

ISSN 2410-8677

ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК "КУРШСКАЯ КОСА"»

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ
ПРИРОДНОГО И КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«КУРШСКАЯ КОСА»

Сборник научных статей

Выпуск 12

Издательство
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
2016

УДК 502.4(407.26)
ББК 28.088л64(2Рос-4К2г)
П78

Редакция

А.А. Калина, директор
Л.Г. Поплавская, заместитель директора
И.П. Жуковская, старший научный сотрудник

П78 Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сборник научных статей. Вып. 12 / сост. И.П. Жуковская. — Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. — 227 с.

Представлены статьи, подготовленные по материалам исследований, проведенных на территории национального парка «Куршская коса» в период 2014—2015 гг.

Адресован специалистам в области сохранения природного и культурного наследия ООПТ.

УДК 502.4(407.26)
ББК 28.088л64(2Рос-4К2г)

© ФГБУ «Национальный парк
«Куршская коса», 2016

ISSN 2410-8677

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL PARK «KURSHSKAYA KOSA»

PROBLEMS OF EXPLORE AND CONSERVATION
NATURAL AND CULTURAL HERITAGE
OF THE NATIONAL PARK «CURONIAN SPIT»

Collection of scientific articles

ISSUE 12

Immanuel Kant Baltic Federal University
Publisher
2016

UDK 502.4(407.26)
BBK 28.088.п64(2Рос-4К2г)

Editorial board

A. Kalina, chief
L. Poplavskaya, deputy chief
I. Zhukovskaya, senior research officer

Problems of explore and conservation natural and cultural heritage of the national park «Kurshskaya kosa» : Collection of scientific articles. Is. 12 / Compiler I. Zhukovskaya. Published by IK BFU, Kaliningrad, RF, 2016. 227 p.

The book is a collection of articles based on materials research carried out in the national park «Kurshskaya kosa» during the period from 2014 to 2015.

It is addressed to specialists in the field of conservation natural and cultural heritage of the protected areas.

UDK 502.4(407.26)
BBK 28.088.п64(2Рос-4К2г)

© FSBI «National Park
«Kurshskaya kosa»», 2016

УДК 574.52+(261.24)

Е. Е. Ежова, М. М. Смирнова

Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

**Токсичность природных вод Куршского залива
в период массового развития цианобактерий для *Daphnia magna* STRAUS
(CRUSTACEA, CLADOCERA) и эмбрионов *Lymnaea stagnalis* (LINNAEUS, 1758)
(MOLLUSCA, GASTROPODA)**

*Экспериментальным путем доказана токсичность прибрежных вод Куршского залива в национальном парке «Куршская коса» в период цианобактериальных «цветений» для организмов зоопланктона и зообентоса. Описан характер воздействия токсичной воды на планктонного рачка *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera) и кладки легочного моллюска *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda).*

*The toxicity of the raw waters of the coastal part of the Curonian Lagoon in the National Park «Curonian Spit» during cyanobacterial «blooms» for the organisms of zooplankton and zoobenthos is experimentally proved. The impact of toxic water on planktic crustacean *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera) and the development of broods of pulmonate water snail *Lymnaea stagnalis* (L., 1758) (Gastropoda) is described.*

Введение

Куршский залив — мелководная эвтрофная лагуна, для которой с конца 1990 — начала 2000-х гг. характерно регулярное массовое развитие цианобактерий, достигающее уровня «гиперцветений». С 2010 г. в российской части Куршского залива ежегодно регистрируется присутствие цианобактериальных гепатотоксинов из группы микроцистинов [1; 2]. В литовской части залива микроцистины выявлялись ранее, в 2007 г. [3], но в меньших концентрациях. Токсичными были не менее половины «цветений» фитопланктона, отмеченных в 2010—2014 гг. [2]. Обнаружена аккумуляция микроцистинов в цепях питания в Куршском заливе [4]. Таким образом, микроцистины — ток-

сичный агент природного происхождения, регулярно и в высоких концентрациях присутствующий в изучаемой акватории и оказывающий влияние на жизнедеятельность гидробионтов. Работы, оценивающие характер воздействия цианотоксинов на организмы различной таксономической принадлежности в Куршском заливе, единичны [5; 6].

Цель настоящего исследования — описать характер воздействия природной воды, отобранной в период токсичного осеннего «гиперцветения» цианобактерий (03.10.2014 г.) и содержащей природную смесь цианотоксинов, на планктонного рачка *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera) и кладки легочного моллюска *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda).

Материалы и методы

В качестве экспериментальной среды использовали фильтрат природной воды Куршского залива, отобранной в прибрежной зоне на 14 км Куршской косы в период «цветения» (3.10.2014 г.). Визуально наблюдалось поверхностное скопление цианобактерий и плотная темно-зеленая пленка у берега (рис. 1, а). Согласно рекомендациям ВОЗ присутствие цианобактериальной пленки в рекреационных водоемах соответствует уровню высокого риска для здоровья человека. Полевой скрининг (Microcystin Strip Test, Abraxis Ltd.) показал присутствие суммарных микроцистинов в концентрации, превышающей 10 мкг/л, что послужило основанием для постановки экотоксикологического эксперимента. Последующее аналитическое определение цианотоксинов методом ВЭЖХ-МС (Е. Чернова, Я. Русских, НИЦЭБ, персональное сообщение) показало присутствие суммарных микроцистинов в фильтрате воды (без клеток фитопланктона) до 170 мкг/л. Нами было показано (пробы обрабатывали в центре изучения цианобактерий Гданьского университета, Польша), что присутствовали микроцистины dmMC-RR, MC-RR, MC-YR, MC-LR, MC-LY, MC-LA, MC-LW, MC-LF, преобладали dmMC-RR и MC-LR [7].

Для экспериментов природная вода была несколько раз профильтрована через бумажные фильтры с целью освобожде-

ния от неорганической взвеси и клеток фитопланктона. Таким образом, использовался лишь фильтрат воды, содержащий токсичные метаболиты фитопланктона, но освобожденный от клеток микроводорослей (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Вода Куршского залива в прибрежной зоне в период «цветения»:

а — цианобактериальная пленка 3.10.2014 г., ст. 404 (Музей);
б — фильтрат природной воды от 03.10.2014 г.

Тестировали воздействие фильтрата природной воды на планктонные и бентосные организмы. Эксперимент проводили в трех повторностях с одноразмерными *Daphnia magna* (10 особей/повторность, три повторности на каждое разведение) и эмбрионами *Lymnaea stagnalis* (36—56 эмбрионов/повторность, три повторности) из лабораторных культур АО ИОРАН. Исследовали: 1) плавательную активность и выживаемость дафний в неразведенной воде (1:0—170 мкг/л) и трех разведениях (1:1—85 мкг/л, 1:4—42 мкг/л, 1:10—17 мкг/л); 2) воздействие четырехкратного разведения природной воды (1:4—42 мкг/л) на развитие и выживаемость эмбрионов прудовика. Кладку с эмбрионами на 3 ч помещали в экспериментальную среду, затем заменяли ее на чистую воду. Опыты сопровождался контролем (чистая вода), также в трех повторностях. Эксперимент

проводили при постоянной температуре 20 °С. Использовали планшет с лунками диаметром 3,5 см, объемом 15 мл, слой экспериментальной среды — 1,5 см (рис. 2).

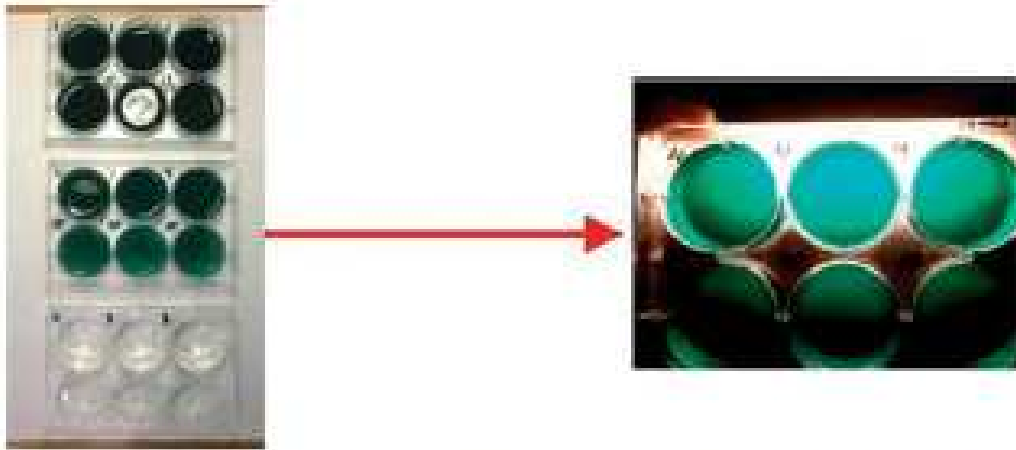
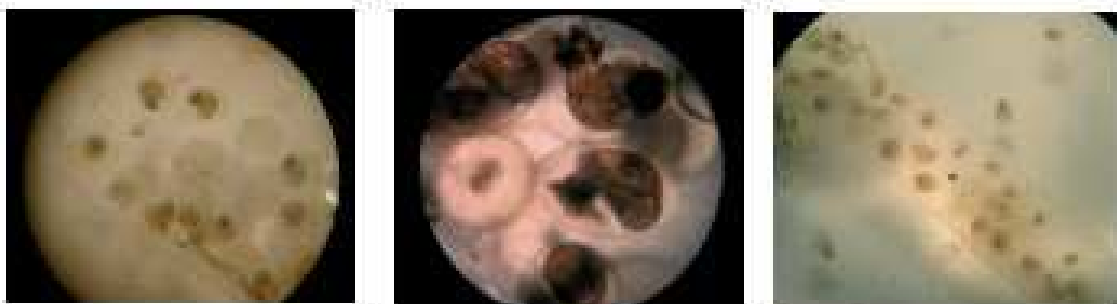


Рис. 2. Экспериментальные сосуды с *Daphnia magna* в различных разведениях природной воды

В остром опыте с дафниями аэрации и специальных мер для подавления микрофлоры не проводили, поскольку неоднократно показано, что кислородное снабжение для мелких организмов в тонком слое воды с большой площадью поверхности достаточно за счет диффузии газов, а развитием микрофлоры во временных промежутках до 1 суток можно пренебречь [8]. В хроническом эксперименте с эмбрионами прудовика (рис. 3, 4) экспериментальную среду сменяли ежедневно.



а

б

Рис. 3. Эмбрионы прудовика (*Lymnaea stagnalis*):
а — стадия развития эмбрионов прудовика в начале опыта;
б — опытные эмбрионы через 2 месяца

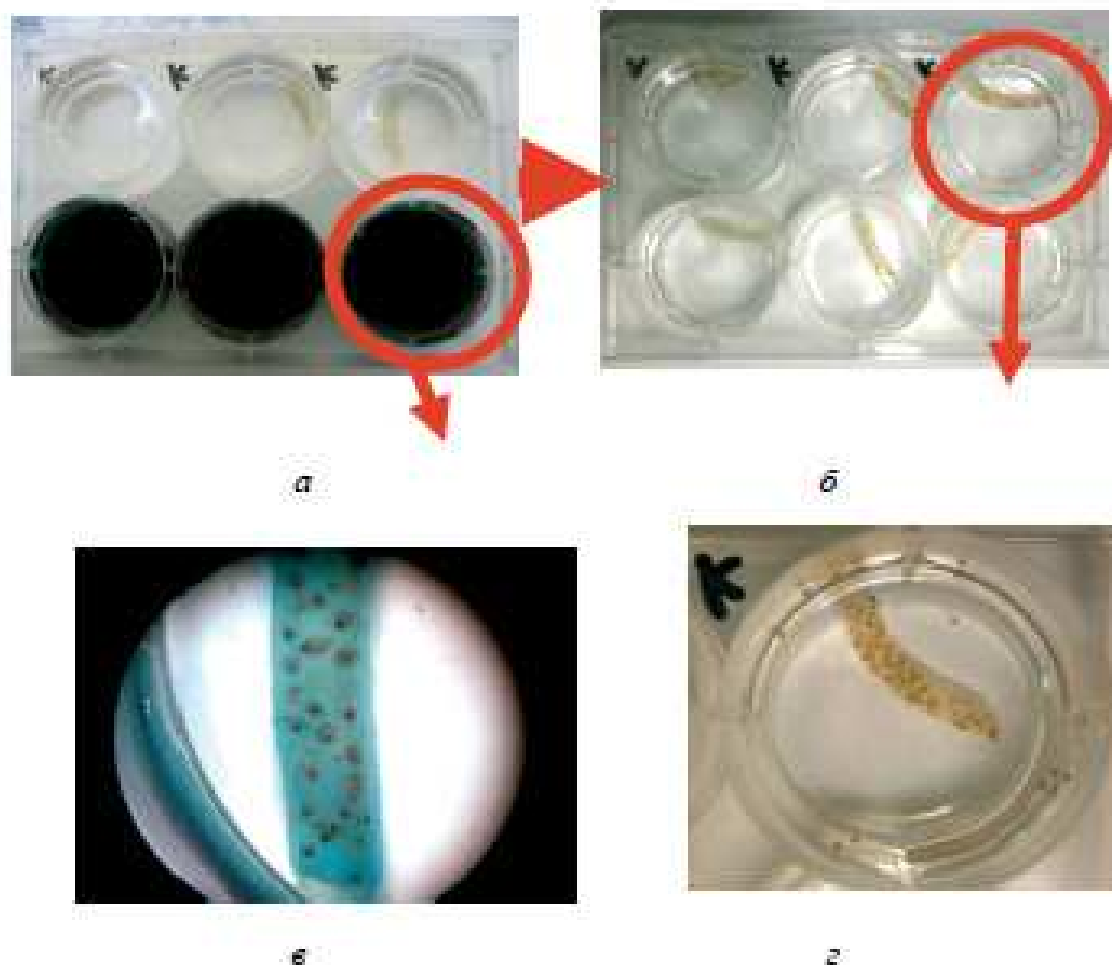


Рис. 4. Ход эксперимента с эмбрионами прудовиков:

а — планшет с кладками прудовика: контроль (верхний ряд лунок) и четырехкратное разведение природной воды (42 мкг/л) (нижний ряд лунок); *б* — планшет с кладками прудовика после замены экспериментальной среды на чистую воду (нижний ряд лунок); *в* — окрашенная кладка с эмбрионами прудовиков после 3-часового выдерживания в экспериментальной среде; *г* — кладка и выплывшиеся прудовики из контроля. Красными кружками и стрелками показаны лунки, данные на рисунках *в* и *г* в увеличенном виде

Критериями нормального состояния дафний считали активное плавание, критериями смерти — отсутствие признаков мышечной активности (движение антенн, сердечные сокращения) и реакции на механическое раздражение. При отсутствии активного плавания у дафний сохранялось движение конечностей. Чтобы избежать механического повреждения антенн и

других травм, для оценки состояния дафний просматривали непосредственно в экспериментальных сосудах. В данной модификации опыта не отмечено ни одного нарушения движения или смертности у особей контрольной группы.

Критериями нормального состояния эмбрионов прудовика считали наличие подвижности, нормальное (без уродств) развитие эмбрионов в соответствии с характерной для вида последовательностью стадий и успешное завершение эмбрионального развития (выход ювенилов из кладок). Нарушение процесса развития или его остановку полагали эффектом токсиканта.

Результаты и обсуждение

Daphnia magna. В контрольной группе не отмечено каких-либо нарушений двигательной активности, жизнедеятельности и случаев гибели рачков. В течение эксперимента контрольные особи линяли и давали потомство (рис. 5, 6).

Через час после начала эксперимента в неразведенной воде все дафнии были живы, но 53,3% уже перестали активно передвигаться. Через 2 часа 33,3% дафний оставались живыми, но только 6,7% особей активно передвигались. Через 3 часа все особи в данной воде погибли. LT_{50} (время достижения 50%-ной смертности) составило менее 2 часов.

В разведении 1:1 через 2 часа с момента начала эксперимента все 100% особей были живы, но доля активно передвигающихся дафний уменьшилась до 93,3%. Через 3 часа экспозиции количество живых особей составило 90%, через 4 часа — 80%. Доля активно передвигающихся дафний через 3 часа сократилась до 86,7%, через 4 часа — до 76,7%. Через 21 час все особи в разведении 1:1 были мертвы.

В разведении 1:4 через 20 минут и 3 часа от начала опыта были живы 100% особей, через 4 часа их количество составило 96,7%; через 21 час все особи в данном разведении погибли. При этом до 4 часов от начала эксперимента доля активно передвигающихся особей составляла 96,7%.

В разведении 1:10 все особи оставались живы до 4 часов; через 21—24 часа доля живых составила 60%. Через 2 часа количество активно передвигающихся дафний уменьшилось до 96,7%; через 21 час — до 56,7% и через сутки — до 36,7%.

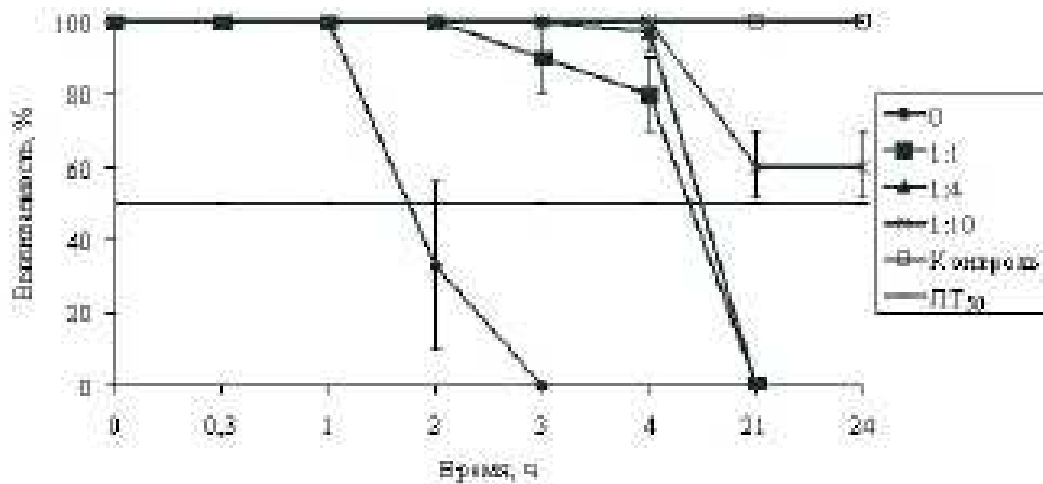


Рис. 5. Выживаемость дафний в разных разведениях фильтрата природной воды от 3.10.2014 г.

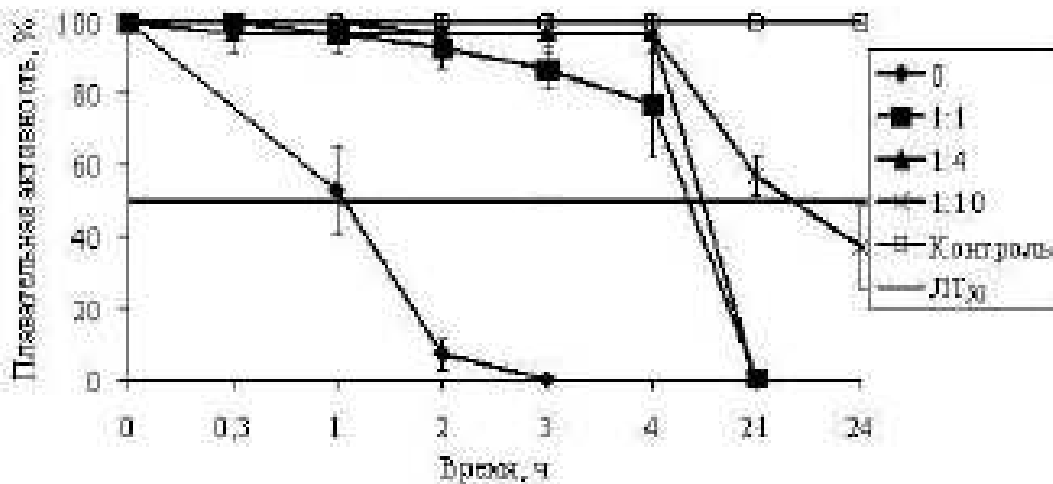


Рис. 6. Плавательная активность дафний в разных разведениях фильтрата природной воды от 3.10.2014 г.

Эмбрионы Lymnaea stagnalis. Кладки после выдерживания в воде залива приобретали зеленую окраску, т. е. оказались пригодными для экспериментальной среды и, в частности, сорби-

ровали фикоцианин. После экспозиции в воде залива было отмечено прекращение движения эмбрионов внутри яйца. В чистой воде ни двигательная активность, ни развитие не восстановились. В контроле все эмбрионы, демонстрировавшие подвижность в начале эксперимента, успешно завершили свое развитие через 1—8 суток.

Таким образом, природная вода Куршского залива 03.10.2014, в период завершения монодоминантного цветения *Aph. flos-aqua*, в которой присутствовали многочисленные конгенеры микроцистина в суммарной концентрации 170 мкг/л, была остро токсична для планктонных рачков и эмбрионов донных животных, защищенных слизистыми кладками. Концентрации 170—42 мкг/л были летальны для *D. magna*, концентрация 42 мкг/л полностью блокировала эмбриогенез *L. stagnalis*.

В проведенных ранее экотоксикологических экспериментах [5; 6] было показано влияние фильтрата природной воды со смесью цианотоксинов на дафний. Вода также отбиралась в прибрежной части Куршского залива в районе 14 км косы, во время осеннего «цветения» цианобактерий. Иммунохроматографическими экспресс-тестами Microcystin Strip Test (Abaxis Ltd.) подтверждено присутствие суммарных микроцистинов в количестве > 10 мкг/л. Было показано, что фильтрат токсичен для дафний независимо от разведения и вызывает 100%-ную смертность. LT_{50} составляло 15 мин для неразведенного фильтрата, 1 ч — для разведения 1:1, 1,5 ч — для разведения 1:4 и 20 ч — для разведения 1:10. В ходе данных экспериментов также отмечалось постепенное снижение плавательной активности у дафний, напрямую зависящее от степени разведения фильтрата воды залива.

Заключение

Ранее неоднократно подтверждалось наличие цианобактериальных токсинов в водах Куршского залива [1—3]. В работах [5; 6] впервые экспериментально подтверждено влияние

природной воды Куршского залива с находящимися в ней цианотоксинами на организмы зоопланктона (на примере *D. magna*). Полученные в ходе проведения данной работы наблюдения совпадали с уже имеющимися сведениями о воздействии микроцистинов на дафний.

Впервые для российской части Куршского залива было показано влияние цианотоксинов на эмбрионы бентосных организмов (на примере эмбрионов *L. Stagnalis*). Несмотря на наличие массивной слизистой оболочки, кладки с эмбрионами оказались проницаемы для токсичных соединений цианобактериальной природы. В результате эмбриогенез моллюсков был полностью блокирован, эффект оказался необратимым. Полученные наблюдения имеют важное практическое значение, так как показано негативное воздействие цианотоксинов на организмы, являющиеся кормовыми объектами рыб разного типа питания и разного возраста.

Список литературы

1. Ежова Е. Е., Ланге Е. К., Русских Я. В. и др. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008—2011 гг. // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. Вып. 8. С. 81—95.
2. Ezhova E., Lange E., Russkikh Y. et al. Dynamics of toxic HABs in the Curonian Lagoon, Baltic Sea during 2010—2013 // Book of abstracts. ICES Annual Science Conference (ASC) 15—19 September 2014. H26 [электрон. опт. диск (CD-ROM)].
3. Paldavičienė A., Mazur-Marzec H., Razinkovas A. Toxic cyanobacteria blooms in the Lithuanian part of the Curonian Lagoon // OCEANOLOGIA. 2009. 51 (2). P. 203—216.
4. Paldavičienė A., Zaiko A., Mazur-Marzec H. et al. Bioaccumulation of microcystins in invasive bivalves: A case study from the boreal lagoon ecosystem // Ibid. 2015. 57 (1). P. 93—101.
5. Ежова Е. Е., Молчанова Н. С., Полумина Ю. Ю. О токсичности прибрежных вод Куршского залива в период осеннего «гиперцвете-

ния» 2013 года для *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera) // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. Вып. 10. С. 127—139.

6. Ezhova E., Molchanova N., Polunina J. Toxicity of coastal water in the Curonian Lagoon, Baltic Sea during autumn HAB, 2013 // Book of abstracts. ICES Annual Science Conference (ICES ASC) 15—19 September 2014. Н 07 [электрон. опт. диск (CD-ROM)].

7. Šulčius S., Pilkaitytė R., Mazur-Marzec H. et al. Increased risk of exposure to microcystins in the scum of the filamentous cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* accumulated on the western shoreline of the Curonian Lagoon // Marine Pollution Bulletin. 2015. Vol. 99, is. 1—2. P. 264—270.

8. Карпин В. Г. Основы экотоксикологии. М.: КолосС, 2006.