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
З 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.

З 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

ред. Н. А. Пантелеев. – Севастополь : Изд-во МГИ НАНУ, 1999. 212 с.
Щапова Т. Ф. Филлофора Черного моря // Труды Института Океанологии. 1954. Т. 11. С. 3–35.
Экман С. Зоогеография моря. – Лейпциг : Академ. изд-во, 1935.

LANDSCAPE FEATURES AND GEOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL FACTORS OF THE DEVELOPMENT OF PHILLOPHORA FIELDS IN THE NORTHWEST SHELF OF THE BLACK SEA

Ovakimyan V. V., Pasynkov A. A.
Vernadsky KFU, Simferopol, Russia, ovakimyan.vlada@yandex.ru

Abstract. The landscape conditions and peculiarities of formation of Zernov Phyllophora field are described. The leading role in the formation and development of the Field belongs to the geologically-geomorphological factors that consistently influence other factors of landscape environment.
Key words: Zernov's phyllophora field, bottom relief, anthropogenic factors.

УДК 628.193:57.08 УДК 57.084.1

ПОИСК НОВЫХ ВИДОВ МОРСКИХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПДК ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ВОДЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ

[1,2]Оганесова Е. В., [1]Павлов А. Д., [1]Саидов Д. М., [1]Медянкина М. В.
[1]ФГБНУ ВНИРО, Москва, Россия, toxic_fish@mail.ru, mediankina@mail.ru
[2]Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены возможности использования *Atherina boyeri pontica* и *Oreochromis mossambicus* в качестве тест-объектов для разработки предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного значения. Сравнительный анализ чувствительности со стандартным тест-организмом *Poecilia reticulata* с целью использования их для разработки ПДК.
Ключевые слова: тест-объект, *Atherina boyeri pontica*, *Oreochromis mossambicus*, *Poecilia reticulata*, сравнительная чувствительность, разработка нормативов ПДК.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема исследования загрязнения морской среды постоянно актуальна в связи с расширением хозяйственной деятельности человека в прибрежных районах, а также с развитием морского транспорта и нефтедобычи на шельфе. Кроме того, за последние десятилетия увеличился объем сточных вод, содержащих промышленные и бытовые стоки. В связи с этим, необходимость разработки методик контроля качества вод остается актуальной задачей.

Принципиальные методические основы принятой в нашей стране системы контроля и регламентации качества водной среды рыбохозяйственных водных объектов прошли многолетнюю апробацию в процессе установления предельно допустимых

концентраций (ПДК) веществ, список которых утвержден приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». В этот список входят более тысячи нормативов ПДК р/х. Разработка величины норматива ПДК р/х для разных веществ представляет собой систему комплексных исследований влияния этих веществ на представителей всех трофических групп гидробионтов от бактерий до рыб, а также оценку их влияния на водную среду (изменение гидрохимических параметров, органолептики), включая генотоксичность вещества. Полученные экспериментальным путем значения нормативов веществ показывают их максимально допустимую концентрацию в воде, при которой в водном объекте не возникает последствий, снижающих его рыбохозяйственную ценность (в ближайшее время и в перспективе) или затрудняющие его рыбохозяйственное использование при постоянстве этой концентрации в воде водного объекта (Методические…, 2009).

Методики исследования токсичности загрязняющих веществ на морских тест-организмах начали разрабатываться сравнительно недавно. В их основе лежат схемы проведения токсикологических исследований на пресноводных организмах, получившие широкое распространение благодаря большей востребованности по сравнению с морскими биотестами. Несмотря на многолетнюю систему разработки ПДК требуется дальнейшее совершенствование системы рыбохозяйственного нормирования допустимого загрязнения водоемов, в т.ч. для повышения экспрессивности, унификации условий и методов постановки токсикологических экспериментов, а также расширения спектра чувствительных тест-объектов для проведения исследований.

По чувствительности к факторам среды обитания организмы делят на стенобионтов и эврибионтов. Такая же зависимость наблюдается и при воздействии загрязняющих веществ не только в популяционно видовой структуре, но и на каждый организм в отдельности. Учитывая разную чувствительность организмов к токсикантам, сложно, а зачастую и невозможно найти идеальную модель (тест-организм) для проведения экспериментов при установлении нормативов. Однако, на протяжении многих лет происходило внедрение в лабораторную практику организмов разных трофических уровней, шли интеркалибрационные работы для выявления воспроизводимости результатов, полученных в разных лабораториях. Такие исследования помогли установить группы гидробионтов, пригодных к использованию в лабораторной практике при нормировании загрязняющих веществ в основном для пресной воды.

Анализ практики разработки нормативов ПДК рыбохозяйственных водоемов показал, что в большинстве случаев лимитирующим звеном оказываются рыбы на разных стадиях развития — 47.5%. Далее по чувствительности следует зоопланктон — 32.5% и на последнем месте по чувствительности оказались простейшие — 0.3% (Медянкина и др., 2017). Поскольку нормативы ПДК охраняют наиболее уязвимое звено в экосистеме, это обуславливает необходимость поиска удобных и надежных видов рыб для проведения исследований в рамках разработки ПДК рыбохозяйственных водоемов.

Для биотестирования морской среды в качестве тест-объектов обычно используют организмы, собранные в природных водоемах и адаптированные к лабораторным условиям. В качестве рекомендуемых морских рыб используются следующие тест-объекты: смарида, навага, сельдь, треска, анчоус, минтай и др. Транспортировка, адаптация к искусственным условиям, получение молоди и содержание взрослых морских рыб весьма затруднительны и требуют дополнительных исследований по доработке соответствующих методик. Поэтому, предпочтительнее

использование лабораторных культур гидробионтов, что позволяет проводить биотестирование независимо от доступности выборок природных тест-объектов и их состояния.

К числу немногих культивируемых солоноводных рыб принадлежат гуппи *Poecilia reticulata* (Peters, 1859). Морская культура этих рыб является удобной и весьма чувствительной для токсикологических исследований. Гуппи легко переносят соленость от 0–20$^0/_{00}$, а при постепенной адаптации и до 35‰.

Целью нашей работы был поиск новых видов рыб, которые можно будет рекомендовать в качестве тест-объектов для оценки токсичности и разработки нормативов качества морских вод. Задачей исследования явилась оценка чувствительности выбранных видов рыб с морской лабораторной культурой *Poecilia reticulata* при остром и хроническом воздействии химических веществ, в частности, диспергентов 3-го поколения. Необходимо было, оценить возможность использования атерины черноморской *Atherina boyeri pontica* (Eichwald, 1838), выловленной в природной среде, в качестве перспективного объекта для морских токсикологических исследований. Вторым потенциальным тест-объектом была выбрана мозамбикская тиляпия *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852), адаптированная к условиям морской среды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Черноморская атерина — морская эвригалинная рыба, обитающая в Средиземном, Черном, Азовском и Каспийском морях, заходит в низовья рек и лиманов. Добывается как прилов при промысле других видов рыб (Крыжановский, Троицкий, 1954). Для проведения исследований рыба была выловлена в водах Бугазского лимана в октябре 2016 года. Вылов производился сачком 20×30 с ячеей 2 мм в непосредственной близости от берега во время осенней миграции рыб.

Выловленных особей в количестве около полутора тысяч содержали в течение двух суток в проточных бассейнах объемом 3 м^3, после чего перевозили в стационарную лабораторию в баках объемом 40 литров с постоянной аэрацией и заменой половины объема воды через 24 часа. Затем рыба была переведена в термостатируемые ёмкости объемом 0.5 м^3 с солёностью 24‰. Акклиматизация производилась в течение трех недель. Питание осуществляли живым и замороженным мотылём и комбикормами производства «COPPENS» (Нидерланды). Во время акклиматизации рыба успешно перешла на питание комбикормами, вспышек естественных заболеваний отмечено не было. Выловленные экземпляры представляли собой половозрелых особей размером 8–10 см весом до 3 грамм. Общий отход за период перевозки и адаптации к условиям лаборатории составил около 30%.

Второй объект — мозамбикская тиляпия *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852), популярная в аквакультуре рыба, является пищевым объектом. Известны токсикологические исследования с использованием данного вида рыб с 80-х годов 20-го века. Большая часть исследований направлена на изучение патологических изменений систем органов и тканей. Так, оценивали влияние тяжелых металлов и их солей (Panigrahi, Misra, 1981), пестицидов, инсектицидов и химических удобрений (Sailatha et al., 1981; Sarıkaya, 2009). Все проводимые ранее исследования осуществляли в пресной воде, тогда как наша задача была изучить возможность использования данного вида для оценки качества морской среды.

Для проведения экспериментов были использованы особи в возрасте 6 месяцев размером 6–8 см и весом 5–6 г, полученные из европейской лабораторной аквакультуры. С целью поиска наилучшего подхода перевод молоди тиляпии из пресной воды в искусственную солёную среду проводили несколькими способами:

1. многоступенчатый перевод — повышение солёности производили постепенно, повышая солёность на 4‰ каждые 6–8 часов, доведя солёность до 20‰ через 48 часов;
2. двухступенчатый перевод — повышение солёности в два этапа (8–20‰) с промежутком в 24 часа;
3. шоковый перевод — мгновенный перевод особей в воду с солёностью 20‰.

Акклиматизация в морской воде проводилась в течение двух недель. Питание осуществляли живым и замороженным мотылём и комбикормами производства «COPPENS» (Нидерланды). Интересно, что даже шоковый перевод не привёл к гибели рыбы, уже на следующие сутки особи после шокового перевода активно питались комбикормами и проявляли явную активность, что подтверждает довольно высокую толерантность данного вида даже к резкому изменению солёности (Мозамбикская тиляпия исконно обитает в дельте р. Замбези — солоновато-водных водоёмах).

Для острых и хронических экспериментов в морской воде использовались только особи, переведенные на солёную воду многоступенчатым способом. Акклиматизированных особей *A. boyeri pontica* и *O. mossambicus,* а также *P. reticulata* из морской культуры использовали при проведении исследований по определению предельно допустимых концентраций химических веществ. В качестве токсикантов использовали компоненты современного диспергента третьего поколения (исследования с *A. boyeri pontica* и *P. reticulata*) и сам препарат (исследования с *O. mossambicus и P. reticulata*).

Эксперименты с молодью рыб проводили в аквариумах объемом 10 и 50 литров для гуппи и атерины с тиляпией, соответственно. Плотность посадки составляла не менее 1 г веса рыбы/1 литр воды. Для каждой из выбранных концентраций повторность была трехкратной. Длительность экспериментов составляла 4 суток для острого и 30 суток для хронического испытаний. Подмену 1/3 объема воды в длительном опыте производили еженедельно. Оценивали и фиксировали следующие показатели токсического воздействия: выживаемость рыб, пищевое поведение, активность, изменения в окраске, состояние жабр и плавников. Исследуемые вещества были зашифрованы соответственно: смесевой препарат, компонент I, компонент II и компонент III.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных испытаний получены следующие данные (табл.).

Таблица

Сравнительные результаты проведенных исследований

Вещества	Показатели токсичности, мг вещества/л								
	P. reticulata			*A. boyeri pontica*			*O. mossambicus*		
	$ЛК^{96}_{50}$	ПК	МДК	$ЛК^{96}_{50}$	ПК	МДК	$ЛК^{96}_{50}$	ПК	МДК
Компонент I	>250	5.0	1.0	>250	100	50	–		
Компонент II	>100	>100	≥100	375.8	150	100	–		
Компонент III	>250	100	50	>1000	>1000	≥1000	–		
Смесевой препарат	21.8	25.0	18.5	–			>50	50	10

Полулетальная концентрация смесевого препарата за 96 часов ($ЛК^{96}_{50}$) составила 21.8 и более 50.0 мг/л для гуппи и тиляпии, соответственно. Хроническую токсичность препарата изучали в диапазоне концентраций от 0.01 до 50.0 мг/л для тиляпии и гуппи

— от 1.0 до 25.0 мг препарата/л. Исследуемые концентрации препарата не вызывали гибели тиляпий во всех концентрациях, кроме 50.0 мг/л, где гибель была 100%. Смертность гуппи наблюдали при воздействии концентраций препарата 18.5 (гибель 7% особей за 30 суток) и 25.0 мг/л (все рыбы погибли в течение 96 часов). Пищевое поведение и внешние покровы у всех рыб не были повреждены, изменения окраски и увеличение количества слизи также не наблюдали. Таким образом, по показателю выживаемости максимально допустимая концентрация (МДК) препарата для *Poecilia reticulata* составляет 18.5 мг/л, пороговая (ПК) — 25.0 мг/л. Для *Oreochromis mossambicus* по показателю выживаемости МНК является концентрация 10.0 мг/л, пороговой — 50.0 мг/л.

Показатель $ЛК^{96}_{50}$ для гуппи и атерины составил ≥ 250,0 мг/л. Хроническая токсичность компонента I изучена в следующем диапазоне концентраций: 1.0–250.0 мг/л как для гуппи, так и для атерины. Для *Poecilia reticulata* выживаемость составила от 20% в концентрации 250.0 мг/л до 47% — в 5.0 мг/л. Таким образом, по показателю выживаемости МДК компонента I для гуппи составляет 1.0 мг/л, а пороговая концентрация — 5.0 мг/л. Для атерины выживаемость в 5.0 мг/л составила 100%, тогда как концентрация 250.0 мг/л вызывала полную гибель рыб. Оценка статистической значимости отклонений в выживаемости атерины черноморской от контроля при воздействии различных концентраций компонента I показала, что МДК составляет 50.0 мг/л.

Компонент II в остром опыте за 96 часов вызывал гибель 50% особей в концентрациях 375.8 для атерины, и более 100.0 мг/л — для гуппи. Для исследований выбрали концентрации 5.0–100.0 мг/л для гуппи и от 10.0–1000.0 мг/л для атерины. Компонент II не вызывал гибели молоди рыб на протяжении опыта в диапазоне концентраций от 5.0–100.0 мг/л. Отклонения в выживаемости атерины, наблюдаемые в концентрациях от 10.0 до 100.0 мг/л, также не являются статистически значимыми. МДК для атерины составляет 100 мг/л.

При воздействии компонента III значения показателя $ЛК_{50}^{96}$ для гуппи и атерины составили более 250.0 и 1000.0 мг/л, соответственно. Хроническое воздействие для гуппи оценивали в диапазоне концентраций компонента III от 10.0–250.0 мг/л и от 10.0 до 1000.0 мг/л — для атерины. Статистически значимое отклонение по выживаемости гуппи при концентрациях 100.0 и 250.0 мг/л, тогда как для атерины компонент III не вызывал гибели рыб во всех исследованных концентрациях. Таким образом, по показателю выживаемости МДК для гуппи составляет 50.0 мг/л, для атерины — более 1000.0 мг/л.

Результаты проведенных исследований показывают, что компоненты диспергента по степени острой токсичности для рыб относятся к практически не токсичным веществам по ГОСТ 32424-2013 (Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Основные положения).

Atherina boyeri pontica оказалась менее чувствительной к действию компонентов препарата по сравнению с *Poecilia reticulata.* Так, значение пороговой концентрации (ПК) для компонента I составило 5.0 мг/л для гуппи и 100.0 мг/л для атерины. Аналогичные данные получаются для компонента III (значения ПК 100 мг/л для гуппи и >1000 мг/л для теляпии). *Oreochromis mossambicus*, в целом показала схожую чувствительность с *Poecilia reticulata* — значения ПК для препарата составили: 25.0 мг/л для гуппи и 50.0 мг/л для тиляпии.

По результатам исследований, можно отметить, что целесообразным представляется продолжение поиска удобных и достаточно чувствительных видов рыб для токсикологических экспериментов в морской воде, чтобы максимально приблизить оценку воздействия загрязняющих веществ в лабораторных опытах к реальным

природным условиям. *Oreochromis mossambicus* может быть рекомендована для проведения исследований по оценке токсичности для морской среды, поскольку легко переносит перевод на соленую воду и показывает сходную с гуппи чувствительность к исследуемым токсикантам, доступен в течение всего года, легко содержится в стабильной культуре и не требует длительной адаптации к условиям и кормам, как атерина *Atherina boyeri pontica*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Крыжановский С. Г., Троицкий С. К. Материалы по ихтиофауне рек Черноморского побережья // Вопросы ихтиологиии. 1954. Вып. 2. С. 144–150.

Медянкина М. В., Соколова С. А., Оганесова Е. В., Тригуб А. Г., Дмитриева Е. С. О проблемах установления нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 10. С. 12–18.

Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 4 августа 2009 года № 695, 186 с. (с изменениями на 22 декабря 2016 г, утвержденными приказом Росрыболовства № 857).

Panigrahi A. K., Misra B. N. Toxicological effects of a sub-lethal concentration of inorganic mercury on the fresh water fish, *Tilapia mossambica*, Peters // Archives of Toxicology. 1981. Vol. 44, no. 4. P. 269–278.

Sailatha D., Sahib I. R. A., Rao K. V. R. Toxicity of technical and commercial grade malathion to the fish, *Tilapia mossambica* (Peters) // Proceedings of the Indian Academy of Sciences. Sec. A. 1981. Vol. 90, no. 1. P. 87–92.

Sarıkaya R. Investigation of acute toxicity of alpha-cypermethrin on adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2009. Vol. 9. P. 85–89.

SEARCH OF THE NEW MARINE TEST-ORGANISMS FOR THE IMPROVEMENT OF THE METHOLOGY OF WATER QAULITY STANDARDS

[1,2]Oganesova E. V., [1]Pavlov A. D., [1]Saidov D. M., [1]Medyankina M. V.

[1]VNIRO, Moscow, Russia, toxic_fish@mail.ru, mediankina@mail.ru

[2]M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The possibilities of using of *Atherina boyeri pontica* and *Oreochromis mossambicus* as test organisms for the development of water quality standards are considered. A comparative analysis of the sensitivity of these species with a standard test organism — *Poecilia reticulata* was shown.

Key words: *Atherina boyeri pontica*, *Oreochromis mossambicus*, *Poecilia reticulata*, test object, sensitivity to toxicants, development of standards.