

Российская академия наук
Федеральное агентство научных организаций
Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского
Институт океанологии имени П. П. Ширшова
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Межведомственная ихтиологическая комиссия
Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам
по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и
акклиматизации ФГБУ «ЦУРЭН»
Российский фонд фундаментальных исследований

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, БИОИНДИКАЦИЯ,
НОРМИРОВАНИЕ**

**Всероссийская научная конференция с международным участием,
посвященная 125-летию профессора В. А. Водяницкого**

СБОРНИК СТАТЕЙ

Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г.



Севастополь
«Колорит»
2018

УДК 574.24
ББК 26.221+28.080.1
3 14

Печатается при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-04-20013

Ответственный редактор

д.б.н., проф. Руднева И. И.

Рецензент

д.б.н., проф. Филенко О. Ф.

Редакционная коллегия: д.б.н., проф. Солдатов А. А., к.б.н., доц. Залевская И. И.

3 14 **Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование** : сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г. – Севастополь : «Колорит», 2018. – 327 с.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

В сборнике представлены статьи участников Всероссийской научной конференции с международным участием «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование», посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, которая состоялась 28 мая – 1 июня 2018 г. в Севастополе. Широко обсуждаются проблемы современного статуса и тенденций экологических изменений морей Российской Федерации. Приведены сведения об источниках загрязнения, основных загрязняющих веществах, их содержании в окружающей среде и в тканях гидробионтов. Представлены результаты исследований и оценки состояния водных организмов и биологических сообществ, подвергающихся разным видам антропогенного воздействия. Рассмотрены объекты и методы биоиндикации морской среды и экологического мониторинга, а также проблемы нормирования и биотестирования загрязнения морей и океанов. Особое внимание уделено экологическим последствиям нетоксичного загрязнения морских экосистем (радиоактивное, электромагнитное, механическое и пр.).

Предназначен для широкого круга биологов, экологов, гидробиологов, специалистов в области аквакультуры, охраны окружающей среды и рыболовства.

УДК 574.24
ББК 26.221+28.080.1

Pollution of marine environment: ecological monitoring, bioassay, standardization:
collection of the papers of the Russian scientific conference with international participation devoted to 125th anniversary of prof. V. A. Vodyanitsky, Sevastopol, May 28 – June 1, 2018. – Sevastopol: "Colorit", 2018. – 327 p.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

The original papers of the participants of the Russian scientific conference with the international participation "Marine pollution: ecological monitoring, bioassay, norming" devoted to 125th anniversary of professor V. A. Vodyanitsky, which was held on May 28 – June 1, 2018 in Sevastopol are presented. The problems of recent state and the main trends of ecological changes of the seas of Russian Federation are discussed. The information about the pollution sources, highly distributed contaminants, their content in the marine environments and in the tissues of aquatic organisms is presented. The results of the study and the evaluation of marine organism's status and populations impacted on different kinds of anthropogenic activity are presented. The test-organisms and the bioassay methods of marine environments are shown, as well as the problems of norming and ecological evaluation of the pollution level of the seas and ocean are observed. The attention focused on the ecological consequences of non-toxic pollution of marine environment namely radioactive, electromagnetic, mechanical, etc. These papers are intended for specialists in biology, ecology, hydrobiology, aquaculture, environment protection, ichthyology, and other adjacent sciences.

Утверждено к печати Учёным советом
ФГБУН «Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН» (протокол № 3 от 03 апреля 2018 г.)

© Авторы статей, 2018
© ФГБУН ИМБИ РАН

ISBN 978-5-60-400-20-8-7

Pan H., Liu X. Apparent biological effect of strong magnetic field on mosquito egg hatching // BioElectroMagnetics. 2004. Vol. 25, iss. 2. P. 84–91. <https://doi.org/10.1002/bem.10160>

Shine M. B., Guruprasad K. N., Anand A. Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200mT on reactive oxygen species production in soybean // BioElectroMagnetics. 2012. Vol. 33, iss. 5. P. 428–437. <https://doi.org/10.1002/bem.21702>

Smirnov J. V. BioMagnetic hydrology. The Effect of a specially modified electromagnetic field on the molecular structure of liquid water // Global QuanTech Inc., U.S.A., 2003. P. 122–125.

Todorovich D., Peric-Mataruga V., Mircic D., Ristic-Djurovic J., Prolic Z., Petkovic D., Savie T. Estimation of changes in fitness components and antioxidant defense of *Drosophila subobscura* (Insecta, Diptera) after exposure to 2.4 T strong magnetic field // Environmental Science and Pollution Research. 2015. Vol. 27, iss. 7. P. 5305–5314. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3910-8>

Van Stappen G. Use of cysts. 1996. Pt. 4.2. P. 102–123. (FAO Fisheries Technical Paper ; No. 36).

Zeilinski M., Debowski M., Krzmieniewski M., Dudek M., Grala A. Effect of constant magnetic field (CMF) with various values of magnetic induction on effectiveness of dairy wastewater treatment under anaerobic conditions // Polish Journal of Environmental Studies. 2014. Vol. 23, no. 1. P. 255–261.

HATCHING RATE OF ARTEMIA CYSTS UNDER THE IMPACT OF CONSTANT MAGNETIC FIELD GRADIENT

Shaïda V. G., Rudneva I. I.

*The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, Russia,
svg-41@mail.ru*

Abstract. The effect of the gradient of constant magnetic field, considering of southern and northern poles, on the hatching rate of *Artemia salina* eggs from the Sasyk-Sivash Lake (Crimea) was studied. The uniform trend of the hatching rate values, depending on magnetic field induction near southern and northern poles was observed. No correlations between the field induction and hatching rate have been shown.

Key words: Artemia, constant magnetic field, physical fields, biological effects.

УДК 594.1:591.1

ПОКАЗАТЕЛИ КАРДИОАКТИВНОСТИ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

^{1,2}Шаров А. Н., ^{1,2}Холодкевич С. В.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский Центр экологической безопасности
Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия, sharov_an@mail.ru

Аннотация. Использован неинвазивный волоконно-оптический метод измерения характеристик сердечного ритма двустворчатых моллюсков. Рассчитана достоверная

логарифмическая зависимость сердечного ритма от температуры воды и обратная от возраста и размера раковин беззубок и мидий.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, сердечный ритм, волоконно-оптический метод.

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика состояния («здоровья») гидробионтов и водных экосистем как интегральная оценка последствий загрязнения окружающей среды в последние время активно обсуждается в научной литературе (Моисеенко и др., 2010). Для этого предлагаются различные критерии, разработанные с учетом эффектов загрязнения, проявляющихся на разных уровнях биологической организации (от молекулярно-генетического до организменного и выше). Однако, с точки зрения ранней диагностики развитие негативных эффектов воздействия проще выявлять на организменном и суборганизменном уровне, чем на популяционном или на уровне сообществ (Моисеенко, и др., 2010). С этой целью в настоящее время активно разрабатывается методология использования морфологических, цито-гистологических, физиолого-биохимических и молекулярно-генетических биомаркеров для оценки воздействия на тестируемые организмы ксенобиотиков и их присутствия в окружающей среде (Чуйко, 2014). В частности, рядом экспериментальных исследований (Холодкевич и др., 2009; 2015; Kholodkevich et al., 2017; Халаман и др., 2017) было показано, что двустворчатые моллюски реагируют на присутствие в воде отдельных веществ и их смесей в концентрациях, обладающих для них острой или хронической сублетальной токсичностью, быстрыми изменениями частоты сердечных сокращений (ЧСС) и/или изменениями в локомоторной активности (например, движении створок).

Цель работы — выявить индикаторную роль показателей кардиоактивности двустворчатых моллюсков в исследовании качества морской среды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для исследования использовали морских двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis*, *Mytilus trossulus*, *Macoma balthica* и пресноводных *Dreissena polymorpha* и сем. Unionidae: перловица *Unio tumidus* и беззубки *Anodonta anatina*, *Anodonta cygnea*. Моллюсков собирали в прибрежных районах восточной части Финского залива (эстонский берег в районе г. Таллина и эстуарий р. Невы) Балтийского моря и Кандалакшском заливе Белого моря (мыс Картеш).

На створки над областью расположения сердца наклеивали миниатюрные держатели волоконно-оптического зонда и проводили постоянную регистрацию ЧСС. До начала экспериментов моллюсков акклимировали к лабораторным условиям в течение 1–2 суток. Оценку функционального состояния моллюсков проводили на основе анализа их реакций на функциональную нагрузку — кратковременное (60 мин) изменение солености воды (Холодкевич и др., 2009; 2015; Халаман и др., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЧСС пресноводных моллюсков в ходе наших экспериментов изменялась от 5 до 45 уд./мин. Средняя ЧСС *U. pictorum* составляла 12 ± 3 и 31 ± 7 уд./мин, *A. anatina* — 8 ± 2 и 22 ± 5 уд./мин при температуре воды 16°C и 26°C , соответственно. Средняя ЧСС дрейссены была 15 ± 1 уд./мин при 20°C . Наблюдалась положительная логарифмическая зависимость кардиоактивности моллюсков от температуры воды (рис. 1).

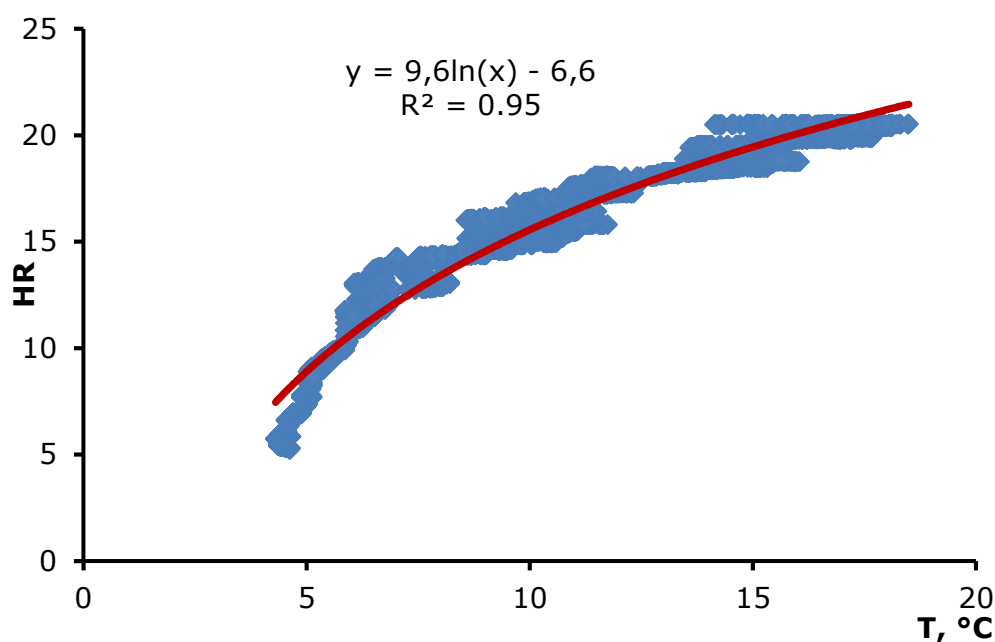


Рисунок 1. Зависимость ЧСС беззубки от температуры воды в диапазоне от 5 до 20°C.

Для моллюсков наблюдалась достоверная зависимость ЧСС от размеров раковины (рис. 2): с увеличением размеров и, соответственно, возраста моллюска, снижается ЧСС.

Изменение химического состава воды может по-разному отражаться на ЧСС пресноводных моллюсков. Например, быстрое (1–2 мин) повышение содержания соли NaCl в воде до 3 г/л сопровождалось повышением ЧСС (тахикардия) моллюсков, а более высокие концентрации (5–8 г/л) всегда приводили к снижению ЧСС (брадикардия). При температуре воды 20°C достоверное изменение ЧСС на $40 \pm 5\%$ наблюдалось через 1–2 минуты. Низкая температура воды приводила к существенному понижению чувствительности моллюсков к изменению ее солености. Так, при температурах ниже 7°C достоверные изменения ЧСС после повышения концентрации NaCl до 3–8 г/л не наблюдались.

Повышение сердечного ритма свидетельствует об увеличении энергетических затрат организма и усилении физиологической активности. При снижении ЧСС происходит снижение физиологической активности и переход к стратегии экономии энергии. Следует учитывать также, что анализ динамики сердечного ритма двустворчатых моллюсков относительно нормы должен происходить с учетом возраста моллюсков, температуры окружающей среды и физиологического состояния моллюсков.

Лабораторное тестирование моллюсков *A. anatina* из акватории восточной части Финского залива у г. Сестрорецка (напротив парка «Дубки») выявило, что в июле 2011–2017 гг. среднее $T_{\text{восст}}$ после гиперосмотической функциональной нагрузки (Холодkevич и др., 2015) в основном находилось в диапазоне 35–68 мин. Моллюски *A. anatina* из относительно загрязненной прибрежной зоны Петродворцового района (г. Петергоф) Санкт-Петербурга достоверно (ANOVA, $p < 0.05$) демонстрировали более продолжительный период восстановления ЧСС (165 ± 14 мин.) после гиперосмотического тест-воздействия, чем животные из относительно чистого Курортного района (пос. Репино, г. Сестрорецк).

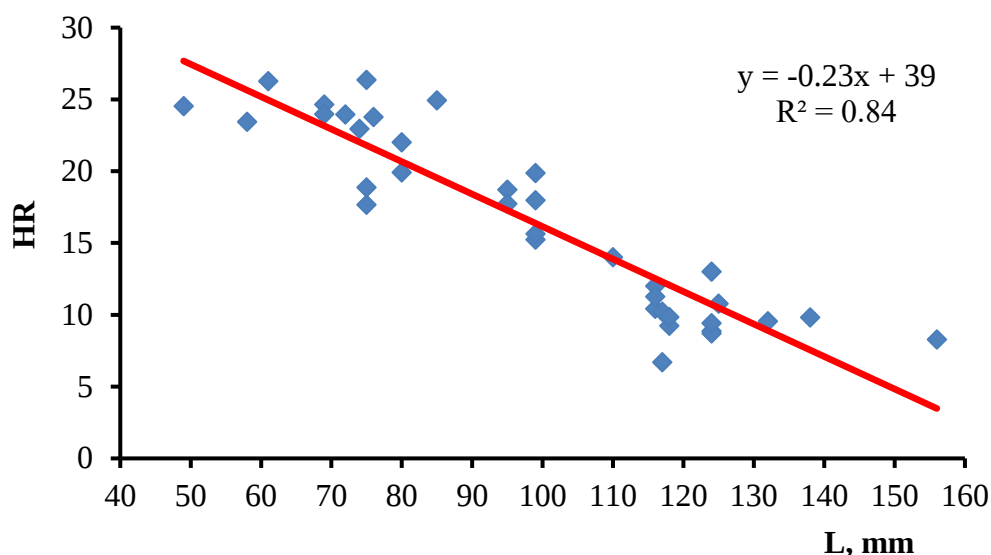


Рисунок 2. Зависимость ЧСС беззубки от длины раковины (Т 23°C).

Соленость воды восточной части Финского залива ограничивает распространение устриц. Западная граница их распространения проходит по 29.4° в.д. и соответствует солености воды 1.5–2‰. Устрицы могут встречаться также в устьях рек. Дрейссена выдерживает более высокую соленость воды и распространена вплоть до Финляндии по северному берегу и до Эстонии по южному. Таким образом, основные абиотические факторы среды обитания, определяющие распространение и устойчивость существования популяций моллюсков разных видов, необходимо учитывать при применении этих моллюсков в качестве тест-организмов для оценки экологического состояния акваторий их обитания.

Нами обнаружена связь показателя кардиоактивности $T_{\text{восст}}$ моллюсков с их возрастом ($R = 0.829$, $p = 0.042$). Зависимость показывает, чем старше моллюск, тем ему больше требуется времени на восстановление ЧСС после стресс-воздействия (рис. 3). Анализ данных показал, что моллюски в возрасте 3–6 лет обладают одинаковой адаптивной способностью к фактору изменения солености воды (зеленая линия, рис. 3).

Значительной корреляции между возрастом и ЧСС выявлено не было ($R = 0.487$, $p = 0.329$). Установлено, что для возраста от 2 до 6 лет отличия $T_{\text{восст}}$ моллюсков статистически не значимы, а также, что индивидуальные значения ЧСС фона моллюсков разных возрастов не влияют на продолжительность $T_{\text{восст}}$. Моллюски старше 6 лет отличаются более продолжительным временем восстановления ЧСС (рис. 3). Для восточной части Финского залива Балтийского моря максимальный возраст двустворчатых моллюсков составляет 9 лет. Таким образом, можно заключить, что нашими исследованиями охвачены все возрастные группы моллюсков, имеющиеся в Восточной части Финского залива.

Размер и возраст мидий Белого моря также оказали достоверное влияние на время восстановления ЧСС (Халаман и др., 2017). Более крупным моллюскам требуется больше времени на восстановление ЧСС после функциональной нагрузки (50% снижение солености воды на 1 час). Аналогичная закономерность наблюдается и в отношении возраста моллюсков. Чем особи старше, тем больше времени они затрачивают на восстановление ЧСС. При этом достоверная разница $T_{\text{восст}}$ наблюдалась во всех размерных группах ($p < 0.001$ – 0.018). При этом связь времени восстановления ЧСС после стрессового воздействия с возрастом мидий выражена в большей степени, чем с размерами этих моллюсков.

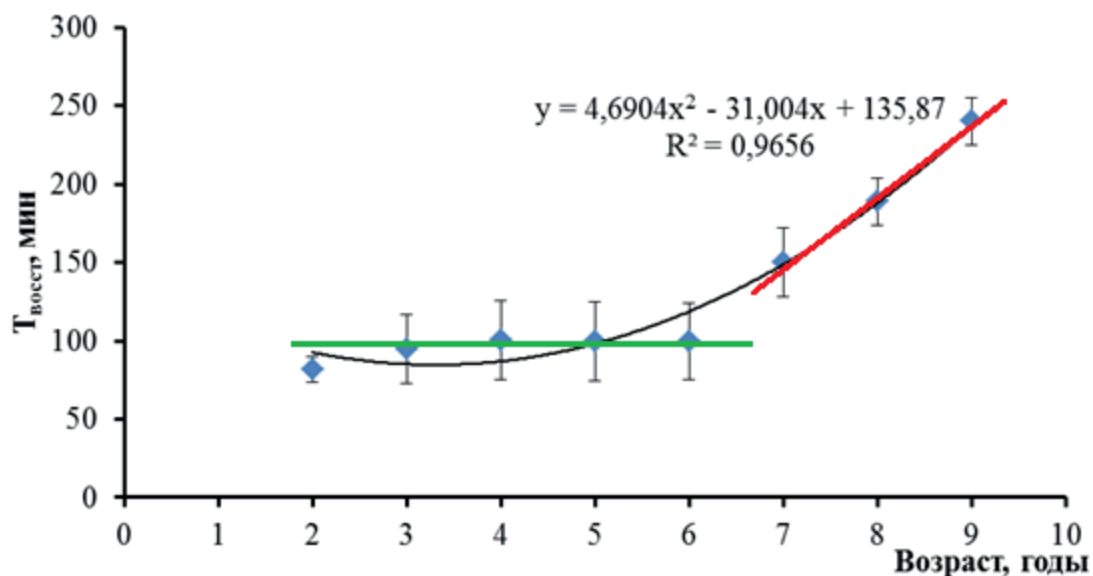


Рисунок 3. Зависимость $T_{\text{восст}}$ моллюсков *Anodonta anatina* от возраста.

В ходе лабораторного тестирования было показано, что присутствие губки *Halichondria panicea* на раковинах мидий *Mytilus edulis* оказывает негативное воздействие на физиологическое состояние последних. Было установлено, что степень негативного влияния усиливается как с увеличением проективного покрытия губкой створок мидий, так и с увеличением размерно-возрастных параметров моллюсков (Халаман и др., 2017).

Размерно-возрастные показатели мидий *M. edulis* Белого моря из разных мест обитания достоверно отличались по длине ($n = 25$, $p = 0.004$), высоте ($n = 25$, $p = 0.002$) и возрасту ($n = 25$, $p = 0.002$). Литоральные моллюски были мельче, но средний возраст по группе был больше. ЧСС мидий из разных биотопов с высокой степенью достоверности ($n = 25$, $p = 0.000$) отличалась. Более высокий уровень сердечной активности у сублиторальных мидий, вероятно, отражает повышенный уровень их метаболизма по сравнению с литоральными моллюсками, что связано с более благоприятными абиотическими условиями и непрерывным процессом питания. Для литоральных мидий, в отличие от сублиторальных, связи между сердечной активностью и размерно-возрастными характеристиками оказались не достоверными.

Исследования кардиоактивности мидий *Mytilus trossulus* из Финского залива (эстонский берег в районе г. Таллина), также как для мидии Белого моря, показали более или менее постоянный сердечный ритм в покое (15–20 уд./мин) и стабильный динамический ответ на изменение солености (снижение с 5.5 до 3‰), а затем быстрое восстановление ЧСС после снятия этой нагрузки (Kholodkevich et al., 2017).

В отличие от мидий, моллюски *Macoma balthica* из Финского залива (эстонский берег в районе г. Таллина) характеризовались периодическими флуктуациями ЧСС от 7 до 20 уд./мин с периодом 1.2–1.5 часа. Возможно, это связано с циклическими изменениями скорости фильтрации и с поведением моллюсков во время питания — затягивание его двух узких сифонов до нижней поверхности (Kholodkevich et al., 2017). После снятия функциональной нагрузки (снижение с 5.5 до 3‰) моллюски восстанавливали свой «колебательный» паттерн динамики ЧСС.

Таким образом, используя в качестве показателя физиологического состояния двустворчатых моллюсков время восстановления ЧСС после воздействия функциональной тест-нагрузки (50% снижение солености воды для морских видов и

повышение солености воды до 6 г/л для пресноводных видов на 1 час), была установлена возможность выявления воздействия негативных факторов окружающей среды на состояние (здоровье) животных.

Время восстановления ЧСС является показателем функциональной активности животных и рассматривается нами в качестве интегральной меры «здоровья» организма. Полученные результаты свидетельствуют о том, что примененный в данной работе метод может успешно применяться не только при исследовании качества морской среды, но и для исследований межвидовых отношений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена с частичным использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Моисеенко Т. И., Гашев С. Н., Селюков А. Г., Жигилева О. Н., Алешина О. А. Биологические методы оценки качества вод: часть 1. Биоиндикация // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 20–40.

Халаман В. В., Шаров А. Н., Холодкевич С. В., Комендантов А. Ю., Кузнецова Т. В. Влияние беломорской губки *Halichondriapanicea* (Pallas, 1766) на физиологическое состояние мидий *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758, оцениваемое по характеристикам кардиоритма // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2017. Т. 53, № 3. С. 201–207.

Холодкевич С. В., Кузнецова Т. В., Трусевич В. В., Куракин А. С., Иванов А. В. Особенности движения створок и кардиоактивности двустворчатых моллюсков при действии различных стрессоров // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2009. Т. 45, № 4. С. 432–434.

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.

Чуйко Г. М. Биомаркеры в гидроэкотоксикологии: принципы, методы и методология, практика использования // Экологический мониторинг. Ч. 8. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем : учебное пособие / под ред.: Д. Б. Гелашвили, Г. В. Шургановой. – Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского государственного университета, 2014. Гл. 15. С. 310–326.

Шаров А. Н., Холодкевич С. В. О некоторых особенностях использования пресноводных двустворчатых моллюсков при проведении экотоксикологических исследований на основе мониторинга их кардиоритма волоконно-оптическим методом // Принципы экологии. 2015. Т. 4, № 2. С. 23–30.

Berezina N. A., Gubelit Y. I., Petukhov V. A., Polyak Y. M., Sharov A. N., Kudryavtseva V. A., Lubimtsev V. A., Shigaeva T. D. An integrated approach to the assessment of the eastern Gulf of Finland health: a case study of coastal habitats // Journal of Marine Systems. 2017. Vol. 171. P. 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.08.013>

Kholodkevich S. V., Kuznetsova T. V., Sharov A. N., Kurakin A. S., Lips U., Kolesova N., Lehtonen K. K. Applicability of a bioelectronic cardiac monitoring system for the detection of biological effects of pollution in bioindicator species in the Gulf of Finland // Journal of Marine Systems. 2017. Vol. 171. P. 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.12.005>

PARAMETERS OF CARDIOACTIVITY OF BIVALVES IN THE STUDY OF MARINE ENVIRONMENT STATE

^{1,2}Sharov A. N., ^{1,2}Kholodkevich S. V.

¹ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia, sharov_an@mail.ru

Abstract. Original fiber-optic noninvasive method for registration and analysis of cardiac rhythm in bivalves was used. The Spearman rank correlations found significant ($p < 0.05$) relationships between the heart rate of bivalves, water temperature, age and shell size.

Key words: bivalves, cardio rhythm, fiber-optic method.

УДК 577.3:599.323.4: 599.539.1.047 591.4:[574.64+539.163]

ФОРМИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В ТКАНЯХ МЫШЕЙ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДЫ ХИМИЧЕСКИМИ ТОКСИКАНТАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ

Шишкина Л. Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
shishkina@sky.chph.ras.ru

Аннотация. Представлен анализ результатов многолетних исследований роли процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в формировании биологических последствий для млекопитающих в условиях загрязнения воды химическими токсикантами и радионуклидами. Выявлено изменение масштаба и направленности взаимосвязей между различными тесно скоординированными в норме параметрами физико-химической системы регуляции ПОЛ независимо от природы внешнего воздействия.

Ключевые слова: токсичные вещества, радионуклиды, перекисное окисление липидов.

Неослабевающий интерес исследователей к изучению механизма окислительных процессов в биологических объектах, относящихся к разным иерархическим группам, обусловлен прежде всего тем, что процессы окисления в эволюционном плане являются наиболее ранним регуляторным механизмом. При этом наиболее легкоокисляемым субстратом в биологических системах являются липиды. В настоящее время не вызывает сомнения, что процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) протекают во всех типах мембран и тканях любых организмов. Установлено функционирование физико-химической системы регуляции процессов ПОЛ как на мембранном, так и на клеточном и органном уровнях, которая обеспечивает стационарность окислительных процессов в норме. Любые повреждающие воздействия на организм приводят к нарушению взаимосвязей между тесно скоординированными в норме показателями физико-химической системы регуляции ПОЛ. Однако, масштаб и направленность таких изменений зависят от многих факторов. Это заключение следует из анализа следующих экспериментальных исследований:

1. изучение состояния процессов ПОЛ в тканях мышей SHK (печень, компоненты крови) в ранние и отдаленные сроки после однократного введения *per os* экстрактов