.
13. Биомаркеры поведенческих реакций черноморской мидии для автоматизированного биомониторинга экологического состояния водной среды / В.В. Трусевич, П.В. Гайский, К.А. Кузьмин [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2015. Вып. 1(21). С. 13–18.
14. Гайский П.В., Шлык А.В. Результаты опытной эксплуатации экспериментального биоэлектронного комплекса “Биопост” // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 4 (34). С. 6–16.

## THE INFLUENCE OF LIGHT AND SOUND ON THE BEHAVIORAL RESPONSES OF SEA AND FRESH WATER MUSSELS

P.V. Gaisky

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

The results of laboratory and field experiments show that the Black Sea mussel, unlike the freshwater mussel, clearly reacts to light and sound short-term changes in the environment. These properties, expressed in indicators of changes in the valve activity of these mollusks used as biosensors, must be taken into account in automated environmental monitoring using developed bioelectronic complexes.

**Keywords:** bioelectronic control, bivalve mollusk, biosensor, bioindicator, bio-sensor, perl, mussel.