

III Международная
научно-практическая
конференция

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

2-7 сентября 2024 г.
г. Севастополь, Россия



10-летие воссоединения Крыма и Севастополя с Российской Федерацией

18 марта 2014 года жители Крыма и Севастополя реализовали своё неотъемлемое право быть в единстве с Россией, продемонстрировав всему миру силу характера и волю в стремлении воссоединиться со своей исторической Родиной. Выбор, сделанный на референдуме 16 марта, всеобщая решительность и сплочённость в ту знаменательную весну определили наше общее будущее, открыли новые возможности для развития региона в составе великой страны.



О. В. Танциора. Триколор

300 лет Российской академии наук

«Все просвещенные народы в разные времена испытывали, колико спешествует успехам наук соединение многих ученых, одушевляемых единую ревностию к усовершенствованию оных. Учрежденные в их недрах и покровительствуемые их государями и Академии и учеными общества, обратив деятельность членов своих к единой цели, предпринимали и совершили важные дела, и обогатили науки открытиями, которые без того щастливого соединения ревности и знания, может быть, не возвратно бы погибли для рода человеческого.

Так и Россия разделяет с ними славу распространения пределов наук. Блаженный памяти государь Петр Великий, во время своих путешествий быв очевидным свидетелем пользы сих ученых заведений и возимев желание воздвигнуть в новой столице своей храм наук, коих благодетельное действие распространялось бы и на отдаленные страны империи, принял намерение учредить Академию, уже начертал для нее устав и призвал членов, как вдруг смерть пресекла достославную жизнь его. Императрица Екатерина I совершила начатое ее супругом; она устроила сию Академию наук, которая покровительствуема будучи преемниками российского престола и получив от императрицы блаженного памяти Елизаветы регламент, распространивший круг ее деятельности, неоднократно доказала, особенно же в славное царствование императрицы Екатерины II, ту пользу, какую подобные заведения, благоразумно распоряжаемые и сильно подкрепляемые правительством, могут принести государству, что свидетельствуют многие подвиги, ею предпринятые, напаче ж славные и с успехом оконченные путешествия для исследования и описания естественных произведений России, и экспедиция для астрономических наблюдений.

Удовстверясь, что распространение наук и усовершенствование полезных знаний наиболее содействует к утверждению благоденствия народов, обратили мы особенное внимание наше на Академию наук и, нашед, что прежний регламент ее не соответствует настоящему времени, что назначенная ей сумма весьма недостаточна и что разные препятствия, от сего происходящие, в последствии времени ослабили ее деятельность, рассудили мы за благо издать для нее новый регламент и штат, настоящим обстоятельствам соответственные и сообразные с целию, ей предначертанно...

Главнейшие обязанности Академии следуют из самой цели ее назначения, общей со всеми академиями и учеными обществами: расширять пределы знаний человеческих, усовершенствовать науки, обогащать их новыми открытиями, распространять просвещение, направлять, колико возможно, познания ко благу общему, приспособляя к практическому употреблению теории и полезные следствия опытов и наблюдений; ее в кратких словах книга ее обязанностей.

К обязанностям, общим ей с другими академиями, присоединяется должность непосредственно обращать труды свои в пользу России, распространяя познания естественных произведениях империи, изыскивая средства к умножению таких, кои составляют предмет народной промышленности и торговли, к усовершенствованию фабрик, мануфактур, ремесел и художеств – сих источников богатства и силы государств».

Из утвержденного Александром I
Устава Академии 1803 г.



Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук
ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
Правительство Севастополя
Координационный совет Южной ассоциации научных организаций РАН
Севастопольский государственный университет
Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
Научно-исследовательский центр Конакри-Рогбане (CEREMAC-G)
Университет Аль-Баас
Университет Алеппо
Федеральный университет Рио-де-Жанейро
Университет Нкумба
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук
Паразитологическое общество при Российской академии наук
Севастопольское городское отделение Русского географического общества
Автономная некоммерческая организация «Научно-исследовательский центр Мирового океана»
Автономная некоммерческая организация Научный и образовательный центр «МореАгроБиоТех»
Совет молодых учёных и специалистов ФИЦ ИнБиОМ

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

III Международная научно-практическая конференция,
посвящённая 10-летию воссоединения Крыма и Севастополя
с Российской Федерацией

Тезисы докладов

2–7 сентября 2024 г.
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИнБиОМ
2024

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Russian Academy of Sciences
Federal Research Center “A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS”
Government of Sevastopol
Coordinating Council of the Southern Association of Scientific Organizations of RAS
Sevastopol State University
Plekhanov Russian University of Economics
Conakry-Roghbane Research Center (CEREMAC-G)
Al-Baath University
University of Aleppo
Federal University of Rio de Janeiro
Nkumba University
Russian Hydrobiological Society of RAS
Parasitological Society of RAS
Sevastopol City Branch of the Russian Geographical Society
Independent Nonprofit Organization “World Ocean, Climate and Ecology Research Center”
Independent Nonprofit Organization World-level Interregional Research and Educational Center “MoreAgroBioTech”
Young scientists council of IBSS

Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Modernity

The 3rd International Scientific and Practical Conference,
dedicated to the 10th anniversary of the reunification
of Crimea and Sevastopol with Russian Federation

Book of abstracts

2–7 September, 2024
Sevastopol, Russian Federation

Sevastopol
IBSS
2024

УДК 574(06)

ББК 28я43

И39

Из39 **Изучение водных и наземных экосистем: история и современность** : тезисы докладов III Международной научно-практической конференции, 2–7 сентября 2024 г., Севастополь, Российская Федерация. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2024. 403 с.

ISBN 978-5-6048081-9-1

В сборнике представлены тезисы докладов III Международной научно-практической конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», посвящённой 10-летию воссоединения Крыма и Севастополя с Российской Федерацией. В рамках конференции были представлены материалы, отражающие результаты фундаментальных и прикладных исследований в области биологии и экологии водных и наземных экосистем.

Издание предназначено для гидробиологов, географов, экологов, специалистов в области охраны природы и природопользования, работников аквакультурной отрасли, представителей органов власти и местного самоуправления, профильных министерств и ведомств, бизнес-структур и общественных организаций, преподавателей, аспирантов и студентов.

Издание посвящено 300-летию Российской академии наук и Десятилетию науки и технологий в России.

УДК 574(06)

ББК 28я43

Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Modernity : book of abstracts of the 3rd International Scientific and Practical Conference, 2–7 September, 2024, Sevastopol, Russian Federation. Sevastopol : IBSS, 2024. 403 p.

This book contains abstracts of reports presented at the 3rd International Scientific and Practical Conference “Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Modernity”, dedicated to the 10th anniversary of the reunification of Crimea and Sevastopol with Russian Federation. The conference was aimed at discussing the results of fundamental and applied research in biology and ecology of aquatic and terrestrial ecosystems.

The book is intended for hydrobiologists, geographers, ecologists, experts in nature protection and nature management, workers in the aquaculture industry, representatives of government and local authorities, relevant ministries and departments, business structures and public organisations, teachers, graduate students, and students.

The book of abstract is dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences and the Decade of Science and Technology in Russia.

Материалы опубликованы в авторской редакции.

Ответственность за содержание материалов несут авторы.

*Сборник публикуется по решению учёного совета ФИЦ ИнБЮМ
(протокол № 7 от 27.08.2024).*

ISBN 978-5-6048081-9-1

© Авторы, 2024

© ФИЦ ИнБЮМ, 2024

Организаторы



Министерство науки
и высшего
образования РФ

<https://minobrnauki.gov.ru>



Российская
академия наук

<https://ras.ru>



ФИЦ «ИнБЮМ»
имени А. О. Ковалевского РАН»

<https://ibss-ras.ru>



Правительство
Севастополя

<https://sev.gov.ru>



Координационный совет
Южной ассоциации научных
организаций РАН



Севастопольский
государственный
университет

<https://sevsu.ru>



Морской
гидрофизический
институт

<http://mhi-ras.ru>



Российский
экономический университет
имени Г. В. Плеханова

<https://rea.ru>



Центр морских и прибрежных
исследований Гвинеи
(CEREMAC-G)



Университет Аль-Баас

<https://albaath-univ.edu.sy>



Университет Алеппо

<https://alepuniv.edu.sy>



Федеральный университет
Рио-де-Жанейро

<http://ufrj.br>



Университет Нкумба

<https://nkumbauniversity.ac.ug>



Всероссийское
гидробиологическое
общество при Российской
академии наук

<http://gboran.ru>



Паразитологическое общество
при Российской академии наук

<http://zin.ru/societies/parsoc/rus>



Севастопольское
городское отделение
Русского географического
общества

<https://rgo.ru/ru/sevastopol>



Автономная
некоммерческая организация
Научно-исследовательский
центр Мирового океана,
климата и экологии



Автономная
некоммерческая организация
Научный и образовательный
центр «МореАгроБиоТех»

<http://no492.ru>



Совет молодых учёных
и специалистов
ФИЦ ИнБЮМ

<https://ibss-ras.ru>

Партнёры



Научно-производственная
компания СИНТОЛ
<http://syntol.ru>



Компания
«Спектроника»
<http://spektronika.ru>



Российский национальный
коммерческий банк
<https://rncb.ru>



Атлас Лаб
<https://atlas-lab.ru>



ООО
«Авес-Строй»



ООО
«А-Шиппинг»



Винодельня
«Золотая Балка»
<https://zolotaibalka.ru>



Mriya
Resort & SPA
<https://mriyaresort.com>



ПАО
«Промсвязьбанк»
<https://psbank.ru>



ООО «НИО
Марикультура»
<http://niomariculture.ru>



ООО «Черноморские
Биотехнологии»



ООО «Деловая Россия»
Севастопольское
региональное отделение
<https://www.delorus.ru>

Информационные партнёры



Программный комитет

Сопредседатели

Егоров Виктор Николаевич
акад. РАН, д. б. н., проф.,
ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Горбунов Роман Вячеславович
д. г. н., директор ФИЦ ИнБЮМ,
г. Севастополь, РФ

Члены программного комитета

Ануфриева Елена Валерьевна
д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Шевчук Игорь Андреевич
д. м. н., доцент, Севастопольский филиал
РЭУ им. Г. В. Плеханова, г. Севастополь, РФ

Воробьев Владимир Евгеньевич
Севастопольское городское отделение РГО,
г. Севастополь, РФ

Abdul Basit al Khatib
проф., Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирия

Галактионов Кирилл Владимирович
д. б. н., проф., ЗИН РАН, г. Санкт-Петербург, РФ

Alpha Issaga Pallé Diallo
PhD, проф., Научно-исследовательский центр Конакри Рогбане (CEREMAC-G), г. Конакри, Гвинейская Республика

Голубева Наталия Ивановна
к. г. н., Мироброники, г. Москва, РФ

Amit Tripathi
PhD, ассоциир. проф., Университет Лакхнау, г. Лакхнау,
Индия

Давидович Николай Александрович
д. б. н., КНС – ПЗ РАН, г. Феодосия, РФ

Fábio Luiz Peres Krykhine
D. Sc., проф., Федеральный университет Рио-де-Жанейро,
г. Рио-де-Жанейро, Бразилия

Дбар Роман Саидович
к. б. н., АГУ, г. Сухум, Абхазия

Felix Mora-Camino
D. Sc., проф., Дурбанский технологический университет,
г. Дурбан, ЮАР

Довгаль Игорь Васильевич
д. б. н., проф., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Gabriel Soropa
PhD, Чинхойский технологический университет,
г. Чинхой, Зимбабве

Керимов Ибрагим Ахмедович
акад. АН ЧР, д. ф.-м. н., проф., ГГТУ, г. Грозный, РФ

Hemanthi Ranasinghe
PhD, старший проф., Университет Шри-Джаяварденепура,
г. Нуегода, Шри-Ланка

Коновалов Сергей Карпович
чл.-корр. РАН, д. г. н., проф., МГИ, г. Севастополь, РФ

Jude T. Lubega
PhD, проф., Университет Нкумба, г. Энтеббе, Уганда

Крылов Александр Витальевич
д. б. н., проф., ИБВВ РАН, п. Борок, Ярославская обл., РФ

Keita Ibrahima
PhD, Научно-исследовательский центр Конакри-Рогбане (CEREMAC-G), г. Конакри, Гвинейская Республика

Лопатин Алексей Владимирович
акад. РАН, д. б. н., проф., ПИН РАН, г. Москва, РФ

Maan Salama
проф., Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирия

Матишов Геннадий Григорьевич
акад. РАН, д. г. н., проф., ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, РФ

Maher Karman
проф., Университет Алеппо, г. Алеппо, Сирия

Неврова Елена Леонидовна
д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Mahmoud Hadid
проф., Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирия

Нечаев Владимир Дмитриевич
д. полит. н., СевГУ, г. Севастополь, РФ

Mehmet Cemal Oğuz
PhD, проф., Университет Мардина Артукулу, г. Мардин,
Турция

Ольчев Александр Валентинович
д. б. н., проф., МГУ, г. Москва, РФ

Mohamed Bakary Keita
Национальный центр по надзору и полиции рыболовства,
г. Конакри, Гвинейская Республика

Пионтковский Сергей Александрович
д. б. н., проф., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Nahed Farhoud
проф., Университет Алеппо, г. Алеппо, Сирия

Плугатарь Юрий Владимирович
чл.-корр. РАН, д. с.-х. н., ННЦ – НБС, г. Ялта, РФ

Taurai Bere
Чинхойский технологический университет,
г. Чинхой, Зимбабве

Полонский Александр Борисович
чл.-корр. РАН, д. г. н., проф., ИПТС, г. Севастополь, РФ

Vladimir Pešić
PhD, проф., Университет Черногории,
г. Подгорица, Черногория

Рожнов Вячеслав Владимирович
акад. РАН, д. б. н., проф., ИПЭЭ РАН, г. Москва, РФ

Рындин Алексей Владимирович
акад. РАН, д. с.-х. н., проф., ФИЦ СНЦ РАН, г. Сочи, РФ

Рябушко Виталий Иванович
д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Солдатов Александр Александрович
д. б. н., проф., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Шадрин Николай Васильевич
к. б. н., ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, РФ

Содержание

Биоразнообразие водных и наземных экосистем и его сохранение

Алексенко Т. Л., Прокопов Г. А.	
Малощетинковые черви (Annelida) степной зоны реки Салгир (Республика Крым)	23
Бондарева Л. В., Александров В. В., Мильчакова Н. А., Кандаурова Д. А.	
Новые данные о распространении охраняемых видов сосудистых растений в государственном природном ландшафтном заказнике «Ласпи» (г. Севастополь)	26
Воронцова М. М., Студёнова М. А., Луцый С. А.	
Разнообразие макрозообентоса литорали о. Кий по результатам наблюдений с 2020 по 2023 годы	28
Дмитриева Е. В., Корничук Ю. М., Юрахно В. М.	
Инвазивные виды паразитов и их влияние на разнообразие морских экосистем Азово-Черноморского бассейна и марикультуру	31
Довгаль И. В.	
Эпидиоз инфузорий на изоподах как пример становления отношений «эпифионт-базибионт»	33
Ефимова Д. И., Торгашкова О. Н., Труфанова Е. Е.	
Банк семян адвентивных видов растений лесных сообществ на карбонатных почвах	35
Иваницкий А. Н.	
Экологические последствия грузино-абхазской войны 1992-1993 гг. для рукокрылых (Chiroptera) Абхазии	37
Канаева А. В., Дмитриева Е. В., Во Тхи Ха	
Моногенеи семейства Monocotylidae, паразитирующие на скатах-хвостоколах у побережья Вьетнама	40
Кандаурова Д. А., Чернышева Е. Б.	
Функциональные параметры макроводорослей эпифитных и ярусных синузий эрикариевых фитоценозов в охраняемых акваториях юго-западного Крыма (Черное море)	42
Кирильчик С. В., Черезова В. М., Тетерина В. И., Макаров М. М., Аношко П. Н., Суханова Л. В., Федотов А. П., Дзюба Е. В.	
ДНК окружающей среды как эффективный количественный и качественный маркер в оценке разнообразия байкальского омуля	44

Коляда М. Н., Половинкина М. А., Осипова В. П., Красильникова А. А.	
Влияние гибридных фенольных производных на супероксиддисмутазную и каталазную активности спермиев африканского сома (<i>Clarias gariepinus</i> Burchell, 1822)	46
Королесова Д. Д.	
Возможности использования показателей функционального разнообразия макробентоса для мониторинга состояния водных экосистем ООПТ	48
Пантелеева Н. Н.	
Гидроиды <i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa) из акватории Баренцева моря	50
Сергеева Н. Г.	
Современный вывод о необоснованности понятия «безжизненность» перманентно анаэробной и сероводородной зоны Черного моря	52
Скороход Е. Ю., Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Ефимова Т. В.	
Валидация спутниковых продуктов Sentinel-3/OLCI L2 в Охотском море и в северо-западной части Тихого океана вдоль Камчатского полуострова	55
Столяров А. П.	
Пространственная структура и видовое разнообразие макро- и псевдомийобентоса в лагунных экосистемах кутовой области Кислой губы (Кандалакшский залив, Белое море)	57
Токранов А. М.	
Пищевая специализация рогатковых рыб рода <i>Gymnoanthus</i> (Cottidae) в дальневосточных и арктических водах России	60
Уткин Я. А.	
Генетическое разнообразие <i>Carassius gibelio</i> в Северной Азии	62
Чурилова Т. Я., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.	
Региональные особенности биооптических показателей вод в разных районах Мирового океана: Северный Ледовитый, Южный и Тихий океаны, Черное, Азовское, Норвежское, Баренцево и Охотское моря, Байкал и Телецкое озера	64
Bologa A. S.	
In the footsteps of the Romanian biologist Emil Racovitza in Antarctica	65
Dbar R. S., Gamakhariya P. J.	
Dynamics of the content of total lipids in the body of the European anchovy <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758), wintering in the water area of Abkhazia in the fishing season 2023/2024	66
Yurakhno V. M., Vo T. H., Whipples C. M.	
New data on the myxosporean fauna of genus <i>Zschokkella</i> and <i>Kudoa</i> in the Eastern Sea (Vietnam) fish	68

Структура, функционирование и динамика водных и наземных экосистем

Беляков В. П.	
Структура и функционирование сообществ зообентоса городских водоемов и водотоков Санкт-Петербурга	71

Губелит Ю. И.	
Оппортунистические макроводоросли как компонент оценки состояния прибрежной зоны	73
Звездин А. О., Колотей А. В.	
Миграция как адаптивная реакция личинок миног на низкое содержание кислорода в реке	75
Крашенинникова С. Б., Ли Р. И., Минкина Н. И., Серегин С. А., Басова М. М., Самышев Э. З.	
Межгодовая динамика планктонного сообщества и факторы, ее определяющие в прибрежной акватории Севастополя	77
Мельников В. В., Серебренников А. Н., Чудиновских Е. С.	
Климатические изменения экосистемы эпипелагиали Черного моря	79
Моисеева Н. А., Чурилова Т. Я., Скороход Е. Ю., Ефимова Т. В.	
Зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации хлорофилла <i>a</i> в акватории полуострова Камчатка	82
Овечко С. В.	
Определение типоспецифических участков водных объектов низовий Днепра с помощью высшей водной растительности	83
Пионтковский С. А.	
Здоровье экосистем шельфа Мирового океана, динамика вод и антропогенные нагрузки	85
Полякова С. Л., Давидович Н. А., Кириенко Е. С., Волкова М. С.	
Сезонный цикл диатомовой водоросли планктона из рода <i>Pseudo-nitzschia</i> в акватории Карадагского заповедника	87
Самотой Ю. В.	
Годовая динамика гонадо-соматического индекса двух морфологических форм атерины <i>A. boyeri</i> у побережья Крыма	89
Сафонова М. С., Табунщик В. А., Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю.	
Тепловой баланс пушистодубовых лесов на примере Карадагского заповедника	91
Семенова А. С.	
Суточные вертикальные миграции зоопланктона в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона (Балтийское море) в августе 2022 г.	93
Скворцов В. В.	
Использование искусственных нейронных сетей в лимнологии: опыт количественной оценки первичной продукции малых озер	96
Стельмах Л. В.	
Трансформация структуры и функциональных характеристик фитопланктона Черного моря под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки	98
Тамойкин И. Ю.	
Линейные размеры <i>Diplodus puntazzo</i> Walbaum, 1792 при наступлении половой зрелости (Крым, Черное море)	100
Терентьев А. С.	
Зообентос песчаного грунта банки Мария Магдалина (северо-восточная часть Черного моря)	102

Фарбер А. А., Стельмах Л. В., Бабич И. И., Ковалева И. В., Борисова Д. С., Минина Н. В. Структурно-функциональные характеристики фитопланктона в период летнего «цветения» кокколитофориды <i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler в прибрежных водах Черного моря	104
Федосов Д. Ю., Морозова Е. А., Сапсай А. О., Намсараев З. Б. Обзор факторов, определяющих, лимитирующих и обеспечивающих урожайность сортов винограда на основных виноградо-винодельческих территориях России	106
Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В. Множественность устойчивых состояний водных экосистем и адаптивное использование их биоресурсов	108
Шарапова Л. И. Современное состояние зоопланктоноценозов горных Кольсайских озер Юго-Восточного Казахстана	110
Штрайхерт Е. А., Салюк П. А., Латушкин А. А., Захарков С. П. Распределение содержания хлорофилла- <i>a</i> в атлантическом секторе Южного океана и его сезонная изменчивость в 2021-2022 гг. по судовым и спутниковым данным	113
Экологическая микробиология и альгология	
Алатарцева О. С., Стельмах Л. В. Долговременная и кратковременная акклиматизация черноморской диатомовой водоросли <i>Ditylum brightwellii</i> к экстремально высоким интенсивностям света .	116
Бухарицин П. И. О монографии «Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря»	118
Гогорев Р. М., Юрчак М. И. Коллекции диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Ботанического института РАН (ЛЕ) как основа для изучения и сохранения биоразнообразия	120
Каракозова М. В., Назаров П. А. Адаптация микроорганизмов к изменяющимся условиям солености экосистем .	121
Картунен А. С., Копытина Н. И., Бочарова Е. А., Андросова В. И. Ассоциации микроскопических грибов с двустворчатыми моллюсками в северной части Черного моря	122
Лавриченко Д. С., Кладченко Е. С., Богачева Е. А., Челебиева Э. С. Морфофункциональные характеристики зеленой микроводоросли <i>Coccotulla</i> <i>parasitica</i> в накопительной культуре	125
Мальцева И. А., Черкашина С. В. Оценка роста и биофиксации CO ₂ <i>Chlorococcum oleofaciens</i> (Chlorophyceae) .	127
Назаров П. А. Арктические микроорганизмы и их приспособление к изменениям окружающей среды	129
Сагадатова Р. Р., Стельмах Л. В. Характеристика трех штаммов черноморских альговирусов и их воздействие на микроводоросли	131
Скворцова Е. Г., Филинская О. В. Биоразнообразие кишечных микробиомов аквакультурных рыб и сельскохозяйственных птиц	133

Черногор Л. И., Панова Ю. А., Беликов С. И.	
Изменение в составе микробных сообществ байкальской губки <i>Lubomirskia baikalensis</i>	135
Физиология и биохимия адаптационных процессов гидробионтов	
Алёмова А. С., Москвитина М. И., Зеленин И. С., Грабович М. Ю.	
Роль мульти-медной оксидазы MofA в окислении марганца у <i>Leptothrix mobilis Feox-1</i>	138
Андреева А. Ю., Кухарева Т. А., Кладченко Е. С., Подольская М. С., Ткачук А. А., Лавриченко Д. С., Богачева Е. А., Челебиева Э. С.	
Комбинированное влияние закисления морской воды и гипоксии на организм средиземноморской мидии (<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819)	140
Васильева О. Б., Ефремов Д. А., Мурзина С. А.	
Липидный состав липопротеинов горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) во время нерестовой миграции	142
Воронин В. П., Рольский А. Ю., Мурзина С. А.	
Роль различных классов липидов в механизмах адаптации окуня-клювача (<i>Sebastes mentella</i>) при вертикальных перемещениях в условиях мезопелагалии (Северная Атлантика)	144
Ерохина И. А., Кавцевич Н. Н.	
Применение термографии для оценки физиологического и функционального состояния настоящих тюленей	146
Кладченко Е. С., Подольская М. С., Гостюхина О. Л., Лавриченко Д. С., Андреева А. Ю., Челебиева Э. С.	
Функциональные изменения гемоцитов и сдвиг окислительно-восстановительного баланса в мантии тихоокеанской устрицы (<i>Magallana gigas</i> Thunberg, 1793), вызванные поражением раковины сверлящей губкой (<i>Pione vastifica</i> Hancock, 1849)	148
Кохан А. С., Солдатов А. А., Головина И. В., Богданович Ю. В., Шалагина Н. Е., Рычкова В. Н.	
Реорганизация метаболизма средиземноморской мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819) в условиях острой гипоксии	150
Кочнева А. А., Ефремов Д. А., Мурзина С. А.	
Изменения протеома плазмы крови горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) в ходе нерестовой миграции	152
Манойлова Д. И., Давидович О. А., Давидович Н. А., Воронин В. П., Мурзина С. А.	
Различия липидного и жирнокислотного профиля представителя рода <i>Nitzschia</i> (<i>Bacillariophyta</i>) в зависимости от солености среды	154
Моисеева С. А., Моисеев С. И., Ковалев Л. И., Ковалева М. А., Новикова Л. А., Шевелёва М. П.	
Протеомный анализ гемоцианина камчатского краба <i>Paralithodes camtschaticus</i> западно- сахалинской популяции на разных стадиях линочного цикла	157
Никольский В. Н.	
Изменчивость жирности черноморского шпрота на протяжении годового цикла	160

Пахомов М. В.	
Вопросы автоматизации поведенческих экспериментов с морскими млекопитающими	163
Сигачева Т. Б., Гаврюсева Т. В., Скуратовская Е. Н., Кирин М. П., Мороз Н. А., Клюева М. В., Сербин А. Д.	
Оценка влияния ультразвуковой установки на состояние некоторых видов рыб Черного моря	165
Слепушкина Е. А., Чернышева Е. Б.	
Липидный состав массовых видов красных водорослей в прибрежной зоне Севастополя (Черное море)	167
Солдатов А. А., Парфенова И. А., Шалагина Н. Е., Рычкова В. Н., Рокотова А. Г., Кухарева Т. А.	
Причины и следствия спонтанного роста концентрации метгемоглобина в крови рыб	169
Уппе В. А., Водясова Е. А., Серебрякова М. К., Токмакова А. С.	
Изучение иммунного ответа <i>Mytilus galloprovincialis</i> на заражение <i>Nematopsis legeri</i>	171
Шалагина Н. Е., Гостюхина О. Л., Рычкова В. Н., Солдатов А. А.	
Влияние острого холодового шока на состояние антиоксидантного ферментного комплекса тканей морского ерша (<i>Scorpaena porcus</i> L., 1758)	173
Шульгина Н. С., Кузнецова М. В., Родин М. А., Крупнова М. Ю., Ефремов Д. А., Немова Н. Н., Мурзина С. А.	
Активность ферментов энергетического и углеводного обмена в органах горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Salmonidae) из трех локаций миграционного пути на нерест	175
Шуман Л. А., Селюков А. Г., Некрасов И. С.	
Репродуктивные параметры сиговых рыб Обь-Иртышского бассейна	177
Serbin A. D., Skuratovskaya E. N., Chekmareva T. M.	
Influence of polychlorinated biphenyls on biochemical parameters of the Mediterranean mussel <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	179

Молекулярная биология и генетика гидробионтов

Игнатьева Д. А., Андреенко Т. И., Солдатов А. А.	
Взаимосвязь соматического роста двустворчатых моллюсков с РНК/ДНК индексом и экспрессией генов роста	182
Небесихина Н. А., Алимова А. Ш., Гайдамаченко В. Н., Мещанкина В. С.	
Генетическое разнообразие ремонтно-маточного стада осетровых видов рыб на Гриденском ОРЗ и предложения к их рациональному использованию	184
Пильгандук О. А., Муравская У. О., Савенков В. В., Денисенко А. Д., Зикунова О. В.	
Исследование популяционно-генетической структуры нерки (<i>Oncorhynchus nerka</i>) в бассейне р. Камчатки	186
Прохорова Е. Е., Бобровская А. В.	
Патогенраспознающие рецепторы гемоцитов моллюсков <i>Planorbarius corneus</i> (Gastropoda, Pulmonata)	188

Селюк А. О., Карпов С. А.	
Первое молекулярно-генетическое исследование морского представителя афелид – паразита зеленой водоросли <i>Rhizoclonium</i> – и особенности его жизненного цикла	190
Челебиева Э. С., Подольская М. С., Рылькова О. А., Лавриченко Д. С., Кладченко Е. С.	
Таксономическая идентификация сверлящей губки пиона (сем. Clionaidae), обитающей на раковинах тихоокеанской устрицы (<i>Magallana gigas</i>) в акватории г. Севастополя	192
Шаповалова В. Е., Лантушенко А. О., Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В.	
Подбор методики выделения ДНК из зеленой нитчатой водоросли <i>Cladophora</i> spp.	194
Matey C., Tripathi A.	
Redescription of one species and description of one new species of <i>Dactylogyrus Diesing, 1850</i> (Platyhelminthes: Monogenea) from <i>Devario aequipinnatus</i> (McClelland, 1839) (Cyprinidae: Danionidae) in Arunachal Pradesh, India	196
Проблемы загрязнения водных и наземных экосистем, радиохемоэкология	
Буфетова М. В.	
Динамика многолетней изменчивости содержания меди и цинка в воде Азовского моря (1991–2023 гг.)	198
Войцеховская В. В., Малахова Л. В., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н., Малахова Т. В., Овечко С. В.	
Реконструкция поступления ДДТ и его метаболитов в донные отложения реки Салгир (Крым)	200
Горбунова Т. Л.	
Биотестирование прибрежных вод Черного моря, подверженных воздействию речного стока в районе Большого Сочи с использованием диатомовых водорослей <i>Phaedactylum tricornutum</i> B.	202
Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В., Братанов Н. С., Фам К. Н., Сафонова М. С., Фаерман А. В., Табунщик В. А., Никифорова А. А., Линева Н. П.	
Загрязнение почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика, Западная Африка) тяжелыми металлами и микроэлементами (на основе данных экспедиционных исследований в сухой сезон 2023 г.)	205
Игнатьева Д. А., Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В.	
Оценка микробиомного разнообразия почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) и выявление взаимосвязи с загрязнением почв тяжелыми металлами	207
Коржавин А. В., Коржавина Т. Н., Вохмянин Б. Н.	
Сравнительная оценка источников радиационных экологических рисков ихтиофауны водоемов-охладителей Белоярской и Ленинградской АЭС	209
Лазарева А. М., Ипатова В. И., Ильинский В. В., Ильина О. В.	
Комбинированное действие наночастиц полистирола с токсикантами различной природы на тест-объект <i>Chlorella vulgaris</i>	212
Меньших Т. Б., Смагин А. И.	
Изменение мощности дозы облучения фитопланктона в процессе вертикальных миграций в озере Кызылташ	214

Мирзоева Н. Ю., Архипова С. И., Мосейченко И. Н., Гулина Л. В. ^{90}Sr в экосистемах Северо-Крымского канала, орошаемых вдоль него почвах, поливных сельскохозяйственных культурах (2022–2024 гг.)	216
Михайловская Л. Н., Позолотина В. Н., Михайловская З. Б. Радиоактивное загрязнение почвенно-растительного покрова Восточно-Уральского государственного заповедника и сопредельных территорий	218
Никонова А. А., Пашкова Г. В., Дылгерова С. Д., Ханаев И. В., Чиндыевская А. Н. Проблемы загрязнения водных экосистем стойкими органическими веществами, тяжелыми металлами и поверхностно-активными веществами	220
Пакусина А. П., Таскаева А. И., Гуленова Т. В. Химико-экологическая характеристика малых рек и водно-болотных угодий Амурской области	223
Педченко А. П., Ульченко В. А., Беляев П. С., Рыбаков М. О., Старовойтов А. Н. Исследования микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб в районах отечественного рыболовства	225
Редникин А. Р., Франк Ю. А., Сотникова Ю. С., Карпова Е. В., Воробьев Д. С. Изучение содержания микропластика в песчаных грунтах береговой зоны озера Сенная Курья (г. Томск) с привлечением гражданской науки	228
Смирнова М. В., Денисов Д. Б. Муха <i>Drosophila melanogaster</i> как тест-модель для эколого-токсикологической оценки состояния озера Имандра	231
Соловченко А. Е. Спектральная визуализация – перспективный метод мониторинга биомассы водорослей для биотехнологии и защиты окружающей среды	233
Соловьёва О. В., Тихонова Е. А., Алёмова Т. Е., Мирзоева Н. Ю. Углеводороды в воде Северо-Крымского канала, Крым	234
Стецюк А. П. Концентрирование ртути в морской взвеси прибрежной акватории Южного берега Крыма (Черное море) в марте 2024 г.	236
Терещенко Н. Н., Паракив А. А., Сидоров И. Г., Коротков А. А., Нгуен Чонг Хиеп, By Тхи Минь Чау, Проксурин В. Ю. Современные уровни удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ и дозовые нагрузки от основных дозообразующих радионуклидов в реках дельты Меконга и Канзё (Юг Вьетнама)	237
Ткаченко Ю. С., Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Алемов С. В. Распределение органических веществ в донных отложениях крымского и кавказского побережий (по данным 113-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)	239
Франк Ю. А., Воробьев Е. Д., Рахматуллина С. Н., Воробьев Д. С. Загрязнение поверхностных вод и донных отложений бассейна Оби микропластиком	241
Чекмарева Е. А. Геохимическое взаимодействие макрофитов с водой и донными отложениями в заливах и устьях малых притоков Иваньковского водохранилища	243

Чернова Е. Н.	
Оценка загрязнения тяжелыми металлами морских прибрежных вод с помощью организмов: методические рекомендации	245
Чужикова О. Д., Прокурин В. Ю., Нгуен Чонг Хиеп, Ву Тхи Минь Чау, Терещенко Н. Н.	
Оценка экологического состояния воды рек Хау и Меконг (дельта Меконга, Вьетнам) по содержанию микроэлементов	247

Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

Ануфриева Е. В.	
Перспективы использования биоресурсов гиперсоленных вод в Крыму: ракообразные	250
Арнаутов М. В., Артемов Р. В., Гершунская В. В., Волынец А. В.	
Новые возможности использования белков микробного синтеза в стартовых комбикормах для ценных видов рыб	252
Гайко Л. А.	
Влияние температурного режима на различные стадии гонадного цикла приморского гребешка в условиях культивирования (СЗ Японского моря)	254
Гайко Л. А.	
Предпосылки к созданию и организация в Приморье первого в России хозяйства марикультуры и отработка биотехники по культивированию приморского гребешка (залив Посыета, залив Петра Великого, Японское море)	257
Горбунов Р. В., Чесалин М. В., Келип А. А.	
Методика геопространственного анализа аквакультурного потенциала на примере Республики Джибути	260
Гринберг Е. В.	
Кратко о принципиальных различиях между товарным выращиванием и искусственным разведением тихоокеанских лососей	262
Дикарева Ю. Д., Капранова Л. Л., Капранов С. В., Рябушко В. И.	
Тяжелые металлы в раковинах некоторых видов моллюсков из Черного моря	265
Канцерова Н. П., Суховская И. В., Кузнецова М. В., Паршуков А. Н., Фокина Н. Н., Лысенко Л. А.	
Рыбоводные и физиолого-биохимические показатели радужной форели <i>Oncorhynchus mykiss</i>, выращиваемой на кормах с биологически активными добавками	267
Кулепанов В. Н.	
Бурая водоросль <i>Agarum clathratum</i> в прибрежье дальневосточных морей России	269
Мальцев В. Н.	
Диагностика перкинсоза двустворчатых моллюсков, вызываемого <i>Perkinsus marinus</i>	272
Мальцев В. Н.	
Микроспоридиоз камбал, вызываемый <i>Glugea stephani</i>	275
Мальцев Е. И., Кривова З. В., Юрманов А. А., Куликовский М. С.	
Скрининг разнообразия микроводорослей и цианобактерий для разработки кормовых добавок, способствующих подавлению метаногенеза в животноводстве	278

Мальцева С. Ю., Кезля Е. М., Миннулин Д. Д., Миронов А. В. Перспективы использования штаммов водорослей из коллекции AlgaBank для получения ценных биопродуктов	280
Орлов А. М., Тупоногов В. Н. Рыбные ресурсы отечественного промысла на подводных горах Императорского хребта	282
Парфёнов В. В., Ткачук А. А., Боровков А. Б., Андреева А. Ю. Влияние водного экстракта фикобилипротеинов (С-фикацианин, В-фикаэритрин) на функциональные показатели гемоцитов гигантской устрицы (<i>Magallana gigas</i>) (эксперимент <i>in vitro</i>)	285
Подольская М. С., Гаврюсева Т. В., Челебиева Э. С., Лавриченко Д. С., Кладченко Е. С., Андреева А. Ю. Воздействие сверлящей губки <i>Pione vastifica</i> на морфофункциональные характеристики жабр тихоокеанской устрицы <i>Magallana gigas</i>	287
Рудакова С. Л. Стратегия выживания и распространения вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани лососевых рыб в природном очаге и аквакультуре	289
Светочева О. Н., Светочев В. Н. Суточный бюджет времени как показатель для оценки пищевых потребностей тюленей Белого моря	292
Тарасов В. Е., Бочкина Е. В., Рудакова С. Л. Филогенетический анализ изолятов вируса ИНГТ, выделенных впервые от кеты и чавычи на Камчатке	294
Токмакова А. С., Уппе В. А., Водясова Е. А., Левакин И. А., Серебрякова М. К. Сравнительный анализ клеток гемолимфы морских и пресноводных бивальвий	296
Тупоногов В. Н., Орлов А. М. История глубоководных исследований дальневосточных морей (период 1979–2020-х гг.)	298
Цыганков А. А., Гречаник В. И. Выделение водорода микроводорослями и регуляция фотосистемы 2	301

Устойчивое развитие прибрежных зон

Дрыгваль А. В., Дрыгваль П. В. Сравнительный анализ концентраций диоксида серы (SO ₂) в атмосфере над ООПТ и населенными пунктами в пределах Крымского полуострова	303
Дрыгваль П. В., Дрыгваль А. В. Закономерности распределения тяжелых металлов в почве хребта Магнитный (Карадагский природный заповедник)	305
Селюков А. Г., Елькин В. П., Самсонов А. Н. Ассоциированные с искусственными рифами инновационные технологии как средство эффективного повышения биопродуктивности и оздоровления прибрежных экосистем	306
Селюков А. Г., Самсонов А. Н., Елькин В. П. Причины деградации коралловых рифов и возможные пути их восстановления	308

Krykhtine F. P., Cosenza C. A. N., Olanrewaju O. A., Rafael Lima de Carvalho, Mora-Camino F.	
A Fuzzy Multi Criteria Decision Framework for Environment Planning	310
Magalhães P. M. C. de, Amback B. C., Gomes M. V. R., Velez L. T., Neto H. M., Thomaz F. R.,	
Guimarães L. F., Battemarco B. P., Rezende O. M., Sousa M. M., Veról A. P.,	
Mattos R. R. de, Magalhães P. C. de, Miguez M. G.	
Proposal for Integration of Drainage Solutions in the Urban Open Spaces System.	
Case Study: Bambu River Watershed, Maricá/Brazil	319
Rezende O. M., Battemarco B. P. , Guimarães L. G., Soares B. B., Amback B. C., Neto H. M.,	
Velez L. T., Magalhães P. M. C., Thomaz F. R., Magalhães P. C., Miguez M. G.	
Flood Risk Mapping in Maricá, Brazil	322

Метановая дегазация в водных экосистемах: потоки, средообразующая роль, генезис, участие в геологических и экологических процессах

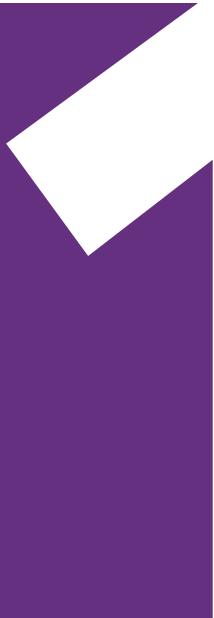
Артёмов Ю. Г.	
Струйная разгрузка метана на аноксических глубинах Черного моря	325
Будников А. А., Малахова Т. В., Краснова Е. А., Иванова И. Н., Хурчак А. И.	
Вариации пузырькового потока метана в бухте Ласпи по данным пассивной акустики	326
Гарькуша Д. Н., Фёдоров Ю. А., Ковалев Е. А., Талпа Б. В., Тамбиева Н. С., Андреев Ю. А.	
Разгрузка подземных вод в пределах водосборного бассейна озера Баскунчак как источник парниковых газов	328
Гречушникова М. Г., Ломов В. А., Ломова Д. В., Кременецкая Е. Р., Федорова Л. П., Трошина И. Л.	
Сезонные изменения содержания и удельного потока метана в Иваньевском водохранилище	330
Краснова Е. А., Будников А. А., Иванова И. Н., Хурчак А. И., Грязнова А. С., Крылов О. В., Малахова Т. В.	
Изотопные характеристики метановых сипов континентальной окраины Юго-Западного Крыма, бухта Ласпи	333
Логвина Е. А., Крылов А. А., Гусев Е. А., Семенов П. Б.	
Икаиты и их связь с разгрузкой метана	335
Логвина Е. А., Матвеева Т. В.	
Газогидратообразование в аномальных гидрохимических разрезах Черного моря	337
Лысенко В. И., Шик Н. В.	
Своеобразие флюидов холодных сипов и бактериальных построек в прибрежной части бухты Ласпи (Крым)	339
Малахова Т. В., Макаров М. М., Сырбу Н. С., Стецюк А. П., Будников А. А., Хурчак А. И., Кучер К. М.	
Струйные газовыделения шельфа Черного моря у берегов Крыма: итоги экспедиций 2022 и 2024 гг.	341
Макаров М. М., Кучер К. М., Малахова Т. В.	
Первые оценки газовых потоков от метановых сипов, расположенных на шельфе у южного побережья Крыма	343

Оберемок И. А., Пургина Д. В., Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В. Влияние разгрузки метан-содержащих флюидов на соотношение форм нахождения химических элементов в донных осадках на шельфе моря Лаптевых	345
Оберемок И. А., Пургина Д. В., Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В. Изменение соотношения форм нахождения химических элементов в донных осадках в ответ на разгрузку метан-содержащих флюидов на шельфе Восточно-Сибирского моря	348
Пургина Д. В., Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В. Гидрохимические особенности метановой эмиссии в зоне смешения реки Лена – моря Лаптевых	350
Сабреков А. Ф., Терентьева И. Е., Глаголев М. В., Литти Ю. В. Болота – источник метана, выделяющегося из сипов в поймах рек и ручьев Среднего Приобья (Западная Сибирь)	352
Устинов Н. Б., Казанцев В. С., Кривенок Л. А., Свирида Н. М., Ломов В. А., Репина И. А. Эмиссия метана из затопленных песчаных карьеров таежной зоны Западной Сибири	354
Фёдоров Ю. А., Гарькуша Д. Н., Михайленко А. В., Доценко Н. В., Талпа Б. В., Савицкий В. А., Дмитрик Л. Ю., Попов Ю. В., Доценко И. В. О генерации метана и сульфидов в донных отложениях двух горных озер Западного Кавказа	356
Яцук А. В., Бовсун М. А., Швалов Д. А., Нестерова О. В. Распределение метана и его потоки в пределах акватории внешнего шельфа залива Петра Великого (Японское море)	358

Морские радиохемоэкологические исследования: история и современность

Бурдян Н. В., Тихонова Е. А., Дорошенко Ю. В., Соловьёва О. В. Сезонная динамика химико-микробиологических характеристик донных отложений морского устья малой реки севастопольского региона (на примере р. Черной, Крым)	362
Вахрушев М. О., Мирзоева Н. Ю., Прокурнин В. Ю., Параксив А. А. Распределение тяжелых металлов в морской воде прибрежных акваторий Крыма	364
Коротков А. А., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н., Иванова А. В. Полоний-210 в экосистеме Северо-Крымского канала (2022–2024)	366
Мирзоева Н. Ю., Егоров В. Н., Терещенко Н. Н. 95 лет Поликарпову Геннадию Григорьевичу	368
Мирошниченко О. Н., Мирзоева Н. Ю., Сидоров И. Г., Мосейченко И. Н. Распределение ¹³⁷Cs в водной экосистеме Северо-Крымского канала и прилегающих сельскохозяйственных угодьях в период 2023–2024 гг.	370
Мосейченко И. Н., Мильчакова Н. А., Мирзоева Н. Ю., Коротков А. А., Рябогина В. Г. Перспективы использования буровой водоросли <i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari & Guiry для радиоэкологического мониторинга прибрежных акваторий Черного моря	372

Паракив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Чужикова О. Д., Вахрушев М. О. Определение скорости осадконакопления с помощью радиоизотопов плутония в прибрежных морских акваториях	374
Проскурнин В. Ю., Мирзоева Н. Ю., Вахрушев М. О., Бердникова Т. П. Тяжелые металлы в компонентах экосистем Северо-Крымского канала и связанных с ним сельхозугодий Крыма	376
Сидоров И. Г., Терещенко Н. Н., Мирзоева Н. Ю., Нгуен Чонг Хиеп, Ву Тхи Минь Чая, Проскурнин В. Ю. Техногенный радионуклид ^{137}Cs в дельте Меконга по результатам экспедиционных исследований в ноябре – декабре 2022 г.	378
Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Паракив А. А. Радиоизотопы плутония $^{239+240}\text{Pu}$ в Черном море: долговременные тренды и распределение	380
Чужикова О. Д., Проскурнин В. Ю., Мирзоева Н. Ю. Содержание микроэлементов в воде рек Кача, Бельбек и Чёрная (окрестности города Севастополя) во время паводкового и засушливого периодов	382
Именной указатель	384
Table of contents	401



Биоразнообразие водных и наземных экосистем и его сохранение

Biodiversity of aquatic and terrestrial
ecosystems and its conservation

Малощетинковые черви (Annelida) степной зоны реки Салгир (Республика Крым)

Алексенко Т. Л.^{1*}, Прокопов Г. А.^{1,2}

¹НИЦ пресноводной и солоноватоводной гидробиологии – филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О.Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Институт «Таврическая академия» СП Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

Annelida (Annelida) of the steppe zone of the Salgir River (Republic of Crimea)

Aleksenko T. L.^{1*}, Prokopov G. A.^{1,2}

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

✉ aleksenko@mail.ru

Ключевые слова: олигохеты, пиявки, видовое разнообразие, зоогеография, трофология, обилие, загрязнение, Республика Крым

Бентосные организмы широко используются для оценки качества воды. Изучение их биоразнообразия в реках Крыма окончательно не завершено и требует дополнительных исследований. Кольчатые черви являются одной из самых обильных и разнообразных групп в донных сообществах различных типов водных объектов. По мнению ряда авторов, олигохеты считаются наиболее информативной группой при исследовании загрязнения водной среды и донных отложений [5 ; 8]. Выносливые к органическому загрязнению, олигохеты чувствительны к серо- и хлорсодержащим веществам, фенолам, ионам тяжелых металлов. Для ряда олигохет установлен порядок их резистентности по отношению к отдельным загрязнителям [5]. Пиявки оказываются полезными для санитарно-биологических исследований [3]. До настоящего времени относительно хорошо изученными оставались олигохеты горных и предгорных участков рек [1 ; 2 ; 6], специальные исследования в нижнем течении не проводились.

Целью нашей работы было изучение видового разнообразия аннелидофауны степной зоны р. Салгир, анализ ее зоogeографических, трофологических, экологических особенностей, возможности использования в качестве биоиндикаторов для выявления степени загрязнения отдельных участков водотока.

Река Салгир в районе с. Молочное (Красногвардейский район) и Новогригорьевка (Нижнегорский район), где отбирались пробы, характеризуется заметным течением (0,5–0,7 м/с). Русло спрямлено, его ширина не превышает 6–7 м, глубина – 0,7–1,3 м. Донные отложения представлены вязким илом с примесью крупного детрита в виде обломков веток, обрывков ВВР, сбившихся нитчатых водорослей. По краю крутых берегов среди высшей водной растительности встречаются тростник, рдесты, клубнекамыш, сусак зонтичный, частуха и др.

По результатам полевых работ установлено, что аннелидофауна насчитывает 16 видов, относящихся к классу поясковые (Clitellata), 4 отрядам и 5 семействам: Lumbriculida, Lumbriculidae: *Lumbriculus variegatus* (Muller, 1774); Tubificida, Naididae: *Stylaria lacustris* (Linnaeus, 1767); *Nais communis* Piguet, 1906; *Uncinaria uncinata* (Ørsted, 1842); Tubificidae: *Isochaeta michaelensi* (Lastočkin, 1937); *Limnodrilus udekemianus* Claparède, 1862; *Limnodrilus claredianus* Ratzel, 1868; *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862; *Potamothrix moldaviensis* Vejdovský & Mrázek, 1903; *Potamothrix vejvodskýi* (Hrabě, 1941); *Potamothrix hammoniensis* (Michaelsen, 1901); *Tubifex tubifex* (Müller, 1774); Branchiura sowerbyi Beddard, 1892; Tubificidae sp. jv.; Rhynchobdellida, Glossiphoniidae: *Alboglossiphonia heteroclita* (Linnaeus, 1761); Arhynchobdellida, Erpobdellidae: *Erpobdella octoculata* (Linnaeus, 1758).

Генетическая фауна олигохет неоднородна. По зоогеографическому облику ее можно разделить на 5 групп: виды с наиболее обширным ареалом – космополиты (29%), голарктические (36%), голарктически-ориентально-неотропические (7%), палеарктические (оба вида пиявок) (14%) и понто-каспийские (14%).

По способу питания все обнаруженные олигохеты относятся к собирателям – грунтоядным (*Tubificidae*) и пасущимся (*Naididae*) [4]. Пиявка *A. heteroclita*, питается преимущественно водными брюхоногими моллюсками, высасывая из них соки. Также показано питание этой пиявки на олигохетах, личинках насекомых, в особенности в загрязненных водах, где брюхоногие встречаются ограниченно. *E. octoculata* заглатывает мелких беспозвоночных, может заниматься каннибализмом [3].

Исследованные участки р. Салгир заметно разнятся обилием и представленностью малошетинковых червей. Общее количество видов олигохет на станции у с. Новогригорьевка в 7 раз выше, чем на станции у с. Молочное. Плотность олигохет в общем бентосе на указанных станциях составляет соответственно 2% и 8%, максимально – 3 и 13%.

Биотические индексы (BVI, BMWP), характеризующие состояние водотока, показывают, что на станции у с. Молочное качество воды характеризуется как посредственное, в районе с. Новогригорьевка закономерно ухудшается до плохого, хотя в некоторых случаях индексы показывают одинаковое качество на этих станциях. При органическом загрязнении, как правило, происходит увеличение плотности и биомассы олигохет. Снижение этих показателей свидетельствует о том, что здесь имеет место и другой вид загрязнения.

В районе с. Молочное сотрудниками отдела радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ выявлена локальная зона высоких концентраций хлорорганических соединений в воде и донных отложениях [9]. Подобные загрязнения угнетают такие функциональные показатели олигохет как дыхание, питание, энергетический обмен, ферментативная активность [7]. Очевидно, именно таким загрязнением и вызвано снижение обилия олигохет на станции у с. Молочное.

Дальнейшее изучение биоразнообразия аннелидофагии и накопление данных по их чувствительности к разного рода загрязнениям может иметь большое практическое значение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей структуры и динамики пресноводных экосистем Северного Причерноморья» (№ гос. регистрации 123101900019-5).

Список литературы

1. Дембицкий Э. Б. Малошетинковые черви ручьев и источников разных ландшафтно-климатических зон Украины: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.08. «Зоология». Киев, 1978. 25 с.
2. Киселева Г. А. Олигохетофауна малых рек заповедной зоны горного и предгорного Крыма // Водные малошетинковые черви. Материалы VI всесоюзного симпозиума (Саласпилс, 27-30 апреля 1987 г.). Рига, 1987. С. 82-85.
3. Лукин Е. И. Пиявки пресных и солоноватых водоёмов. Фауна СССР. Л.: Наука, 1976. 484 с.
4. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных. Москва : Типография Россельхозакадемии, 1998. 319 с.
5. Попченко В. И., Попченко Т. В. Устойчивость малошетинковых червей к химическим загрязнениям // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 1999. № 2. С. 201-203.
6. Прокопов Г. А., Утевский С. Ю. Пиявки (*Hirudinea*) Крыма // Материалы III научной конференции «Заповедники Крыма: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование». Ч. II. Зоология беспозвоночных. Зоология позвоночных. Экология. Симферополь: КРА «Экология и мир», 2005. С. 48-53.
7. Спивак Э. Г. Влияние хлорорганических пестицидов на состояние олигохет и способы снижения их токсического воздействия. Ростов-на-Дону : ФГУП «АзНИИРХ», 2008. 100 с.

8. Behrend R. D. L., Takeda A. M., Gomes L. C., Fernandes S. E. P. Using oligochaeta assemblages as an indicator of environmental changes // Brazilian Journal of Biology. 2012. Vol. 72, iss. 4. P. 873-884.
<https://doi.org/10.1590/s1519-69842012000500014>
9. Малахова Л. В., Карпова Е. П., Белогурова Р. Е., Губанов В. В., Прокопов Г. А., Чеснокова И. И., Куршаков С. В., Статкевич С. В., Шавриев Д. Г., Овечко С. В. Хлороганические ксенобиотики в экосистеме реки Салгир: содержание, распределение, экологический риск // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 116-133.

Новые данные о распространении охраняемых видов сосудистых растений в государственном природном ландшафтном заказнике «Ласпи» (г. Севастополь)

Бондарева Л. В., Александров В. В.* , Мильчакова Н. А., Кандаурова Д. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Recent data on the distribution of the threatened vascular plant species in the State Natural Landscape Preserve “Laspi” (Sevastopol)

Bondareva L. V., Alexandrov V. V.* , Milchakova N. A., Kandaurova D. A.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ valexandrov@list.ru

Ключевые слова: ареал, охраняемые виды, Ласпи, особо охраняемая природная территория, Красная книга города Севастополя

Государственный природный ландшафтный заказник (ГПЛЗ) «Ласпи» (площадь территории – 1232,74 га) создан в 2018 г. для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия Ласпинского амфитеатра [1]. Для заказника указано 87 раритетных видов сосудистых растений [2], из которых 35 видов занесено в Красную книгу Российской Федерации (Приказ Минприроды России от 23.05.2023 № 320). Поскольку сведения о местонахождении 51 вида за последние четверть века отсутствовали [2], цель работы заключалась в изучении распространения охраняемых видов сосудистых растений в ГПЛЗ «Ласпи», выявлении наиболее уязвимых из них и выработке мер по их сохранению.

Материал собран в период с 2021 по 2023 гг., места произрастания видов выявляли маршрутным методом, учитывали данные геоботанических описаний и фотофиксации растительных объектов с геопривязкой. На основе анализа данных о распространении и встречаемости выделяли уязвимые виды, отмеченные единично в одном или двух локалитетах.

В результате проведенных исследований выявлено 46 охраняемых видов растений, новыми для ГПЛЗ «Ласпи» являются *Colchicum umbrosum*, *Helianthemum lasiocarpum*, *Epipactis leptochila* и *Taxus baccata*, среди них *C. umbrosum* и *T. baccata* охраняются на федеральном уровне. Подтверждено произрастание на территории заказника *Sedum rubens*, *Neotinea tridentata* и *Hedysarum tauricum*, сведения о которых после 1996 г. отсутствовали [2]. Для 15 видов уточнено местонахождение и обнаружены новые локалитеты: *Anacamptis pyramidalis*, *Capparis herbacea*, *Centaurea caprina*, *Cephalanthera longifolia*, *C. damasonium*, *Comperia comperiana*, *Epipactis helleborine*, *E. microphylla*, *Limodorum abortivum*, *Neottia nidus-avis*, *Orchis simia*, *Paronychia cephalotes*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Platanthera chlorantha* и *Ptilostemon echinocephalus*. К уязвимым относятся около трети обнаруженных охраняемых видов, в том числе отмеченных впервые для территории заказника: *Epipactis leptochila*, *E. microphylla*, *Genista albida*, *Hedysarum tauricum*, *Helianthemum lasiocarpum*, *Hesperis steveniana*, *Neotinea tridentata*, *Neottia nidus-avis*, *Orchis mascula*, *O. simia*, *Platanthera chlorantha*, *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica*, *Sedum rubens*, *Taxus baccata* и *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*.

Таким образом, в настоящее время раритетная составляющая флоры сосудистых растений ГПЛЗ «Ласпи» с учетом проведенных нами исследований включает 91 вид, занесенный в Красную книгу г. Севастополя [2], из которых 37 представлено в Красной книге Российской Федерации. Вместе с тем, значительное количество охраняемых видов растений, указанных для заказника [2], нами не обнаружено, поэтому необходимы дальнейшие исследования для актуализации данных об их ареалах и состоянии ценопопуляций. Рекомендовано провести зонирование ГПЛЗ «Ласпи» с выделением зон строгой охраны в местах произрастания наиболее уязвимых представителей раритетной флоры, а также учитывать новые данные об их распространении при прокладке экологических троп и размещении объектов туристической инфраструктуры (в том числе кемпингов и глэмпингов).

Работа выполнена по государственному заданию ФИЦ ИнБиОМ (№ гос. регистрации темы 124022400148-4) и по государственному контракту ФИЦ ИнБиОМ № 41/20 с Департаментом природных ресурсов и экологии г. Севастополя (рег. № 12107000066-0).

Список литературы

1. Ежегодный государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. Севастополь : Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя, 2023. Часть 1.213 с.
2. Красная книга города Севастополя / И. В. Довгаль и В. В. Корженевский (ред.). Калининград ; Севастополь : ИД «РОСТ–ДОАФК», 2018. 432 с.

Разнообразие макрозообентоса литорали о. Кий по результатам наблюдений с 2020 по 2023 годы

Воронцова М. М.*, Студёнова М. А., Луцыйк С. А.

Северный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Архангельск, Россия

Research of macrozoobenthos littoral diversity based on the results of monitoring in the period from 2020 to 2023 on Kii Island

Vorontsova M. M.*, Studenova M. A., Lutsyk S. A.

North branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Arkhangelsk, Russia

✉ voroncova@severniro.vniro.ru

Ключевые слова: о. Кий, Белое море, макрозообентос, литораль, таксон, численность, биомасса

Остров Кий ($64^{\circ}00'00''$ с. ш. $37^{\circ}53'20''$ в. д.), занимающий площадь 38,4 га, является крупнейшим среди островов Кийского архипелага, расположенного на юго-востоке Онежского залива Белого моря. Длина острова составляет около 3 км, ширина от 100 до 500 метров. Возраст острова около 3,5 млрд лет. Ландшафт острова неровный из-за расположения на гранитных скалах с высотами в среднем 6–8 м над уровнем моря [4]. Литораль о. Кий разнообразна и представлена песчаными, илистыми и каменистыми грунтами.

На острове Кий находятся исторические памятники XVII века, привлекающие туристов на остров. В настоящее время на острове действует дом отдыха «Кийский» [6]. На существующую прибрежную водную экосистему ежегодно влияет антропогенная деятельность, что способно вызвать качественные и количественные изменения существующих популяций литорального макрозообентоса.

Ранее сотрудниками Северного филиала ФГБНУ «ВНИРО» в 2017 году была опубликована работа по исследованию макрозообентоса в Онежском заливе Белого моря, включая литораль о. Кий. Результаты данной работы показали высокое видовое и таксономическое разнообразие в составе макрозообентоса в Онежском заливе Белого моря [1].

Литораль Белого моря характеризуется максимальным обилием донных беспозвоночных. На каменистой литорали преобладают биоценозы фукусов с доминированием мидий, литорин и баланусов. Биомасса макрозообентоса варьирует от сотен граммов до нескольких килограммов на 1 м². На песчаных и илисто-песчаных грунтах, осушающихся во время отлива, обилие макрозообентоса не превышает 1 кг/м² [2]. Представители данных сообществ являются кормовой базой для рыб-бентофагов и других бентосоядных организмов. Таким образом, исследование многолетней динамики популяций донных сообществ, вызывает не только научный интерес, но и носит прикладной характер. Целью данной работы являлось изучение таксономического состава и основных групп зообентоса литорали о. Кий в Онежском заливе Белого моря с 2020 по 2023 гг.

Пробы макрозообентоса отобраны на литорали о. Кий в весенний и летний периоды сотрудниками Северного филиала ФГБНУ «ВНИРО». Отбор производился рамкой площадью 0,1 м². Собранный материал фиксировался 4 %-м раствором формальдегида в морской воде. Привезенные пробы бентоса подвергались камеральной обработке по стандартной методике. Для определения таксономической принадлежности организмов использовались стереоскопический цифровой микроскоп Микромед МС-2-ZOOM Digital, микроскоп серии Микромед-1 и определители морских беспозвоночных [3 ; 5]. Таксономическая система морских беспозвоночных, описанная в определителях, сопоставлялась с современной систематикой представленной на сайте базы данных «World Register of Marine Species». Измерение массы обнаруженных таксономических групп осуществлялось на электронных весах ВР 121S. Полученные результаты обрабатывались в программах IBM SPSS Statistics 22 и Microsoft Office Excel 2013.

На литорали острова Кий за 4 года исследований было обнаружено и определено 32 таксономические группы, относящихся к 5 типам и 9 классам водных беспозвоночных (Asciidiacea, Bivalvia, Gastropoda, Insecta, Malacostraca, Thecostraca, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea). Ежегодно в пробах присутствовали представители классов Bivalvia, Gastropoda и Polychaeta.

В 2020 году средняя численность организмов составляла 113,75 экз./м² с биомассой 22,57 г/м². Данный год отличился наименьшим числом таксономических групп в количестве 7. Наблюдались типичные прибрежные виды для литорали Белого моря, такие как: *Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Hydrobia ulvae* и представители семейства Nereididae и рода *Littorina* sp. Температура воздуха в первый год исследований при отборе проб составляла + 13 °C, а температура воды + 11,4 °C.

2021 год характеризовался наименьшими показателями средней численности (56,67 экз./м²) и биомассы (8,99 г/м²) при 16 таксономических группах. Данный год отличился высокими температурами (температура воздуха + 15,8 °C, температура воды + 14,5 °C) в сравнении с остальными годами исследования. Были обнаружены представители класса Malacostraca из отряда Amphipoda, Decapoda (*Crangon crangon*) и Isopoda. Из класса Gastropoda встречены таксоны: *Littorina* sp. и *Margarites olivaceus*. Большую часть таксонов составляли образцы из класса Polychaeta, в состав которых входили следующие группы: *Arenicola marina*, *Alitta virens*, *Ophelia limacina*, *Travisia forbesii*, представители рода *Brada* и низшего определяемого таксона Polychaeta sp. Так же обнаружены двустворчатые моллюски *Macoma balthica*, *Mytilus edulis*, *Nuculoma tenuis* и *Tridonta borealis*.

Наибольшие показатели средней численности (389,92 экз./м²) и биомассы (28,67 г/м²) макрообентоса литорали приходятся на наблюдения 2022 года при таксономическом разнообразии, составившим 18 групп. Температуры в данном году, на момент отбора проб, равнялись + 13,2 °C (воздух) и + 12,6 °C (вода). В пробах были обнаружены асцидии (Asciidiacea) и единичные экземпляры *Golfingia* sp. и малощетинкового черва (Oligochaeta). Представители класса Bivalvia составляли треть обнаруженных таксонов. Были отмечены следующие двустворчатые моллюски: *Macoma balthica*, *Mya arenaria* и *Mytilus edulis*. Среди брюхоногих моллюсков встречены *Hydrobia ulvae* и *Littorina saxatilis*. Многощетинковые черви включали 5 таксономических групп: Errantia sp., *Arenicola marina*, *Owenia* sp., Nereididae sp. и Polychaeta sp. Среди представителей класса Malacostraca найдены виды из отрядов Amphipoda (*Priscillina armata*) и Decapoda (*Crangon crangon*).

В 2023 году было обнаружено 15 таксономических групп со средней численностью – 186 экз./м² и биомассой – 10,97 г/м². Температура воздуха и воды при взятии проб значительно не различались между собой: + 12,2 °C и + 12,1 °C. Кроме морских беспозвоночных были также обнаружены представители пресных водоемов – личинки комаров-звонцов (Chironomidae sp.). В остальном состав макрообентоса типичен и включал следующие группы: Asciidiacea sp., *Balanus* sp., *Macoma* sp., *Mya* sp., Nereididae sp., Polychaeta sp., *Littorina* sp.; и виды: *Gammarus obtusatus*, *Crangon crangon*, *Hydrobia ulvae*, *Littorina saxatilis*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Mytilus edulis*.

Подводя итог нашему исследованию, отмечаем, что за весь период исследований со 100 % частотой встречаются виды двустворчатых моллюсков *Macoma balthica* и *Mytilus edulis*. С 75 % частотой обнаружены таксоны: *Crangon crangon* (Malacostraca), *Hydrobia ulvae* (Gastropoda) и Nereididae sp. (Polychaeta).

По численности в среднем по годам преобладал класс Gastropoda из-за обильного количества моллюсков *Hydrobia ulvae*. Наибольшая численность вида наблюдалась в пробах 2022 года и составляла 1772,3 экз./м². Наибольшую долю биомассы макрообентоса составили представители класса Bivalvia. Обнаруженные виды рода *Mya* и *Mytilus edulis* имели наибольшую массу экземпляров. Самая большая биомасса организмов, относящихся к классу Bivalvia, подсчитана в 2022 году в размере 216,334 г/м².

Гидробиологические исследования выполнены в рамках государственного задания по мониторингу среды обитания водных биологических ресурсов, проводимому в Онежском заливе Белого моря.

Список литературы

1. Артемьев С. Н., Новоселов А. П., Левицкий А. Л. Таксономическое и видовое разнообразие макро-зообентоса в Онежском заливе Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. №6 (167). С. 27-37.
2. Бергер В. Я. Продукционный потенциал Белого моря. СПб.: ЗИН РАН, 2007. 292 с.
3. Гаевская Н. С. Определитель фауны и флоры северных морей СССР. М.: Советская наука, 1948. 740 с.
4. Ежов О. Н., Руоколайнен А. В., Змитрович И. В. Афиллофоровые грибы архипелага кийский. Видовой состав и особенности микробиоты // Труды КарНЦ РАН. 2017. №7. С. 51-59.
<https://doi.org/10.17076/bg595>
5. Наумов А. Д., Оленев А. В. Зоологические экскурсии на Белом море: пособие для летней учебной практики по зоологии беспозвоночных. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 175 с.
6. Кольцова Т. М., Абрамовский В. Н. Крестный Онежский монастырь: святыня на Кий-острове в Белом море // Государство, религия, церковь в России и за рубежом. 2009. №S2. С. 97-114.

Инвазивные виды паразитов и их влияние на разнообразие морских экосистем Азово-Черноморского бассейна и марикультуру

Дмитриева Е. В.^{*}, Корнийчук Ю. М., Юрахно В. М.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Invasive parasites and their impact on the diversity of Azov-Black Sea marine ecosystems and
mariculture**

Dmitrieva E. V.^{*}, Korniychuk Y. M., Yurakhno V. M.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ evdmitrieva@ibss-ras.ru

Ключевые слова: инвазивные виды, паразиты, Азово-Черноморский бассейн

Инвазивные чужеродные виды (INNS) считаются одной из самых больших биологических угроз для биоразнообразия экосистем и сообществ [1]. Потенциальная роль паразитов в успехе и воздействии инвазий обсуждалась, в основном, в рамках гипотезы «освобождения от врагов» (ERH), которая рассматривает потерю паразитов в процессе инвазии, как конкурентное преимущество вселившихся видов по отношению к нативным обитателям [2]. Другие типы биологических взаимодействий между паразитами и хозяевами, которые могут быть изменены INNS, менее известны. Возможные механизмы прямого или косвенного влияния INNS на нативные ассоциации паразит-хозяин кроме вышеупомянутой ERH (1) включают: 2) INNS могут приобретать новых паразитов в местах вселения; 3) паразитические виды могут вселяться совместно с хозяевами или независимо от них (через свободноживущие стадии); 4) паразитические INNS могут переходить на местных хозяев; и 5) INNS могут не быть ни хозяином, ни паразитом, но, тем не менее, влиять на взаимодействие местных паразитов и их хозяев, вмешиваясь в передачу паразита (меняя численность хозяев, трофические связи и т.п.). Таким образом, влияние инвазий на паразитарные сообщества в местах вселения многогранно, однако большинство последствий в конкретных экосистемах остается малоизученным.

Например, при интродукции пиленгаса *Planiliza haematocheilus* из Японского моря в Азово-Черноморский бассейн им было утрачено большинство паразитов, встречающихся в его родном ареале. Так, из 26 видов паразитов, зарегистрированных у этой кефали в Японском море, в новый регион вселились только 5 видов моногеней. Однако в Азово-Черноморском бассейне пиленгас за 50 лет приобрел 39 новых для этой рыбы видов, 12 из которых являются специфичными паразитами аборигенных рыб семейства Mugilidae. Очевидно, в новом местообитании пиленгас стал «мишенью» для паразитов, которые встречаются у аборигенных видов кефалей, и в результате приобрел больше паразитов, чем у него встречается в нативном ареале – Японском море. Кроме того, дополнительный хозяин увеличил распространение этих паразитов в местной экосистеме, изменив структуру их паразито-хозяиных ассоциаций. Аналогично два недавних вселенца в Черное море из семейства Бычковых – *Tridentiger trigonocephalus* и *Gobius cruentatus* стали новыми хозяевами для миксоспоридии рода *Kudoa*, паразитирующими у эндемичного вида *Neogobius melanostomus*. В результате круг хозяев этого микропаразита расширился, представляя ему больше возможностей для распространения в экосистеме. За последние 100 лет в Черном море было зарегистрировано более 250 INNS и их число постоянно растет [3]. Некоторые из этих вселений привели к серьезным преобразованиям экосистемы, оказав значительное влияние на пелагическую и бентическую пищевые сети Черного моря, и эти последствия довольно хорошо изучены. Тогда как данные о влиянии инвазивных видов на нативные паразитарные сообщества немногочисленны. Так, у гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata*, а также путассу *Micromesistius poutassou* в Черном море зарегистрирована нематода *Hysterothylacium*

aduncum, широко распространенная как в Черном море, так и в Средиземноморском бассейне. Круглая сардинелла *Sardinella aurita* занесла в Черное море марит трематоды *Pseudobacciger harengulae*, представителя рода, ранее не регистрировавшегося в его фауне. У моллюска *Rapana venosa* в Черном море известен только один симбиотический вид – губка *Pione vastifica*. В последнее десятилетие все больше новых видов рыб – типичных обитателей Средиземного моря, заходят в Черное море, некоторые из них регулярно регистрируются в новом регионе на разных стадиях развития, например, *Pomatoschistus pictus*, *Merluccius merluccius*, *Lithognathus mormyrus* и др. Однако они практически не изучены в отношении паразитов, которых они могут заносить в новое местообитание или приобретать. Так, недавний вселенец в Черное море – корейский окунь *Sebastes schlegelii*, в нативном ареале – Южно-Китайском море, массово заражен моногенезой *Microcotyle sebastis*, причиняющей значительный ущерб марикультуре окуней в Корее [4]. В Черном море *S. schlegelii* на наличие этого паразита не исследован. Интродукция объектов искусственного разведения в новые районы зачастую приводит к вселению паразитических видов, которые оказываются существенное влияние на нативные популяции родственных гидробионтов и локальную марикультуру. Например, протист *Haplosporidium nelsoni*, возбудитель болезни MSX, был завезен из Азии вместе с *Magallana gigas* и широко распространился как в Америке, так и в Европе. Другой патогенный протист – *Bonamia ostreae*, поражающий *Ostrea edulis*, был завезен в Европу вместе с партией этого моллюска, выращенной в Калифорнии. Недавнее расширение ареала устричного паразита *Perkinsus marinus* является результатом неоднократной интродукции зараженных устриц в разные регионы. Паразитические копеподы родов *Mytilicola* и *Myicola*, изначально обитающие в морях Юго-Восточной Азии у *M. gigas*, также расширили свои ареалы в результате интродукции хозяина в Северной Америку и Европу [2]. Расширение марикультуры тихоокеанской устрицы в Черном море практически не сопровождается серьезным их изучением на наличие этих паразитов. В целом, эффект INNS на нативные экосистемы и марикультуру, может быть, от массовой гибели местных популяций до опосредованного влияния на численность отдельных видов, а также на связи видов в сообществах, трофические сети и т.п. каскадные экосистемные эффекты. Изучение последствий вселения INNS на нативные паразитарные сообщества особенно актуально в современный период глобальных климатических изменений и интенсификации антропогенного влияния на морские экосистемы, в том числе и в результате развития марикультуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Tillin H. M., Kessel C., Sewell J., Wood C. A., Bishop J. D. D. Assessing the impact of key marine invasive non-native species on Welsh MPA habitat features, fisheries and aquaculture. NRW Evidence Report. 2020. Report No: 454.
2. Torchin M. E., Lafferty K. D., Kuris A. M. Parasites and marine invasions // Parasitology. 2002. Vol. 124, iss. 7. P. 137–151. <https://doi.org/10.1017/S0031182002001506>
3. Öztürk B. Non-indigenous species in the Mediterranean and the Black Sea. Studies and Reviews. No. 87 (General Fisheries Commission for the Mediterranean). Rome, FAO. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb5949en>
4. Choi H.-S., Jee B.-Y., Cho M.-Y., Park M.-A. Monitoring of pathogens on the cultured Korean rockfish *Sebastes schlegeli* in the marine cage farms of south sea area from 2006 to 2008 // Journal of Fish Pathology. 2010. Vol. 23. P. 27–35.

Эпибиоз инфузорий на изоподах как пример становления отношений «эпибионт-базибионт»

Довгаль И. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Epibiosis of ciliates on isopod crustaceans as an example of the development of relationships
“epibiont-basibiont”**

Dovgal I. V.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ dovgal-1954@mail.ru

*Ключевые слова: эпибиоз, эпибионт, базибионт, изоподы, инфузории, адаптация, эволюционный
тренд*

Эпибиоз – форма отношений между двумя организмами, когда поверхность тела одного из них (базибионта) представляет собой субстрат для поселения другого организма (эпибионта) [3]. Известны многочисленные наблюдения эпибиоза инфузорий на различных беспозвоночных и позвоночных животных, есть несколько крупных таксонов цилиат, большинство представителей которых специализировано к эпибиозу на определенных группах базибионтов.

В данной работе отношения в системе «эпибионт-базибионт» были проанализированы на примере крупного, экологически и морфологически разнообразного таксона базибионтов – отряда Isopoda.

Изоподы — группа ракообразных, обитающих в море, пресной воде, это практически единственная группа ракообразных, имеющая настоящих наземных представителей. Из более чем 10000 известных видов изопод около 4500 обитают в морских водах и 500 в пресных водах. В наземных биотопах обитает около 5000 видов мокриц [4].

Настоящая работа базируется на анализе доступной литературы по эпибионтам изопод (около 200 источников), а также на собственных данных. Инфузории были отмечены на 97 видах изопод из 20 семейств. Всего было проанализировано распределение на изоподах и локализация на теле хозяев 199 видов инфузорий из пяти классов: Heterotrichaea, Litostomatea, Phyllopharyngea, Suctorea и Oligohymenophorea. При этом учитывались находки не только прикрепленных (sessильных) видов, но и подвижных (вагильных).

Показано, что становление эпибиоза инфузорий на изоподах, вероятно, происходило в процессе перехода от факультативного к облигатному эпибиозу, причем в рамках факультативного эпибиоза прослеживается переход от подвижного к сидячему образу жизни, а в рамках облигатного - от отсутствия избирательности в локализации на теле базибионта к определённой локализации.

Основные тренды в рамках факультативного эпибиоза выражаются в общих морфологических и онтогенетических адаптациях к прикрепленному образу жизни.

В результате морфологических адаптаций сформировались две основные жизненные формы сидячих простейших, которые отражают разные направления их адаптации к гидродинамическим нагрузкам – стебельчатые, поднятые над субстратом и распластанные по субстрату [1 ; 2]. К онтогенетическим адаптациям можно отнести формирование расселительных стадий (бродяжек, телотрохов), переход к анизогамной коньюгации с формированием подвижных микроконьюгантов, а также синхронизацию жизненного цикла эпибионтов с линьками базибионтов [1 ; 2].

Следует учитывать, что разные таксоны инфузорий независимо переходили к эпибиозу на изоподах, адаптируясь к нему сходным образом. Соответственно, речь в данной работе идет только об эволюционных трендах при становлении отношений «эпибионт-базибионт».

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Довгаль И. В. Морфологические и онтогенетические изменения у простейших при переходе к присоединенному образу жизни // Журнал общей биологии. 2000. 61, № 3. С. 290-304.
2. Довгаль И. В. Фауна Украины: в 40 т. Т. 36: Инфузории – Ciliophora. Вып. 1: Класс Суктории – Suctorea. Киев: Наукова думка, 2013. 267 с.
3. Baldrighi E., Dovgal I., Zepilli D. et al. The cost for biodiversity: records of ciliate–nematode epibiosis with the description of three new suctorian species // Diversity. 2020. Vol. 12, iss. 6. Art. no. 224 (25 p).
<https://doi.org/10.3390/d12060224>
4. Ruppert E. E., Fox R. S., Barnes R. D. Invertebrate zoology: A functional evolutionary approach. Belmont : Thomson-Brooks-Cole, 2004. 989 p.

Банк семян адвентивных видов растений лесных сообществ на карбонатных почвах

Ефимова Д. И.*, Торгашкова О. Н., Труфанова Е. Е.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского,
Саратов, Россия

Seed bank of adventitious plant species of forest communities on carbonate soils

Efimova D. I.*, Torgashkova O. N., Trufanova E. E.

Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russia

✉ darya-efimova99@mail.ru

Ключевые слова: банк семян, адвентивные виды, биоразнообразие, инвазивность, степень
натурализации

Одной из основных угроз стабильности и целостности лесных экосистем является внедрение в них адвентивных видов. В некоторых случаях адвентивные виды растений присутствуют в сообществах только в виде жизнеспособных семян, что в значительной мере может определять смену видового состава фитоценозов, особенно при различного рода нарушениях [1 ; 2].

Исследование банка семян проводилось в сосняках на карбонатных почвах в Вольском и Хвалынском районах Саратовской области. Изучение качественного и количественного состава банка семян проводилось методом лабораторного проращивания [3]. В лесных сообществах было отобрано 150 образцов почв. Эти сообщества были детально исследованы и описаны. Номенклатура видов приведена по сводке П.Ф. Маевского [4].

Исследованные лесные массивы, приуроченные к карбонатным почвам, имеют значительное распространение в районе исследования. Исследованные сосняки Вольского района расположены на юго-западном и восточном склонах, Хвалынского – на плакоре и северо-восточном склоне. Почвы в исследованных фитоценозах – дерновые лесные карбонатные, на поверхности почвы обнаружены кусочки мела. Подстилка мощная (до 10 см). Древесный ярус изученных фитоценозов представлен *Pinus sylvestris* L. с примесью других древесных пород (*Populus tremula* L., *Acer platanoides* L., *Betula pendula* Roth (B. *verrucosa* Ehrh.), *Quercus robur* L. (*Q. pedunculata* Ehrh.) и *Ulmus glabra* Huds.). Изученные сообщества, за исключение мертвопокровных, характеризуются довольно значительным видовым разнообразием, особенно в местах наименьшего содержания карбонатов в почве (от 16 до 33 видов). Среди них преобладают типично лесные растения (*Convallaria majalis* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Carex pilosa* Scop., *Solidago virgaurea* L., *Asarum europaeum* L., *Stellaria holostea* L., *Poa nemoralis* L. и другие).

Флористическое разнообразие почвенного банка исследованных сосняков составляют жизнеспособные диаспоры 27 видов. Большинство выявленных семян, принадлежит видам растений, относящимся к отделу Magnoliophyta, 15 семействам и 22 родам. Древесные виды представлены семенами *Acer negundo* L., *Acer platanoides*, *Ulmus glabra*, *Sorbus aucuparia* L., *Populus tremula* и *Tilia cordata* Mill. Почвенный банк семян содержит в своем составе семена видов растений, в большинстве не встречающиеся в фитоценозах ($K_s=0,3$).

В составе банка семян исследованных лесных сообществ зарегистрированы семена 5 видов адвентивных растений. Ведущую роль в таксономическом спектре адвентивных видов банка семян играет семейство Lamiaceae (42 %). Максимальным количеством семян характеризуются *Lamium amplexicaule* L. (1750 шт./м²) и *Erigeron canadensis* L. (1950 шт./м²).

Существенную роль играют травянистые сорные однолетники (60 % видов). По отношению к режиму почвенного увлажнения господствует мезофитная экологическая группа (60%), что соответствует зональным особенностям территории. Все обнаруженные семена инвазионной фракции принадлежат мезотрофам и растениям открытых и полуоткрытых местообитаний.

Среди выявленных видов, в основном, встречаются семена растений северо-американского происхождения (40%), а также ирано-туранского (20 %) и южноевропейско-югозападноазиатского (20 %).

В инвазионный фракции банка семян сосняков семена без эндосперма (60%) преобладают над количеством семян с эндоспермом. Период покоя у большинства семян отсутствует, всхожесть сохраняется длительное время. Преобладающее большинство семян рассмотренных видов характеризуются наличием эндогенного неглубокого физиологического покоя (*Thlaspi arvense* L., *Lamium amplexicaule*, *Hyssopus officinalis* L., *Erigeron canadensis*), который снимается действием каких-либо внешних факторов, которые могут повысить ростовую активность зародыша.

Пространственно-временной аспект изучения инвазионной фракции почвенного запаса семян отражает степень ее натурализации. По способу иммиграции в банке семян встречаются ксенофиты (60%) и эргазиофиты (40%). Преобладание семян эпекофитов (60 %) над агриофитами, говорит о том, что большинство адвентивных растений не внедрились в естественные ценозы, что связано с их способностью конкурировать с представителями аборигенной флоры изученных лесных сообществ. Но эпекофиты встречаются в семенных банках изученных сосняков, а некоторые прочно вошли в их состав (*Lamium amplexicaule*, *Hyssopus officinalis*, *Erigeron canadensis*)

Анализ пространственного размещения инвазионной фракции банка семян на исследованной территории не выявил очагов концентрации заносных растений в разных сообществах. Обнаружение жизнеспособных семян в сообществах, расположенных на плакорах и верхних частях склонов характерно для *Hyssopus officinalis*, в средних частях склонов – *Lamium amplexicaule*, в нижних – *Erigeron canadensis* и *Thlaspi arvense* L.. Для *Acer negundo* характерно сплошное размещение, которое связано в основном с расстоянием от источника поступления семян.

Список литературы

1. Березуцкий М. А. Антропогенная трансформация флоры // Ботанический журнал. 1999. Т. 84, № 6. С. 8-19.
2. Торгашкова О. Н., Ефимова Д. И., Татьянина Е. О. Адвентивный компонент банка семян некоторых лесных сообществ островов реки Волги // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, № 1. С. 103-110. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-1-103-110>
3. Петров В. В. Банк семян в почвах лесных фитоценозов европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 176 с.
4. Маевский, П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. 11-е изд. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 635 с.

Экологические последствия грузино-абхазской войны 1992–1993 гг. для рукокрылых (Chiroptera) Абхазии

Иваницкий А. Н.

Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия, Россия

**Ecological consequences of the Georgian–Abkhazian war of 1992–1993 for bats (Chiroptera)
of Abkhazia**

Ivanitzky A. N.

T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences – branch of the Federal Research Center “A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS”, Kurortnoye, Feodosia, Russian Federation

✉ natusii@mail.ru

Ключевые слова: рукокрылые, грузино-абхазская война 1992–1993 гг., экологические последствия, фактор беспокойства, убежища

Экологические последствия, вызванные военными действиями – одна из составляющих современного экологического мирового кризиса, а их изучение приобретает всё большую актуальность. Военные действия наносят ущерб окружающей среде, страдает как неживая, так и живая природа, в особенности это относится к редким и уязвимым видам растений и животных, к которым, несомненно, относятся многие рукокрылые. В качестве примера, здесь рассматривается такие экологические последствия для летучих мышей, наступившие вследствие грузино-абхазской войны в 1992–1993 гг.

Разумеется, наиболее выражено воздействие на окружающую среду в прифронтовой полосе. Как раз на линии фронта, проходившей по реке Гумиста, находилась пещера Уаз-Абаа, ключевое убежище в регионе, в котором обитает крупная многовидовая колония [1]. В ходе боевых действий активно применялась авиация, бронетехника, дальнобойная артиллерия, реактивные системы залпового огня, объёмные термические снаряды, авиабомбы весом от 250 до 750 кг, кассетные авиабомбы, игольчатые снаряды (запрещённые международными конвенциями), миномёты, и прочее вооружение. Пещера и прилежащая лощина использовались военными для укрытий и складирования имущества. Низкочастотные круглосуточные канонады громкостью 130 дБ, распространяющиеся в радиусе нескольких десятков километров и сопровождающиеся сотрясениями земли, яркими вспышками и выбросами в атмосферу вредных веществ, должны были составлять существенный фактор беспокойства для рукокрылых [1]. Известно, что при этом многие крупные млекопитающие (хищные,копытные) уходили из зоны беспокойства [2]. Последствия военного стресса для сообщества летучих мышей пещеры Уаз-Абаа оценить сложно, т.к. данных о предвоенном и непосредственно послевоенном состоянии нет. После войны антропогенный пресс ослаб: пещера почти не посещалась. Вероятно, сейчас происходит восстановление численности колонии, подобно тому, как например, в послевоенной Абхазии наблюдается скачок численности крупных млекопитающих.

Фактор беспокойства, вызванный военными действиями, усугубился относительно суровыми климатическими условиями, которыми характеризовалась зима 1992/93 – многоснежная, температура воздуха на два градуса температура ниже многолетней нормы ($t_{\text{я}} +6.9^{\circ}\text{C}$) [3]. А предшествующая зима 1991/92 так и вовсе отличалась рекордными аномально низкими температурами ($t_{\text{я}} +1.7^{\circ}\text{C}$) [4]. Пробуждение в таких суровых погодных условиях должно было увеличить смертность среди зимоспящих теплолюбивых спелеофильных видов, так как пробуждение очень энергозатратно для организма летучих мышей, а восполнить энергию питанием проблематично, из-за отсутствия летающих насекомых при низких температурах воздуха [4].

Основными типами негативного влияния на численность и распространение уязвимых рукокрылых Абхазии и Черноморья в целом являются исчезновение местообитаний (1. Habitat Lost) из-за сведения лесов (1.4.2. Deforestation) и беспокойства в убежищах (1.3.3.Tourism). Здесь для характеристики уязвимости видов летучих мышей и типов антропогенного воздействия использованы критерии Красной книги МСОП (The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3.). В послевоенный период второй критически важный лимитирующий фактор, беспокойство в убежищах резко снижается, а местами в течение нескольких лет практически отсутствует, что может иметь краткосрочный положительный эффект. Особенно это касается спелеорайонов, где проводилось минирование, например, бассейн р. Гумиста. С другой стороны, в послевоенный период вопросы экологии уходят на задний план, увеличивается число случаев браконьерства, самовольной организации туристической деятельности, в том числе в пещерах, важнейших для сохранения троглофильных рукокрылых региона. Вместе с тем, этот переходный период от войны к мирной жизни – подходящее время для изъятия территорий из хозяйственной деятельности, для организации ООПТ.

Для рукокрылых не менее важен и другой экологический фактор: в результате военных действий возникает большое количество новых пригодных убежищ, из-за повреждения и разрушения значительной части строений (жилых домов, инфраструктурных, промышленных, курортных объектов), а также запустение неповреждённых зданий вследствие массового исхода населения, и резкого снижения экономической активности. Во многих таких объектах нами отмечено заселение рукокрылых, в первые же послевоенные годы, в второй половине 1990-х – начале 2000-х гг. Например, в неиспользуемом, частично подтопленном подземном переходе в Сухуме были встречены зимующие малые подковоносы (*Rhinolophus hipposideros*). Этот же вид найдет в брошенных домах, как в комнатах, так и на чердаках и подвалах, заброшенных стройках. Однако, такого рода убежища следует признать временными, так как по мере их восстановления (либо полного сноса) они становятся не пригодными, а сам процесс ремонта представляет собой серьёзный фактор беспокойства, который может переходить в прямое уничтожение летучих мышей. Например, при замене окон восстанавливаемого здания одного из научных учреждений в г. Сухум были вскрыты убежища, из которых извлекли зимоспящих животных, это была зимующая колония лесных нетопырей (*Pipistrellus nathusii*). Чтобы снизить вероятность гибели рукокрылых, подобного рода ремонтные работы должны производиться в тёплый период, при этом следует исключить время рождения и выкармливания потомства, лучше всего осенью.

Ещё один способ образование новых убежищ рукокрылых, прежде всего дендрофилов и синантропов, в результате военных действий – возникновение полостей в деревьях, вызванных механическим поражением ствола или ветвей во время обстрелов, в том числе в стволах таких растений, для которых дуплообразования не характерны, как например пальма финик канарский (*Phoenix canariensis*) в Сухумском городском парке, в стволе которой после ранения осколком снаряда РСЗО сформировалось обширное дупло, где 30.06.2000 нами были найдены помёт и костные останки лесного нетопыря (*P. nathusii*) [5]. Повреждение деревьев во время войны 1992–1993 гг., повлекшее образование полостей, отмечено не только в городских парках, но и в лесах вдоль линии фронта.

Изучение воздействия военных действий на окружающую среду, и на летучих мышей в частности, всё ещё находится на стадии накопления знаний о проблеме. Проведение таких исследований позволит представить рекомендаций для снижения ущерба нанесённого войной для этих редких и уязвимых животных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биотических и абиотических компонентов наземных экосистем, особенности их структурно-временной организации в различных климатических условиях среды» (№ гос. регистрации: 124030100098-0).

Список литературы

1. Иваницкий А. Н. Рукокрылые пещеры Уаз-Абаа (Сухумский район, Абхазия) // Plecotus et al. 2002. Pars spec. C. 88–91.
2. Дбар Р. С., Тания И. В. Экологические последствия войны 1992–1993 гг. в Абхазии // Биологическое разнообразие Кавказа : тр. I Регионал. конф. Сухум, 2000. С. 116–128.
3. Маландзия В. И., Иваницкий А. Н. Изменения фауны позвоночных Абхазии и сопредельных территорий (ретроспективный обзор) // Вестник АН Абхазии. 2005. № 1. С. 262–277.
4. Иваницкий А. Н. К биологии и фенологии троглофильных рукокрылых Абхазии // Plecotus et al. 2015. № 18. С. 26–33.
5. Иваницкий А. Н. К фауне рукокрылых (Chiroptera) Абхазии // Plecotus et al. 2002. № 5. С. 57–62.

Моногенеи семейства Monocotylidae, паразитирующие на скатах-хвостоколах у побережья Вьетнама

Канаева А. В.^{1*}, Дмитриева Е. В.¹, Во Тхи Ха²

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского
и технологического центра, Вьетнам

Monogeneans of the family Monocotylidae parasitising stingrays off Vietnam

Kanaeva A. V.^{1*}, Dmitrieva E. V.¹, Vo Thi Ha²

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Seaside Branch of the Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Centre, Nha Trang, Vietnam

✉ halaimovaalika@mail.ru

Ключевые слова: моногенеи, хрящевые рыбы, Вьетнам, Monocotylidae

Monocotylidae Taschenberg, 1879 – семейство Monogenea (Platyhelminthes), представители которого паразитируют у скатов (Rajidae, Rhinobatidae, Dasyatidae), акул (Carcharhinidae, Pristiophoridae, Squatinidae, Sphyrnidae) и химер (Chimaeridae). В общей сложности это семейство насчитывает 35 родов и 177 видов. У скатов в Восточном море зарегистрировались представители 6 родов [1], из них у хвостоколовых скатов (Dasyatidae) найдены следующие виды: *Heterocotyle taeniuropi* Cao, Ding, Zhang & Liu, 2010 у *Taeniurops meyeni* Müller & Henle, 1841, *Empruthotrema dasyatidis* Whittington & Kearn, 1992 у *Himantura uarnak* Forsskål, 1775 и *Maculabatis gerrardi* (Gray, 1851), *Merizocotyle australensis* Beverley-Burton & Williams, 1989 у *M. gerrardi*. [2 ; 3]. У побережья Вьетнама постоянно обитает 10 видов скатов-хвостоколов, данные о встречающихся у них в этом районе моря моногенеях в литературе отсутствуют.

В 2019–2023 гг. в прибрежных водах Вьетнама исследовано 7 видов скатов сем. Dasyatidae, идентифицированных как на основе морфологии, так и частичных последовательностей COI mtДНК. У 4 из них (*Hemitrygon benetti* Müller & Henle, 1841, *Hemitrygon* sp., *Maculabatis macrura* (Bleeker, 1852) и *Telatrygon zugei* (Müller & Henle, 1841)) на жабрах найдены монокотилидные моногенеи. Идентификация видов монокотилид проведена по морфологическим критериям в соответствии с [4 ; 5]. По следующим признакам: прикрепительный диск с одной центральной и восемью периферическими локулами, септы и краевые папиллы вооружены склеритами, три семенника, Р-образная трубка копулятивного органа и хорошо различимые глаза – один из видов определен как *Monocotyle tritestis* Young, 1967 [4]. Другие монокотилиды имели признаки рода *Heterocotyle* Scott, 1904, а по строению копулятивного органа без поддерживающей части, в виде распрямленной трубы в 1,5–2 раза короче семенного резервуара и 4 полукруглым выростам на дорсальной стороне прикрепительного диска определены как *H. chinensis* Timofeeva, 1983 [5].

Из 67 исследованных особей *Hemitrygon benetti* у 90% рыб найдено от 1 до 32 экз. (в среднем 8±6 экз./особь) *Heterocotyle chinensis* и у 50% от 1 до 13 экз. (в среднем 4,5±3,5 экз./особь) *M. tritestis*; 76 % из 25 экз. второго вида *Hemitrygon* были заражены *Heterocotyle chinensis* и 44 % – *M. tritestis* (3–20 экз.,ср. 11±4,5 экз./особь); у 13 % из 38 экз. *T. zugei* паразитировали *H. chinensis* и *M. tritestis* (по 1–3 экз., ср. 2±0,7 экз./особь); у 2 (11 %) из 18 особей *Maculabatis macrura* единично (1 и 2 экз.) зарегистрирован только один вид – *M. tritestis*. При этом наибольшие показатели инвазии скатов обоими видами отмечены в осенне-зимний период (ноябрь–февраль).

Monocotyle tritestis ранее находили только у *Neotrygon kuhlii* (Müller & Henle, 1841) в заливе Моретон у побережья Австралии [4]. Таким образом этот вид монокотилид впервые отмечен у побережья Юго-Восточной Азии и все виды скатов, у которых он найден в Восточном море, – новые хозяева для *M. tritestis*.

Второй вид – *Heterocotyle chinensis* регистрировался у нескольких видов скатов в разных регионах западной Пацифики, а именно: у *Hemitrygon akajei* (Müller & Henle, 1841) в Желтом и Японском морях, у *H. navarrai* (Steindachner, 1892) и *Neotrygon kuhlii* в Восточно-Китайском море и у *H. fluviorum* (Ogilby, 1908) и *Himantura uarnak* (Forsskål, 1775) у тихоокеанского побережья Австралии. Однако *Heterocotyle chinensis* впервые найден у побережья Вьетнама и у новых для него видов хозяев. При этом для ската *Hemitrygon bennettii* впервые получены данные по его паразитам не только в Восточном море, но и по всему его ареалу.

Таким образом, в результате данного исследования существенно расширены сведения об ареалах и круге хозяев двух видов монокотилидных моногеней – *Monocotyle tritestis* и *Heterocotyle chinensis*, а также о паразитах скатов-хвостоколов в Восточном море.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4) и НИР Совместного Российско-Вьетнамского Тропцентра «Эколан Э-3.1» (Задача 8).

Список литературы

1. Zhang Jianying, Yang Tingbao, Liu Lin, Ding Xuejuan. A list of monogeneans from Chinese marine fishes // Systematic Parasitology . 2003. Vol. 54, iss. 2. P. 111-130. <https://doi.org/10.1023/A:1022581523683>
2. Cao S., Ding X., Zhang J., Liu, L. Monogenea of Chinese marine fishes. XVIII. Two monocotylids, including a new species, from the blotched fantail ray *Taeniurus meyeni* (Elasmobranchii: Dasyatidae) in the South China Sea // Folia Parasitologica. 2010. Vol. 57, iss. 3. P. 169–172. <https://doi.org/10.14411/fp.2010.023>
3. Chisholm L. A., Whittington I. D. *Empruthotrema stenophallus* n. sp. (Monogenea: Monocotylidae) from the nasal tissue of *Dasyatis kuhlii* (Dasyatidae) from Sabah, Borneo, Malaysia // Journal of Parasitology. 2005. Vol. 91, iss. 3. P. 522–526. <https://doi.org/10.1645/GE-3458>
4. Chisholm L. A. A revision of *Monocotyle* Taschenberg, 1878 (Monogenea: Monocotylidae) with descriptions of three new species from Australia // Journal of Natural History. 1998. Vol. 32. P. 1259–1290. <https://doi.org/10.1080/00222939800770631>
5. Chero J. D., Cruces C. L., Saez G., Santos C. P., Luque J. L. A new species of *Heterocotyle* (Monogenea: Monocotylidae), a gill parasite of the diamond stingray *Hypanus dipterurus* (Myliobatiformes: Dasyatidae) from the Peruvian coastal zone // Acta Parasitologica. 2020. Vol. 65, iss. 2. P. 474–481. <https://doi.org/10.2478/s11686-020-00183-5>

Функциональные параметры макроводорослей эпифитных и ярусных синузий эрикариевых фитоценозов в охраняемых акваториях юго-западного Крыма (Черное море)

Кандаурова Д. А.* , Чернышева Е. Б.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Features of functional parameters of macroalgae of epiphytic and longline synusia of cystic
phytocoenoses in protected water areas**

Kandaurova D. A.* , Chernysheva E. B.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ darya.pavshenko@mail.ru

*Ключевые слова: макрофитобентос, эрикариевый фитоценоз, структура, ярус, охраняемые
акватории, Севастополь, Черное море*

Эрикариевые фитоценозы *Ericaria crinita* + *Gongolaria barbata* – *Cladostephus spongiosus* – *Ellisolandia elongata* создают основной аспект донной растительности в прибрежной зоне Крымского п-ова, в том числе в акваториях особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Ценозообразующий вид фитоценоза – бурая водоросль *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry, которая имеет высокий охранный статус, занесена в Красную книгу Республики Крым [3] и Черного моря [5] и представлена в международных природоохранных списках.

Материалом послужили данные гидроботанических съёмок, выполненных специалистами лаборатории фиторесурсов в акваториях ООПТ г. Севастополя (государственный природный ландшафтный заказник (ГПЛЗ) «Мыс Айя», памятники природы (ПП) «Природный аквальный комплекс (ПАК) у м. Сарыч» и «ПАК у м. Фиолент») в летний период 2016 – 2021 гг. Отбор проб макрофитобентоса проводили по стандартной фитоценотической методике [1] в зоне наибольшего развития эрикариевого фитоценоза на глубинах 1, 3 и 5 м с применением легководолазного снаряжения. Для сравнительного анализа фитоценотической структуры фитоценоза на разных участках рассчитывали суммарный индекс их удельной поверхности (ИПФ, ед.), а также индекс удельной поверхности ярусов по популяциям слагающих их видов (ИПП, ед.) с учетом биомассы (воздушно-сырая, г·м²).

Установлено, что значения ИПФ эрикариевого фитоценоза без учета эпифитной синузии доминирующего вида изменяется по глубинам и в зависимости от условий произрастания. В акваториях исследуемых ООПТ максимум этого показателя выявлен на глубине 1 м, что обусловлено высокой биомассой ценозообразующих видов. На всех участках охраняемых акваторий наблюдалось достоверное снижение значений ИПФ с увеличением глубины.

Анализ изменения ИПФ по глубинам с учетом вклада эпифитных синузий показал, что высокие значения этого показателя характерны для акватории у м. Айя (глубина 1 м), у м. Сарыч (3 м) и у м. Фиолент (5 м), что обусловлено значительным развитием массовых видов эпифитирующих, преимущественно красных, водорослей. При этом, значения ИПФ с учётом вклада эпифитной синузии в биомассу сообществ в 1,5 – 2 раза больше, чем рассчитанные только для видов-литофитов. В целом, высокие функциональные показатели эрикариевого фитоценоза в акваториях исследуемых ООПТ юго-западного Крыма свидетельствуют как о развитии доминирующих видов в верхней сублиторальной зоне, где их биомасса достигала максимума, так и о значительном вкладе видов-эпифитов с высоким ИП, что ранее отмечалось и на других участках прибрежной зоны [2].

Известно, что вспышки развития эпифитирующих водорослей наблюдаются при повышенном содержании биогенных элементов и растворенного органического вещества. В этих условиях фиксировалось изменение структуры донных фитоценозов и ухудшение их состояния, включая акватории

ООПТ [1 ; 4]. Поскольку большинство видов с высокими значениями удельной поверхности относятся к короткоциклическим и эфемероидам, то их чрезмерное развитие может привести к перестройке эрикариевого фитоценоза с содоминированием красных водорослей и к угнетению ценозообразующих многолетних бурых водорослей *E. crinita* и *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze.

Таким образом, для выработки природоохранных мер по сохранению природных комплексов прибрежных ООПТ юго-западного Крыма необходимо ведение регулярного мониторинга состояния ключевых фитоценозов, которое может ухудшаться из-за вспышек развития эпифитных синузий как видов-доминантов, так и других видов-литофитов, формирующих яруса, вплоть до их дегумбации [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. Киев : Наукова думка, 1975. 246 с.
2. Ковардаков С. А., Празукин А. В. Структурно-функциональные характеристики фитоценозов морских прибрежных акваторий Крыма // Системы контроля окружающей среды. 2010. №. 14. С. 230–235.
3. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / [Отв. ред. А. В. Ена, А. В. Фатеева]. Симферополь : ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.
4. Мильчакова Н. А., Петров А. Н. Морфофункциональный анализ многолетних изменений структуры цистозировых фитоценозов (бухта Ласпи, Черное море) // Альгология. 2003. Т. 13, № 4. С. 355–370.
5. Black Sea Red Data Book / [Ed. H. J. Dumont]. New York: United Nations Office for Project Services, 1999. 413 p.

ДНК окружающей среды как эффективный количественный и качественный маркер в оценке разнообразия байкальского омуля

**Кирильчик С. В.*, Черезова В. М., Тетерина В. И., Макаров М. М., Аношко П. Н.,
Суханова Л. В., Федотов А. П., Дзюба Е. В.**

Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Environmental DNA as an effective quantitative and qualitative marker in assessing the diversity of the Baikal omul

Kirilchik S. V.*, Cherezova V. M., Teterina V. I., Makarov M. M., Anoshko P. N., Sukhanova L. V., Fedotov A. P., Dzyuba E. V.

Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

✉ kir@lin.irk.ru

Ключевые слова: Байкал, ДНК окружающей среды, байкальский омуль

В вопросах оценки и сохранения разнообразия живых организмов особое место занимает озеро Байкал. Для Байкала описано около 1000 видов растений и 2,5 тыс. видов животных, из них более 2/3 являются эндемичными [1]. Эндемичные виды животных и растений озера глубоко адаптированы к условиям этого холодноводного олиготрофного водоёма и поэтому могут быть крайне чувствительны даже к незначительным изменениям в экосистеме. Трудности изучения биоразнообразия Байкала связаны с большой глубиной озера, а также с тем, что многие эндемичные виды редки и занимают ограниченные ареалы, зачастую в глубоководной зоне. В рамках экологического мониторинга Байкала крайне важными являются регулярные наблюдения за качественными и количественными показателями популяций, видов и сообществ с использованием эффективных маркеров, позволяющих быстро получать и анализировать данные. Одним из таких маркеров является ДНК окружающей среды (ДНКос).

ДНКос – это ДНК, выделенная из образцов воды, почвы, воздуха и других природных субстратов. Источником ДНКос эукариот являются фекалии, моча и клетки эпидермиса, а также поврежденные или разлагающиеся организмы. Во внешней среде ДНКос постепенно деградирует, оставаясь в пригодном для анализа состоянии от нескольких часов до сотен тысяч лет, в зависимости от множества различных факторов. В водной среде ДНКос может присутствовать внутри отдельных клеток или групп клеток (внутриклеточная), вне клеток внутри органелл (субклеточная) и вне клеток и органелл (свободная). Предполагается, что возраст, а следовательно, и степень деградации ДНКос коррелирует с тем, в какой из перечисленных форм она находится. Согласно этой концепции наиболее «молодая» – внутриклеточная ДНКос, а наиболее «старая» – свободная ДНКос, субклеточная ДНКос имеет промежуточный возраст. Дифференциальный сравнительный анализ каждой фракции ДНКос, таким образом, потенциально может дать информацию не только о разнообразии и количестве исследуемого объекта, но и о направлении его перемещения в пространстве или удаленности от района исследований. На сегодняшний день разделение фракций производят путем фильтрования воды через фильтры с разным размером пор. Свободную ДНКос получают осаждением этанолом или изопропанолом. Однако, этот способ анализа свободной ДНКос имеет значительные ограничения по объему воды (несколько десятков миллилитров).

В настоящей работе нами представлены результаты анализа скорости деградации ДНКос на примере байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) в условиях Уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (ПАК), близких к байкальским, а также исследований потенциала ДНКос, как количественного маркера биомассы рыб в естественной среде. В работе мы использовали классические методы фильтрования воды, а также новый подход выделения свободной ДНКос с помощью колонок на основе

DEAE групп. Все количественные данные были получены путем проведения аллель-специфичной количественной ПЦР фрагмента гена NADH4 размером 150 п.н.

Исследования скорости деградации ДНКос проводили на базе ПАК. Было установлено, что клеточная и субклеточная ДНКос разрушаются быстрее, чем свободная ДНКос. Таким образом, полученные данные согласуются с предположением о том, что свободная ДНКос является наиболее «старой».

Сборы проб ДНКос в открытом Байкале проводили с различных глубин озера параллельно с гидроакустической съемкой – ранней весной (март 2018 г.) в южной котловине озера со льда и поздней весной (май 2022 г.) в районе Селенгинского мелководья – на НИС «Г.Ю. Верещагин» по стандартной сетке гидроакустических галсов. Кроме этого, пробы воды с глубины 450 м были получены из системы водоснабжения ПАК (май 2024 г., пос. Листвянка).

Пробы воды, собранные в марте 2018 г. и мае 2022 г., фильтровали через стекловолоконные фильтры с размером пор 0,7 мк. Такой подход позволяет получить экстракти клеточной ДНК. Результаты анализа показали строгое соответствие между наблюдаемой картиной концентрации рыб на эхограмме и количеством ДНКос.

Метод выделения ДНК с использованием DEAE групп обычно используют для получения чистых экстрактов высокомолекулярной ДНК из различных тканей животных или культур клеток. Мы впервые адаптировали этот подход для выделения свободной ДНКос из больших объемов воды (1-6 л). Предварительно воду фильтровали одним из двух способов для удаления клеточной и субклеточной фракций: 1) через фильтр с размером пор 0,7 мк и 2) последовательно через фильтры 0,7 и 0,2 мк. Полученные экстракти анализировали с помощью количественной ПЦР. Разнообразие ДНКос исследовали с использованием плавления с высоким разрешением (HRM) и секвенирования по Сенгеру.

Фракции свободной ДНКос оказались наиболее разнообразными. Это было показано по криовым плавления HRM, а затем подтверждено секвенированием. Можно предположить, что свободная ДНКос в значительной степени не принадлежала локальным скоплениям омуля, регистрируемым эхолотом в момент отбора проб, а поступила ранее, например, из удаленных районов с водными течениями.

Результаты наших исследований согласуются с предположением о том, что свободная ДНКос является наиболее «старой» по сравнению с клеточной и субклеточной. Использование анализа этой фракции имеет ряд ограничений. Например, это длительный и трудоемкий процесс. Кроме этого, он непригоден при исследовании распределения видов в пределах их ареала или для выявления границ популяций. К очевидным преимуществам данного подхода следует отнести его высокую чувствительность. Более того, можно предположить, что с его помощью можно получать косвенную информацию о генетическом разнообразии и, что очень важно, о биомассе объекта исследований в более широких пространственно-временных масштабах (например, в пределах водоема в целом и его бассейна). Таким образом, результаты наших исследований показали высокую эффективность анализа ДНКос для исследований разнообразия и биомассы байкальского омуля.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

1. Timoshkin O. A. Biodiversity of Baikal fauna: state-of-the-art (preliminary analysis) // New scope on boreal ecosystems in East Siberia / Eds. Wada E., Timoshkin O. A., Fujita N., Tanida K. Novosibirsk : Scientific publishing center of the UIGGM SB RAS, 1997. P. 35–76.
2. Zhao B., van Bodegom P. M., Trimbos K. The particle size distribution of environmental DNA varies with species and degradation // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 797. Art. no. 149175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149175>.

Влияние гибридных фенольных производных на супероксиддисмутазную и каталазную активности спермиев африканского сома (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822)

Коляда М. Н., Половинкина М. А., Осипова В. П.*, Красильникова А. А.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия

**Effect of hybrid phenolic derivatives on superoxide dismutase and catalase activities of African
catfish sperm (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822)**

Kolyada M. N., Polovinkina M. A., Osipova V. P.*, Krasilnikova A. A.

Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

✉ osipova_vp@mail.ru

Ключевые слова: спермии африканского сома, ионол, тролокс, супероксидный анион-радикал,
пероксид водорода, супероксиддисмутаза, каталаза

Перспективным объектом аквакультурной продукции при выращивании на теплых водах является африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) [1]. Данный теплолюбивый объект не требователен к содержанию кислорода в воде, быстро набирает товарную массу, устойчив к заболеваниям. Однако в современных условиях интенсификации индустриального разведения увеличивается количество факторов, связанных с развитием окислительного стресса в репродуктивных клетках рыб при гиперпродукции активных форм кислорода, в том числе супероксидного анион-радикала (O_2^-) и пероксида водорода (H_2O_2),

Известно, что в физиологических количествах O_2^- и H_2O_2 играют важную роль в регуляции биологических процессов в сперме, при высоких концентрациях оказывают токсическое действие. Первой линией защиты спермиев от повреждения активными формами кислорода являются антиоксидантные ферменты супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза (КАТ). СОД катализирует реакцию диспропорционирования O_2^- до молекулярного кислорода и H_2O_2 . КАТ ускоряет разложение H_2O_2 до H_2O и O_2 . В спермиях эндогенная система антиоксидантной защиты лимитирована [2], поэтому важной стратегией защиты репродуктивных клеток от повреждающего действия активных форм кислорода является использование антиоксидантов.

В работе изучено влияние липид- и водорастворимого аналогов витамина Е – ионола и тролокса в концентрации 0,1 mM на супероксиддисмутазную и каталазную активности (СОД–, КАТ–активности) спермы африканского сома. СОД–активность спермиев определена в O_2^- –генерирующей реакции окисления адреналина в щелочной среде [3]. КАТ–активность репродуктивных клеток самцов сома измерена по скорости разложения H_2O_2 каталазой спектрофотометрическим методом ($\lambda=240$ нм) [4] в течение 10 минут.

Установлено стимулирование СОД–активности спермы сома в присутствии ионола. При добавлении данного соединения O_2^- –utiлизирующая активность спермиев повышается на 11% по сравнению с контролем (без добавки антиоксиданта). Известно, что ионол является соантиоксидантом, способным регенерировать витамин Е. В присутствии тролокса наблюдается не только подавление СОД–активности спермы сома, но и промотирование образования O_2^- в используемой модельной системе.

Оценка влияния ионола и тролокса на утилизацию спермой африканского сома наиболее стабильной нерадикальной активной формы кислорода, H_2O_2 , показывает значительное повышение каталазной активности. В присутствии ионола значение константы скорости утилизации H_2O_2 составляет $40,54 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, в присутствии тролокса – $28,16 \text{ с}^{-1}$, при этом в контроле (без добавки антиоксидантов) всего $7,92 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, т.е. при добавлении ионола H_2O_2 –utiлизирующая активность спермиев сома

повышается в 5 раз, при добавлении тролокса – в 3,6 раз. Ранее нами была обнаружена $O_2^{-\bullet}$, H_2O_2 – акцепторная активности ионола в той же модельной системе, которая использована в данной работе [5]. Поэтому повышение СОД–, КАТ–активностей спермы сома в присутствии липидрастворимого аналога витамина Е может быть связано и с антирадикальной активностью ионола в отношении $O_2^{-\bullet}$ и H_2O_2 .

Таким образом, согласно полученным в работе данным большую эффективность в стимулировании активности супероксиддисмутазы и каталазы спермы африканского сома показывает липидрастворимый аналог витамина Е – ионол. Данный антиоксидант можно рассматривать в качестве потенциального протектора спермиев африканского сома, стимулирующего ферментативное звено антиоксидантной защиты репродуктивных клеток.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-16-00095 (<https://rscf.ru/project/22-16-00095/>).

Список литературы

1. Калайда М. Л., Хамитова М. Ф., Калайда А. А., Борисова С. Д., Бабикова В. В. Элементы циркулярных технологий в аквакультуре // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 76-89. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-2-76-89>.
2. Poli G., Leonarduzzi G., Biasi F. Oxidative stress and cell signaling // Current Medicinal Chemistry. 2004. Vol. 11, iss. 9. P. 1163-1182. <https://doi.org/10.2174/0929867043365323>.
3. Сирота Т. В. Новый подход в исследовании процесса аутоокисления адреналина и использование его для измерения активности супероксиддисмутазы // Вопросы медицинской химии. 1999. Т. 45. С. 263-272.
4. Marklund S., Nordensson I., Back O. Normal CuZn superoxide dismutase, Mn superoxide dismutase, catalase and glutathione ase in Werner's syndrome // The Journals of Gerontology. 1981. Vol. 36. P. 405-409. <https://doi.org/10.1093/geronj/36.4.405>.
5. Osipova V. P., Kolyada M. N., Polovinkina M. A., Kolumbet A. D., Grigoriev V. A., Ponomareva E. N., Pimenov Yu. T., Kudryavtsev K. V., Chiral thioacetyl derivatives of proline as novel potential agents for beluga reproduction // Aquaculture and Fisheries. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.010>. In press.

Возможности использования показателей функционального разнообразия макробентоса для мониторинга состояния водных экосистем ООПТ

Королесова Д. Д.

ГАУ ХО «Черноморский биосферный заповедник», г. Голая Пристань, Херсонская область, Россия

Using of the macrobenthos functional diversity indices for monitoring of the aquatic ecosystems state on the protected areas

Koroliesova D. D.

Black Sea Biosphere Reserve, Golaya Pristan, Kherson region, Russia

✉ susya_ch@mail.ru

Ключевые слова: система мониторинга, природно-аквальные комплексы, макрозообентос, функциональное разнообразие, структурно-функциональное разнообразие, Тендровский залив

Одной из основных задач природных и биосферных заповедников Российской Федерации согласно ст. 7 ФЗ №33 является организация и проведение научных исследований, а также осуществление экологического мониторинга. Для осуществления комплексного стационарного контроля состояния природных комплексов необходима разработанная система мониторинга, отвечающая требованиям презентативности, информативности и осуществимости.

Поэтому разработка системы гидробиологического мониторинга, включающая выбор измеряемых параметров и рассчитываемых показателей, является важной актуальной задачей. Используемые показатели должны быть информативными и давать возможность оценивать изменения природных комплексов, в том числе, в рамках концепции экологических услуг. Таким требованиям отвечают показатели структурно-функциональной организации сообществ.

В последние годы стремительно растет интерес к поиску информативных структурно-функциональных показателей состояния зообентоса, которые бы учитывали таксономическую, экологическую, пространственную структуры, показатели многообразия и скорости обращения энергии (биомассы) и позволяли оценивать функциональные характеристики зоокомпонента. Вариантом таких показателей являются индексы функционального разнообразия. Хорошо разработанные и широко внедряемые в гидробиологических исследованиях последних лет подходы, основанные на анализе биологических признаков (Biological Traits Analisys — BTA). Наиболее полный и информативный обзор методов и примеров использования BTA приведен в [1]. Использование подходов, основанных на разнообразии признаков, позволяет преодолеть основные ограничения, которые накладывает анализ таксономического разнообразия, разнообразия экологических групп.

Цель данной работы – анализ многолетних изменений структурно-функциональной организации макрозообентоса на основании индексов функционального разнообразия, как показателя динамики состояния природно-аквальных комплексов, выявление информативных параметров для стационарного гидробиологического мониторинга на акваториях ООПТ.

Материалом для работы послужили многолетние ряды данных (период 1940 – 2021 гг.) по численности и биомассе макрозообентоса восточной части Тендровского залива (Чёрное море, Херсонская область, РФ). Для статистической обработки данных использовали пакет fundiversity [3] для расчёта индексов функционального разнообразия в среде R.

Для анализа временной динамики структурно-функциональной организации сообществ донных беспозвоночных, принимаемой нами в качестве индикатора состояния природно-аквальных комплексов, выбраны показатели De и FRic. Первый из них не является собственно мерой функционального разнообразия, а представляет собой разность информационных выравненностей видов в сообществах по количеству и индивидуальной массе особей [4]. Второй является мерой дифференциации

среды (распределения экологических ниш), основанной на анализе распределения значений функциональных признаков [2]. Оценка функционального разнообразия основана на анализе данных по 168 видам бентонтов, 3 функциональным признакам (индивидуальный вес особи, линейные размеры, способ питания).

Весь массив доступных данных мы условно делим на три временных периода: 1) 1940 – 1970 гг., данные за этот период нами принимаются за фоновые; 2) 1987 – 1994 гг. период коренных изменений в структурно-функциональной организации природно-аквальных комплексов Северо-западной части Чёрного моря и Тендровского залива в частности в следствии антропогенной трансформации [5]; 3) 2010 – 2021 гг. – этап современных исследований, в который состояние экосистемы залива характеризуется частичным восстановлением.

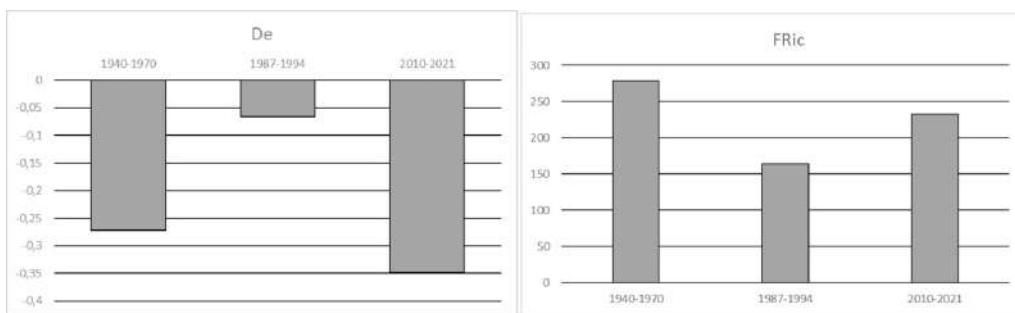


Рис. 1: Гистограмма значений исследуемых индексов в разные периоды

Результаты анализа многолетних изменений исследуемых индексов (рис. 1) показали, что современный период характеризуется параметрами структурно-функциональной организации донных сообществ близкими к фоновым значениям, т.е. к периоду до конца 80-х гг. прошлого столетия. Значения индексов De и FRic в период коренных изменений значительно отличаются от фоновых и современных. Таким образом показано, что индексы, основанные на оценке вклада K- и г-стратегов в формирование сообществ, а также на распределении функциональных признаков, являются информативными и могут быть использованы для долгосрочного стационарного мониторинга состояния водных экосистем.

Работа выполнена в рамках научной темы «Мониторинг состояния природных комплексов Черноморского биосферного заповедника (“Летопись природы”)».

Список литературы

1. Beauchard O., Veríssimo H., Queirós A. M., Herman, P. M. J. The use of multiple biological traits in marine community ecology and its potential in ecological indicator development // Ecological Indicators. 2017. 76. C. 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.011>
2. Cornwell W. K., Schwilk D. W., Ackerly D. D. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume // Ecology. 2006. 87(6). 1465-1471. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1465:ATTFHF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1465:ATTFHF]2.0.CO;2)
3. Gruson H., Grenié M. (2022). fundiversity: Easy Computation of Functional Diversity Indices (v1.1.1-release-2) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4761754>
4. Денисенко С. Г., Барабашова М.А., Скворцов В.В. и др. Результаты оценки экологического благополучия сообществ зообентоса по индексу “разности выравненностей”(D_E) // Биология внутренних вод. 2013. № 1. С. 46. <https://doi.org/10.7868/S0320965212040079>. EDN PRFIYZ.
5. Черняков Д.А. Природно-аквальные ландшафтные комплексы Тендровского и Ягорлыцкого заливов и мониторинг их состояния в Черноморском биосферном заповеднике // Дис. канд. географ. наук. Харьков. 1995. 182 с.

Гидроиды *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa) из акватории Баренцева моря

Пантелейева Н. Н.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

Hydroids *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa) from the water area of the Barents Sea

Panteleeva N. N.

Murmansk Marine Biological Institute of RAS, Murmansk, Russia

✉ panteleeva@mmbi.info

Ключевые слова: колонии гидроидов, споросаки, Кольский залив, эстуарий, сезонное развитие

Гидроиды *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa), распространенные в опресненных водах акватории российских южных морей (Каспийского, Азовского и Черного) а также Балтийского моря, впервые были обнаружены в акватории северного Баренцева моря в 1990 г. сотрудниками ММБИ РАН [1].

В ходе исследований биоразнообразия Кольского залива в литоральной ванне эстуария реки Тулома, впадающей в Кольский залив, 22 октября 1990 г. была найдена живая колония *C. caspia*, вида, характеризующегося как тропический – умеренный [2]. Колония располагалась на камне. От оплевающей камень стелющийся нитевидной слабо разветвленной гидроризы отходили неразветвленные побеги, высотой до 8 мм, покрыты гладким перисарком, кольчатым в основании и у полипов. Полипы веретеновидные, с коническим гипостомом и нитевидными щупальцами, расположенными на теле полипа без особого порядка.

По мнению Лелу [3], неразветвленная форма колоний характерна для *C. caspia* из крайне опресненных вод, что послужило поводом к выделению пресноводных форм в отдельный вид *Cordylophora lacustris* Allman, 1844, который в дальнейшем был сведен в синоним солоноватоводного *C. caspia*, описанного Палласом [4] из Каспийского моря.

По данным исследований 1997-1998 годов, соленость воды в эстуарии реки Тулома, в районе обнаружения *C. caspia*, изменяется в пределах от 0 до 22,5 % в зависимости от времени года и фазы прилива. В последующие годы (2004, 2009, 2012, 2020-2022) колонии *C. caspia*, в том числе и с разветвленными побегами, были обнаружены и в других местах эстуария реки Тулома а также кутовой части Кольского залива. Полученные данные позволяют расширить представление о вариабельности морфологических параметров, условиях существования и сезонном цикле развития колоний *C. caspia* в районе исследований.

Выяснилось, что репродуктивный период *C. caspia* здесь длится с июля по октябрь включительно. В это время встречаются колонии со споросаками – репродуктивными органами – на разных стадиях развития. В зрелых женских споросаках хорошо различимы ооциты зеленого цвета, обрамленные характерно ветвящимся спадиком. В зимний период (январь – февраль) при положительной температуре воды еще можно встретить на литорали колонии с живыми полипами, но отрицательная температура воды и обледенение литорали действует на них угнетающе. Поэтому весной (с марта вплоть до начала июня) найти у уреза воды колонии кордилофоры практически невозможно. Восстановление их на литорали наблюдается вслед за резким увеличением температуры: в июне – начале июля. А неблагоприятный период колонии *C. caspia* благополучно переживают на глубине 4-5 м, где, как установлено в результате водолазных исследований в октябре 2020 года, биомасса колоний *C. caspia* тщечно может достигать 100 г/м², а высота побегов – 27 мм. Причем, в отличие от литоральных колоний, побеги разветвлены, встречаются и ветви 2-го порядка. Однако на больших глубинах

(16–19 м) кордилофора до сих пор не встречалась. Вероятно, существенную роль в развитии и распространении колоний этого вида играет сочетание определенных параметров солености и температуры воды, что было детально исследовано Кинном [5].

Следует также отметить находку *C. caspia* в акватории Белого моря. Так, 20 сентября 2004 г. в районе Архангельска, в эстуарии реки Северная Двина, Никольский рукав ($64^{\circ} 03'N$ $40^{\circ} 05'E$), на поверхности воды сотрудником ММБИ Фроловым А.А. была обнаружена деревянная щепка, обросшая колонией *C. caspia* с разветвленными побегами высотой до 35 мм, с живыми полипами, но без споросаков.

Вряд ли можно утверждать, что этот тепловодный вид появился в акватории арктических морей (Баренцева и Белого) недавно. Возможно, слабая изученность эстуариев рек не позволила найти его раньше. Каким путем колонии *C. caspia* проникли в воды северных морей (по рекам и каналам, на днищах судов, с балластными водами) – вопрос открытый и требует дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ММБИ РАН по теме «Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях» (№ гос. регистрации 122020900044-2).

Список литературы

1. Пантелеева Н. Н., Фролов А. А. Новые для фауны Баренцева моря гидроиды *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) и *Hartlaubella gelatinosa* (Pallas, 1766) // Виды-вселенцы в европейских морях России : тез. докл. научного семинара, г. Мурманск, 27–28 января 2000 г. Мурманск: Изд-во ММБИ КНЦ РАН, 2000. С. 73–74.
2. Анцулевич А. Е. Hydrozoa (гидроиды и гидромедузы) морей России. СПб : Изд-во СПбГУ, 2015. 860 с.
3. Leloup E. Coelenteres // Faune de Belgique. Inst. Roy.Sci. Natur. Bruxelles, 1952. 283 p.
4. Pallas P. S. Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs. Theil 1. Physicalische Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs im 1768- und 1769 sten Jahren. St. Petersburg : Kayser. Akad. Wissen., 1771. 522 p.
5. Kinne O. Über den Einflus des Salzgehaltes und der Temperatur auf Wachstum, Form und Vermehrung beidem Hydriopollen *Cordylophora caspia* (Pallas), Thecata, Clavidae // Zool. Jahrbuch. 1956. Bd. 66, Helf 4. S. 565–638.

Современный вывод о необоснованности понятия «безжизненность» перманентно анаэробной и сероводородной зоны Черного моря

Сергеева Н. Г.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

A modern conclusion on the invalidity of the concept “lifelessness” of the permanent anaerobic and hydrogen sulfide zone of the Black Sea

Sergeeva N. G.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ nserg05@mail.ru

Ключевые слова: фауна эукариот, Protozoa, Metazoa, перманентно анаэробная и сероводородная зона, Черное море

Черное море - самый крупный в мире сероводородный бассейн. С момента открытия (1890 г.) сероводородной зоны и до настоящего времени безжизненность его глубоководной зоны принимается мировой наукой как истина, не требующая доказательств. Анаэробная зона рассматривается только как царство микробов.

Ниже кислородной зоны воды Черного моря содержат свободный сероводород, концентрация которого на глубинах 1500-2000 м достигает 370 мкМ [1]. Согласно данным [2] появление сероводорода на горизонте около 2000 м соответствует примерно периоду 5500 лет назад.

Сероводородная среда является высоко токсичной для животных, что не позволяет допущения возможности обитания, кроме специфических микроорганизмов, каких-либо эукариотов в глубоководной зоне Черного моря.

Принятие более полутора веков концепции «безжизненности» донных осадков и водных масс глубже 150-200 м - причина того, что огромные водные массы и площадь дна в пределах анаэробной области моря остаются за пределами внимания гидробиологов. До сих пор, следуя постулату вертикального распределения жизни в Черном море до тех глубин (150-200 м), где вода еще содержит растворенный кислород в минимальных концентрациях («зона сосуществования» или «субоксидная» зона), планируются гидробиологические исследования.

Глубоководные местообитания в Черном море – одна из самых неизведанных экстремальных сред данного уникального водоема, обладающая огромным потенциалом, и представляющая интерес для науки в плане решения фундаментальных проблем биоразнообразия, экологии и эндемизма морских эукариотов.

Скудная информация об уникальной жизни в глубоководной среде Черного моря, более того, ее неприятие, сдерживает гидробиологические исследования вдоль его континентального склона и батиали, поэтому жизнь эукариотов в сульфидных аноксичных условиях все еще остается непознанной, потому непризнанной.

Задача автора – еще раз поделиться собственными знаниями по данной проблеме с целью привлечения внимания ученых для проведения более обширных комплексных исследований глубоководной фауны с использованием новых методов отбора нативных материалов и их биологического анализа. В этом сообщении мы акцентируем внимание только на донной фауне, сведения о глубоководном планктоне будут представлены отдельно.

Многолетние (1985-2024 гг.) исследования автора донных осадков с глубин 300 -2250 м, проведенные более чем на 50 станциях различных регионов Черного моря, принесли неординарные данные о батиметрическом распределении эукариотной фауны в этом уникальном водоеме [3 ; 4 ; 7].

Необходимо отметить, что отбор глубоководных донных осадков выполняли различными пробоотборниками: дночерпательями разной конструкции, мультикорерами, пушкорерами, геологическими трубками, обеспечивающими герметичность и сохранность природной стратификации грунтов. Пробы донных осадков фиксировали этанолом или формалином.

В результате микроскопического анализа донных осадков в составе глубоководной биоты Черного моря выявлены организмы-эукариоты, относящиеся к Fungi, Protozoa и Metazoa (Ciliophora, Foraminifera, Nematoda, Kinorhyncha, Haplospioidea, Amphipoda, Acarina, Arthropoda spp). Колонии грибов (предварительно из отдела Ascomycota) широко распределены в батиали, более того, они населяют подповерхностные горизонты на уровне 7–9 см. Бессспорно, эти грибы — облигатные экстремофилы, т. к. они обнаружены в виде колоний грибных гифов с конидиеносцами и конидиями на них.

Естественно, возникает вопрос: а была ли эта фауна живой в момент ее изъятия пробоотборниками *in situ*? На наш взгляд, встречаемость одних и тех же организмов в полной сохранности их морфо-анатомических признаков в большом диапазоне глубин в различных регионах моря может свидетельствовать о реальном обитании в анаэробной зоне более высокоорганизованной жизни, чем микробиальная.

Полученные результаты, кроме того, свидетельствуют о том, что глубоководная фауна существенно отличается от фауны верхних горизонтов моря. Из этого следует, что глубоководное население включает гидробионтов, имеющих различное происхождение: 1. адаптированные обычные виды черноморского шельфа и 2. эндемики глубинной сероводородной области.

Считать эту фауну компонентом «дождя трупов», на наш взгляд, неверно. Из многих публикаций следует, что «дождь трупов» — это глубоко трансформированный детрит из фрагментов отмерших планктонных животных. Наш многолетний анализ глубоководных осадков показал очень редкое присутствие в них остатков, позволяющих идентифицировать планктонный организм, и никогда не встречались целостные особи.

Поэтому для объективного понимания данной проблемы, полученные нами повторяемые результаты встречаемости представителей протозоя и метазоа в фиксированных осадках привели к цели — найти реальные доказательства возможности жизнедеятельности эукариотов в экстремальных условиях глубоководья Черного моря.

В рамках ЕС проекта “HYPOX” во время экспедиции MSM 15/1 в апреле 2010 на борту НИС “Maria S. Merian” (Германия) выполнены прямые микроскопические наблюдения за живой фауной, обитающей в Черном море в районе Босфора на глубине 296 м, и получен видеоряд активных движений свободноживущих инфузорий, свободноживущей нематоды и неизвестного седентарного организма. На данной станции отмечены аноксичные и сероводородные условия [8].

Следующий неопровергнутый аргумент обитания эукариотной фауны в перманентно аноксичной и сероводородной среде является регистрация живого активно двигающегося представителя кладоцер, обнаруженного на глубинах 1900 м и 2140 м. Среди них были 5 экз. взрослые и две ювенильные особи. Данный представитель ракообразных, новый вид и новый род Brachiopoda, Ctenopoda, для науки [6]. Этот представитель описан как вид *Pseudopenilia bathyalis* Sergeeva 2003 нового рода. В дальнейшем этот вид и род стали типичными для формирования нового семейства Pseudopenilidae Korovchinsky & Sergeeva 2007 [5].

Приведенная информация свидетельствует о неправомерности использования в мировой науке концепции «безжизненности зоны аноксии и растворенного сероводорода в Черном море». Полученные новые данные о разнообразной жизни на больших глубинах, показывают, что современные знания о процессах, происходящих в глубинных осадках Черного моря, далеки от истины. В дальнейшем может оказаться, что глубоководное население играет заметную роль в обеспечении стабильности экосистемы моря.

На поверхность донных осадков анаэробной зоны из верхней толщи воды поступает огромное количество органического вещества. В его трансформацию включаются, вероятно, не только бактерии, но и обнаруженная глубоководная биота. Кроме того, колоссальная микробная биомасса, продукцируемая в осадках, должна иметь своего потребителя на более высоком трофическом уровне. Можно предполагать, что этим потребителем является та же глубоководная фауна.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Брюханов А. Л., Меркель А. Ю., Корнеева В. А., Косогова Н. М., Пименов Н. В. Метаногенные археи в поверхностных водах глубоководной зоны Черного моря // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Метан в морских экосистемах», посвящённой 25-летию обнаружения струйных метановых газовыделений в Чёрном море (Севастополь, 13–15 октября 2014 г.). Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»; Издательство Южного федерального университета, 2014. С. 16–20.
2. Гулин С.Б., Егоров В.Н., Пименов Н.В., Гальченко В.Ф., Артемов Ю.Г., Евтушенко Д.Б. Генезис метаногенных построек в сероводородной зоне Черного моря // // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Метан в морских экосистемах», посвящённой 25-летию обнаружения струйных метановых газовыделений в Чёрном море (Севастополь, 13–15 октября 2014 г.). Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»; Издательство Южного федерального университета, 2014. С. 54–55.
3. Сергеева Н. Г. Неизвестный представитель Arthropoda из анаэробной зоны Черного моря. // Вестник зоологии. 2005. Т. 39. № 4. С. 67–71.
4. Сергеева Н. Г., Заика В. Е. Ciliophora в сероводородной зоне Чёрного моря // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7, № 1. С. 80–85.
5. Korovchinsky N. M., Sergeeva N. G., A new family of the order Ctenopoda (Crustacea: Cladocera) from the depths of the Black Sea // Zootaxa. 2008. Vol. 1795. P. 57–66. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1795.1.4>.
6. Сергеева Н. Г. *Pseudopenilia bathyalis* gen. n., sp. n. (Crustacea, Branchiopoda, Ctenopoda) — обитатель сероводородной зоны Черного моря // Вестник зоологии. 2004. Т.38, № 3. С. 37–42.
7. Sergeeva N. G., Kopytina N. I. The First Marine Filamentous Fungi Discovered in the Bottom Sediments of the Oxic/Anoxic Interface and in the Bathyal Zone of the Black Sea // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2014. Vol. 14, iss. 2. P. 497–505. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_2_21
8. Sergeeva N. G., Mazlumyan S. A., Lichtschlag A., Holtappels M. Benthic Protozoa and Metazoa Living under Anoxic and Sulfide Conditions in the Black Sea: Direct Observations of Actively Moving Ciliophora and Nematoda //International Journal of Marine Science. 2014, Vol. 4, no. 49. P. 1-11.

Валидация спутниковых продуктов Sentinel-3/OLCI L2 в Охотском море и в северо-западной части Тихого океана вдоль Камчатского полуострова

Скороход Е. Ю.*, Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Ефимова Т. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Validation of Sentinel-3/OLCI L2 products in the Sea of Okhotsk and Pacific Ocean near the Kamchatka Peninsula

Skorokhod E. Yu.*, Churilova T. Ya., Moiseeva N. A., Efimova T. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ elenaskorokhod@ibss-ras.ru

Ключевые слова: хлорофилл-а, поглощение света, пигменты фитопланктона, окрашенное неживое
взвешенное вещество, дистанционное зондирование, OLCI, Камчатка, Охотское море

Вредоносное цветение водорослей вблизи полуострова Камчатка активно изучается, так как является слабо предсказуемым явлением и приводит к обширным негативным последствиям [1–3]. Для акваторий, подверженных вредоносному цветению водорослей, необходим комплексный экологический мониторинг, позволяющий исследовать процессы, предшествующие вредоносному цветению водорослей и осуществлять быстрое реагирование.

Актуальным инструментом для оперативного мониторинга является дистанционное Зондирование Земли из космоса. Современные инструменты цвета океана позволяют оценивать концентрацию хлорофилла-а и ряд биооптических показателей в поверхностном слое океана. Для использования спутниковых данных при мониторинге прибрежных вод Камчатки необходимо убедиться, что спутниковые данные отражают действительное состояние акватории. С этой целью была выполнена валидация спутниковых продуктов инструмента цвета океана OLCI Sentinel-3A/3B на основе *in situ* данных вдоль юго-западного и юго-восточного побережья Камчатского полуострова и на подспутниковом разрезе из Охотского в Японское море через пролив Лаперуз в августе–сентябре 2023 г.

В результате проведенной валидации была выявлена систематическая недооценка показателя поглощения света пигментами фитопланктона на длине волны 443 нм ($Bias = 0,58$) и показателя диффузного ослабления света на длине волны 490 нм ($Bias = 0,45$) по спутниковым данным. Значения показателя поглощения света окрашенным неживым веществом на длине волны 443 нм по спутниковым данным обладали менее выраженным смещением ($Bias = 0,78$), но имели высокую вариабельность. Общее поглощение света пигментами фитопланктона и окрашенным неживым веществом на длине волны 443 нм по спутниковым данным тоже оказалось недооценено ($Bias = 0,61$), но была отмечена высокая вариабельность спутниковых значений (от 0,05 до $2,6 \text{ m}^{-1}$) в узком диапазоне *in situ* данных (от 0,2 до $0,4 \text{ m}^{-1}$). Для концентрации хлорофилла-а рассчитанной по стандартному алгоритму по спутниковым данным OLCI Sentinel-3A/3B отмечено хорошее соответствие спутниковых данных натурным, за исключением тех пар, для которых показатель общего поглощения света попадал в вышеуказанный диапазон высокой вариабельности.

Причины высокой вариабельности значений показателя общего поглощения света пигментами фитопланктона и окрашенным неживым веществом на длине волны 443 нм по спутниковым данным в узком диапазоне значений *in situ* устанавливаются и будут представлены в дальнейших публикациях. Для возможности проведения комплексного мониторинга прибрежных вод Камчатского полуострова необходимо провести аналогичные исследования в зимний и весенний периоды.

Отбор и первичная обработка проб проводились в рамках государственного задания ФИЦ ИнБиОМ по теме «Исследование региональных особенностей биооптических показателей водоемов как основы дешифрования данных дистанционного зондирования для оценки мульти-масштабной изменчивости первично производственных характеристик пелагических экосистем» (№ гос. регистрации №124030100106-2). Валидация спутниковых данных была профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки» (№ FZNS-2024-0037).

Список литературы

1. Орлова Т. Ю. Красные приливы и токсические микроводоросли в дальневосточных морях России // Вестник ДВО РАН. 2005. № 1. С. 27-31.
2. Куренков И. И. Красный прилив в Авачинской бухте // Рыболовное хозяйство. 1974. № 4. С. 20-21.
3. Hallegraeff G. M. Harmful algal blooms: a global overview // Manual on Harmful Marine Microalgae. 2nd ed. / Ed. Hallegraeff G. M. et al. Paris, France : UNESCO, 2004. P. 25-49.

Пространственная структура и видовое разнообразие макро- и псевдомейобентоса в лагунных экосистемах кутовой области Кислой губы (Кандалакшский залив, Белое море)

Столяров А. П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Spatial structure and species diversity of macro- and pseudomeiobenthos in lagoon ecosystems of the
region of the Kislay lip (Kandalaksha Bay, White Sea)**

Stolyarov A. P.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ macrobenthos@mail.ru

Ключевые слова: лагунные экосистемы, макро- и псевдомейобентос, видовое разнообразие,
пространственная структура, Белое море

Прибрежные лагунные экосистемы благодаря своему расположению (на границе моря и суши), как правило, являются мелководными, транзитными и высокопродуктивными экосистемами с ограниченным водообменом с морскими водами [4]. Прибрежные лагуны в силу своего переходного характера часто считаются хрупкими и неустойчивыми системами [3]. Они сильно зависят от климатических изменений, пресного стока, интенсивности штормовых явлений и приливов, скорости осадконакопления, органического и химического загрязнения [1–6].

Цель настоящей работы состояла в изучении видовой и пространственной структуры макробентоса и их личинок (псевдомейобентос) в двух лагунных экосистемах, различающихся открытостью к морскому бассейну. Исследование проводили летом 2016–2018 гг. в районе губы Кислой недалеко от ББС МГУ. Лагуна, расположенная рядом с Ершовским озером характеризовалась превалированием песчанисто-илистых и илисто-песчанистых осадков, а лагуна, расположенная на выходе из кутовой области губы Кислой — в основном мелководными илистыми песками. Соленость придонной воды в лагунах в период взятия проб (июль — сентябрь) была относительно высокой (22–25 %), за исключением района кутовой лагуны, примыкающей к Ершовскому озеру, где она снижалась до 15–19 %.

Всего в исследованных лагунных экосистемах обнаружено 39 видов макробентоса, 13 видов псевдомейобентосных организмов и 10 видов морских трав и водорослей. Наиболее высокого видового разнообразия достигли полихеты (15 видов), моллюски (6 видов брюхоногих и 4 вида двустворчатых моллюсков) и ракообразные (4 вида), меньше было встречено иглокожих (1 вид) и асцидий (1 вид). Заметную роль в сообществе макрозообентоса играли солоноватоводные олигохеты (2 вида) и хирономиды (3 вида). В лагуне, расположенной в самом куту губы Кислой, имеющей меньшую связь с морем и связанной с Ершовским озером узкой песчаной пересыпью, больше было встречено солоноватоводных и морских эвригалинных видов и меньше морских менее эвригалинных видов зообентоса. Также следует указать, что в кутовой лагуне общие показатели плотности и биомассы макробентоса на литорали (в верхней, средней и нижней литорали) были выше, чем в открытой лагуне, а в сублиторали, наоборот, — ниже, что связано с преобладанием на литорали солоноватоводных и морских эвригалинных видов макробентоса (больше в кутовой лагуне), а в сублиторали — морских менее эвригалинных беспозвоночных животных (больше в более открытой к морю лагуне). Изменения общих показателей структуры сообщества макробентоса в обеих лагунах происходили в основном в вертикальном направлении — относительно приливного уровня. Видовое разнообразие, общая плотность и общая биомасса макробентоса преимущественно увеличивались от верхней литорали к средней и нижней и немного снижались к сублиторали.

Наиболее существенный вклад в общую плотность сообщества псевдомейобентоса вносят олигохеты *Tubificoides benedii*, составляя в среднем 60-85 % от общей плотности, а в общую биомассу – *Macoma balthica*, *Tubificoides benedii*, *Peringia ulvae*, *Mya arenaria*, *Terebellides stroemi* (в среднем 80-95 %). В ходе исследования было выявлено, что наиболее высокая плотность и биомасса сообщества псевдомейобентоса в обеих лагунах наблюдалась в средней и нижней литорали, более низкими показателями характеризуется верхняя литораль, т.е. большинство личиночных стадий развития беспозвоночных животных были приближены к популяциям взрослых организмов. Также стоит отметить, что биомасса и плотность личинок беспозвоночных животных были выше в лагуне, расположенной в кутовой области возле Ершовского озера (благодаря в основном большему развитию личинок *Tubificoides benedii*, *Macoma balthica*, *Peringia ulvae*, *Mytilus edulis*), что объясняется большим заивлением, меньшим воздействием прибоя и течений в кутовой лагуне, меньшим развитием хищных полихет и, как следствие, более благоприятными условиями для развития личинок беспозвоночных животных в этом районе.

При анализе сходства структуры сообщества макробентоса исследуемых лагун обнаружились отличия сообществ макробентоса разных горизонтов литорали (верхней, средней, нижней литорали) и сублиторали. Наиболее отличались сообщества верхней литорали с очень низким видовым разнообразием и плотностью поселений беспозвоночных животных (значительное осушение, опреснение, заиление). Более высоким сходством характеризовались сообщества нижней и средней литорали, которые были более сходны между собой, чем с сообществом макробентоса верхней литорали или сублиторали. Сообщество псевдомейобентоса было более интегрированным по сравнению с макробентосом, но и здесь можно выделить в обеих лагунах сообщество псевдомейобентоса нижней и средней литорали с высокой биомассой псевдомейобентоса (в основном личинки *Macoma balthica*, *Peringia ulvae*, *Mytilus edulis*, *Terebellides stroemi*, *Scoloplos armiger*, *Tubificoides benedii*, *Mya arenaria*, *Alitta virens*, *Fabricia sabella*, *Pygospio elegans*, *Jaera albifrons*) и сообщество псевдомейобентоса верхней литорали с более низкой биомассой и низким видовым разнообразием популяций личинок беспозвоночных животных (*Tubificoides benedii*, *Peringia ulvae*, *Macoma balthica*, *Littorina saxatilis*, *Chironomus salinarius*). В продольном направлении от кутовых районов лагун к морю изменения структурных характеристик сообществ макро- и псевдомейобентоса были менее выражены. Вероятно, это связано с небольшой протяженностью и малым градиентом солености воды в пределах акватории исследуемых лагунных экосистем, особенно по сравнению с типичными эстuarными экосистемами (например, в эстуарии р. Черной соленость варьировала от 0 до 22-24 промилле), меньшим влиянием этого фактора на распределение гидробионтов и, как следствие, меньшими изменениями видовой и пространственной структуры сообщества вдоль продольной оси данных лагун [1 ; 2].

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Изучение закономерностей структурно-функциональной организации биологических сообществ» (номер ЦИТИС 121032300124-1).

Список литературы

1. Лабай В. С., Корнеев Е. С., Абрамова Е. В., Ушаков А. А., Ахмадеева Е. С. Макробентос эстуария типичной «лососевой» реки острова Сахалин (на примере р. Мануй) // Известия ТИНРО. 2022. Т. 202, № 3. С. 640-660. [10.26428/1606-9919-2022-202-640-660](https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-640-660)
2. Столяров А. П. Видовое разнообразие и трофическая структура сообществ макробентоса в лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море) // Зоологический журнал. 2020. Т. 99. № 1. С. 3–12. <https://doi.org/10.31857/S0044513419080142>
3. Boutoumit S., Bououarour O., El Kamcha, R., Pouzet, P., Zourarah B., Benhoussa A., Maanan, M., Bazairi H. Spatial Patterns of Macrozoobenthos Assemblages in a Sentinel Coastal Lagoon: Biodiversity and Environmental Drivers // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9. Art. no. 461 (17 p.). <https://doi.org/10.3390/jmse9050461>

4. Fouad M., Bessi H., Benhra A., Bouhallaoui M. The Benthic Community used as Bioindicator for Assessment of the Quality of a Moroccan Coastal Ecosystem: Moulay Bousselham Lagoon // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2019. Vol. 8, no 3. P. 127-133. <https://doi.org/10.17577/IJERTV8IS030068>
5. Labay V. S., Kurilova N. V., Shpilko T. S. Seasonal variability of macrozoobenthos in a lagoon having a periodic connection with the sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin) // Biology Bulletin. 2016. Vol. 43, no. 9. P. 988-1002. <https://doi.org/10.1134/S1062359016090144>
6. Stolyarov A. P. Characteristics of the Specific, Spatial, and Trophic Structure of Macrofauna in the Lagoon Ecosystem of Nikol'skaya Bay (Kandalaksha Gulf, White Sea) // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2023. V. 78, no. 1. P. 31-38. <https://doi.org/10.3103/S0096392523010054>

Пищевая специализация рогатковых рыб рода *Gymnophanthis* (Cottidae) в дальневосточных и арктических водах России

Токранов А. М.

Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия

**Food specialization of sculpins of genus *Gymnophanthis* (Cottidae) in Far Eastern
and Arctic waters of Russia**

Tokranov A. M.

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

✉ tok_50@mail.ru

Ключевые слова: рогатковые рыбы, шлемоносцы, дальневосточные и арктические воды России, пищевая специализация, бентофаги, нектобентофаг, факультативный хищник

Рогатковые рыбы рода *Gymnophanthis* Swainson, 1839 или шлемоносцы – широко распространенные в северной части Тихого, Атлантического океанов и в арктических водах представители сем. Cottidae, которые встречаются от зоны прибрежного мелководья до глубины около 600 м. В настоящее время в российских водах достоверно известно 6 видов этого рода, 4 из которых относятся к категории многочисленных рыб [1]. Обобщение результатов обработки собственных материалов (количественно-весовым методом исследовано содержимое желудков 728 особей 4 видов) с привлечением имеющихся литературных данных [2–5][и др.], дает возможность получить представление о пищевой специализации 5 видов этого рода (арктического *G. tricuspidis*, дальневосточного *G. hersenshini*, нитчатого *G. pistilliger*, узколобого *G. galeatus* и широколобого *G. detrisus* шлемоносцев) в дальневосточных и арктических водах России.

На основании анализа имеющихся материалов, среди 5 исследуемых видов рогатковых рода *Gymnophanthis* из Японского, Охотского, Берингова, Карского, Баренцева морей, а также тихоокеанских вод Камчатки и северных Курильских островов можно выделить три трофические группировки, представители каждой из которых отличаются по типу питания, видовому составу и размерам кормовых организмов – бентофаги (арктический, нитчатый и узколобый шлемоносцы), нектобентофаги (широколобый шлемоносец) и, наконец, факультативные хищники (дальневосточный шлемоносец).

Хотя основной пищей арктическому, нитчатому и узколобому шлемоносцам служат различные представители бентоса, два первых из них, которые отличаются более мелкими размерами (максимальная длина арктического шлемоносца – 25 см, а масса тела – 120 г, нитчатого – соответственно 29 см и 240 г), специализируются на потреблении преимущественно различных многощетинковых червей и бокоплавов, суммарная доля которых составляет соответственно 68,5 и 60,0% по массе. Кроме них, в составе пищи у арктического шлемоносца заметную роль играют также мелкие двустворчатые моллюски (13,9%) и равноногие раки (7,8%), а у нитчатого – эхиуриды (15,3% по массе). Основа биомассы (около 90%) узколобого шлемоносца, который обитает глубже и характеризуется значительно большими размерами (его максимальная длина – 49 см, а масса тела – 1400 г), формируется за счет целого ряда более крупных бентосных организмов - Actinaria, Echiurida, Sipunculida, Decapoda (в сумме – 59,4%), а также молоди и мелких рыб (11,8% по массе).

В отличие от этих трех видов, главными объектами питания широколобому шлемоносцу, максимальная длина которого достигает 48 см, а масса тела – 1140 г, наряду с многощетинковыми червями, бокоплавами и эхиуридами (в сумме 36,4% по массе), служат различные планктонные организмы, концентрирующиеся в придонных слоях, суммарная доля которых в составе пищи этого вида в дальневосточных морях по осредненным данным составляет около 50% по массе. Причем доминируют среди них такие представители желетелого планктона как гребневики и медузы, значение которых в отдельных районах достигает более половины всех кормовых объектов по массе.

Поскольку сведения о составе пищи дальневосточного шлемоносца до недавнего времени были довольно фрагментарны, его относили к бентофагам, потребляющим в основном донных беспозвоночных. Изучение в последнее десятилетие питания этого вида в заливе Петра Великого [5] показало, что различных представителей бентоса и нектобентоса (в первую очередь, многощетинковых червей, бокоплавов и мизид) использует в пищу, главным образом, его молодь длиной до 15 см. Взрослые же особи, максимальная длина которых достигает 44 см, а масса тела – 1000 г, переходят на потребление преимущественно десятиногих ракообразных (около 40% из них составляет краб-стригун *Chionoecetes opilio*) и разных мелких рыб, суммарная доля которых в заливе Петра Великого превышает 64% по массе. Это с полным основанием позволяет относить дальневосточного шлемоносца к факультативным хищникам.

Подобная пищевая специализация рассматриваемых видов рогатковые рыб рода *Gymnoanthus*, наряду с частичным расхождением их ареалов и батиметрических диапазонов обитания, на наш взгляд, обеспечивает снижение пищевой конкуренции между ними и более полное использование кормовых ресурсов в водах шельфа и верхней зоны материкового склона Тихого и Северного Ледовитого океанов. Нагляднее всего это проявляется у обитающих в сходном диапазоне глубин и обладающих близкими размерами узколобого и широколобого шлемоносцев. Если первый из них потребляет в основном целый ряд сравнительно крупных бентосных организмов - *Actinaria*, *Echiurida*, *Sipunculida*, *Decapoda*, а также молодь и мелких рыб (в сумме они составляют свыше 71% по массе), то главной пищей второму служат концентрирующиеся в придонных слоях планктонные организмы (около 50%), среди которых доминируют такие желетельные беспозвоночные, как гребневики и медузы. А поскольку у каждого из этих шлемоносцев существуют различия ещё в видовом составе и размерах потребляемых кормовых организмов, они могут обитать в сходных биотопах (участки шельфа и самой верхней зоны материкового склона с илисто-песчаными и песчано-галечными грунтами), не вступая в напряжённые конкурентные пищевые отношения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Камчатского филиала ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН по теме «Наземные и морские экосистемы Камчатки и северо-западной части Тихоокеанского региона: изучение биоразнообразия, разработка научно-методического обеспечения устойчивого природопользования» (№ гос. регистрации 122011400140-4).

Список литературы

1. Парин Н. В., Евсеенко С. А., Васильева Е. Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М. : Т-во на- уч. изд. КМК, 2014. 733 с.
2. Напазаков В. В., Чучукало В. И. Пищевые рационы и трофический статус массовых видов рогатковых (Cottidae) в западной части Берингова моря в осенний период // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43. № 2. С. 200-208.
3. Горбатенко К. М., Савин А. Б. Состав, биомасса и трофические характеристики рыб на западно-камчатском шельфе // Известия ТИНРО. 2012. Т. 171. С. 40-61.
4. Долгов А. В. Питание непромысловых рыб в северной части Баренцева моря // Особенности формирования биопродуктивности северных районов Баренцева моря в период потепления Арктики. Мурманск : ПИНРО, 2014. С. 155-185.
5. Пущина О. И., Соломатов С. Ф., Калчугин П. В., Будникова Л. Л. Питание и пищевые отношения массовых видов рогатковых (Cottidae, Pisces) зал. Петра Великого (Японское море) в летний период // Известия ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 186-203.

Генетическое разнообразие *Carassius gibelio* в Северной Азии

Уткин Я. А.^{1,2}

¹Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Genetic diversity of *Carassius gibelio* in North Asia

Utkin Y. A.^{1,2}

¹Institute of Molecular and Cellular Biology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

✉ utkin.jaroslav@mcb.nsc.ru

Ключевые слова: *Carassius gibelio*, комплекс видов *Carassius auratus*; mtДНК; филогеография;
генетическая структура, генетическое разнообразие, Северная Азия

Уникальный с биологической точки зрения [1] представитель комплекса *C. auratus* - серебряный карась (согласно некоторым номенклатурам - *C. a. gibelio*, согласно другим - *C. gibelio*) (Bloch, 1782), считается опасным инвазивным подвидом, способным легко натурализоваться в местах интродукции и вытеснять местные виды [2]. Специфические биологические особенности *Carassius gibelio*, а именно наличие диплоидных и полиплоидных форм, половое и гиногенетическое размножение, трансформация полового и пloidного статуса его популяции, а также огромная экологическая толерантность (включая устойчивость к аноксии и загрязнениям) привели к тому, что *C. gibelio* оказался самой успешной неаборигенной инвазионной формой рыб в водах Центральной и Восточной Европы [3].

Целью данного исследования является исследование генетического разнообразия *C. gibelio* Северной Азии для расширения понимания генетической структуры данного вида.

В данном исследовании мы изучили генетическое разнообразие *Carassius gibelio* на основе последовательностей контрольного района митохондриальной ДНК в Северной Азии, охватив бассейны таких крупных рек как Амур, Лена и Обь. Мы обнаружили сниженное генетическое разнообразие на территории северной части Восточной Сибири и предполагаем, что это может быть связано с эффектом основателя, вызванного историческим расселения вида или же с наличием отбора в пользу экстремальных абиотических условий, характеризующихся коротким вегетационным периодом, низкими температурами и флюктуациями уровня кислорода, остается открытым. Данную территорию населяют только особи, относящиеся к митохондриальной линии C7 (ранее рассматривавшаяся Sakai и др. как морфологически отличающийся «Подвид М» [4]), которая согласно филогенетическому анализу имеет базальное положение относительно других линий *C. gibelio*, что указывает на ее древнее происхождение и косвенно подтверждает теорию о северном происхождении *C. gibelio* [5].

Генетическая структура популяций серебряного карася в бассейнах средней Оби и нижнего Амура была схожей, а также было обнаружено отсутствие генетический дифференциации между данными регионами, что косвенно подтверждает теории об её искусственном формировании за счет интродукции новых видов рыб из бассейна реки Амур и дальнейшего вытеснения автохтонных гаплотипов амурскими вариантами [6].

Данные исследования генетического разнообразия *C. gibelio* в Северной Азии могут пролить свет на происхождение и эволюцию данного вида.

Список литературы

1. Knytl M., Forsythe A., Kalous L. A Fish of Multiple Faces, Which Show Us Enigmatic and Incredible Phenomena in Nature: Biology and Cytogenetics of the Genus *Carassius* // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, iss 15. Art. no. 8095. <https://doi.org/10.3390/ijms23158095>

2. Vetešník L. et al. Morphometric and genetic analysis of *Carassius auratus* complex from an artificial wetland in Morava River floodplain, Czech Republic // *Fisheries Science*. 2007. Vol. 73, iss. 4. P. 817–822. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01401.x>
3. Lusková V. et al. *Carassius auratus gibelio* — The most successful invasive fish in waters of the Czech Republic // *Russian Journal of Biological Invasions* 2010 1:3. Springer, 2010. Vol. 1, iss 3. P. 176–180. <https://doi.org/10.1134/S2075111710030069>
4. Sakai H., Yamazaki Y., Nazarkin M. V. Morphological and mtDNA sequence studies searching for the roots of silver crucian carp *Carassius gibelio* (Cyprinidae) from ponds of Sergievka park, Saint Petersburg, Russia // *Proceedings of the Zoological Institute Russia Academy of Science*. 2011. Vol. 315, iss 3. P. 352–364. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2011.315.3.352>
5. Gao Y. et al. Quaternary palaeoenvironmental oscillations drove the evolution of the Eurasian *Carassius auratus* complex (Cypriniformes, Cyprinidae) // *Journal of Biogeography*. 2012. Vol. 39, iss. 12. P. 2264–2278. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2699.2012.02755.x>
6. Побединцева М. А., Решетникова С. Н., Сердюкова Н. А. Генетическая гетерогенность серебряного карася *Carassius gibelio* (Cyprinidae) в бассейне средней Оби // Генетика. 2021. Т. 57, № 4. С. 429–436. <https://doi.org/10.31857/S0016675821040111>

Региональные особенности биооптических показателей вод в разных районах Мирового океана: Северный Ледовитый, Южный и Тихий океаны, Черное, Азовское, Норвежское, Баренцево и Охотское моря, Байкал и Телецкое озера

Чурилова Т. Я.*, Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Regional variations in bio-optical properties of different regions of global ocean: Arctic, Southern and Pacific oceans, Black, Azov, Norwegian, Barents and Okhotsk seas, Baikal and Teletskoye lakes

Churilova T. Ya.*, Efimova T. V., Moiseeva N. A., Skorokhod E. Yu.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ tanya.churilova@ibss-ras.ru

Развитие оперативного мониторинга состояния водных экосистем требует развитие региональных спутниковых алгоритмов, учитывающих особенности биооптических показателей вод конкретной акватории. Настоящие исследования были нацелены на сравнительный анализ биооптических показателей вод, различающихся по оптическим характеристикам и трофическому статусу. Спектральные показатели поглощения света пигментами фитопланктона, неживым взвешенным и окрашенным растворенным органическим веществом измеряли в соответствии с современными протоколами *International Ocean Colour Coordinating Group*. Районы исследования включали акватории с уровнем трофности от олиготрофного до эвтрофного (значения концентрации хлорофилла *a* в поверхностных водах варьировали от 0,066 до 24 мг·м⁻³) и с высокой неоднородностью по биооптическим характеристикам: значения показателя суммарного поглощения света взвешенным и растворенным органическим веществом (за исключением воды) на длине волны 438 нм изменялись от 0,021 до 0,97 м⁻¹. Во всех районах отмечена высокая (в пределах порядка и более) пространственная изменчивость значений показателей поглощения света всеми оптически активными компонентами среды и их соотношений, что свидетельствует об оптической контрастности вод в каждом из исследованных регионов. Показана региональная специфичность коэффициентов параметризации поглощения света пигментами фитопланктона, неживым взвешенным и окрашенным растворенным органическим веществом. Установленные коэффициенты параметризации поглощения света оптически активными компонентами среды могут быть использованы для развития региональных спутниковых алгоритмов оценки показателей качества и продуктивности вод. На основе эмпирически установленных зависимостей были предложены дополнительные показатели качества водной среды – глубина зоны фотосинтеза и характеристика спектрального состава света в море, которые могут восстанавливаться по спутниковым данным.

Сравнительный анализ выполнен в рамках темы госзадания №124030100106-2, исследование вариабельности биооптических показателей в Тихом океане и Охотском море было профинансировано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037.

In the footsteps of the Romanian biologist Emil Racovitza in Antarctica

Bologa A. S.

Section of Biological Sciences, Academy of Romanian Scientists, Bucharest, Romania

✉ bologa1813@yahoo.ro

Emil Racovitza (1868–1947) was and remains the most important Romanian biologist and biospeleologist. Along with G. Antipa and I. Borcea, he is among the founders of Romanian oceanography. The two major merits that enshrined him in the Romanian and universal history of science are the founding of biospeleology as a science and his prodigious participation in the fruitful scientific expedition on board *Belgica* in Antarctica between 1897 and 1899. As a biologist of the expedition, he joined the no less famous Norwegian R. Amundsen, the American F. Cook and the Poles A. Dobrowolski and H. Arkrtowski. His meritorious contribution to the success of the expedition was the recognition of his prestigious results: the collection of 400 and 900, respectively, Antarctic flora and fauna samples, their further processing by a large number of researchers, the publication of the zoological results in 40 volumes. The German cetologists Heck and Hilzheimer (*Brehms Tierleben*) considered in 1915: *The newest and most accurate observer of the life of whales is of course Emil Racovitza, who, as a zoologist of the Belgian South Polar Expedition, dedicated a study to them exactly day by day*. He gave public conferences in Romania, France and Belgium. 26 species and genera were dedicated to him by Romanian and foreign specialists. He was a professor, representative (1922–1926) and rector of the University of Cluj (1929–1930), senator, President of the Romanian Academy (1926–1929), founding director of the first Institute of Biospeleology (cave biology) in the world, national delegate of Romania to the Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESM) in 1925. Member of the French Academy of Sciences, Société Zoologique de France, Académie nationale de médecine. His name has been given to schools, streets and ships.

Dynamics of the content of total lipids in the body of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), wintering in the water area of Abkhazia in the fishing season 2023/2024

Dbar R. S.^{1,2}, Gamakhariya P. J.^{1*}

¹Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia (IE ANA), Sukhum, Abkhazia

^{1,2}Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKh”), Rostov-on-Don, Russian Federation

Динамика содержания общих липидов в теле Европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), зимующего в акватории Абхазии в промысловый сезон 2023/2024 года

Дбар Р. С.^{1,2}, Гамахария П. Д.^{1*}

¹Институт Экологии Академии наук Абхазии (ИЭ АНА), Сухум, Абхазия

² Азовско-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, РФ

 pgamakhariya@mail.ru

Keywords: *Engraulis encrasicolus*, *lipids*, *size groups*, *Azov-Black Sea basin*, *anchovy*

An analysis of the lipid content in the body of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) was carried out at all stages of its life cycle during the 2023/2024 fishing season. It was revealed that differences in the content of energy-plastic substances in the body of anchovy are due to the age characteristics of fish: in young of the year the amount of lipids is lower than in older individuals. Based on a study of the monthly dynamics of lipid content in the body of anchovy, it was established that the minimum lipid content is typical for fish in February-March, and the maximum is observed in December-January.

Anchovy (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758) is one of the most numerous fish species in the Azov-Black Sea basin with high rates of reproduction, which determines its commercial importance and the focus of fishing enterprises.

The purpose of the work was to assess the physiological state of the Azov-Black Sea anchovy based on the accumulation of energy-plastic substances (lipids) in different age groups during the 2023/2024 fishing season.

The object of the study was anchovy. Fish for research were selected over three months: December, January, February and March in the wintering grounds of anchovy during monitoring of the fishery from trawl catches of fishing vessels in the territorial waters of Abkhazia.

From each catch, 10–20 specimens were selected, body length was measured with an accuracy of 0.1 cm, after which the sample was divided into size groups: <75 mm, 76–85 mm, 86–100 mm, 101–115 mm, >115 mm. In each size group, the number and average weight of fish were determined. Fish in each size group were crushed whole without removing the entrails using a special device. The resulting minced meat samples were used for the quantitative determination of water and total lipids according to approved methods.

The mass fraction of water was determined by drying the biomaterial at 100–105 °C. The method is based on the release (evaporation) of water from the product during heat treatment and determining the change in mass by weighing.

Determination of lipids was carried out by continuous extraction using the Soxhlet method using a semi-automatic fat content analyzer FA-46 (Vilitek LLC, Moscow). This method is based on the extraction of lipids with an organic solvent (diethyl ether) from a dry sample and determining its mass by weighing. Mathematical data processing was carried out using specialized software MS Excel V. 13.

Research has shown that the lowest lipid content in the body of fish (11.46±2.24%) was typical for younger individuals of the Azov-Black Sea anchovy. The largest amount of lipids in the body was observed in fish ranging in size from 76 to 100 mm, values varied from 13.20±1.75 to 19.6±2.34%. The amount of lipids in the body of older fish decreases by 10–25%. The average lipid content in the body of anchovy in the size group 101–115 mm was 14.65±4.23%, in individuals of the size group >115 mm - 12.37±4.67%.

The study of the long-term dynamics of the accumulation of total lipids (fat content) of anchovy in different periods of the annual cycle shows a complex dependence of the process on age, current hydrological, climatic and trophic conditions. The maximum rates of fat accumulation are characteristic of the most productive size (age) groups of anchovy in terms of reproduction. On the contrary, in young and old fish fat accumulation occurs much more slowly.

In general, the logic of the amount of fat accumulated in the body of anchovy is subordinate to the goals of reproduction, when the maximum content of total lipids is observed in mid-autumn - before the start of migration to the Black Sea. Then lipids are spent on winter migration and maturation of reproductive products. As a result, a minimum amount of fat is noted before spawning. The data obtained are consistent with the results of other researchers.

References

1. Zuev G. V., Gutsal K. D., Melnikova E. B., Bondarev V. A. On the issue of intraspecific heterogeneity of anchovy wintering off the coast of Crimea // Modern problems of ecology of the Azov-Black Sea region: material. III Int. conf. (Kerch, October 10–11, 2007). Kerch : YugNIRO Publishing House, 2008. P. 140. (in Russ.)
2. Dbar R. S., Gamakhariya P. D. Long-term dynamics of fishing and the size-age structure of catches of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) wintering off the coast of Abkhazia // Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use : material. II International scientific-practical conference. (Kerch, May 27–30, 2020). Simferopol : IT "ARIAL 2020. P. 298–303. (in Russ.)
3. Motos L. Reproductive biology and fecundity of the Bay of Biscay anchovy population (*Engraulis encrasicolus* L.) // Scientia Marina. 1996. Vol. 60. P. 195–207.
4. Shulman G. E. Physiological and biochemical features of the annual cycles of fish. M. : Food Industry, 1972. 367 p. (in Russ.)
5. Mirzoyan Z. A., Safranova L. M., Afanasyev D. F. et al. Features of the development of biological communities and the food supply of planktivorous and benthivorous fish in the salinity conditions of the Azov Sea (2007–2014) // Materials Intl. scientific conf. : Issues of conservation of biodiversity of water bodies. Rostov-on-Don : Publishing house AzNIIRKh, 2015. P. 237–243. (in Russ.)
6. Yuneva T. V., Nikolsky V. N., Bulli L. I. zov Anchovy *Engraulis encrasicolus maeoticus* (Engraulidae) under the Sea of Azov Salinization in 2014–2018 // Journal of Ichthyology. 2021. Vol. 60., iss. 6. P. 931-937. <https://doi.org/10.1134/S0032945220050124>
7. Taranenko N. F. The level of fat reserves in the body of the Azov anchovy as an indicator of the reproductive properties of the herd and the timing of migration // Proceedings of AzCherNIRO. 1964. Vol. 22. P. 137–147. (in Russ.)

New data on the myxosporean fauna of genus *Zschokkella* and *Kudoa* in the Eastern Sea (Vietnam) fish

Yurakhno V. M.^{1*}, Vo T. H.², Whipples C. M.³

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

²Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Vietnam

³SUNY-ESF, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, Environmental and Forest Biology, New York, USA

✉ viola_taurica@mail.ru

Ключевые слова: myxosporeans, *Kudoa*, *Zschokkella*, fish, East Sea

The myxosporean fish fauna of Vietnam has been studied extremely poorly and is most fully presented in the latest synopsis [1], where only 51 species (38 freshwater and 13 marine) are indicated. It should be said that one more myxosporean freshwater species from other published synopsis should be included in the list of Vietnamese species – *Zschokkella parasiluri* Fujita, 1927 from gall bladder of Asian redtail catfish *Hemibagrus nemurus*, *Pangasius bocourti*, *Trichopodus trichopterus* in Mekong River Delta [2].

Our studies of myxosporeans in fish from the East (South China) Sea in Nha Trang and more northern and southern coastal areas from 2018 to 2023 yielded new results. According to the morphological and molecular genetic data we obtained in 2019 and 2021 from Vietnam, it turned out that in the fauna of Vietnam there are 4 more species of myxosporeans, three of which were previously known (*Kudoa bora* (Fujita, 1930), *K. javaensis* Yunus, Yustinasari, Natalia, Ghosh, Sakuma, Inoue and Sato, 2021, and a *K. surabayaensis*-like species, and a *Zschokkella* species that is likely new to science.

We found *K. bora* in Nha Trang in November 2019 in the pharynx, esophagus and muscles of 3 out of 15 (20%) specimens of Flathead grey mullet *Mugil cephalus* (TL 37.5–49.5 cm) in the round and round-oval white cysts (in quantities of 2, 1 and 18, according to the listed sites of infection) ranging in size from 1.2 to 2.0 mm. Spore thickness 6.73 (5.64–8.14) µm (hereinafter all sizes of spores and polar capsules (PC), as well as plasmodia of myxosporeans in micrometers), width 8.85 (7.01–10.35), length 7.51 (6.59–8.96), not full PC length 1.92 (1.87–1.95), full PC length 3.61 (2.92–4.19), PC width 1.6 (1.32–1.84). Previously, this species was found in this sea only in the waters of China off the coast of Taiwan and Guangdong in 3 species of mullets – *Mugil cephalus*, Keeled mullet *Planiliza carinata* and Longfinned mullet *Osteomugil perusii* [3; 4]. *Kudoa bora* has been identified for the first time in the fauna of Vietnam, but the host is not new. The spores and polar capsules of *K. bora* off the coast of Vietnam are smaller in size.

We discovered *K. javaensis* in Nha Trang in January 2019 in the muscles of 1 out of 31 (3.2%) specimens of Yellowtail scad *Atule mate* (TL 17.5 cm) in the form of scattered spores (no cysts were found) with intensity hundreds of spores in a smear. Spore thickness 4.48 (3.79–5.53), width 5.79 (4.98–6.54), length 4.6 (4.07–4.87), PC length 1.4 (0.9–2.06), width 1.02 (0.89–1.22), polar filament tubule length 6.2 (6.2–6.21). This species was previously described in the Indian Ocean (Javan Sea, off the eastern coast of Java Island, Indonesia) in Shrimp scad *Alepes djedaba* [5]. Thus, *K. javaensis* was found for the first time in the fauna of the Pacific Ocean, East Sea and Vietnam, and was also found in a new host. The spores and polar capsules of *K. javaensis* off the coast of Vietnam are smaller in size.

We encountered a species that was genetically very similar to *K. surabayaensis* (98.5% similarity in the small subunit ribosomal DNA) in Cunyon in April 2021. This species was found in the muscles of 8 out of 32 (25%) specimens not identified to the species of mullet Mugilidae gen. sp. (TL 15.5–22.9 cm) in the form of scattered spores with intensity of one or tens of spores in a smear. Spore thickness 5.06 (3.81–6.06), width 6.84 (5.88–7.51), length 4.23 (4.07–4.39), PC length 1.67 (1.48–1.87) in apical view, 2.27 (2.24–2.3) in side view, PC width 1.26 (1.1–1.37). Previously, *K. surabayaensis* was found in the Indian Ocean (Javan Sea, off the eastern coast of Java Island, Indonesia) in *Mugil cephalus* [5]. The *K. surabayaensis*-like species we encountered here could be conspecific, but because there is a 1.5% DNA sequence difference

between them, it could be these are closely related sister species. The spores and polar capsules of this species off the coast of Vietnam are slightly smaller in size, with slightly larger polar capsules.

A *Zschokkella* sp. was found by us in Nha Trang in November 2019 in the gall bladder of 2 out of 12 (16.7%) specimens of Otomebora mullet *Planiliza meliniptera* (TL 15–21 cm) with intensity units and tens of spores in the smear. Plasmodia length 30.79 (15.85 – 54.17), width 24.5 (12.51 – 52.59). Spore length 11.91 (10.31 – 14.12), width 4.96 (3.86 – 5.62), PC length 2.51 (1.53 – 3.48), width 1.73 (1.09 – 2.49). Molecular genetic and morphological data indicate that this species is likely new to science.

This work was carried out within the framework of IBSS state research assignment “Biodiversity as the basis for the sustainable functioning of marine ecosystems, criteria and scientific principles for its conservation” (No. 124022400148-4).

References

1. Nguyen Ngoc Chinh, Nguyen Thi Hoang Ha, Pham Ngoc Doanh et al. Synopsis of myxosporean species (Cnidaria: Myxozoa) parasitizing fishes from Vietnam, 20 January 2023, PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2486791/v1>
2. Arthur J. R., Te B. Q. Checklist of the parasites of fishes of Viet Nam. FAO fisheries technical paper, 369/2. Food and agriculture organization of the united nations. Rome. 2006. 133 p.
3. Fujita T. On a new myxosporidia in the muscle of the grey-mullet *Chloromyxum bora* nov. sp. // Zoological Magazine. 1930. Vol. 42. P. 45-48.
4. Li Y.-Ch., Inoue K., Zhang J.-Y., Sato H. Phylogenetic relationships of three *Kudoa* spp. with morphologically similar myxospores (*K. iwatai*, *K. lutjanus*, and *K. bora*), with the redescription of *K. uncinata* and *K. petala* and description of a new species (*K. fujitai* n. sp.) in fishes in the South China Sea // Parasitology Research. 2020. Vol. 119, iss. 4. P. 1221-1236. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06636-0>
5. Yunus M., Yustinasari L. R., Natalia D., Ghosh S., Sakuma K., Inoue K., Sato H. First report of three multivalvulid species (Cnidaria: Myxozoa: Myxosporea) in commercial fishes from Java Sea, Indonesia, with records of *Unicapsula pyramidata* and two new *Kudoa* spp. // Parasitology Research. 2021. Vol. 120. P. 861-876. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-07030-6>



Структура, функционирование и динамика водных и наземных экосистем

Structure, functioning and dynamics
of aquatic and terrestrial ecosystems

Структура и функционирование сообществ зообентоса городских водоемов и водотоков Санкт-Петербурга

Беляков В. П.

Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

**The structure and functioning of the zoobenthos communities of urban reservoirs and watercourses
of St. Petersburg**

Belyakov V. P.

Russian State Pedagogical University in the name of A. I. Herzen

✉ victor_beliakov@mail.ru

*Ключевые слова: зообентос, водоемы Санкт-Петербурга, структура сообществ, функциональные
показатели зообентоса, антропогенное влияние*

Безусловно, невозможно полностью исключить антропогенное влияние на экосистемы, сформированные в городских водных объектах. Особенностью воздействия является комплексный характер нарушения природных географически-зональных особенностей, свойственных водоемам. Любая биотическая составляющая водных экосистем всегда откликается на такие нарушения [1]. Среди таковых зообентос занимает важное место в биондикации, поскольку может проявлять не столько моментальную реакцию, а скорее отложенную, или аккумулированную, что исключает оценки случайных флюктуаций изменения среды. С другой стороны, зообентос, являясь одним из звеньев трофической цепи и участвуя в процессе трансформации и переносе различных веществ, может быть одним из показателей способности водных экосистем к самоочищению, что важно для оценки возможностей городских водоемов выдерживать определенный уровень нагрузки, сохраняя необходимое качество воды для рекреационных, хозяйственных и других целей.

В работе рассматриваются сообщества зообентоса в трех озерно-речных системах Санкт-Петербурга, исходно исторически отличающихся условиями формирования из-за геологических, ландшафтных и прочих природных характеристик, на фоне которых ныне проявляются антропогенные факторы. Это юго-западный район города, где система Дудергофских озер (водохранилища) и реки расположена на склоне Ижорского плато и характеризуется, в частности повышенной минерализацией. Северо-западный район системы Сузdalских озер и двух водотоков, расположен в зоне, сформированной древними ледниками процессами, где природные условия сходны с водоемами, расположенными рядом на Карельском перешейке. Третий объект – это р. Охта и Охтинское водохранилище – на формирование этой системы большое влияние оказывают заболоченные территории.

Для анализа состояния сообществ зообентоса выбирались отдельные створы рек в нижнем течении и наиболее представленные биотопы в водоемах. Наблюдения проводились в весенний, летний и осенний периоды. Использовались стандартные методы сбора и обработки зообентоса.

Для сравнения сообществ использовали последовательно анализ различий видового состава, видовой и трофической структуры сообществ и расчетных суточных величин продукции-деструкционной активности как популяций донных беспозвоночных, так и сообщества.

При анализе различий видового состава можно опираться только на массовые формы, поскольку достоверность различий полного состава ограничивается недостаточностью частоты и широты сборов. Особенностью наличия высокого фона антропогенных загрязнений является то, что массовыми формами остаются достаточно толерантные эврибионтные формы – что практически снимает качественные фаунистические различия этих трех групп водоемов. Тем не менее, исходная повышенная цветность вод Охты характеризует слабое развитие зообентоса, особенно двустворчатых моллюсков, которые есть в других системах. Загрязнения усугубляют этот процесс. В целом большее видовое богатство зообентоса характерно для Дудергофской системы, что связано с наличием буферных

природных систем в водоемах, которые сдерживают процессы загрязнения, этого не наблюдается в системе Сузdalских озер, где бентос обеднен, по сравнению с аналогичными водоемами в соседних менее загрязненных водоемах.

В структуре Дудергофской системы в зообентосе значительную роль составляли фитофильные формы, с преобладанием личинок хирономид по численности, и гастропод – по биомассе. При этом отмечались максимальные количественные величины (до 40 г/м²). В системе Сузdalских озер отмечались зоны с достаточно слабым развитием зообентоса – в грязных зонах преобладали олигохеты-тубифициды, в менее грязных – небольшое число видов хирономид. Другие группы представлены незначительно, только в отдельных биотопах. В целом в биотопах представлено не более 8-10 форм в каждом, в основном дротофаги. Общая биомасса не выше 20 г/м². В системе р.Охта происходит резкое падение разнообразия (индекс Шеннона от 3,6 до 0,02 бит/экз), при невысоком количественном развитии от верхнего течения реки к водохранилищу и ниже его (от 8-9 до 2-3 г/м² и ниже). Ранее в этих водоемах нами отмечалось заметное присутствие особей с морфологическими отклонениями, что свидетельствует о токсическом их загрязнении. По этим и структурным показателям водоемы характеризовались как грязные [2].

Об участии сообщества зообентоса в процессах самоочищения водоема можно судить по величинам суммарной суточной деструкции. Максимальные величины в среднем были отмечены в Дудергофской системе (до 0,26 гС/м² сут), значительно меньше они в системе Сузdalских озер (до 0,13 гС/м² сут) и в системе Охты (до 0,10 гС/м² сут).

Работа выполнена на факультете биологии РГПУ им. А.И. Герцена в рамках Направления № 21 «Адаптивные реакции биологических систем на специфические и неспецифические воздействия факторов внешней среды» по теме «Экология сообществ зообентоса озер, рек, морей и их изменений под действием природных и антропогенных факторов».

Список литературы

1. Голубков С. М., Беляков В. П., Голубков М. С., Литвинчук Л. Ф., Петухов В. А., Губелит Ю. И. Потоки энергии и круговорот фосфора в экосистеме мелководного водохранилища в условиях антропогенного стресса // Экология. 2019. № 6. С. 456–462. <https://doi.org/10.1134/S0367059719060052>
2. Беляков В.П., Бажора А.И., Сотников И. В. Мониторинг экологического состояния водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса. // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 6. С.51–56.

Оппортунистические макроводоросли как компонент оценки состояния прибрежной зоны

Губелит Ю. И.

Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Opportunistic macroalgae as a component in assessment of the state of the coastal zone

Gubelit Yu. I.

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

✉ Yulia.gubelit@zin.ru

Макроводоросли играют ключевую роль в функционировании прибрежных экосистем. В последние десятилетия увеличение антропогенной нагрузки и связанные с этим эвтрофирование и загрязнение вызвали изменения в водных экосистемах. В прибрежных экосистемах это часто приводит к масштабному развитию оппортунистических макроводорослей и снижению биоразнообразия сообществ. Большинство оппортунистических видов, которые образуют «цветения» относятся к Chlorophyta и Ochrophyta. «Цветения», вызванные представителями этих родов, получили название «зеленых» и «золотых» приливов. В свете вышесказанного возникла необходимость в методах оценки состояния водных экосистем с помощью оппортунистических видов водорослей.

Анализ публикаций в базе Scopus показал, что интерес к этой теме стал возрастать в 2000-х, а кратное увеличение количества публикаций произошло в 2010-х. Это отражает возрастание количества «зеленых» приливов во всем мире. Поскольку это явление распространено как в морских, где биоразнообразие макроводорослей велико, так и в пресноводных экосистемах, где сообщество макроводорослей, как правило, монодоминантно, то критерии оценки различны.

Изначально массовое развитие зеленых водорослей (*Cladophora glomerata*) было описано в середине XX века на Великих Американских озерах и тогда же были разработаны и использованы первые критерии оценки на основе биомассы и было установлено пороговое значение в 50 г сух. массы/м², которое можно считать началом «цветения» (Higgins et al. 2008). В Балтийском море, где оппортунистические водоросли образуют плавающие и погруженные водорослевые маты, за основу оценки легли биомасса, проективное покрытие, а также толщина водорослевых матов. Более того, последний критерий был предложен как предиктор кислородных условий на дне [1].

Позднее, для Российской части Финского залива были разработаны Березиной и др. [2] несколько индексов: на основе проективного покрытия водорослями (AC), толщины водорослевых матов (TAL), и признаков гипоксии (по шкале от 1 до 5). С продвижением к Датским проливам соленость в Балтийском море возрастает, а вместе с тем возрастает количество видов макроводорослей. Для солоноватоводных районов Балтийского моря были разработаны индексы на основе кумулятивного покрытия водорослями и соотношения оппортунистических и многолетних (*Fucus vesiculosus*) видов водорослей [3].

На основе измерений концентраций фосфора в *C. glomerata* было однажды установлено, что этот показатель коррелирует с удаленностью от источника поступления биогенов и может быть использован в оценке длительной биогенной нагрузки [4]. Для морских и эстuarных экосистем, где присутствует множество многолетних и оппортунистических видов, критериев гораздо больше и разработано множество методов оценки, начиная со спутниковой и аэросъемки и заканчивая различными индексами. Например, для северного побережья Атлантики был разработан индекс Opportunistic Macroalgal Blooming Tool (OMBT), основанный на 5 метриках.

В заключение можно выделить следующие основные критерии для использования оппортунистических видов водорослей для оценки качества водной среды: для пресноводных и солоноватоводных экосистем - покрытие оппортунистическими водорослями, биомасса, толщина водорослевых матов,

признаки гипоксии, общее покрытие водорослями, соотношение многолетних и оппортунистических водорослей, площадь покрытия водорослевыми матами. Для морских и эстuarных местообитаний – видовой состав, количество характерных видов, общее покрытие водорослями, покрытие оппортунистическими видами, соотношение многолетних и оппортунистов, площадь покрытия водорослевыми матами.

Список литературы

1. Lauringson V., Kotta J. Influence of the thin drift algal mats on the distribution of macrozoobenthos in Kõiguste Bay, NE Baltic Sea // Hydrobiologia. 2006. Vol. 554. P. 97–105. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1009-4>
2. Berezina N. A., Gubelit Yu. I., Polyak Yu. M., Sharov A. N., Kudryavtseva V. A., Lubimtsev V. A., Petukhov 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>
3. Rinne H., Korpinen S., Mattila J., Salovius-Laurén S. Functionality of potential macroalgal indicators in the northern Baltic Sea // Aquatic Botany. 2018. Vol. 149. P. 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.05.006>
4. Salo T., Salovius-Lauren S. Green algae as bioindicators for long-term nutrient pollution along a coastal eutrophication gradient // Ecological Indicators. 2022. Vol. 140. Art. no. 109034. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109034>

Миграция как адаптивная реакция личинок миног на низкое содержание кислорода в реке

Зvezdin A. O.* , Колотей А. В.

Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

Migration as an adaptive response of lamprey larvae to low oxygen content in the river

Zvezdin A. O.* , Kolotei A. V.

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ a.o.zvezdin@gmail.com

Ключевые слова: Petromyzontidae, бобровая плотина, покатная миграция, Eudontomyzon sp., неблагоприятные условия

Миноги (Petromyzontiformes) большую часть жизни проводят в реках и ручьях на личиночной стадии развития. Личинки ведут скрытый малоподвижный образ жизни, зарывшись в грунт. Ряд авторов считает, что малоподвижные гидробионты наиболее подвержены воздействию негативных факторов из-за невозможности быстро покинуть непригодные местообитания.

Значительный ущерб популяциям миног наносит фрагментация водоёмов. Её воздействие рассматривают в первую очередь с позиций нарушения путей нерестовых миграций производителей миног. Однако она оказывает негативное влияние и на личинок. Так, например, в условиях фрагментации рек бобровыми плотинами, производители украинской миноги *Eudontomyzon mariae* не могут их преодолеть, а выше плотин миноги любых возрастов полностью отсутствуют [1]. В ходе собственных многолетних исследований расселения личинок рода *Eudontomyzon* в озёрно-речных сетях, нами была обнаружена нетипичная миграционная активность на участке реки с бобровой плотиной. Анализ полученных результатов даёт представление об условиях обитания личинок миног в местообитаниях, расположенных выше бобровых плотин, и об их поведенческих реакциях направленных на избегание неблагоприятных условий.

Отловы мигрирующих вниз по течению личинок миног *Eudontomyzon* sp. проводили на р. Ильжица (Смоленская обл.) с помощью ихтиопланктонных конусных сетей в разные сезоны года. Концентрацию мигрантов пересчитывали на 100 м³ воды по стандартным методикам [2 ; 3]. Все личинки мигрировали только при сумеречно-ночной освещённости. Показано, что миграционная активность имеет два пика – в апреле и июле (табл. 1). Весенний пик соответствует массовому расселению личинок всех возрастов, которое происходит при половодье, вызванном таянием снега, и которое отмечено для личинок многих видов миног [3]. В июле массово мигрировали разновозрастные личинки, обитавшие в подпруженном слабопроточном участке реки выше бобровой плотины. После разбора плотины (завершён до 12:00) и восстановления проточности участка реки миграция началась в вечерние сумерки и продолжилась ночью.

Месяц	Январь	Апрель	Июнь*	Июль	Октябрь
Концентрация, экз./100 м ³	0.014	1.76	0.14	35.69	0.22

Таблица 1: Среднесуточные концентрации мигрирующих личинок *Eudontomyzon* sp. в 2024 г.
(* – данные за 2019 г.)

Летом миграционная активность миног обычно находится на низком уровне, на что указывают как результаты отловов в июне (табл. 1), так и данные литературы [3]. Наиболее вероятная причина массовой миграции в июле – неблагоприятные кислородные условия в реке выше бобровой плотины. Концентрация растворённого в воде кислорода на этом участке составляла 3.85 мг/л (DO = 48 %) при температуре воды 18.8°C.

Для личинок миног характерен низкий уровень потребления кислорода, но при этом они чувствительны к его недостатку. Информация о том, какие кислородные условия считать неблагоприятными для них практически отсутствует. Известно, что быстрая гибель (4 часа) личинок аллеганской миноги *Ichthyomyzon greeleyi* наступает при содержании кислорода 1.25 мг/л (DO = 12.4 %, 15.5°C) [4]; личинок речной миноги *Lampetra fluviatilis* летом обнаруживали в местообитаниях с широким диапазоном значений растворённого кислорода – от 3.05 до 9.76 мг/л [1].

Наши данные указывают на то, что для личинок миног рода *Eudontomyzon* уровень кислорода 3.85 мг/л является неблагоприятным и избегаемым, но не критичным. После восстановления проточности участка реки (т.е. после появления течения – необходимого фактора для начала и осуществления миграции) они ещё около 9 часов дожидались наступления сумерек, чтобы начать мигрировать. В данном случае мы наблюдали адаптивную поведенческую реакцию на неблагоприятные условия среды – покатную (вниз по течению) миграцию третьего типа по классификации [2].

Рассмотренные результаты могут быть экстраполированы на более широкий круг ситуаций. Фрагментация водотоков и её последствия в виде изменения кислородного режима – одно из наиболее распространённых воздействий на локальные популяции миног в пресных водах. Её причины могут быть как естественного характера (брововые плотины, завалы), так и антропогенного: гидростроительство, засоры водопропускных сооружений под автомобильными дорогами, замусоривание русел рек и ручьёв порубочными остатками после заготовки леса и др. Изменение климата опосредованно через повышение температуры водоёмов также может быть фактором ухудшения кислородных условий в местах обитания личинок.

Обнаруженное значение уровня растворённого кислорода, при котором личинки активно покидают свои местообитания может быть использовано как пороговое при изучении состояния водных экосистем, находящихся в нарушенном состоянии, и планировании необходимости восстановительных, природоохраных мероприятий. Исходя из того, что личинки разных видов миног очень схожи по своей экологии полученные данные можно с осторожностью распространить и на других представителей отряда *Petromyzontiformes*.

Исследование выполнено за счёт РНФ, проект № 19-14-00015-П.

Список литературы

1. Осипов В. В., Башинский И. В., Подшивалина В. Н. О влиянии деятельности речного бобра – *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) на биоразнообразие экосистем малых рек лесостепной зоны // Поволжский экологический журнал. 2017. № 1. С. 69-83. <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-1-69-83>
2. Павлов Д. С., Лупандин А. И., Костин В. В. Механизмы покатной миграции молоди речных рыб. М. : Наука. 2007. 211 с.
3. Zvezdin A. O., Kucheryavyy A. V., Pavlov D. S. The place and role of downstream migration of ammocoetes in the life cycle of the European river lamprey *Lampetra fluviatilis* (Petromyzontidae) // Journal of Ichthyology. 2022. Vol. 62, no. 7. P. 1269-1283. <https://doi.org/10.1134/S0032945222060352>
4. Potter I. C., Hill B. J., Gentleman S. Survival and Behaviour of Ammocoetes at Low Oxygen Tensions // Journal of Experimental Biology. 1970. Vol. 53. P. 59-73. <https://doi.org/10.1242/jeb.53.1.59>
5. Medne R., Purvina S., Vjačeslavs R. Handbook for river lamprey restocking methods. Riga, Latvia: Institute of Food Safety, Animal Health and Environment «BIOR», 2020. 24 p. <https://bior.lv/sites/default/files/inline-files/Handbook%20for%20river%20lamprey%20restocing.pdf>

Межгодовая динамика планктонного сообщества и факторы, ее определяющие в прибрежной акватории Севастополя

Крашенинникова С. Б.*, Ли Р. И., Минкина Н. И., Серегин С. А., Басова М. М., Самышев Э. З.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Interannual dynamics of the plankton community and the factors determining it in the coastal waters of Sevastopol

Krasheninnikova S. B.*, Lee R. I., Minkina N. I., Seregin S. A., Basova M. M., Samyshev E. Z.

Federal Research Center Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

✉ svetlanabk@mail.ru

Фито-, зоо-, ихтиопланктон – компоненты экосистем прибрежной акватории Севастополя. Изучение их динамики позволяет получить информацию о биопродуктивности и экологическом состоянии вод [1–5]. Высокая смертность рыб на ранних стадиях онтогенеза требует выявления факторов, на нее влияющих, и является чрезвычайно важной проблемой [4 ; 5].

Влияние гидрометеорологических параметров на распределение показателей планктона изучено недостаточно [1]. Это касается ветровых характеристик, которые способствуют горизонтальному и вертикальному перемешиванию вод, влияющему на распределение питательных веществ и сообществ планктона [3–5]. Апвеллинги, вызванные ветрами определенных направлений, существенно способствуют увеличению биопродуктивности прибрежных вод [3 ; 5], за счет подъема богатых биогенными элементами вод из глубоководных районов к поверхности. Влияние ветровых процессов на распределение планктонных сообществ может в разных районах проявляться неодинаково. Это зависит от орографических особенностей береговой линии [4].

На региональную динамику планктона могут оказывать влияние дальние связи глобальных процессов взаимодействия океана и атмосферы, каковыми являются, например, Североатлантическое колебание [2 ; 5].

Цель работы: исследовать межгодовую динамику планктонного сообщества и факторы, ее определяющие в прибрежной акватории Севастополя.

На основе данных полевого мониторинга, изучены особенности изменения фито-, зоо-, ихтиопланктона под действием гидрометеорологических факторов в прибрежной акватории Севастополя в разные сезоны за многолетний период наблюдений.

Установлено положительное влияние северного ветра на подъем богатых питательными веществами вод для прибрежной акватории Севастополя весной 2000–2021 гг. Северный ветер способствует поступлению биогенных веществ с речным стоком северо-западного шельфа в прибрежную зону Севастополя [3].

По данным измерений 2010–2021 гг. выявлены значимые связи между обилием отдельных фракций метазойного микрозоопланктона и гидрометеорологическими параметрами: общими температурами теплого периода года (май–октябрь) (отрицательная), периодичностью южных и юго-западных ветров (отрицательная) и летним индексом Североатлантического колебания (САК) с лагом в 1 год (положительная).

На основе данных измерений с применением быстрого преобразования Фурье (БПФ) проанализирована сезонная и межгодовая динамика численности и биомассы фитопланктона в 2013–2014 гг., концентрации хлорофилла-*a* в 2000–2003 и 2008–2021 гг. в условиях изменения температуры воды в прибрежной акватории Севастополя и в устьевой части Севастопольской бухты. Уточнены экстремумы сезонного цикла указанных параметров, оценен вклад изменчивости их годовых и полугодовых гармоник в сезонный цикл, который составил более 56% [2].

В изменчивости фито-, зоо- и хищоплантона, концентрации хлорофилла-а выявлены типичные периоды межгодовой изменчивости 2–4-летние и 5–6-летние, обусловленные, действием глобальных климатических сигналов [2 ; 5].

Показано, что обилие хищопланктона в Севастопольской бухте регулируется ветровым режимом, распространением загрязнений, биогенных элементов и стоком рек. На основе проведенного анализа данных о численности хищопланктона и загрязнений удалось выделить следующие районы в Севастопольской бухте: западный (Равелин) (слабое загрязнение), южный (Южная бухта) (сильное загрязнение), центральный (Авлита, мыс Павловский) (сильное загрязнение) и восточный (Сухарная, Инкерман) (умеренного загрязнения). В восточном районе дополнительным фактором, влияющим на численность хищопланктона, является сток рек, тогда как в западном и центральном районах такими факторами стали ветровые характеристики, обусловленные особенностями орографии.

Впервые выявлена тенденция общего снижения численности хищопланктона в период нереста на всех станциях Севастопольской бухты за период 2012–2021 гг. Установлено положительное влияние повторяемости северных и северо-восточных ветров на численность хищопланктона [4]. Уменьшение средней численности икры и личинок наблюдалось в период летнего нереста в прибрежной акватории Севастополя 1960–2017 гг., что сопровождалось общим повышением температуры, уменьшением солености, скорости и повторяемости ветра северо-восточного направления [5].

Работа выполнена по теме госзадания ФИЦ ИнБЮМ (№ 124030100137-6).

Список литературы

1. Крашенинникова С. Б., Минкина Н. И., Шокурова И. Г., Самышев Э. З. Комплексный анализ распределения компонентов экосистемы в Черном море с учетом гидрохимических и гидрометеорологических факторов // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 1. С. 103–111. <https://doi.org/10.31857/S0321059622010096>
2. Krasheninnikova S. B., Chmyr V. D., Lee R. I., Minkina N. I. Long-Term Dynamics of Phytoplankton Parameters and Water Temperature in the Area of Sevastopol (Black Sea) // Oceanology. 2024. Vol. 64, no. 3. P. 391-401. <https://doi.org/10.1134/S0001437024700061>.
3. Krasheninnikova S., Shokurova I., Yakovenko V., Lee R. Features of phytoplankton changes in the Sevastopol and Karadag coastal areas (the Black sea) in spring // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2024. Vol. 303. Art. no. 108777 (8 p.). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108777>.
4. Basova M., Krasheninnikova S., Parrino V. Intra-Decadal (2012–2021) Dynamics of Spatial Ichthyoplankton Distribution in Sevastopol Bay (Black Sea) Affected by Hydrometeorological Factors // Animals. 2022. Vol. 12, iss. 23. Art. no. 3317. <https://doi.org/10.3390/ani1223331>.
5. Basova M., Krasheninnikova S., Fazio F. The long-term ichthyoplankton abundance summer trends in the coastal waters of the Black Sea under conditions of hydrometeorological changes // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2021. Vol. 258. Article no. 107450 (7 p.). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107450>.

Климатические изменения экосистемы эпипелагиали Черного моря

Мельников В. В.^{1*}, Серебренников А. Н.², Чудиновских Е. С.¹

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

Climatic changes in the Black Sea epipelagic ecosystem

Melnikov V. V.^{1*}, Serebrennikov A. N.², Chudinovskikh E. S.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

✉ sevlina@rambler.ru

Ключевые слова: Черное море, экосистема, климатические изменения, деоксигенация, потепление, boreальные виды, вселенцы

Климатические изменения экосистемы Черного моря (ЧМ) можно разделить на две группы: первичные и вторичные. К первичным можно отнести физико-химические изменения условий среды и изменения структуры водных масс. К вторичным можно отнести биологические процессы, реагирующие на изменения первичных (изменения биоразнообразия, продукции, вселенцы и пр.).

Первичные изменения началось в 1980-х годах, когда в результате развития сельского хозяйства в море стало поступать огромное количество биогенов. Это вызвало стремительный рост биомассы фитопланктона и последующую гиперэвтрофикацию [1]. Отмирающая органика стала опускаться и концентрироваться в зоне основного пикноклина. Растворенного кислорода стало не хватать на ее окисление, что вызвало подъем нижней границы кислородной зоны почти на 60 м вверх в глубоководной зоне моря [2 ; 3]. После эпохи «зеленой революции» примерно с 1995 года начался период постэвтрофикации [1], который должен был увеличить количество кислорода в глубинах ЧМ. Однако, на смену химическим причинам деоксигенации, пришли физические, связанные с изменениями климата [4]: на протяжении последних 40 лет происходит постепенный прогрев поверхностных водных масс, включая слой основного пикноклина [5]. Этот процесс не только не остановил деоксигенацию глубин моря, а усилил ее, сократив общее количество кислорода в глубинах ЧМ моря на 44% [6]. Кроме того, в последние годы произошла новая катастрофа: череда теплых зим привела к размытию и исчезновению холодного промежуточного слоя¹ (ХПС) [7], который позволял существовать в ЧМ комплексу boreально-арктических реликтов, сохранившихся тут со времен последнего оледенения.

Вторичные изменения также начались 1980-х годах. В результате подъема нижней границы² обитания кормового зоопланктона в глубоководной зоне моря на 60 м вверх [3 ; 7 ; 8], он стал доступен для черноморского шпрота *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758). Шпрот стал жирным и почти в 10 раз увеличил свою численность [9]. Количество калянуса *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991 в составе пищевых комков в желудках этих рыб возросло с 30 до 100% [10]. Математическое моделирование популяционной структуры *C. euxinus* показало, что в случае попадания дневных скоплений калянуса в слой обитания шпрота, происходит интенсивное выедание копепод [11]. Завершение пика обилия черноморского шпрота произошло в конце 1980-х годов, когда в потеплевшее ЧМ с балластными водами был случайно завезен гребневик *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865, который начал активно уничтожать меропланктон, зоо - и ихтиопланктон, включая икру и личинок рыб [12]. Дальнейшее потепление моря вызвало существенное увеличение тепловодных видов-вселенцев, среди которых в 1990-х годах был занесен новый гребневик - *Beroe ovata* Bruguière, 1789, питающийся гребневиком *M. leidyi* [12]. После этого численность *M. leidyi* уменьшилась и наступил период восстановления

¹Традиционно регистрируемый по изотермам 8 °C [5]

²Основная масса кормового зоопланктона концентрируется днем у верхней границы субкислородного слоя при концентрации кислорода до 10 µM [8]

экосистемы ЧМ. Однако, по сравнению с её состоянием в 1970-е годы, в постэвтрофикационный период [1] комплекс холодноводных видов в глубоководной части ЧМ оказался поднят на 60 м вверх [3 ; 7 ; 8], а зона их суточных вертикальных миграций начала сокращаться в л до тиз-за уменьшения толщины ХПС. Результаты настоящего исследования и данные E. V. Stanev et al. [7] свидетельствуют о том, что в последние годы ХПС вообще перестал образовываться и постепенно в Чисчез: и как водная масса [5] и как биотоп холодноводных видов ее е. Последнее означает существенное ухудшение условий для существования boreально-арктических видов, создающих основную массу кормового зоопланктона, и мелких рыб планктонофагов. Поэтому, при сохранении текущих климатических тенденций, в ближайшей перспективе следует ожидать существенную перестройку экосистемы ЧМ за счет увеличения роли тепловодных и эвритермных видов.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (№ гос. регистрации 124030100137-6) и «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость морской среды и прилегающих территорий в широком диапазоне масштабов» (№ госзадания: 124020100120-9).

Список литературы

1. Mikaelyan A. S., Zatsepin A. G., Chasovnikov V. K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea // Journal of Marine Systems. 2013. Vol. 117–118. P. 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.012>
2. Konovalov S., Murray G., Luther, G. Basic Processes of Black Sea Biogeochemistry // Oceanography. 2005. Vol. 18, no. 2. P. 28-35. <http://www.jstor.org/stable/43925672>
3. Friedrich J., Janssen F., Aleynik D. et al. Investigating hypoxia in aquatic environments: diverse approaches to addressing a complex phenomenon // Biogeosciences. 2014. Vol. 11, iss. 4. P. 1215-1259. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1215-2014>
4. Видничук А. В., Коновалов С. К. Изменение кислородного режима глубоководной части Черного моря за период 1980–2019 годы // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 2. С. 195–206. [10.22449/0233-7584-2021-2-195-206](https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-2-195-206)
5. Белокопытов В. Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря: автореферат дис. ... доктора географических наук: 25.00.28 / Владимир Николаевич Белокопытов; [Место защиты: ФГБУН Морской гидрофизический институт Российской академии наук], 2017. 377 с.
6. Capet A., Vandebulcke L., Grégoire M. A new intermittent regime of convective ventilation threatens the Black Sea oxygenation status // Biogeosciences. 2020. Vol. 17, iss. 24. P. 6507-6525. <https://doi.org/10.5194/bg-17-6507-2020>
7. Stanev E. V., Peneva E., Chtirkova B. Climate change and regional ocean water mass disappearance: Case of the Black Sea // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124, iss. 7. P. 4803-4819. <https://doi.org/10.1029/2019JC015076>
8. Melnikov V., Minkina N., Melnik L., Pollehne F. Distribution of *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827) and zooplankton near the Black Sea redoxcline // Journal of Fish Biology. 2021. Vol. 99, iss. 4, P. 1393–1402. <https://doi.org/10.1111/jfb.14848>.
9. Шульман Г. Е., Никольский В. Н., Юнева Т. В., Щепкина А. М., Бат Л., Кидейш А. Е., Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Чёрного моря // Морской Экологический Журнал. 2007. Т. 4, № 6. С. 18-30.

10. Овен Л. С., Шевченко Н. Ф., Володин С. В. Питание шпрота в разных районах Черного моря // Современное состояние ихтиофауны Черного моря : сб. научн. трудов / НАН Украины. Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, отв. ред. Коновалов С.М. Севастополь, 1996. С. 34-38. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/8415>
11. Vasechkina E. F., Melnikov V .V. Modeling the structure changes of cold-water copepods *Calanus euxinus* population under the influence of the Black Sea depths deoxygenation // Marine systems. 2024. (в печати).
12. Шиганова Т. А. Чужеродные виды в экосистемах южных внутренних морей Евразии : диссертация ... доктора биологических наук : 03.00.18 / Шиганова Тамара Александровна; [Место защиты: Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН]. Москва, 2009. 797 с.

Зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации хлорофилла *a* в акватории полуострова Камчатка

Моисеева Н. А., Чурилова Т. Я., Скороход Е. Ю., Ефимова Т. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Dependence of fluorescence intensity on chlorophyll *a* concentration in the waters of the Kamchatka Peninsula

Moiseeva N. A., Churilova T. Ya., Skorokhod E. Yu., Efimova T. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ moiseeva@ibss-ras.ru

Ключевые слова: флуоресценция, хлорофилл *a*, погружной зонд, поглощение света пигментами
фитопланктона, прибрежные воды Камчатки

На основе данных интенсивности флуоресценции рассчитывают концентрацию фотосинтетически активного пигмента – хлорофилла *a* [1 ; 2]. Коэффициент связи между интенсивностью флуоресценции и концентрацией хлорофилла *a* зависит от количества поглощенного фитопланктоном света и способности преобразовывать поглощенные кванты света в энергию [1].

Работы выполнены в прибрежной акватории Камчатки в августе–сентябре 2023 года.

В исследуемый период наблюдалась стратификация вод в пределах освещенного слоя. Для анализа изменений коэффициента связи концентрации хлорофилла *a* с интенсивность флуоресценции было выделено три слоя, различающиеся по условиям существования фитопланктона: верхний перемешанный слой, термоклин и слой от термоклина до конца зоны фотосинтеза. Установлено изменение удельного (нормированного на концентрацию хлорофилла *a*) показателя поглощения света пигментами фитопланктона по выделенным слоям, которое обусловлено адаптацией фитопланктона к световым условиям существования. Выявлено снижение квантового выхода флуоресценции в верхнем перемешанном слое под действием естественной освещенности. Таким образом, изменение функциональных характеристик фитопланктона по выделенным слоям приводит к изменению коэффициента связи концентрации хлорофилла *a* с интенсивность флуоресценции, регистрируемой погружным зондом.

Сравнительный анализ выполнены в рамках темы госзадания №124030100106-2, расчёты и обработка данных проводились при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037.

Список литературы

1. Huot Y., Babin M. Overview of Fluorescence Protocols: Theory, Basic Concepts, and Practice // Chlorophyll *a* Fluorescence in Aquatic Sciences: Methods and Applications / Eds: D. J. Sutgett, O. Prášil, M. A. Borowitzka. Dordrecht, Netherlands : Springer, 2010. P. 31–74.
2. Babin M. Phytoplankton fluorescence: theory, current literature and in situ measurement // Real-time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling / Eds: M. Babin, C. S. Roesler, J. J. Cullen. Paris : UNESCO, 2008. P. 237–280.

Определение типоспецифических участков водных объектов низовий Днепра с помощью высшей водной растительности

Овечко С. В.

Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии – филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Determination of water bodies type-specific sections in the lower reaches of the Dnieper with the higher aquatic vegetation

Ovechko S. V.

Scientific Research Center of Freshwater and Brackish-water Hydrobiology – Branch of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ ovechko@ibss-ras.ru

Ключевые слова: высшие водные растения, низовья Днепра, исчезающие виды, охраняемые ценозы, растительные формации, экологический потенциал

Главным условием, определяющим богатство и разнообразие флористического состава водной растительности, выступает интенсивность автотрофного процесса, протекающего в водной экосистеме. В стабильных условиях чистых экосистем структура растительных сообществ состоит из большого количества видов, среди которых преобладают крупные многолетние формы с медленным ростом. С переходом к эвтрофным условиям, при которых повышается интенсивность первично продукционного процесса, наблюдается уменьшение биоразнообразия за счет вытеснения из структуры растительных сообществ видов с низкой функциональной активностью. Интенсивность автотрофного процесса, увеличивающаяся при этом, реализуется за счет функционирования небольшого количества мелких, с короткой цикличностью, быстро растущих видов. В связи с этим флористическое разнообразие и особенности видового состава растительных сообществ могут выступать как критерии, оценивающие уровень продукционного процесса и общие экологические условия водной экосистемы [1].

В связи с тем, что наиболее уязвимыми всегда являются виды, уже находящиеся под охраной, мы попытались определить участки, которые были наименее нарушены антропогенным воздействием по показателям состава сообществ водной растительности, а также по наличию в них редких и исчезающих видов.

В низовьях Днепра встречается ряд охраняемых видов: *Ceratophyllum tanaiticum* (Европейский Красный список); *Aldrovanda vesiculosa*, *Nymphaoides peltata*, *Salvinia natans*, *Trapa natans* (Красная книга Украины); *Nymphaea alba*, *Utricularia vulgaris* (Красный список Херсонской области). Эти виды формируют, и входят в состав редких сообществ, включенных в Зеленую книгу Украины: *Aldrovandeta vesiculosae*, *Ceratophylleta submersi*, *Nuphareta luteae*, *Nymphoideta peltatae*, *Potamogetoneta sarmatico*, *Salvinia natans*, *Trapeta natantis*.

Сравнивая их современный состав и распространение в водоемах низовий Днепра с литературными данными [3 ; 4][и др.] мы обнаружили значительные расхождения, свидетельствующие о существенных необратимых изменениях. Тем не менее существуют участки, на которых состав растительных сообществ остается более или менее стабильным, на этих территориях в состав ценозов водной растительности входят редкие и исчезающие виды. Нами выделены следующие растительные сообщества:

Среди ценозов плавающеводноореховой формации (*Trapeta natantis*) нами описаны следующие ассоциации:

Плавающеводногореховая ассоциация (*Trapetum natantis purum*) – описанная в рукаве Кардашинская Конка, в проливе Свиридов Бакай и в проливе, впадающем в верхнюю часть Собецкого лимана.

Плавающеводногореховая ассоциация гребенчастордестоовая (*Trapetum natantis* – *potamogetosum pectinati*) Нами не подтверждается, хотя растения *Potamogeton pectinatus* встречались в ценозах данной формации, но доля их участия была низкой (до 20%), вполне возможно, учитывая флуктуационный характер доминанта, что ассоциация еще будет описана для низовья Днепра.

Плавающеводногореховая ассоциация сальвиниева (*Trapetum natantis* – *salviniosum natantis*) – нами описана в проливе между Глухим лиманом и Казачолагерской Конкой.

Плавающеводноореховая ассоциация погруженнороголистниковая (*Trapetum natantis* – *ceratophyllum demersi*) – нами описана в проливе Свиридов Бакай, в проливе в верхней части Собецкого лимана.

Среди ценозов **кувшинковой формации (*Nymphaeata lutei*)** редкой является кувшинковая ассоциация плавающеводноореховая (*Nymphaeum luteae* – *traposum natantis*) – нами описана в трех местообитаниях в низовьях Днепра: Глухой лиман, Цюрупинская Конка, ерик между Конкой и Збуровским лиманом.

Ценозы нимфейниковой формации (*Nymphaeata peltatae*) – в водоемах низовья Днепра нами не подтверждаются. За период исследований мы не встретили ни одного растения *Nymphaeoides peltatae* в генеративной фазе. Хотя литературные данные свидетельствуют о ее значительном распространении в водоемах низовья Днепра, и мы ежегодно тщательно исследовали известные местообитания.

Ценозы полупогруженнороголистниковой формации (*Ceratophylleta submersi*) – нами не подтверждено наличие в низовьях Днепра, но вероятность их нахождения здесь очень высока, нам встречались растения похожие на *Ceratophyllum submersum*, но мы не имели возможности их точно определить, ведь основным диагностическим признаком семейства *Ceratophyllum* являются семена, которые во время сбора материала отсутствовали.

Пузырчатоальдровандовая формация (*Aldrovandeta vesiculosae*) в водоемах низовья Днепра нами не подтверждается, описана нами на Кардашинском болоте.

Сальвиниевая формация (*Salvinia natans*) – нами описана во многих водоемах низовья Днепра, приурочена к участкам где меняется направление течения, или уменьшается ее скорость, в местах впадения проливов и ериков в замкнутые водоемы.

Следовательно мы можем выделить следующие территории, которые возможно отнести к участкам, имеющим наивысший экологический потенциал и нуждающихся в особом режиме охраны: Сабецкий лиман и пролив который соединяет его с оз. Круглое, и оз. Крещатое; Глухой лиман (его нижняя часть), и проливы, сочетающие Глухой лиман с Казачолагерской Конкой; Кардашинская Конка; участок Конки возле Збуровского лимана; Свиридов Бакай.

Список литературы

1. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Дубина Д. В. Состояние и перспективы изучения высшей водной флоры и растительности Украины // Украинский ботанический журнал. 1984. Т. 41, №2. С. 1-11.
2. Гидроботаника: методология, методы: Материалы школы по гидроботанике. Рыбинск : ОАО «Рыбинский дом печати», 2003. 188 с.
3. Андриенко Т. Л. Прядко А. И. Фитоценотическая презентативность болотных природно-заповедных объектов Украины // Украинский ботанический журнал. 1989. Т. 46, №1. С. 77–80.
4. Афанасьев Д. Я. Прибрежно-водная растительность лесостепного и Степного Днепра и водоемов его поймы // Украинский ботанический журнал. 1966. Т. 23, №4. С. 44-49.

Здоровье экосистем шельфа Мирового океана, динамика вод и антропогенные нагрузки

Пионтковский С. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Health of World Ocean shelf ecosystems, water dynamics and anthropogenic loads

Piontkovski S. A.

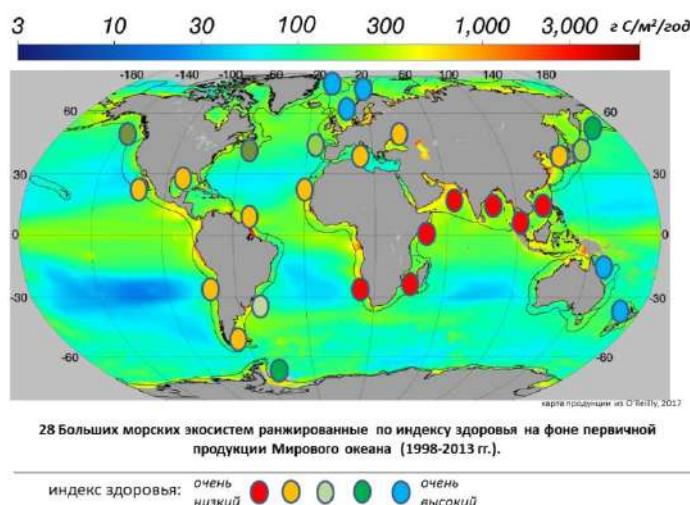
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ spiontkovski@mail.ru

Ключевые слова: экосистемы шельфа, загрязнение, мониторинг, большие морские экосистемы

Экосистемы шельфа Мирового океана обеспечивают 80-95% рыбных уловов и рекреацию сотен миллионов граждан, что делает мониторинг их состояния важной межгосударственной задачей. Методологическую основу глобального мониторинга формирует интегративный подход: индекс здоровья экосистемы, индекс риска и другие являются его продуктами. Спектр составляющих используемых для расчета индексов широк, но достаточно ясно очерчен двумя основополагающими концепциями- Больших морских экосистем и Индекса здоровья экосистем океана [1–4]. В аспекте унифицированной системы мониторинга 66 экосистем шельфа Мирового океана, базовые характеристики структуры и функционирования (первичная продукция, биомасса, прибрежная динамика вод, антропогенные нагрузки и др.) формируют соответствующие кластеры в алгоритмах вычисления индексов.

На основе анализа Мировых баз данных (WOD-2018, WOA-13, NCEP/DOE, DAAC, OBIS, Copepod, JeDI, FishBase, Giovanni, Copernicus, NCEAS, CoML, ITOPF и др.) обсуждается соотношение первичной продукции и биомассы зоопланктона в Мировом океане, соотношение биомассы различных фракций зоопланктона (кормового и желетелого), соотношение биомассы зоопланктона, кинетической энергии течений в верхнем 200-м слое и фоновых концентраций нефтяных углеводородов. Выявлена взаимосвязь между потоком органического углерода на нижней границе эвфотического слоя Мирового океана и биомассой желетелого зоопланктона в верхнем 200-метровом слое. Для 28 пелагических экосистем рассмотрены соотношения между индексом здоровья, первичной продукцией, рыбными уловами и доходами от уловов (рис.).



Показано, что экосистемы, приносящие максимальные доходы, демонстрируют наименьшие индексы здоровья в первых декадах 21 века.

В региональном аспекте, на примере шельфов Персидского залива, Мексиканского залива, Каспийского, Черного и Средиземного морей рассматривается феномен наличия или отсутствия многолетних трендов биомассы зоопланктона в связи с фоновыми концентрациями нефтяных углеводородов (с 1970-х годов до первых декад 21 века).

На примере крымского шельфа обсуждаются причины отсутствия статистически значимых многолетних трендов биомассы фитопланктона, биolumинесцентного потенциала, биомассы кормового зоопланктона и тренда в соотношении первичной продукции к биомассе кормового зоопланктона в первых декадах 21 века. Рассмотрена роль кросс-шельфового массопереноса вод в многолетней изменчивости биомассы планктонного сообщества.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагии в условиях антропогенного воздействия и изменений климата». Регистрационный №: 124030400057-4.

Список литературы

1. Halpern B., Longo C., Hardy D. et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean // Nature. 2012. Vol. 488, no. 11397. P. 615–620. <https://doi.org/10.1038/nature11397>.
2. Halpern B., Frazier M., Best B., Longo C., Lowndes S. Ocean health index for the world's large marine ecosystems // Large Marine Ecosystems: Status and Trends : Summary for Policy Makers / IOC-UNESCO ; United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya : UNEP, 2016. P. 239–249. (Large Marine Ecosystems ; vol. 4).
3. Sherman K. Toward ecosystem-based management (EBM) of the world's large marine ecosystems during climate change // Environmental Development. 2014. Vol. 11. P. 43–66. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.04.006>.
4. Sherman K. Sherman K. Large marine ecosystems: their status and role in ocean governance // The Future of Ocean Governance and Capacity Development. Leiden ; Boston : Brill Nijhoff, 2018. P. 220–226. https://doi.org/10.1163/9789004380271_037.

Сезонный цикл диатомовой водоросли планктона из рода *Pseudo-nitzschia* в акватории Карадагского заповедника

Полякова С. Л.*, Давидович Н. А., Кириенко Е. С., Волкова М. С.

Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Феодосия, Республика Крым, Россия

Seasonal cycle of the planktonic diatoms from the genus *Pseudo-nitzschia* in the waters of the Karadag Nature Reserve

Polyakova S. L.*, Davidovich N. A., Kirienko E. S., Volkova M. S.

Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky – natural reserve of the Russian Academy of Sciences – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center “Institute of Biology of the Southern Seas named after A. O. Kovalevsky RAS”, Feodosia, Republic of Crimea, Russia

✉ svietlana.poliakova.77@mail.ru

Ключевые слова: *Pseudo-nitzschia*, домоевая кислота, цветение, сезонный мониторинг, размерные характеристики, стадии жизненного цикла

В мировом океане основную часть фитопланктонного сообщества составляют диатомовые водоросли и динофлагелляты. Доминанты могут сменяться в зависимости от времени года и условий окружающей среды [1]. Резкое увеличение численности клеток некоторых видов планктона приближается к уровню “цветения”, а это такое состояние водоема, при котором плотность клеток достигает 1 миллиона в литре воды и более [2]. Последствия цветения, как правило, вредны для обитателей водоемов [3]. Среди видов, вызывающих вредоносные цветения отмечены токсикогенные водоросли, в частности, представители рода *Pseudo-nitzschia*, способные продуцировать домоевую кислоту – нейротоксин вызывающий амнезийное моллюсковое отравление. По мнению большинства авторов участвующие случаи цветения обусловлены антропогенным фактором эвтрофикации [4]. В то же время, высказывалось предположение о том, что резкое увеличение численности – это естественный процесс, который у видов рода *Pseudo-nitzschia* связан с половым воспроизведением и переходом большинства клеток в популяции из дорепродуктивной в репродуктивную фазу онтогенеза [5].

Мониторинг присутствия видов рода *Pseudo-nitzschia* осуществляется еженедельно с 2018 по сегодняшний день в акватории Карадагского заповедника. Пробы с причала Биостанции на удалении ста метров от береговой линии отбираются трехкратным вертикальным поднятием малой планктонной сети Джедди с трехметровой глубины. В лаборатории проба по 10 мл, разливается в чаши Петри диаметром 10 см в трех повторностях. Подсчет и измерение клеток окулярной линейкой осуществляется с использованием инвертированного оптического микроскопа “Альтами” (Китай) при общем увеличении 400х.

В результате пятилетнего мониторинга, с конца марта 2018 по май 2024 года, отмечено постоянное присутствие в пробах представителей рода *Pseudo-nitzschia*. Выявлена сезонная зависимость увеличения количества клеток в планктоне вблизи Карадага, которая наблюдалась в основном в весенний период и в начале осени коррелируясь с температурой и фотопериодом. При этом численность в 2018, 2019, 2020 годах варьировалась в диапазоне 600-700 тысяч клеток на литр. Всплеск численности, более 1,5 миллиона клеток на литр, был зафиксирован в начале весны 2021 года. Следует отметить возросшую в эти дни с 3 до 15% частоту встречаемости клеток в популяции, размерные характеристики которых соответствовали генеративной фазе жизненного цикла. Учитывая проблему доставки гамет к месту сингамии в океаническом 3-D пространстве для пеннатных диатомовых планктона из рода *Pseudo-nitzschia*, демонстрирующих гетероталлический способ полового воспроизведения, резкое увеличение численности вплоть до “цветения” возникает с началом репродуктивной фазы для успешной встречи клеток партнеров. В последующие 2022 и 2023 года увеличение

численности было незначительным от 100 до 150 тысяч клеток на литр. В марте 2024 года численность клеток резко увеличилась и приблизилась к показателям 21 года.

По нашим данным наиболее часто в планктоне отмечается токсикогенный вид *Pseudo-nitzschia calliantha*. Значительная интенсификация развития *P. calliantha* в прибрежной зоне Карадагского заповедника может стать причиной отравлений и даже гибели представителей морской фауны.

Работа выполнена в рамках государственного задания Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского заповедника РАН филиала Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН «Изучение фундаментальных характеристик морских гидробионтов, обеспечивающих их функционирование в экосистемах и служащих основой их рационального использования и сохранения» (№ гос. регистрации 124030100100-0).

Список литературы

1. Leterme S. C., Seuront L., Edwards M. Differential contribution of diatoms and dinoflagellates to phytoplankton biomass in the NE Atlantic Ocean and the North Sea // Marine Ecology Progress Series. 2006. Vol. 312, P. 57–65. <https://doi.org/10.3354/meps312057>
2. Протасов В. Ф., Матвеев А. С. Экология: Термины и понятия. Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели: Учебное и справочное пособие. М. : Финансы и статистика. 2001. 208 с.
3. Bates S. S., Bird C. J., de Freitas A. S. W. et al. Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1989. Vol. 46, iss. 7. P. 1203-1215. <https://doi.org/10.1139/f89-156>
4. Hallegraeff G. M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. // Phycologia. 1993. Vol. 32, no. 2. P. 79-99. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-2-79.1>
5. Davidovich N. A., Bates S. S. Sexual reproduction in the pennate diatoms *Pseudo-nitzschia multiseries* and *P. pseudodelicatissima* (Bacillariophyceae) // Journal of Phycology. 1998. Vol. 34, iss. 1. P. 126-137. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1998.340126.x>

Годовая динамика гонадо-соматического индекса двух морфологических форм атерины *A. boyeri* у побережья Крыма

Самотой Ю. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Annual dynamics of the gonado-somatic index of two morphological forms of atherina *A. boyeri*
off the coast of Crimea**

Samotoi Iu. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ samotoi@ibss.su

Ключевые слова: *A. boyeri*, нерест, гонадо-соматический индекс

Атерина *Atherina boyeri* Risso, 1810 – короткоцикличный эвригалинний вид, широко распространённый и многочисленный в морях Средиземноморского бассейна, встречается в Северо-Восточной Атлантике, от Азорских островов до берегов Голландии и северо-западного побережья Шотландии [4]. Населяет главным образом прибрежные и эстuarные морские воды, лагуны, реже внутренние водоёмы, от пресных до солёных; пелагический планктофаг. В Чёрном и Азовском морях нерестится с мая по август [2]. Видовая принадлежность представителей локальных популяций, включаемых в *A. boyeri* остаётся дискуссионным вопросом. Вероятно, в пределах бассейна Чёрного моря обитает до трёх криптических видов, обнаружающих высокий уровень генетической дивергенции, с одной стороны, и ту или иную степень перекрывания морфологических признаков – с другой [1]. Известно что *A. boyeri* демонстрируют высокий уровень адаптивной пластиности, свойственной их генетической структуре [3]. У морских видов существует множество причин для накопления генетических различий между крупными, полуизолированными морскими популяциями. Внутри популяций и между ними может действовать целый набор хорошо известных эволюционных механизмов, приводящих к генетической дивергенции. Разнообразие механизмов генетической дивергенции сопровождается большим разнообразием типов репродуктивной изоляции, демонстрируемой недавно разошедшимися морскими видами. Благодаря возникновению и развитию механизмов репродуктивной изоляции новые виды создаются и сохраняются как самостоятельные единицы. Механизмы репродуктивной изоляции действуют между симпатическими популяциями видов, обитающих в одной и той же географической области. Экологическая изоляция представителей популяций из разных местообитаний одного и того же географического региона, сезонная или временная изоляция, поведенческая или этологическая изоляция, нежизнеспособность или стерильность гибридных форм и другие механизмы действуют отдельно или в комбинациях и генетически обусловлены. Таким образом, обмен генами между симпатическими видами не происходит за счет предотвращения скрещивания между ними [5].

Объектом текущего исследования являлись две морфологические формы атерины *A. boyeri* – непятнистой (или коричневой) характеризующейся отсутствием капсуловидных расширений гемальных дуг, числом жаберных тычинок на 1-й жаберной дуге от 31 до 35 (в среднем 33) и пятнистой – характеризующаяся наличием капсуловидных расширений гемальных дуг и числом жаберных тычинок на 1-й жаберной дуге от 27 до 31 (в среднем 29). Цель данного исследования – сравнить различия динамики гонадо-соматического индекса (ГСИ) двух, имеющих меристические различия, черноморских форм *A. boyeri*, что позволит оценить возможность репродуктивной изоляции данных форм атерины в Чёрном море

Для анализа динамики ГСИ были использованы данные с 2003 по 2022 гг. из района Севастополя, Керчи и южной части Каркинитского залива. Достоверность различий между выборками определяли с помощью тестов Колмогорова-Смирнова или Манна-Уитни (в случае небольшого объёма выборки).

Установлены статистически значимые различия при оценке различий морфологических признаков двух групп атерин по количеству жаберных тычинок между выборками форм *A.boyeri* – малотычинковой (пятнистой) и многотычинковой (коричневой). Уровень значимости $p < 0.01$.

По литературным данным [2] нерест *A.boyeri* в Черном море происходит с мая по август. По нашим наблюдениям в районе Севастополя увеличение ГСИ у **коричневой** многотычинковой формы атерины начинается с конца марта, начало массового нереста приходится на начало-середину мая, а пик нереста на начало-середину июня, завершается к концу июля. Увеличение ГСИ у **пятнистой** малотычинковой формы атерины начинается с декабря, начало массового нереста приходится на конец марта-апрель, его пик на конец апреля начало мая, завершается массовый нерест к концу июня. ГСИ самок **коричневой** формы в течение года колеблется от 0.08 до 19.82, самцов от 0.04 до 13.80. ГСИ самок **пятнистой** формы в течение года колеблется от 0.15 до 15.22, самцов от 0.26 до 11.25. Также были отмечены достоверно (уровень значимости $p < 0.05$) более высокое среднее значение ГСИ в нерестовый период для атерин **коричневой** формы. Средние значения ГСИ обоих полов пятнистой формы были достоверно выше с декабря по апрель. ГСИ самок коричневой формы был достоверно выше с мая по июль, а ГСИ самцов коричневой формы – в июне.

Размножение многотычинковой формы в районе Севастополя происходит позднее при более высоких температурах и сопровождается более высоким значением ГСИ. Сегрегация по срокам нереста способствует частичной репродуктивной изоляции и устойчивости изученных морфологических форм. Данные различия делают целесообразными дальнейшие исследования генетических различий данных форм *A.boyeri* в Чёрном море. Важной задачей является изучение причин формирования и устойчивости двух форм. Вероятно количество жаберных тычинок и различия сроков нереста обусловлено специализацией на кормовых объектах различного размера, что ведет к дезруптивному отбору.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБиОМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Васильева Е. Д. Диагностические признаки и таксономия средиземноморских атерин из группы *Atherina boyeri* (Atherinidae) // Вопросы ихтиологии. 2017. Т. 57, № 6, С. 627–639. <https://doi.org/10.7868/S0042875217060145>
2. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. Москва ; Ленинград : Наука, 1964. 550 с.
3. Bamber R. N., Henderson P. A. Pre-adaptive plasticity in atherinids and the estuarine seat of teleost evolution // Journal of Fish Biology. 1988. Vol. 33 (Supplement A). P. 17-23. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05554.x>
4. Fishes of the North-Eastern Atlantic and Mediterranean / Eds. P.J.P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen, E. Tortonese. Paris : UNESCO, 1986, Vol. 2, P. 1207–1210.
5. Hall B. K., Hallgrímsson B. Strickberger's evolution. Jones & Bartlett Publishers, 2011. 761 pp.

Тепловой баланс пушистодубовых лесов на примере Карадагского заповедника

Сафонова М. С.*, Табунщик В. А., Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Heat budget of downy oak forests using the example of the Karadag Nature Reserve

Safonova M. S.*, Tabunshchik V. A., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Y.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ malashina@ibss-ras.ru

Ключевые слова: леса, климат, тепловой баланс, дуб пушистый, радиационный баланс

Важность изучения теплового баланса, его составляющих и их соотношение между собой определяется выявлением закономерностей, определяющих метеорологический и гидрологический режим экосистем, и возможностью прогноза и расчета основных процессов и явлений, характеризующих структуру и функционирование экосистем. Сведения о тепловом балансе поверхности и прилегающий слоев атмосферы имеют большое значение при изучении причинно-следственных связей и закономерностей всего комплекса природных процессов [1].

Преобразование поступающей на земную поверхность солнечной энергии оказывает большое влияние на динамику всех экзогенных природных процессов, следовательно, на основе данных по тепловому балансу возможно проводить исследования многих географических закономерностей. Обмен теплом между поверхностью и атмосферой происходит посредством потоков длинноволновой радиации, а также потоков явного и скрытого тепла [2].

Для описания особенностей теплового баланса и распределения потоков тепла в лесных ландшафтах Юго-Восточного Крыма [3] в качестве ключевого участка выбран пушистодубовый лес, как типичный для данного региона вид сообщества. Он располагается на территории Карадагского заповедника, на склоне восточной экспозиции хребта Беш-Таш.

В основе представления об уравнении теплового лежит закон сохранения энергии, применяемый для вертикальной колонны, захватывающей всю внешнюю географическую оболочку. Уравнение теплового баланса земной поверхности является суммой всех потоков тепла между поверхностью и окружающим пространством.

Тепловой баланс территории в целом зависит от климатических параметров и характера подстилающей поверхности. Основным характеризующим параметром является радиационный баланс, распределение которого в экосистеме определяет ее состояние и формирует потоки тепла. Методика расчета радиационного баланса и его компонентов сформулирована Будыко М.И. [1]. Для проведения исследований на территории выбраны площадки для измерения основных метеопараметров: открытый участок в зоне произрастания леса, на котором происходит фиксация значений без влияния растительного покрова, и типичный для сообщества участок леса, в котором идет дублирование ряда измерений, что позволит проследить влияние растительности на распределение потоков вещества и энергии.

В результате исследований в соответствии со сменой сезонов и изменения этапа вегетации радиационный баланс в свою очередь формирует основные потоки тепла в экосистеме. Согласно выявленной закономерности изменения затрат тепла на испарение и турбулентный поток тепла будут происходить аналогично радиационному балансу и будут постепенно возрастать к весне до момента развития полной кроны, после чего данные показатели снижаются, в отличие от значений открытого участка, где наблюдается постоянный рост.

Отдельно стоит отметить поток тепла в почве, для обоих рассматриваемых ключевых участков характерно попеременное возрастание и понижение значений, однако лесная растительность способствует сглаживаю перепадов и уменьшению амплитуды колебаний значений данного параметра.

Таким образом впервые сделан расчет параметров теплового баланса на локальном уровне на основе ежечасных наблюдений, позволяющих более детально рассмотреть характер изменения того или иного параметра в необходимый интервал времени, в отличии от большинства отечественных работ, рассматривающих тепловой баланс в масштабе месяцев и сезонов, что позволяло пренебречь некоторыми значениями.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).

Список литературы

1. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1956. 256 с.
2. Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Логинов С. В., Соколов К. И., Харюткина Е. В. Изменчивость составляющих теплового баланса поверхности азиатской территории России в период современного глобального потепления // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т.24. № 1 С.22-29.
3. Корсакова С. П. Агроклиматические ресурсы участка № 32 Никитского ботанического сада // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян». 2015. № 6. С. 6-19.

Суточные вертикальные миграции зоопланктона в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона (Балтийское море) в августе 2022 г.

Семенова А. С.^{1,2,3}

¹Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии, Калининград, Россия

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

³Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

Monitoring of methane bubble emission and hydrological parameters in Laspi Bay (Crimea)

Semenova A. S.^{1,2,3}

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Atlantic Branch (AtlantNIRO),
Kalininograd, Russia

²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

³Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

✉ a.s.semenowa@mail.ru

Ключевые слова: зоопланктон, Балтийское море, суточные вертикальные миграции, доля мертвых
особей

С целью установления характера вертикальных миграций массовых и доминирующих видов зоопланктона в августе 2022 г. в дневное и вечернее время суток были выполнены исследования на станции с глубиной 80 м (полусуточная станция) в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона расположенной в юго-восточной части Балтийского моря. Сбор и обработку проб выполняли по стандартным методикам. Пробы зоопланктона отбирали батометром на 8 горизонтах фотического слоя (0 м; 2,5 м; 5 м; 7,5 м; 10 м; 15 м; 20 м; 25 м), также дополнительно были отобраны пробы над термоклинном и галоклином, на 4 метра выше дна (дно+4 м) и у дна. Для установления доли мертвых особей в зоопланктоне сразу после отбора пробы зоопланктона окрашивали нейтральным красным красителем [3].

К массовым и доминирующими видам в августе 2022 г. для которых были изучены вертикальные миграции, относились коловратки *Keratella quadrata*, ветвистоусые ракообразные *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Evdne nordmanni* и *Podon intermedius*, веслоногие ракообразные *Acartia* spp., *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus* и *Temora longicornis*. Отдельно хотелось бы отметить такой вид как *Cercopagis pergoi*, который вследствие крупных размеров также относился к доминирующему по биомассе, но был встречен единично и все его особи были мертвые, вследствие чего он был исключен нами из анализа.

Массовые и доминирующие виды в августе 2022 г. были неравномерно распределены по горизонтам отбора проб, одни виды на протяжении всего периода исследований были приурочены к определенным слоям и горизонтам, другие виды совершили активные вертикальные миграции. Коловратки *Keratella quadrata* на протяжении всего периода исследований были сосредоточены в поверхностном слое до глубины 7,5–10 м, в 13 ч 15 мин они были более равномерно распределены в слое 0–10 м, в 17 ч 30 мин в большей степени были сосредоточены у поверхности, а к 20 ч 50 мин на горизонте 2,5 м, соответственно этот вид мигрирует очень слабо и только в пределах поверхностного слоя. *Bosmina (Eubosmina) coregoni* была в основном сосредоточена в слое 0–25 м, в более глубоких слоях в частности над термо- и галоклином были отмечены уже не живые особи этого вида. В 13 ч 15 мин основная часть популяции этого вида находилась в слое 7,5–10 м, в 17 ч 30 мин – на горизонте 0 м, в 20 ч 50 мин – на горизонте 2,5 м, соответственно этот вид мигрирует слабо в пределах поверхностного слоя. *Evdne nordmanni* в 13 ч 15 мин была в основном сосредоточена на глубине 10 м и над

галоклином, в 17 ч 30 мин – на горизонтах 2,5 и 5 м, в 20 ч 50 мин – на горизонтах 20 и 25 м, этот вид совершает более активные миграции в слое от поверхности до галоклина (50 м), возможно часть популяции *Eavadne nordmanni* также находилась ниже галоклина, но не облавливалась при наших исследованиях. *Podon intermedius* в 13 ч 15 мин был рассредоточен в слое 2,5–10 м, вероятно часть популяции этого вида находилась на необлавляемых нами горизонтах ниже 50 м, в 17 ч 30 мин он был в массе отмечен у поверхности, а также на горизонтах 2,5 и 5 м, в 20 ч 50 мин – на горизонтах 20 и 25 м, этот вид совершал одни из самых активных миграций, этот вид – хищник [1] и вероятно так активно мигрировал в поисках жертв. *Acartia* spp. на протяжении всего периода исследований была рассредоточена в слое 0–25 м, часть популяции над термо- и галоклином была представлена отмирающими особями, четких миграций этого таксона выявить не удалось. *Centropages hamatus* в 13 ч 15 мин был сосредоточен над галоклином, возможно часть его популяции также не была нами обловлена, затем этот вид постепенно поднимался в выше расположенные слои воды и в 17 ч 30 мин был в большей степени сосредоточен на горизонтах 20 и 25 м, в 20 ч 50 мин – на горизонтах 15 и 20 м, этот вид совершал активные миграции в вышележащие слои воды. *Pseudocalanus elongatus* на протяжении всего периода исследований был сосредоточен в слое от дна до термоклина, этот слой облавливался с меньшей частотой по сравнению с поверхностным 0–25 м слоем, поэтому часть популяции этого вида была сосредоточена в необлавляемых нами слоях и судить о ее вертикальном распределении и миграциях труднее. В 13 ч 15 мин *Pseudocalanus elongatus* в большей степени был сосредоточен над термоклином и у дна, в 17 ч 30 мин – над термо- и галоклином и у дна, в 20 ч 50 мин – над галоклином, сведения о распределении этого вида у дна в это время отсутствуют. По тем данным, которые у нас имеются можно предположить, что этот вид скорее совершал нисходящие миграции от термоклина в более глубокие слои воды, но чтобы это утверждать с большей уверенностью необходимы дополнительные исследования. *Temora longicornis* в 13 ч 15 мин и 17 ч 30 мин была сосредоточена над термоклином (40 м), возможно часть ее популяции также не была нами обловлена, затем этот вид активно мигрировал и в 20 ч 50 мин был сосредоточен в слое 10–25 м, этот вид совершал активные миграции в вышележащие слои воды.

Таким образом, по полученным нами данным массовые и доминирующие виды можно разделить на несколько групп в соответствии с их вертикальным распределением и совершамыми ими миграциями: 1. слабо мигрирующие (в пределах 2–5 метров) или почти не мигрирующие в пределах поверхностного слоя воды (*Keratella quadrata*, *Bosmina (Eubosmina) coregoni* и *Acartia* spp.); 2. активно мигрирующие (на десятки метров) в слое от галоклина до поверхности, возможно и ниже галоклина, вероятно основная причина этих миграций активный поиск пищи (*Eavadne nordmanni*, *Podon intermedius*); 3. активно мигрирующие от термо- и галоклина в вышележащие слои воды (*Centropages hamatus*, *Temora longicornis*), причина этих миграций также поиск пищи; 4. находятся в слое ниже термо- и галоклина, совершают в нем миграции, но для того, чтобы их точно выявить необходимы дополнительные исследования (*Pseudocalanus elongatus*).

Вертикальное распределение зоопланктона и суточные миграции одних его массовых видов хорошо изучены, других изучены в меньшей степени или почти не изучены [2], согласно этим данным массовые в наших исследованиях веслоногие ракообразные (*Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*) совершают активные суточные миграции на десятки метров, *Bosmina (Eubosmina) coregoni* и *Acartia* spp.) совершают слабые миграции, что подтверждают полученные нами данные.

В связи с активными миграциями ряда видов была отмечена большая разница в вертикальном распределении зоопланктона в разное время суток, при том, что средние для слоя 0–25 м значения численности и биомассы были близки в 13 ч 15 мин – $6,9 \pm 1,4$ тыс. экз./м³ и 357 ± 190 мг/м³, в 17 ч 30 мин – $6,3 \pm 1,8$ тыс. экз./м³ и 203 ± 72 мг/м³, в 20 ч 50 мин – $11,4 \pm 3,5$ тыс. экз./м³ и 370 ± 131 мг/м³. В 13 ч 15 мин численность зоопланктона была довольно равномерно распределена в слое 0–10 м, а в слое 15–20 м снижалась, высокие значения численности были отмечены над термо- и галоклином, тогда как биомасса в это время была распределена очень неравномерно – минимальные ее значения были в поверхностном горизонте 0 м, затем с глубиной она возрастала, пик на 15 м был связан с присутствием единичных крупноразмерных особей *Cercopagis pergoi*. В 17 ч 30 мин ярко выраженный

пик численности и биомассы был отмечен в поверхностном горизонте 0 м, куда из нижележащих слоев совершили миграцию *Keratella quadrata*, *Bosmina (Eubosmina) coregoni* и *Podon intermedius*, с глубиной численность и биомасса снижались, вновь возрастая над термо-и галоклином и у дна. В 20 ч 50 мин пик численности был отмечен на глубине 2,5 м за счет миграции на этот горизонт *Keratella quadrata* и *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, пик биомассы – на глубине 25 м за счет миграции на этот горизонт *Podon intermedius* и *Evadne nordmanni*. Неодинаково в разное время суток были распределены и мертвые особи – в 13 ч 15 мин наибольшая доля погибшего зоопланктона от численности и биомассы была отмечена в слое 15-25 м и над галоклином, в 17 ч 30 мин – на горизонте 2,5 м, в слое 15-20 м, над галоклином и у дна, в 20 ч 50 мин – на горизонте 7,5 м и над термоклином. В целом доля погибшего зоопланктона была на высоком уровне даже в верхнем 25 м слое (16-35%), что было связано с отмиранием летнего комплекса видов.

Список литературы

1. Мордухай-Болтовской Ф.Д., Ривьер И.К. Хищные ветвистоусые Podonidae, Polyphemidae, Cercopagidae и Leptodoridae фауны мира. Л. : Наука, 1987. 182 с.
2. Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. Т.2. Планктон. М., 1984. 375 с.
3. Elliott D. T., Tang K. W. Simple staining method for differentiating live and dead marine zooplankton in field samples // Limnology and Oceanography: Methods. 2009. Vol. 7, iss. 8. P. 585–594.
<https://doi.org/10.4319/lom.2009.7.585>

Использование искусственных нейронных сетей в лимнологии: опыт количественной оценки первичной продукции малых озер

Скворцов В. В.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

The use of artificial neural networks in limnology: experience in quantitative assessment of the primary production of small lakes

Skvortsov V. V.

The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia

 vlad_skvortsov@mail.ru

Ключевые слова: малые озера, первичная продукция, нейронные сети

Такая характеристика озерных экосистем, как продукция фитопланктона является важнейшей оценкой продукционного потенциала озёрной экосистемы. Обычно получение этой информации требует проведения регулярных полевых наблюдений и проведение лабораторных анализов, что не всегда возможно. Однако существует возможность на основе анализа существующей информации об озерных экосистемах построить экспертные системы для количественной оценки этого параметра.

Целью настоящей работы является построение регрессионных моделей для надежного предсказания продукции фитопланктона (первичной продукции) экосистем малых озер.

В этой работе мы опирались на информацию из базы лимнологических данных малых озер, построенной нами. Основу ее составили опубликованные данные исследований, проведенных сотрудниками Института озероведения РАН в 1975–1992 годах [1–6]. В базу включены сведения о 20 малых озерах с площадью зеркала от 0.04 до 14.2 км², расположенных на Карельском перешейке Ленинградской области РФ и в восточной части Латвийской Республики (Латгалия). База состоит из 50 записей и содержит 20 лимнологических характеристик. Все озера, включенные в нее, были исследованы в течение от одного до четырех вегетационных сезонов, морфометрические, гидрологические, гидрохимические и гидробиологические характеристики (параметры) являются средними оценками за указанный сезон года.

Учитывая то обстоятельство, что в экосистемах практически отсутствуют линейные связи между компонентами, пришлось отказаться от классических линейных моделей множественной регрессии и использовать современные методы, такие как Data mining и, в частности, одну из процедур — сплайны многомерной адаптивной регрессии (MARSplines) и искусственные нейронные сети (artificial neural networks - ANN). Результатом применения метода MARSplines, в частности, оказалось определение наиболее важных предикторов величины первичной продукции. Таковыми оказались четыре параметра — (1) средняя глубина озера, (2) доля водосбора озера, покрытого лесами и болотами, (3) доля водосбора, отведённого под пашни и (4) концентрация общего фосфора в воде.

Эти предикторы были использованы для построения нейронно-сетевых регрессионных моделей. Для построения регрессионных моделей использовалось 90% записей базы данных, оставшиеся 10% данных, выбранных случайным образом, являлись независимой выборкой для оценки качества полученных моделей и точности предсказания величины первичной продукции. Качество моделей оценивалось при помощи величин коэффициента детерминации (R^2) и средней абсолютной ошибки в процентах (MAPE — mean absolute percentage error).

В результате испытания нейронно-сетевых регрессионных моделей и сравнения их результатов с восемью независимыми выборками были разработаны прогностические модели для количественной оценки величины продукции фитопланктона малых озер, которые характеризуются следующими показателями точности ($\bar{x} \pm SE$): $R^2 = 0.993 \pm 0.026$ и MAPE = $16.4\% \pm 1.2\%$. Окончательная версия данной регрессионной модели, построенная на всём массиве данных, состоит из четырёх входов

(предикторов), девяти скрытых нейронов, с логистической активационной функцией, $R^2 = 0.964$, MAPE = 16.1%. Достигнутая точность прогнозирования оцениваются как хорошая (10-20% — Good forecasting) [7].

Таким образом, можно сделать заключение, что эту модель можно рекомендовать для практического использования специалистами лимнологами и ихтиологами для оценки продукционного потенциала малых озер в пределах указанной территории. Модель сохранена в виде файла на языке C++.

Работа выполнена на факультете биологии РГПУ им. А.И. Герцена в рамках Направления № 21 «Адаптивные реакции биологических систем на специфические и неспецифические воздействия факторов внешней среды» по теме «Экология сообществ зообентоса озер, рек, морей и их изменений под действием природных и антропогенных факторов».

Список литературы

1. Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки / отв. ред. В. Г. Драбкова, М. Я. Прыткова. Л. : Наука, 1988. 312 с.
2. Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка / отв. ред. И. Н. Андроникова, К. А. Мокиевский. Л.: Наука, 1984. 296 с.
3. Реакция экосистем озёр на хозяйственное преобразование их водосборов / ред. В. Г. Драбкова. Л. : Наука, 1983. 240 с.
4. Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озер / отв. ред. В. Г. Драбкова, Е. А. Стравинская. Л. : Наука, 1989. 268 с.
5. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука, 1990. 184 с.
6. Экология застраивающего озера и проблема его восстановления / отв. ред. В. Г. Драбкова, М. Я. Прыткова. СПб. : Наука, 1999. 222 с.
7. Lewis C. D. Industrial and Business Forecasting Methods. London : Butterworths Publishing, 1982, 40 p.

Трансформация структуры и функциональных характеристик фитопланктона Черного моря под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки

Стельмакх Л. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, РФ

**Transformation of the structure and functional characteristics of Black Sea phytoplankton under
the influence of climate change and anthropogenic pressure**

Stelmakh L.V.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

✉ l.stelmakh@ibss-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, фитопланктон, диатомовые водоросли, *Emiliania huxleyi*, выедание
фитопланктона микрозоопланктоном, антропогенное загрязнение

Установлено, что в Мировом океане за последние сто лет температура поверхностных вод повысилась приблизительно на 1°C [1]. Анализ спутниковой информации за период с 1998 по 2018 год позволил показать, что в Черном море в результате изменений климата произошли принципиальные изменения сезонного хода биомассы фитопланктона как в открытых водах [2], так и в прибрежных [3]. Основной максимум его биомассы формируется в настоящее время в осенний период. Выполненные нами регулярные комплексные исследования в бухтах в районе Севастополя в течение нескольких последних лет также свидетельствуют о существенной перестройке сезонной динамики фитопланктонного сообщества. Здесь основной максимум биомассы водорослей в последние годы формируется в летний период. Изменения произошли и в видовом составе фитопланктона. На смену мелкоклеточным видам диатомовых водорослей, доминировавших ранее в сезонных максимумах фитопланктона, пришли крупноклеточные виды диатомовых (*Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G.Sundström, *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström, и *Hemiaulus hauckii* Grunow ex Van Heurck), а также различные динофлагелляты. Такие водоросли обладают целым рядом адаптационных механизмов, позволяющих им успешно конкурировать с мелкоклеточными видами диатомовых водорослей, а также мелкой кокколитофоридой *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler в условиях усиления температурного расслоения водной толщи в теплый период года и постоянно растущего антропогенного загрязнения [4]. Эти виды характеризуются более низкими значениями удельной скорости роста по сравнению с мелкими диатомовыми. При этом их выедание микрозоопланктом достаточно слабое. Среднегодовое значение относительной доли чистой первичной продукции, потребляемой микрозоопланктом, в севастопольских бухтах в настоящее время составляет 35 %, тогда как в начале 2000-х годов этот показатель был почти в 2 раза выше. Следовательно, поток вещества и энергии от фитопланктона на высшие трофические уровни через микрозоопланктон существенно сократился.

Важно отметить, что в последние годы *E. huxleyi* не вызывает летнее «цветение воды» в севастопольских бухтах, а в открытом прибрежье и в глубоководной области оно ослаблено. В бухтах этот процесс не регистрируется в связи с усиленным загрязнением вод полютантами антропогенного происхождения, а в открытом прибрежье и в глубоководной области моря он выражен слабее, чем прежде в следствие недостатка минерального фосфора в верхнем перемешанном слое моря и значительной протяженностью последнего. На завершающем этапе «цветения» этого вида у берегов Крымского полуострова около 20 % клеток, обнаруженных в пробах, были лишены кокколита, что обычно происходит в условиях усиленной вирусной атаки и способствует, вероятно, выживанию небольшой доли популяции данного вида. Экспериментальные исследования, выполненные нами в лаборатории по воздействию альговируса на *E. huxleyi*, подтверждают это предположение.

Успешному развитию и доминированию крупных диатомовых водорослей в море в современных условиях способствует наличие в их клетках большого количества хлоропластов, которые при максимальной инсоляции могут в течение короткого времени (10–40 мин) группироваться в центре клетки, создавая конгломераты. В этих конгломератах количество падающей солнечной радиации ослабевает в 2–3 раза, что предотвращает повреждение фотосинтетического аппарата водорослей сильным светом [5]. Такой вид, как *P. calcar-avis* может запасать внутри клетки значительное количество биогенных веществ и обеспечивать рост водорослей и сохранение их жизнеспособности в среде, обедненной по биогенным веществам, в течение длительного времени. Другой крупный вид водорослей, такой как *H. hauckii* содержит в клетках симбиотическую цианобактерию *Richelia intracellularis* J.A.Schmidt, которая способна фиксировать атмосферный азот и таким образом обеспечивать клетки водорослей этим элементом.

Динофлагелляты за счет вертикальных миграций способны избегать влияния сильного света и опускаясь вниз, могут пополнять свой внутриклеточный пул биогенными веществами за пределами освещенного слоя или в его нижней части. Нами установлено, что эта группа водорослей усиливает свой рост под действием комплекса полютантов, содержащихся в водах бухт. Тогда как мелкие виды диатомовых водорослей и кокколитофорида *E. huxleyi* снижают скорость роста в этих условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда и правительства Севастополя № 24-27-20014 (<https://rscf.ru/project/24-27-20014/>) «Трансформация структуры и функциональных характеристик черноморского фитопланктона у берегов Крыма в современных экологических условиях. Фундаментальная роль и прикладное значение».

Список литературы

1. Häder D.-P., Gao K. Interactions of anthropogenic stress factors on marine phytoplankton // Frontiers in Environmental Science. 2015. Vol. 3. Art. no. 14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00014>.
2. Yunev O. A., Carstensen J., Stelmakh L. V., Belokopytov V. N., Suslin V. V. Reconsideration of the phytoplankton seasonality in the open Black Sea // Limnology and Oceanography Letters. 2021. Vol. 6, iss. 1. P. 51-59. <https://doi.org/10.1002/lol2.10178>.
3. Yunev O., Carstensen J., Stelmakh L., Belokopytov V., Suslin V. Temporal changes of phytoplankton biomass in the western Black Sea shelf waters: Evaluation by satellite data (1998–2018) // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2022. Vol. 271. Art. no. 107865. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107865>.
4. Stelmakh L., Kovrigina N., Gorbunova T. Phytoplankton seasonal dynamics under conditions of climate change and anthropogenic pollution in the western coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region) // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 3. Art. no. 569. <https://doi.org/10.3390/jmse11030569>.
5. Silkin V., Fedorov A., Flynn K. J., Paramonov L., Pautova L. Protoplasmic streaming of chloroplasts enables rapid photoacclimation in large diatoms // Journal of Plankton Research. 2021. Vol. 43, iss. 6. P. 831-845. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab071>.

Линейные размеры *Diplodus puntazzo* Walbaum, 1792 при наступлении половой зрелости (Крым, Черное море)

Тамойкин И. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Kovalevskого РАН», Севастополь, Россия

Linear dimensions of *Diplodus puntazzo* Walbaum, 1792 at the first maturation (Crimea, Black Sea)

Tamoikin I. Yu.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ igortamoikin@ibss-ras.ru

Ключевые слова: зубарик, *Diplodus puntazzo*, наступление половой зрелости, длина тела, Крым, Чёрное море

Зубарик *Diplodus puntazzo* Walbaum, 1792 (сем. Sparidae) – демерсальный долгоживущий протандрический гермафродит Восточной Атлантики, Средиземного и Чёрного морей, обитающий среди прибрежных ландшафтов с твердыми и смешанными грунтами; питается преимущественно водорослями и беспозвоночными; является ценным объектом прибрежного промышленного и любительского рыболовства при активном освоении в марикультуре; для Чёрного моря отмечается скучность информации [1 ; 2]. При изучении особенностей размножения вида необходимо установить, при каких линейно-массовых параметрах рыбы конкретного вида в ареале или части ареала обитания впервые достигают стадии половой зрелости. Цель работы – определить значения длины тела *D. puntazzo* при первом созревании в жизненном цикле у берегов Крыма.

В весенне-летне-осенние сезоны 2019–2024 гг. у черноморских берегов Крыма с помощью сетевых и колющих орудий лова было всего собрано 190 разноразмерных экземпляров зубарика. По амплитуде значений гонадосоматического индекса (ГСИ) определили период нереста, для которого отобрали всех взрослых рыб в июле–ноябре (45 ♀ (56%) и 36 ♂ (44%), соотношение полов (♀/♂) – 1,25/1 ($n=81$; $\chi^2=1,000000$, $df=1$, $p=0,317311$). Длину тела рыб при созревании определяли с помощью построения логистической модели связи доли половозрелых особей с длиной (TL) с определением «точки перегиба» (TL_{50}), соответствующей наличию 50% половозрелых особей в выборке, и связи ГСИ с TL в период нереста,

По литературным данным для зубарика из центральной части Средиземного моря (Тунис) период размножения приходится на сентябрь–декабрь с пиком в конце октября–ноябре, а созревание наступает при длине (TL_{50}) для самок – 16,43 см, самцов – 16,09 см при соотношении полов 2,82/1 [3]. Для *D. puntazzo* из южной части Чёрного моря (Турция) период размножения определили с августа по ноябрь с пиком в сентябре при соотношении полов 1,32/1 [4].

В нашем случае (северная часть Чёрного моря) период размножения соответствует августу–октябрю с пиком во второй половине августа – первой половине сентября. Пороговые значения длины тела (TL_{50}) при созревании *D. puntazzo* с помощью логистической модели определялись:

$$(1) \text{ для } \text{♀} \text{ } TL_{50} \text{ в } 22,83 \pm 0,44 \text{ см: } y = \frac{100}{1 + \exp(-(0,462112) * (x - (22,8252)))};$$

$$(2) \text{ для } \text{♂} \text{ } TL_{50} \text{ в } 24,09 \pm 0,95 \text{ см: } y = \frac{100}{1 + \exp(-(0,300011) * (x - (24,0883)))}.$$

Полученные результаты хорошо согласуются с данными зависимости значений ГСИ от длины (TL) пойманых рыб, когда для первого в жизни сезона размножения у ♀ скачок значения ГСИ определяется в пределах 22–28 см, а у ♂ – 23–30 см. Соотношение полов в выборке (♀/♂) составляло 1,30/1 ($n=99$, ♀ – 56, ♂ – 43; $\chi^2=1,707071$, $df=1$, $p=0,191367$).

Выводы:

1. Нерестовый период *D. puntazzo* у берегов Крыма наступает раньше, чем в южной части Чёрного моря и у берегов Туниса.
2. Соотношение полов ($\text{♀}/\text{♂}$) у *D. puntazzo* в период размножения в Чёрном море существенно ниже, чем у берегов Туниса.
3. У берегов Крыма длина рыб, при которой 50% особей становятся половозрелыми, существенно выше таковой у берегов Туниса.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа функционирования критерии сохранения морских экосистем и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам отдела ихтиологии ФИЦ ИнБЮМ с.н.с., к.б.н. Куцыну Д. Н. и м.н.с Дончику П. И. за оказанные консультации.

Список литературы

1. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. 1964. Москва ; Ленинград : Наука, 1964. 551 с.
2. Froese R., Pauly D. (eds.). FishBase. World Wide Web electronic publication (www.fishbase.org). 2024. Version 07/2024
3. Chaouch H., Ben Abdallah-Ben O., Hadj H., Ghorbel M., Jarboui O. Reproductive biology, age and growth of *Diplodus puntazzo* (Sparidae) from the Gulf of Gabes (Central Mediterranean) // Vie et milieu - Life and environment. 2013. Vol. 63, iss. 3/4. P. 135–144.
4. Aydin M., Ozdemir C. Age, Growth, Reproduction and Fecundity of the Sharpsnout Seabream (*Diplodus puntazzo* Walbaum, 1792) in the Black Sea Region // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2022. Vol. 22, iss. 5. Art. no. TRJFAS19462. <http://doi.org/10.4194/TRJFAS19462>

Зообентос песчаного грунта банки Мария Магдалина (северо-восточная часть Черного моря)

Терентьев А. С.

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (АзНИИРХ), Керчь, Россия

Zoobenthos of the sandy soil of the Maria Magdalena bank (northeastern part of the Black Sea)

Terentev A. S.

Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Kerch, Russia

✉ iskander65@bk.ru

Ключевые слова: банка Мария Магдалина, зообентос, Черное море

Банка Мария Магдалина расположена в северо-восточной части Черного моря между Керченским проливом и г. Анапа, в 11 милях от мыса Железный Рог. Это каменистое поднятие с минимальной глубиной 1,2 м. На глубинах около 7 м залегает каменисто-песчаный грунт. На глубине около 9 м преобладает песчаный грунт и также часто встречаются камни. В состав грунта входит в среднем 90–94 % песка, 2–5 % ракуши и 5–8 % ила.

Исследования выполнились в сентябре 2023 г. на глубинах от 6 до 9 м. Пробы отбирались дночерпателем Петарсена площадью охвата 0,025 м². Таксономическая обработка зообентоса осуществлялась по трехтомному определителю фауны Черного и Азовского морей [3], с уточнением по WoRMS [5]. Высшие растения определялись по определителю высших растений Украины [2], водоросли – по определителю зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР [1], с уточнением по AlgaeBase [4].

На глубине около 6 м в фитобентосе доминировала бурая водоросль *Cystoseira barbata f. flaccida* (Kützing) Woronichin 1908, покрывающая камни. Ее численность в среднем равнялась 93±58 экз./м², а биомасса – 2,3±1,4 г/м². На отдельных участках дна ее численность могла доходить до 200 экз./м², при биомассе 5,3 г/м². Распределение цистозиры полностью зависело от распределения скальных выходов и крупнообломочного материала. На больших глубинах, на песчаном грунте наблюдались разреженные поселения взморника малого (*Zostera nana* Roth, nom. illeg. 1827). Его встречаемость была 18–49 %, численность в среднем равнялась 27±15 экз./м², а биомасса – 2,0±1,2 г/м². При этом, его численность нигде не превышала 80 экз./м², при биомассе 5,2 г/м².

Из полихет были обнаружены: *Melinna palmata* Grube, 1870, *Micronephthys longicornis* (Perejaslavtseva, 1891), *Pileolaria militaris* Claparède, 1870 и *Platynereis dumerilii* (Audouin & Milne Edwards, 1833). Брюхоногих моллюсков представляли *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Pusillina lineolata* (Michaud, 1830) и *Tricolia pullus* (Linnaeus, 1758), двустворчатых моллюсков: *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) и *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). Около половины всего видового богатства приходилось на ракообразных: морской желудь *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), амфипод: *Ampithoe ramondi* Audouin, 1826, *Microdeutopus gryllotalpa* A. Costa, 1853, *Microdeutopus versicoloratus* (Spence Bate, 1857), в том числе морских козочек *Caprella acanthifera* Leach, 1814 и *Phtisica marina* Slabber, 1769. Из изопод были встречены *Lekanesphaera hookeri* (Leach, 1814) и *Stenosoma capito* (Rathke, 1836).

Плотность видов зообентоса изменялась от 2 до 9 вид/0,025м², в среднем равняясь 4,5±1,1 вид/0,025м². Его численность колебалась от 80 до 2720 экз./м², в среднем была 830±390 экз./м². Биомасса изменялась в пределах от 0,52 до 410,52 г/м², а в среднем 137±73 г/м².

Дисперсионный анализ показал высокую зависимость плотности видов (50–70 %), численности зообентоса (16–24 %) и его биомассы (26–56 %) от глубины. Это прежде всего связано с тем, что с глубиной меняется тип грунта, с чем в свою очередь связан тип и характер фитобентоса.

На относительно небольших глубинах среди зарослей цистозиры обнаружено 15 видов животных. Их плотность видов в среднем равнялась 6,3±1,3 вид/0,025м² и не опускалась ниже

5 вид/0,025м². Часто встречались: *B. reticulatum*, *P. militaris*, *C. acanthifera* и *M. versiculatus*. В видовом богатстве преобладали ракообразные (47 % общего видового богатства).

Численность зообентоса на небольших глубинах не опускалась ниже 440 экз./м² и в среднем равнялась 1210±730 экз./м². По численности доминировали ракообразные (27–54 % общей численности зообентоса). В среднем их численность равнялась 510±330 экз./м², но могла доходить до 1160 экз./м², и при этом не опускалась ниже 80 экз./м². Большая часть их численности (38–88 %) приходилась на *C. acanthifera*. На втором месте стояли полихеты, численность которых в среднем равнялась 360±280 экз./м². В отдельных случаях их численность могла доходить до 920 экз./м². Среди полихет на первом месте по численности стояла *P. militaris*, ее численность в среднем равнялась 320±300 экз./м². Далее шли брюхоногие моллюски, численность которых в среднем равнялась 230±200 экз./м² и двустворчатые моллюски со средней численностью 120±69 экз./м². Среди брюхоногих моллюсков по численности доминировал *B. reticulatum*, а среди двустворчатых – *M. lineatus*. В целом по численности доминантными видами могут считаться *C. acanthifera* и *P. militaris*.

Биомасса зообентоса на небольших глубинах не поднималась выше 82 г/м² и в среднем равнялась 33±24 г/м². По биомассе доминировали двустворчатые моллюски (66–97 % общей биомассы зообентоса). При этом, *Ch. gallina* и *M. lineatus* имели практически равную биомассу – 13,5±7,8 г/м² и 13,3±7,7 г/м² соответственно. На втором месте стояли брюхоногие моллюски. Биомасса которых в среднем равнялась 4,8±3,5 г/м². Среди них доминировал *B. reticulatum*. Биомасса ракообразных в среднем равнялась 0,75±0,26 г/м². При этом, 31–62 % приходилось на долю морского желудя. Средняя биомасса полихет была 0,227±0,058 г/м². При этом, 30–76 % приходилось на долю *P. militaris*.

В мелководной части фактически рядом существуют два сообщества. На песчаных участках доминировала *Ch. gallina*, а в обрастаниях – *M. lineatus*.

На большей глубине в разреженных зарослях взморника малого обнаружено 5 видов донных животных, что в 3 раза меньше чем на более мелких глубинах. В видовом составе не были обнаружены брюхоногие моллюски. Из полихет присутствовали *M. palmata* и *M. longicornis*, из ракообразных — *A. improvisus* и *St. capito*. Плотность видов в среднем равнялась 2,67±0,67 вид/0,025м² и не превышала 4 вид/0,025м². Видовое сходство мелководного и глубоководного участков было довольно низким (индекс сходства Чекановского-Сёренса равнялся 0,3). При этом, значительное количество видов было общим (индекс сходства Синкевича-Симпсона – 0,6). К ним относились: *A. improvisus*, *Ch. gallina* и *M. palmata*.

Численность зообентоса в среднем равнялась 440±180 экз./м² и не превышала 640 экз./м². В среднем численность в глубоководной части была в 1,6–4,0 раза, ниже чем в мелководной. По численности доминируют двустворчатые моллюски. Полихеты и ракообразные имели достаточно близкую численность, которая соответственно равнялась 53±31 экз./м² и 53±13 экз./м².

Биомасса зообентоса в глубоководной части в среднем равнялась 240±120 г/м² и не опускалась ниже 0,52 г/м². В среднем она была в 3–11 раза выше, чем в мелководной. По биомассе доминировали двустворчатые моллюски. Далее шли полихеты и ракообразные.

В глубоководной части сформировался биоценоз *Ch. gallina*. В этом биоценозе на долю доминантного вида в среднем приходилось 69–83 % общей численности и 96–99 % общей биомассы биоценоза.

Список литературы

1. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. Москва ; Ленинград : Наука, 1967. 397 с.
2. Определитель высших растений Украины. Киев : Наукова думка, 1987. 548 с.
3. Определитель фауны Чёрного и Азовского морей : 3х т. Киев : Наукова думка, 1968. Т. 1. 437 с. ; 1969. Т. 2. 535 с. ; 1972. Т. 3. 340 с. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/6076> ; <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/6077> ; <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/6078>
4. AlgaeBase. URL: <https://www.algaebase.org> (accessed: 23.04.2024)
5. WoRMS. URL: <https://www.marinespecies.org> (accessed: 23.04.2024)

Структурно-функциональные характеристики фитопланктона в период летнего «цветения» кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler в прибрежных водах Черного моря

Фарбер А. А.* , Стельмак Л. В., Бабич И. И., Ковалева И. В., Борисова Д. С., Минина Н. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, РФ

**Structural and functional characteristics of phytoplankton during the summer bloom
of coccolithophorides *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler in the coastal waters
of the Black Sea**

Farber A. A.* , Stelmakh L. V., Babich I. I., Kovaleva I. V., Borisova D. S., Minina N. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ anastasiafarber@yandex.ru

Ключевые слова: Черное море, первичная продукция, фитопланктон, динофлагелаты, диатомовые
водоросли, *Emiliania huxleyi*, эвфотическая зона

Анализ спутниковой информации в период с 1998 по 2018 год показал, что увеличение температуры поверхностного слоя вод Черного моря влияет на сезонную динамику биомассы фитопланктона [1]. Исследования, проведенные в севастопольских бухтах в 2021-2022 годах, свидетельствуют о значительных изменениях не только в динамике биомассы, но и в видовом составе фитопланктона, а также размерах клеток водорослей [2]. Основная часть годовой первичной продукции прибрежных вод формируется в летний период [3]. В это же время обычно наблюдается интенсивное развитие кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler [4].

Цель данной работы состояла в оценке основных структурных и функциональных параметров фитопланктона и выявлении факторов, их контролирующих, в период летнего «цветения» *E. huxleyi* в прибрежных районах Черного моря.

Исследования были выполнены в период 122 рейса НИС «Профессор Водяницкий», который проходил с 7 июня по 2 июля 2022 года. Измерение концентрации хлорофилла «а» проводили флуориметрическим методом [5]. Анализ связи интегральной величины первичной продукции с общей концентрацией хлорофилла «а», содержанием азота и фосфора в эвфотической зоне проводили, используя метод множественной линейной регрессии. Биогенные элементы определяли с использованием методов, описанных в [6]. Для оценки видового состава фитопланктона, пробы морской воды сгущали в воронке обратной фильтрации, после чего их фиксировали формалином. Анализ проб проводили в лабораторных условиях под световым микроскопом.

В июне-июле 2022 года значения концентрации хлорофилла «а» и первичной продукции в Черном море вблизи Крымского полуострова соответствовали мезотрофному уровню вод. Неоднородность распределения значений интегральной первичной продукции по акватории была обусловлена, в основном, концентрацией нитратов, фосфатов и содержанием хлорофилла «а» в зоне фотосинтеза. В среднем, только 51% от общего содержания пигмента в толще воды находилась в пределах эвфотической зоны. Причиной этому, по-видимому, послужило снижение прозрачности воды, преимущественно, из-за активного развития *E. huxleyi*. Концентрация хлорофилла в поверхностном слое варьировала от 0,3 до 1,5 мг/м³, а первичная продукция составила 12–174 мгС/м³ · день⁻¹. Общая концентрация пигмента в зоне фотосинтеза была равна 4–29 мг/м², а первичная продукция – 240–835 мгС/м³ · день⁻¹. Содержание фосфатов на поверхности воды находилось в диапазоне от 0 до 0,11 мкМ, в среднем 0,04±0,03 мкМ. Концентрация нитратов находилась в пределах 0,3–3,9 мкМ, в среднем 1,1±1,0 мкМ. Высокое соотношение N/P, которое в среднем было равно 37, свидетельствует об относительно низкой концентрации фосфатов.

В слое 0–1 м в биомассе фитопланктона преобладали динофлагелляты, крупная диатомовая водоросль *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G.Sundström и кокколитофориды *E. huxleyi*. Отмечено слабое «цветение» *E. huxleyi*. Ее численность составляла 1,0–1,8·10⁶ кл./л на 11 из 23 станций, что в основном, было связано с недостатком фосфора и относительно широким для летнего периода верхним квазиоднородным слоем (ВКС), толщина которого была равна в среднем 10 м. Для доминирующих видов водорослей сложились наиболее оптимальные условия по освещенности и температуре воды, однако, недостаток питательных веществ в ряде случаев был лимитирующим фактором.

Мы полагаем, что значительный вклад *P. calcar-avis* и *E. huxleyi* в общую биомассу фитопланктона в исследуемый период снизил его пищевую ценность для микрозоопланктона, который не потребляет данные виды водорослей, что неизбежно ведет к уменьшению восходящего потока вещества и энергии от фитопланктона на высшие трофические уровни.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда и правительства Севастополя № 24-27-20014 (<https://rscf.ru/project/24-27-20014/>) «Трансформация структуры и функциональных характеристик черноморского фитопланктона у берегов Крыма в современных экологических условиях. Фундаментальная роль и прикладное значение».

Проведенные исследования были выполнены в Центре коллективного пользования «Научно-исследовательское судно Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»

Список литературы

1. Yunev O., Carstensen J., Stelmakh L., Belokopytov V., Suslin V. Temporal changes of phytoplankton biomass in the western Black Sea shelf waters: Evaluation by satellite data (1998–2018) // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2022. Vol. 271. Art. no. 107865. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107865>.
2. Stelmakh L., Kovrigina N., Gorbunova T. Phytoplankton seasonal dynamics under conditions of climate change and anthropogenic pollution in the western coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region) // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. Art. no. 569. <https://doi.org/10.3390/jmse11030569>.
3. Bologa A. S., Frangopol P. T., Vedernikov V. I., Stelmakh L. V., Yunev O. A., Yilmaz A., Oguz T. Distribution of planktonic primary production in the Black Sea // Eds. Besiktepe S. T., Unluata U., Bologa A. S. Environmental degradation of the Black Sea: challenges and remedies. Dordrecht: Springer Netherlands, 1999. P. 131-145.
4. Mikaelyan A. S., Pautova L. A., Chasovnikov V. K., Mosharov S. A., Silkin V. A. Alternation of diatoms and coccolithophores in the north-eastern Black Sea: a response to nutrient changes // Hydrobiologia. 2015. Vol. 755. P. 89-105. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2219-z>.
5. JGOFS Protocols. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measurement; Manual and Guides. 1994. UNESCO: Paris, France.
6. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов / В. В. Сапожников [и др.]. М.: ВНИРО, 1988. 119 с.

Обзор факторов, определяющих, лимитирующих и обеспечивающих урожайность сортов винограда на основных виноградо-винодельческих терруарах России

Федосов Д. Ю.*, Морозова Е. А., Сапсай А. О., Намсараев З. Б.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

**An overview of the factors determining, limiting and ensuring the grape varieties' yield
on the main viticultural terroirs of Russia**

Fedosov D. Y.*, Morozova E. A., Sapsay A. O., Namsarayev Z. B.

National Research Centre “Kurchatov institute”, Moscow, Russia

 Fedosov_DY@nrcki.ru

*Ключевые слова: виноградарство, виноделие, виноградо-винодельческие регионы России,
урожайность винограда, плотность посадки виноградников, фотосинтетически активная
радиация, эффективная листовая поверхность лозы*

Современное виноградарство и виноделие в России является важным сектором биотехнологий, требующим фундаментальных и прикладных научных исследований в области изучения наземных экосистем для успешного и динамичного развития сельскохозяйственной отрасли.

Начиная с конца XX в. в мировом научном сообществе стали появляться данные, что одним из важнейших способов повышения качества урожая винограда является управление плотностью посадки виноградных кустов и нормирование урожайности. На сегодняшний день работы по допустимому пределу урожайности проведены по всем ключевым винодельческим регионам Евросоюза. Наше исследование является первым в России обзором факторов, определяющих, лимитирующих и обеспечивающих урожайность сортов винограда на основных виноградо-винодельческих терруарах РФ на основе анализа плотности посадки и разнообразия сортов. Было проведено сравнение основных виноградо-винодельческих регионов с аналогичными европейскими, а также советских и новейших исследований допустимой урожайности для производства качественных вин.

Основные лидирующие виноградо-винодельческие регионы – Краснодарский край, Республика Крым и Республика Дагестан – формируют 80 % от общего количества высаженных в России кустов винограда [1]. Средняя по России плотность посадки составила 2594 куста на гектар (к/га). Среднее расстояние между рядами составляет 3.4 м, среднее расстояние между кустами в ряду 1.5 м. В результате анализа всех площадей виноградников РФ был составлен рейтинг популярных диапазонов плотности посадки. Наиболее популярен диапазон от 1000 до 2000 к/га – суммарно площадь виноградников с данной плотностью составляет 40892 га. На втором месте диапазон от 2000 до 3000 к/га (25461 га) и на третьем – от 3000 до 4000 к/га (11213 га).

Исходя из полученных результатов мы видим, что современная российская виноградо-винодельческая отрасль во многом сохранила наследие советского периода. Оно выражается в широком междуурядье, низкой плотности посадки виноградных кустов, разнообразием сортов-гибридов, выведенных советскими учеными. Лидирующие сегодня по посадкам регионы РФ также являлись основными по площади виноградников и объемам урожая в СССР. Эти показатели отличают российское виноделие от европейского и во многом способствуют росту объемов, но не качества производимой продукции.

Однако последние годы растет тенденция к посадке более плотных виноградников технических сортов. В России уже существуют виноградники с плотностью посадки свыше 8000 к/га и виноградники, высаженные в зонах экстремального виноградарства, требующие особых агротехнологий и грамотного научно-обоснованного подбора сортов в связи почвенно-терруарными особенностями.

В таких условиях затруднительно производить большие объемы урожая, но можно повысить его качество и, как следствие, качество изготавливаемой винодельческой продукции.

Урожайность, как правило, находится в обратной зависимости от качества вина: чем ниже урожайность, тем выше качество. При избыточной урожайности размываются сортовые признаки и потребитель с высокой долей вероятности может не получить ожидаемых вкусоароматических показателей вина. С целью повышения качества вин ведущие мировые виноградо-винодельческие регионы вывели собственные формулы для расчета урожайности винограда [2]. Подобные исследования проводились в СССР и основывались преимущественно на почвенно-климатических условиях, приходе фотосинтетически активной радиации (ФАР) и агробиологических особенностях сорта [3]. Современное учение, проанализированное нами, базируется как на опыте советских ученых, так и на актуальных исследованиях зарубежных коллег [4], и объясняет зависимость урожайности от эффективной листовой поверхности лозы.

Работа способствует формированию цельного представления о состоянии российской виноградо-винодельческой отрасли, внедрению высокоеффективных и экологичных технологий для ее дальнейшего развития.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

1. Федеральный реестр виноградных насаждений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. URL: <http://opendata.mch.ru/opendata/7708075454-vinogradniki>
2. Сервисный центр сельских регионов земли Рейнланд-Пфальц «Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz» URL: <https://www.dlr.rlp.de/>
3. Программирование урожая / Энциклопедия виноградарства: в 3-х томах./ Гл. ред. А. И. Тимуш. Кишинев: Гл. ред. Молд. Сов. Энциклопедии, 1986. Т. 2. с. 485-487
4. Bourde L. et al. Influence de la hauteur de palissage et de la surface foliaire exposée sur la production et la qualité des vins rouges // Revue Française d'oenologie. 1997. Vol. 167. P. 26-35.

Множественность устойчивых состояний водных экосистем и адаптивное использование их биоресурсов

Шадрин Н. В.*, Ануфриева Е. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Multiplicity of stable states of aquatic ecosystems and adaptive use of their biological resources

Shadrin N. V.*, Anufrieva E. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ snickolai@yandex.ru

Ключевые слова: адаптивный менеджмент, альтернативные состояния, биоресурсы, экосистемы

Экологические системы всех уровней организации, от индивидуума до экосистемы, имеют не одно, а несколько устойчивых состояний [1]. Многочисленные исследования природных экосистем и общие положения теории диссипативных структур, синергетики и самоорганизованной критичности, убедительно показывают это. Наличие альтернативных состояний у особей и видовых популяций впервые показано русскими учеными В.И. Шманкевичем и Б.П. Уваровым в конце 19 века и первой половине 20 века. Г.Г. Винберг в 1920 гг. показал наличие альтернативных состояний у сообщества пруда. Динамика водных экосистем, как всякой сложной системы, может рассматриваться как временной фрактал с чередованием альтернативных состояний [2]. Например, для гиперсоленных озер Крыма известно, что они могут находиться, как минимум, в двух альтернативных состояниях с разным набором ценных биоресурсов. В одном из них основной продукт – фитопланктон, в другом – нитчатые зеленые водоросли *Cladophora*. В случае развития кладофоровых матов первичная продукция примерно в 10 раз больше, чем при доминировании фитопланктона [3]. В некоторых крымских гиперсоленных озерах соленость может колебаться от 25 до 350 г/л, и смена альтернативных состояний их экосистем является ключевым условием их длительного устойчивого состояния в меняющейся среде. В концепции множественности возможных состояний, экосистема представляется как комплексная и адаптивная система, которая имеет зависящую от истории нелинейную динамику, с граничными эффектами (точки бифуркации), множественностью точек устойчивости и ограниченной предсказуемостью поведения. Ее динамику в этом случае можно представить в виде адаптационного цикла Холлинга [4]. «Память» экосистем обуславливает, в частности, наличие эффекта гистерезиса в их динамике, т.е. количественные показатели критических точек, перехода системы из одного состояния в другое, не постоянны, а зависят от направления изменений фактора. Смена экосистемных состояний, особенно в экстремальной среде, сопровождается потерей одних ресурсов и возможностей их использования, но появлением других. Долговременная стратегия использования водных биоресурсов должна это учитывать. Адаптивный менеджмент природопользования должен базироваться на концепции множественности возможных состояний [5]. Он должен постоянно развиваться, пересматривая используемые подходы, поставленные цели, запланированные действия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001.

Список литературы

1. Shadrin N. V. The alternative saline lake ecosystem states and adaptive environmental management // Journal of Oceanology and Limnology. 2018. Vol. 36, iss. 6. P. 2010–2017. <https://doi.org/10.1007/s00343-018-7307-2>
2. Бак П. Как работает природа : теория самоорганизованной критичности. Москва : URSS. 2013. 276 с.

3. Голубков С. М., Шадрин Н. В., Голубков М. С., Балушкина Е. В., Литвинчук Л. Ф. Пищевые цепи и их динамика в экосистемах мелководных озер с различной соленостью воды // Экология. 2018. № 5. С. 391–398. <https://doi.org/10.1134/S0367059718050050>
4. Holling C. S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems // Ecosystems. 2001. Vol. 4, no. 5. P. 390–405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
5. Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В. Менеджмент окружающей среды и экология водоемов в поисках ответов на вызовы времени // Экосистемы. 2021. № 25. С. 30-40. <https://doi.org/10.37279/2414-4738-2021-25-30-40>

Современное состояние зоопланктоценозов горных Кольсайских озер Юго-Восточного Казахстана

Шарапова Л. И.

Научно – производственный центр рыбного хозяйства, Алматы, Республика Казахстан

The current state of zooplanktocenoses of mountain Kolsai lakes southeast Kazakhstan

Sharapova L. I.

Scientific and Production Center of Fisheries, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ sharapova@fishrpc.kz

Ключевые слова: озёра, зоопланктон, биомасса, ветвистоусые раки, веслоногие, коловратки, информационные индексы

Озёра Средний и Нижний Кольсай расположены между хребтами Кунгей и Заилийского Ала-тая Северного Тяньшана, на особо охраняемой природной территории (ООПТ) национального парка «Кольсай Колдери», над уровнем моря на высоте 2265 м и 1822 м. Мониторинг озёр ведётся в соответствии с разработанной Правительством Казахстана Концепцией развития и размещения ООПТ до 2030 г. (10.11.2000 г., № 1692), направленной на сохранение и восстановление естественных экосистем и выявление закономерностей развития природных комплексов и их компонентов.

Водоёмы небольшие – 0,32 и 0,38 км², но глубоководные, до 36 и 51 м, с пресной слабощелочной водой и летней температурой от 9,0 до 13,7 °С. Связаны между собой рекой Кольсай. В работе дана оценка современного состояния планктофауны и уровня её трофности для личинок рыб, в том числе, для ценного интродуцента *Oncorhynchus mykiss* (Walb.).

Состав озёрного зоопланктона обеднён. За пятилетний период, с 2019 по 2023 гг., в озёрах выявлено 33 разновидности организмов: коловратки – 12 видов, меньше ветвистоусых и веслоногих раков – 9 и 6 таксонов, а также донные обитатели из 6 групп. В указанные годы, при их однократной съёмке, ежегодный набор планктёров колебался от 5 до 23 таксонов. В августе 2023 г. в каждом водоёме присутствовало по 12 таксонов организмов: Rotifera – 5 и 3, Cladocera – по 2, Copepoda – 3 и 4 и Others, 2 или 3 по озёрам.

Количество зоопланктёров в последнее пятилетие ниже, чем было выявлено ранее, в период 2011 – 2018 гг. – 51 таксон, что обусловлено одноразовыми наблюдениями в последующие годы. При двух съёмках водоёмов выявлялось больше коловраток – 19 разновидностей, кладоцер – 14 и копепод – 10.

За весь период исследований, с высокой частотой встречаемости (60 – 100%) распространены по озёрам разновидности *Asplanchna priodonta*, а также *Keratella cochlearis*, *Synchaeta stylata*, ветвистоусый рак *Daphnia galeata* и веслоногий *Cyclops vicinus*. Только для Среднего Кольсая характерно доминирование крупного рака *Acanthodiaptomus denticornis*.

В оз. Средний Кольсай в августе 2023 г. основу количественных показателей зоопланктона формировали ветвистоусые раки (таблица 1). Численность и биомассу ценоза на 62,44 и 83,35 % создавала дафния, при максимальном размере раков 1,5 мм. В качестве субдоминирующих по численности, присутствовали веслоногие в результате обилия молоди диаптомуса (19,48%). По биомассе вторыми по значимости были крупноразмерные аспланхны (10,15%). Масса особей концентрировалась в устье реки Жантай (3906,74 мг/м³) при среднем уровне показателя [2] и была очень низкого уровня в центре озера (283,61 мг/м³). В среднем для водоёма величина массы планктона в 2023 г. оценивалась как умеренная по шкале трофности, что типично для α-мезотрофного типа водоёмов. Указанная устьевая акватория классифицировалась как β-мезотрофная. Но судя по значениям ряда прошлых лет этот показатель был чаще на уровне α –олиготрофного водоёма (таблица 2).

Относительно предшествующих лет, с 2019 по 2022 гг., масса зоопланктона Среднего Кольсая возросла в 2023 г. от 5 до 50 раз., с прошлого года – в 37 раз. Только однажды для этого ценоза

Показатели	Средний Кольсай		Нижний Кольсай	
	Численность, тыс. экз./м ³			
	Пределы	Среднее	Пределы	Среднее
Rotifera	11,11 – 13,54	4,81	0 – 0,48	0,31
Cladocera	1,20 – 47,40	16,61	1,09 – 9,08	4,44
Copepoda	0,45 – 14,48	5,19	0,98 – 5,05	2,01
Всего	5,85 – 75,42	26,62	2,62 – 10,73	6,76
Биомасса, мг/м ³				
Rotifera	8,43 – 376,91	139,76	5,60 – 9,75	6,28
Cladocera	76,24 – 3291,99	1147,76	36,87 – 483,40	212,75
Copepoda	9,08 – 237,84	89,53	17,61 – 76,96	51,03
Всего	190,76 – 3906,74	1377,05	54,48 – 570,11	270,06
Трофность озёр	α -мезотрофия		α -олиготрофия	
Индекс Шеннона–Уивера, бит/мг	0,987		1,125	
Индекс и зона сапробности	1,61; β -мезосапробная		1,80; β -мезосапробная	

Таблица 1: Количественные и информационные показатели зоопланктона горных озёр, август 2023 г.

отмечался более высокий показатель в августе 2018 г., превышающий значение биомассы 2023 г. в 1,6 раза. Заметный рост массы планктона обусловлен, видимо, повышением концентрации органических веществ в воде в 1,5 раза (до 6,34 мгО/дм³) относительно данных прошлого года. Причиной может быть падение уровня воды в озере ввиду аномально жаркого лета и усиление рекреационной нагрузки на водоёмы, присутствие которой отмечалось уже и ранее [3 ; 4].

Озёра	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Средний Кольсай	2,18	0,20	0,10	0,25	0,04	1,38
Нижний Кольсай	0,51	0,38	0,10	0,06	0,23	0,27

Таблица 2: Межгодовая изменчивость летней биомассы (г/м³) зоопланктона горных Кольсайских озёр

В оз. Нижний Кольсай летом 2023 г. количественные показатели ценоза были ниже, чем в Среднем, в 4 и 5 раз. Но основу их также продуцировали ветвистоусые раки, на 65,65 и 78,78%, при лидерстве дафнии -77,55% массы. Субдоминировали по обоим показателям веслоногие – 19,5 и 6,5 %, с доминантом *C. vicinus*. Диаптомус встречался единичными экземплярами, при мизерном присутствии коловраток. Более высокая концентрация и масса беспозвоночных присутствовали в восточной части озера относительно северной.

В многолетнем плане повышенная для водоёма биомасса зоопланктона приходилась не только на 2018 г., но и на лето 2019 г. Относительно этих величин масса ценоза в 2023 г. была ниже в 1,9 и 1,4 раза и оставалась, практически, на том же уровне, что и в прошлом году. Но в динамике отмечался периодический подъём показателей, очевидно ввиду тех же причин, что и для Среднего Кольсая. Биомасса зоопланктона Нижнего Кольсая постоянно оценивалась очень низким классом трофности, типичным для α - олиготрофного водоёма.

Информационные индексы Шеннона-Уивера, 0,987 и 1,125 бит/мг, указывают на упрощённую неустойчивую структуру планктоценозов озёр, особенно в Среднем Кольсайе. В сообществах с ненарушенной структурой этот коэффициент находится в пределах от 2,0 до 4,1. При неблагоприятных условиях, в том числе при загрязнении, величина его падает до 0 [1]. Следовательно, полученные ин-

формационные индексы для зоопланктона горных озёр указывают на значительное упрощение его структуры относительно возможного оптимума.

Рассчитанные индексы сапробности, 1,61 и 1,80, на 2023 г., последний год исследований, характеризуют оба водоёма средним уровнем загрязнения, как В– мезосапробные, с более выраженным показателем в Нижнем Кольсае.

Исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (Грант № BR 10264205).

Список литературы

1. Иванова М. Б. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможности их использования для определения степени загрязнения реки // Методы биологического анализа пресных вод. Зоол. ин-т, Л. 1976. С.68-80.
2. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН. 2007. 398 с.
3. Крупа Е. Г., Баринова С. С. Романова С. М. Размерная структура зоопланктона Кольсайских горных озёр (Кунгей Алатау, Юго-Восточный Казахстан) и её связь с факторами среды // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 3. С. 278-289. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596463278-289>
4. Смирнова Д. А. Состояние зоопланктоценозов озёр Средний и Нижний Кульсай (бассейн р. Чилик) в период начала их рекреационного использования // Вестник КазНУ. Серия биологическая. 2000. № 4. С. 54-60.

Распределение содержания хлорофилла-а в атлантическом секторе Южного океана и его сезонная изменчивость в 2021–2022 гг. по судовым и спутниковым данным

Штрайхерт Е. А.^{1*}, Салюк П. А.¹, Латушкин А. А.², Захарков С. П.¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**The chlorophyll-a content distribution in the Atlantics Southern Ocean sector
and its seasonal variability in 2021–2022 according to ship and satellite data**

Shtraikhert E. A.^{1*}, Salyuk P. A.¹, Latushkin A. A.², Zakharkov S. P.¹

¹V.I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

✉ straj@poi.dvo.ru

*Ключевые слова: концентрация хлорофилла-а, температура, солёность, течения, вертикальная
стратификация, эвфотическая зона, сезонные изменения, MODIS-Aqua, Южный океан*

Концентрация хлорофилла-а (Кхл) в морских экосистемах изучается как показатель продуктивности вод. Её изменчивость определяется наличием двух основных компонентов экосистем – биогенных элементов и света, необходимых для развития фитопланктона. В свою очередь наличие этих компонентов в воде зависит от гидрометеорологических условий и соответственно климатических изменений, поскольку определяется соотношением между глубиной верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и эвфотической зоной (ЭЗ). Вертикальные и горизонтальные движения вод оказывают большое влияние на распространение биогенных элементов и условия освещённости для клеток фитопланктона. В зоне умеренных широт в динамике развития фитопланктона проявляются весенний и осенний пики. При приближении к высокоширотным районам весенний и осенний пики развития фитопланктона сливаются в один пик. В летний сезон южного полушария (январь–март) антарктические воды по содержанию хлорофилла относят к высокопродуктивным. Высокие количества хлорофилла – более 1 мг/м³ отмечались в местах схождения различных типов вод в проливе Бранс菲尔д (ПБ), в районе Южных Оркнейских островов (ЮОО). В прибрежных водах в период вегетации фитопланктона у Антарктического полуострова, а также в ПБ обнаружены концентрации – более 10 мг/м³. В океанических зонах антарктических вод содержание хлорофилла составляет, как правило, менее 1 мг/м³ [1]. Северо-западная часть ПБ была охарактеризована относительно высокими значениями Кхл в поверхностном горизонте (0,75–1,29 мг/м³) – для второй половины января 2020 г., а его юго-восточная часть меньшими значениями (0,37–0,41 мг/м³ в поверхностном слое), но распределёнными по вертикали достаточно равномерно [2]. Во второй половине января – начале февраля 2020 г. интегральная Кхл по слою фотосинтеза была выше на станциях, расположенных в районе глубоководного каньона к северу от бассейна Пауэлла (БП) моря Уэдделла (3,38 мг/м³ на глубине 13 м, 1,62 мг/м³ на глубине 45 м и 1,66 мг/м³ на поверхности). Наименьшие значения этой характеристики отмечались в БП в западной части района в области материкового склона [3].

Целью нашего исследования является характеристика горизонтального и вертикального распределения Кхл по маршруту 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», проходящего через указанные выше районы, с учётом гидрометеорологических условий в Южном океане в январе – феврале 2022 г. и анализа сезонного хода Кхл и температуры поверхности моря (ТПМ) по 8-дневным данным спутникового спектрорадиометра MODIS-Aqua, начиная с сентября 2021 г. по апрель 2022 г.

Район исследований охватывал участок, ограниченный координатами 60–65° ю.ш., 40–62° з.д. Для достижения цели исследования использовались данные экспедиционных приповерхностных и вертикальных измерений Кхл, ослабления света, температуры и солёности воды, а также спутниковые данные.

Судовые измерения выполнены на ходу судна с помощью проточной системы и на станциях с помощью погружаемых гидрологических зондов. Пробы морской воды для определения Кхл отбирались разными способами – с использованием 1) пластиковых 5л батометров Нискина: как отдельно опускаемых, так и входящих в систему Carousel Water Sampler; 2) пластиковой канистры. Отбор глубоководных проб осуществлялся на гидрологических станциях, т. е. способом 1. Кхл в клетках фитопланктона определялась стандартным экстрактным спектрофотометрическим методом. Результаты определений были использованы для калибровки непрямых методов оценки содержания хлорофилла-*a*. С помощью проточной системы на ходу судна были измерены интенсивности флуоресценции хлорофилла-*a* и окрашенного растворенного органического вещества в морской воде, температура и соленость морской воды с глубины 5 метров с интервалом 5-60 секунд. Значения интенсивности флуоресценции хлорофилла-*a* были переведены в Кхл по данным прокалиброванных усреднённых по слою от 4 до 6 м значений вертикальных профилей ($R^2=0,65$; N=51 точка). Вертикальные профили температуры, солености и Кхл измерены тремя приборами: 1) гидрологический зонд Idronaut Ocean Seven 320plus с датчиком интенсивности флуоресценции хлорофилла-*a* SeaPoint, объединенный с розеткой; 2) многоканальный оптический зонд Turner C6P, позволяющий определять интенсивность флуоресценции хлорофилла-*a*, дополнительных пигментов и растворенных органических веществ; 3) гидробиофизический мультипараметрический комплекс «Кондор» для определения температуры, фотосинтетически-активной радиации и показателя ослабления света на длине волны 660 нм. Все измерения вертикальных профилей, выполненные флуоресцентными датчиками, были откалиброваны на значения Кхл, определенные стандартным экстрактным методом ($R^2=0,84$; N=43 точки).

Для изучения сезонного хода Кхл в зависимости от изменения температуры вод с сайта <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> были получены 8-дневные с пространственным разрешением 4км×4км данные этих характеристик. Оцифровка данных выполнялась в программном обеспечении SeaDAS версии 7.3.

Максимальные значения Кхл (около 6-9 мг/м³) в приповерхностном слое согласно проточной системе наблюдались на шельфе Антарктического полуострова восточнее от Антарктического пролива (АП). Вторым по Кхл (около 2-3 мг/м³) являлся участок на свале глубин от шельфа ЮОО. ПБ (со стороны Южных Шетландских островов) и АП имели Кхл около 1-2 мг/м³. В ПБ со стороны Антарктического полуострова Кхл была невелика и достигала 0,7 мг/м³. Наименьшие Кхл были отмечены на внешнем антарктическом шельфе при продвижении от Антарктического полуострова к глубоководному БП моря Уэдделла, в открытой части БП и на внешнем шельфе ЮОО (до 0,4 мг/м³) за исключением областей над свалом глубин, где Кхл были выше на 0,1-1,7 мг/м³. Для каждого из упомянутых выше районов охарактеризованы вертикальные профили распределения Кхл с учётом глубин ЭЗ и ВКС, определяемого на основе анализа глубины залегания термоклина и галоклина. Анализ сезонного хода Кхл и ТПМ на каждой из гидробиологических станций позволил выявить сроки основных пиков Кхл в каждом из упомянутых выше районов в 2021-2022 гг. и вместе с рассмотрением вертикальных профилей этих характеристик сделать выводы о механизмах их появления.

Исследования выполнены в рамках гостемы ТОИ ДВО РАН № FWMM-2024-0032 и МГИ РАН № FNNN-2024-0012.

Список литературы

1. Мордасова Н. . Косвенная оценка продуктивности вод по содержанию хлорофилла // Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 41-56.
2. Воробьева О. В., Романова Н. Д., Мошаров С. А., Бардюкова Е. В., Захарков С. П. Продукционные характеристики фитопланктона пролива Брансфилд в летний период // Труды ВНИРО. 2020. Т. 181. С. 174-182. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-181-178-186>
3. Романова Н. Д., Мошаров С. А., Воробьева О. В., Бардюкова Е. В., Артемьев В. А. Количественные и продукционные характеристики фитопланктона северной части моря Уэдделла в летний период // Океанология. 2022. Т. 62, № 2. С. 220–234. <https://doi.org/10.31857/S0030157422020149>



Экологическая микробиология и альгология

Environmental microbiology
and algology

Долговременная и кратковременная акклиматизация черноморской диатомовой водоросли *Ditylum brightwellii* к экстремально высоким интенсивностям света

Алатарцева О. С.*, Стельмакх Л. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Long-term and short-term acclimation of the Black Sea diatom *Ditylum brightwellii* to extremely
high light intensities**

Alatartseva O. S.*, Stelmakh L. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ moon-23@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, фитопланктон, диатомовая водоросль *Ditylum brightwellii*, свет,
кратковременная и долговременная фотоакклиматация

В настоящее время существенную роль в формировании максимумов биомассы фитопланктона в водах Черного моря играют крупные диатомовые водоросли, такие как *Pseudosolenia calcar-avis* и *Proboscia alata* [1–3]. Эти виды водорослей обладают целым комплексом адаптационных механизмов, позволяющих им доминировать в фитопланктоне. Они могут противостоять не только выеданию зоопланктоном, но и дефициту биогенных веществ, а также крайне высоким уровням солнечной радиации, имеющим место в верхнем перемешанном слое летом, в конце весны и в начале осени в период выраженной температурной стратификации вод. В ходе исследований акклиматации *P. calcar-avis* и *P. alata* к сильному свету был выявлен особый механизм, охарактеризованный как кратковременная фотоакклиматация [2]. Он позволяет водорослям в течение 20–30 минут сгруппировать в цитоплазме многочисленные хлоропластины в виде агрегатов, что помогает защитить клетки от фотоповреждения с минимальными энергетическими затратами. Однако не ясно, распространяется ли этот механизм кратковременной фотоакклиматации на другие крупные виды диатомовых водорослей и способны ли их клетки к долговременной фотоакклиматации в этих экстремальных световых условиях.

Цель данной работы – исследовать механизмы акклиматации крупноклеточной черноморской диатомовой водоросли *Ditylum brightwellii* (T. West) Grunow к экстремально высоким интенсивностям света.

В клетках этой культуры, акклиматированной к слабому свету (17 мкмоль фотонов/ $m^2 \cdot s$), многочисленные хлоропластины были равномерно распределены по всей клеточной цитоплазме. Через 10 мин нахождения водорослей при экстремально высокой освещенности (1100 мкмоль фотонов/ $m^2 \cdot s$) наблюдалось постепенное формирование их агрегатов в центре клетки, которое продолжалось до конца двухчасового периода экспозиции. В этих условиях цикл краткосрочной фотоакклиматации водорослей был неполным, так как отсутствовало обратное движение хлоропластов от центра клетки к ее периферии. При интенсивностях света 510–935 мкмоль фотонов/ $m^2 \cdot s$ в процессе кратковременной фотоакклиматации агрегирование хлоропластов отмечено в течение 20–60 мин. После чего наблюдалось обратное их движение и равномерное распределение в цитоплазме к концу второго часа.

В условиях длительного пребывания культуры при интенсивности света 1100 мкмоль фотонов/ $m^2 \cdot s$ водоросли сохраняли свою жизнеспособность только в течение шести часов. Следовательно, при такой интенсивности света долгосрочная фотоакклиматация культуры оказалась невозможной. Долгосрочная акклиматизация *D. brightwellii* к интенсивности света 510 мкмоль фотонов/ $m^2 \cdot s$, также направленная на снижение количества поглощенной клетками энергии для оптимизации роста культуры, осуществлялась в течение двух суток за счет увеличения объема клеток водорослей, увеличения отношения С/Хл *a*, агрегирования хлоропластов в центре клетки, снижения максимальной

эффективности работы фотосистемы II, максимальной скорости электронного транспорта, коэффициента максимальной утилизации световой энергии, эффективности электронного транспорта, доли активных реакционных центров, а также индекса производительности. Последний параметр показал наибольшую степень изменчивости (в 10 раз) и свидетельствовал о достаточно низкой жизнеспособности культуры к концу двухсуточной экспозиции при данной интенсивности света и нецелесообразности ее дальнейшего пребывания в этих условиях.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 24-27-20014 (<https://rscf.ru/project/24-27-20014/>) «Трансформация структуры и функциональных характеристик черноморского фитопланктона у берегов Крыма в современных экологических условиях. Фундаментальная роль и прикладное значение».

Список литературы

1. Стельмах Л. В., Бабич И. И., Тугрул С., Мончева С., Стефанова К. Скорость роста фитопланктона и его выедание зоопланктоном в западной части Черного моря в осенний период // Океанология. 2009. Т. 49, № 1. С. 90-100.
2. Silkin V., Fedorov A., Flynn K. J., Paramonov L., Pautova L. Protoplasmic streaming of chloroplasts enables rapid photoacclimation in large diatoms // Journal of Plankton Research. 2021. Vol. 43, iss. 6. P. 831–845. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab071>
3. Yunev O. A., Carstensen J., Stelmakh L. V., Belokopytov V. N., Suslin V. V. Reconsideration of the phytoplankton seasonality in the open Black Sea // Limnology and Oceanography Letters. 2021. Vol. 6. P. 51–59. <https://doi.org/10.1002/lol2.10178>

О монографии «Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря»

Бухарин П. И.

Астраханская группа Института водных проблем РАН, Астрахань, РФ

**Monograph “Phytoplankton of the lower reaches of the river Volga and the northern part
of the Caspian Sea”**

Bukharitsin P. I.

Astrakhan expedition base, Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Astrakhan, Russia

✉ astrgo@mail.ru

Уникальный природный комплекс бассейна Волги и Северного Каспия играет большую роль в экономике России. Он испытывает активное антропогенное влияние, усиливающееся с каждым годом. Здесь проживает более 80 млн. человек, расположены крупные промышленные предприятия, ведется интенсивное сельское хозяйство и добыча полезных ископаемых. Регион богат природными ресурсами и прежде всего рыбными запасами. Сравнительно недавно, примерно 80% осетровых добывалось на Нижней Волге и Каспии. Во второй половине XX столетия в регионе остро всталась проблема экологии. В связи со строительством гидроэлектростанций на Волге скорость реки замедлилась в 15 раз, большой урон был нанесен рыбному хозяйству. Нарастает загрязнение воды. Выросла мутагенная активность воды, увеличилась концентрация серосодержащих соединений. Накопление загрязняющих веществ в водной системе Волго-Каспийского бассейна оказало негативное воздействие и на гидробионтов, в том числе на фитопланктон, на который в первую очередь влияют вещества евтрофного комплекса. Их концентрация в эти годы неуклонно возрастает. Наиболее высокие темпы роста концентраций наблюдались в начале 80-х годов. С вводом в эксплуатацию в 1967 г. первой очереди газоперерабатывающего завода (АГПЗ) выросли выбросы в атмосферу и поверхностные воды различных токсических соединений, что также негативно отразилось на состоянии экосистемы региона в целом. Важным фактором, усиливающим неблагоприятную экологическую обстановку в регионе, является крайне нестабильный уровень Каспийского моря. Так, с 1978 г., до середины 90-х годов XX века он повысился более чем на 2 м, а затем стал вновь понижаться, и падение уровня моря продолжается в настоящее время.

В связи с перечисленными факторами, крайне остро стоит проблема объективной оценки состояния экосистемы региона и, в том числе, водных масс. Традиционно, при оценке состояния загрязнения поверхностных вод использовались многочисленные гидрохимические методы анализа. С их помощью можно определить наличие и концентрацию того или иного химического элемента или его соединения в воде. Чем разнообразнее и больше таких соединений, тем больше требуется выполнить анализов. На смену гидрохимическим пришли новые, современные методы, однако результат оставался прежним – определялся набор химических элементов и соединений и их концентрация в воде. Как реагируют гидробионты на такой «химический бульон», эти методы ответа не дают.

В последней четверти XX в., наряду с традиционными гидрохимическими методами наблюдения за загрязнением поверхностных вод стали применять и гидробиологические методы. В 1977 г. при Астраханской гидрометеорологической обсерватории, впервые в нашей стране, была создана гидробиологическая группа.

В чем преимущество новых гидробиологических методов? Дело в том, что химические методы дают представление лишь о количестве загрязняющих веществ, в то время, как гидробиологические обнаруживают последствия этих загрязнений, степень и характер их влияния на животный и растительный мир. Жизнедеятельность обитателей вод и, наконец, показывают, в какой мере под воздействием загрязнений, в целом, нарушена экологическая система. Принцип гидробиологического метода заключается в разной реакции живых организмов, населяющих водоемы, на суммарное

воздействие загрязняющих веществ. По сути дела, гидрохимические и гидробиологические методы взаимно дополняют друг друга и дают более точную и полную картину состояния природных вод. Оценка вод по химическим и биологическим показателям есть оценка степени их пригодности для нужд человека, рыбного хозяйства и многих других видов хозяйственной деятельности.

В качестве биоиндикаторов используются определенные виды фитопланктона, которые по-разному реагируют на загрязнение воды.

Фитопланктон является одним из важнейших объектов в изучении степени способности вод. Он отличается наибольшим видовым разнообразием среди других гидробионтов и массовостью видов-индикаторов, которые позволяют специалистам оценивать уровень и характер загрязнений, а также в целом «здоровье» пресноводных, солоноватых и морских водоемов бассейна Волги и Северного Каспия.

В начале XX в. исследования фитопланктона Нижней Волги и Северного Каспия носили эпизодический характер, но в Северном Каспии определение уровня сапробности вод не осуществлялось.

Авторы монографии «Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря» впервые дают комплексную оценку степени евтрофирования вод для всего региона Нижней Волги и Северного Каспия в целом. На современном этапе это особенно важно в связи с резко меняющимися гидрологическими условиями на Северном Каспии и в дельте Волги и нарастанием темпов экономической деятельности в регионе.

В монографии (рис. 1), на основании многолетних данных (1984–2021 гг.), даётся качественная и количественная характеристика альгоценозов в историческом, сезонном и пространственном аспектах. Проводится анализ антропогенного влияния на протяжении всего периода исследований в регионе, в том числе и в районе Астраханского промышленного комплекса (АПК) и АГПЗ. Исследован качественный и количественный состав фитопланктона в условиях изменяющихся гидрологических условий и антропогенного влияния на экосистему, его сезонные сукцессии, пространственное распределение. Выявлены вековые изменения в структуре альгоценозов, использован весь объем имеющихся данных по фитопланкtonу изучаемого региона. Определен уровень сапробности разно-типыных водоемов Нижней Волги и Северного Каспия и других количественных показателей развития фитопланктона (численность, биомасса, отдельные группы водорослей).



Рис. 1: Обложка монографии «Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря»

Подобная масштабная работа выполнена впервые.

Помимо научной значимости, проведенные многолетние исследования фитопланктона имеют и большое практическое значение и будут востребованы при решении экологических проблем, имеющих большую социальную значимость для нашего региона. Книга будет полезна как ученым, специалистам, так и студентам ВУЗов соответствующих специальностей.

Список литературы

1. Бухарицин П.И., Лабунская Е.Н. Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря / П. И. Бухарицин, Е. Н. Лабунская. М. : Издательский дом Академии Естествознания, 2023. 336 с.

Коллекции диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Ботанического института РАН (ЛЕ) как основа для изучения и сохранения биоразнообразия

Гогорев Р. М., Юрчак М. И.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

**Diatom collections in Herbarium of the Komarov Botanical Institute RAS (LE) as the base for study
and conservation of biodiversity**

Gogorev R. M., Yurchak M. I.

Komarov Botanical Institute of RAS, St. Petersburg, Russia

✉ rgogorev@binran.ru

*Ключевые слова: гербарий, диатомовые водоросли, коллекция, постоянный препарат,
номенклатурный тип, типификация*

Коллекция диатомовых водорослей лаборатории альгологии Ботанического института включает в себя исторические гербарные образцы, постоянные препараты и обширные сборы влажных проб из различных морей и внутренних водоемов.

Наиболее важной и ценной является коллекция постоянных препаратов диатомовых водорослей, подготовленных или собранных Прошкиной-Лавренко А. И., Макаровой И. В., Жузе А. П., Скворцовым Б. В., Стрельниковой Н. И. и другими альгологами. Среди них особую ценность имеют типовые препараты (авторство Прошкиной-Лавренко А. И., Макаровой И. В., и др.). В последние годы начаты подготовка и введение в базу данных сведений о препаратах и их этикетирование, включая имеющиеся данные о районе, станции и дате отбора проб, координатах, сборщике, суднах и орудиях лова/сбора.

К настоящему времени введены данные о более чем 200 препаратах, в том числе о 21 голотипе таксонов и около 50 изотипах, синтиках и паратипах. В планах работы с коллекцией первой задачей является типификация таксонов, которые были описаны диатомологами Ботанического института и не имеют прямого указания на тип в публикациях.

Коллекции влажных проб были собраны сотрудниками лаборатории альгологии БИН РАН и других институтов в различных географических регионах и представляют высокую ценность для исследования и сохранения биоразнообразия. Материал из этих коллекций может восполнить утраченные постоянные препараты, а также послужить основой для детального исследования разных таксономических групп, поскольку коллекции содержат сборы как фитопланктона, так и микрофитобентоса и перифитона.

На данный момент внесены данные по влажным коллекциям диатомовых водорослей из Черного (639 проб), Азовского (239) и Каспийского морей (287), оз. Балхаш (170), зал. Сиваш (356), всего 1691 пробы. Коллекции включают сборы Прошкиной-Лавренко А.И., Ахметовой Н.И., Дранкина Е.И., Генди В., Иванова А.Н., Ланской Л.А., Вертифанова, Михайловой Н.Ф., Зиновой А.Д., Генераловой, Долгопольской М.А., Тарасова (Н.И.), Киселева И.А., Шириной и др. Всем пробам присваиваются инвентарные индивидуальные номера.

Таким образом, данные гербарий и коллекции являются источником для номенклатурных и таксономических исследований диатомовой флоры, ценность и актуальность которых можно считать одним из этапов изучения и сохранения биоразнообразия. Значение коллекций диатомовых водорослей определяется важностью и наличием типового материала, что позволяет расширить возможности по изучению флоры, морфологических структур и особенностей диатомовых водорослей.

Работа выполнена в рамках проекта Президиума РАН «Гербарные фонды БИН РАН (история, сохранение, изучение и пополнение)» (№ АААА-А18-118022090078-2).

Адаптация микроорганизмов к изменяющимся условиям солености экосистем

Каракозова М. В.^{1*}, Назаров П. А.²

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений,
Москва, Россия

²НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского, Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Adaptation of microorganisms to changing salinity conditions in ecosystems

Karakozova M. V.^{1*}, Nazarov P. A.²

¹All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

²Belozerky Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ mvk752002@gmail.com

Ключевые слова: экстремофилы, соленость, футильный цикл, бактерии, помпы МЛУ

Все живые организмы стремятся приспособиться к окружающим условиям среды, и бактерии-экстремофилы, обитающие в суровых средах, не исключение. Они способны выживать и размножаться в условиях, которые считаются экстремальными для большинства организмов, таких как экстремально высокие или низкие температуры, необычные давление, кислотность или соленость. Эти условия обычно являются неподходящими для более сложных живых организмов и даже для обычных бактерий, известных как мезофилы.

Экстремофилы вносят значительный вклад в современные технологии, предоставляемые нам термостабильные ферменты, такие как ДНК-полимеразы, и белки, способные кристаллизовать воду, что полезно, например, для создания искусственного снега. Они также обеспечивают хладостойкие ферменты, которые находят применение в косметической и пищевой промышленности.

Изучение адаптации к экстремальным условиям имеет важное значение не только для практических целей, но и для наших научных знаний о возникновении жизни на Земле и других планетах. Это также помогает нам лучше понимать возможные последствия антропогенного воздействия человека на уязвимые экосистемы вследствие исследовательской и хозяйственной деятельности.

Известно, что энергетические механизмы внутри клеток играют фундаментальную роль в способности микроорганизмов к выживанию. В данном исследовании был проведен анализ обычных микроорганизмов – грамположительных бактерий (*Bacillus subtilis* и *Staphylococcus aureus*), а также грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli* и ее делеционных мутантов, лишенных определенных генов помп), с целью изучения влияния биоэнергетических процессов на их адаптацию к созданным искусственно экстремальным условиям в лаборатории. Наши эксперименты показали, что в некоторых случаях обмен энергией бактерий изменяется из-за активации бесполезных циклов, где важную роль играют системы ионного транспорта и бактериальные помпы.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-15-00099 (<https://rscf.ru/project/22-15-00099/>).

Список литературы

1. Nazarov P. A., Kuznetsova A. M., Karakozova M. V. Multidrug Resistance Pumps as a Keystone of Bacterial Resistance // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2022. Vol. 77, iss. 4. P. 193-200. <https://doi.org/10.3103/S009639252204006X>

Ассоциации микроскопических грибов с двустворчатыми моллюсками в северной части Черного моря

Картунен А. С.^{1*}, Копытина Н. И.², Бочарова Е. А.³, Андросова В. И.¹

¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

²Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина, пос. Борок, Ярославская область, Россия

³ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Associations of microscopic fungi with bivalve mollusks in the northern part of the Black Sea

Kartunen A. S. ^{1*}, Kopytina N. I. ², Bocharova E. A. ³, Androsova V. I. ¹

¹Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok,
Yaroslavl oblast, Russian Federation

³A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ sasha.kartunen2000@gmail.com

Ключевые слова: *Crassostrea gigas*, *Mytilus galloprovincialis*, полуостров Крым, северо-западная
часть Чёрного моря

Моллюски используются в пищевой, ювелирной и косметической промышленности, а проведение микологических обследований может улучшить качество сырья. Изучение таксономического состава микромицетов моллюсков и особенностей их распространения проводили для моллюсков в разные годы для разных водоёмов России, преимущественно морских. В Японском море изучали створки и внутренние органы *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856), мидиолус длиннощетинистый *Modiolus modiolus* (Kuroda et Habe, 1950), мидия Грея *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853), анадара Броутона *Anadara broughtoni* (Schrenck, 1867), гигантская устрица *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) и мидия тихоокеанская *Mytilus trossulus* (Gould, 1850). Также в этих работах касались влияния окружения факторов окружающей среды, загрязнений и токсинов [1]. В Чёрном море изучали створки моллюсков *C. gigas*, *Ostrea edulis* (Linne, 1758), *Mytilus galloprovincialis* (Lamark, 1819).

В Чёрном море акклиматизация гигантской (тихоокеанской, японской) устрицы *C. gigas* началась 1980-е гг. Неизвестное ранее в Чёрном море заболевание вызвало массовую смертность устрицы *O. edulis*. Болезнь распространилась на все крупнейшие фермы и природные устричники северо-западной части Чёрного моря, Кавказа и полуострова Крым (заливы Ягорлыцкий, Каркинитский и Джарылгачский), озеро Донузлав, прибрежную зону Карадагского заповедника, озеро Донузлав, бухты г. Севастополя. Подтверждено, что все двустворчатые были поражены раковинной болезнью, вызванной микромицетом *Ostracoblabe implexa* Bornet & Flahault 1891, которую ранее только у берегов Франции и Нидерландов. Смертность устриц, особенно молодых особей, сильно возрастает при падении концентрации растворённого O_2 , солёности и при повышении температуры воды выше +22 °C. Гриб поселяется на створках устриц всех возрастов [2].

Культивирование гидробионтов связано с риском распространения эпизоотий, возникающих из-за их высокой плотности на искусственных субстратах, недостаточностью водообмена и высокой концентрацией продуктов метаболизма моллюсков. В Чёрном море выявлены единичные случаи раковинной болезни у *C. gigas* в оз. Донузлав и бухтах г. Севастополя [3]. В результате фрагментарных исследований грибов на раковинах устриц, проведенных на четырёх фермах полуострова Крым, выделено 47 видов микромицетов.

В 1980-х гг. было также обнаружено грибковое поражение раковин черноморской мидии *M. galloprovincialis*, возбудитель которого не был идентифицирован. В 1980-е гг. в зрелых ооцитах половозрелых *M. galloprovincialis* выявили микроспоридию *Steinhausia mytilovum* (I. A. Field) R. Sprague, Ormières et Manier, 1972 [6]. Известно, что массовое созревание спор *S. mytilovum* начинается после прогрева воды выше +14 °C. Экстенсивность инвазии была максимальной у особей

длиной 60–70 мм. Вдоль побережья СЗЧМ и Крыма до Карадага микроспоридия была обнаружена у 0,8–13,1 % мидий; в некоторых районах экстенсивность инвазии достигала 76 %.

В 2000-х гг. при проведении работ в акватории в северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ) на створках мидий идентифицировано 77 видов грибов [4 ; 5]. В результате исследования грибов на створках двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis*, *C. gigas* и *O. edulis* обнаружено 79 видов грибов из отделов Ascomycota (45 видов), Zygomycota (2), Oomycota (1), Microsporidia (1). Всего на мидиях идентифицировано 77 видов микромицетов, на устрицах – 47.

На створках двустворчатых моллюсков, выделен общий для Японского и Чёрного морей вид *Alternaria alternata* Keissl. 1912. На *C. gigas* и *M. galloprovinciali* общим был космополит – *Botryotrichum murorum* (Corda) X.Wei Wang & Samson 2016. У *C. gigas* также был идентифицирован один представитель царства Chromista – *O. implexa*.

На моллюсках присутствуют грибы, которые относятся к четвёртой группе патогенности, так называемые оппортунистические грибы, способные при определённых условиях вызывать заболевания человека и гидробионтов. Так, представители родов *Alternaria*, *Chaetomium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus* являются возбудителями гиалогифомикозов, поражающих органы дыхания, кровь, ЦНС, другие органы и приводящих к летальному исходу у лиц с иммуносупрессией разного генеза; представители рода *Aspergillus* являются причиной аспергиллеза – заболевания, проявляющегося хроническими токсико-аллергическими проявлениями и поражением органов дыхания, кожи, почек, ЦНС, органов зрения [7]. На мидиях обнаружен 31 патогенный вид микромицетов (40,3 % от видового состава), на устрицах – 28 (59,6 % от видового состава). В связи с тем, что на створках моллюсков присутствует большое количество условно-патогенных микроскопических грибов, существует необходимость проведения мониторинга моллюсков перед их отправкой в торговую сеть.

В настоящее время микроскопические грибы изучают с точки зрения экологии (влияние абиотических и биотических факторов среды на процессы адаптации грибов, реакции количественных и качественных показателей распространения гриба в моллюске на загрязнение, выявление пищевой и иммуногенной роли грибов в жизненном цикле моллюсков), биохимии (вещества, позволяющие разрушать створки или фиксироваться на них, токсические вещества, отравляющие организм-носитель, направленные на подавление защитных механизмов), биологии (расселение в организме, цикл распространения, морфологические особенности, видовая специфика), систематики и т.д. Получение данных о видовом составе микромицетов в/на створках моллюсков позволит также расширить информацию о разнообразии микроскопических грибов, спектре факторов, оказывающих влияние на их биологическое разнообразие и патогенные свойства.

Список литературы

1. Борзых О. Г. Биоразнообразие мицелиальных грибов-ассоциантов двустворчатых моллюсков залива Петра Великого Японского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук специальность 03.02.08 «Экология»: Автореферат на соискание кандидата биологических наук. Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Владивосток, 2013. 17 с.
2. Губанов В. В. Влияние раковинной болезни на состояние естественных поселений устриц *Ostrea edulis* и их культивирование в Чёрном море : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.18. Севастополь, 1990. 21 с.
3. Пиркова А. В. Пораженность черноморских устриц раковинной болезнью. Профилактика и селекция на устойчивость к заболеванию // Рыбное хозяйство Украины. 2002. № 3-4. С. 45-47.
4. Базовые биологические исследования Одесского морского порта (август – декабрь 2001 г.). Итоговый отчёт / Зайцев Ю. П., Александров Б. Г. и др. (ред.) // Серия монографий Одесского демонстрационного центра программы ГлоБалласт. Одесса, 2004. № 7. 171 с.

5. Kopytina N. I., Bocharova E. A. Fouling communities of microscopic fungi on various substrates of the Black Sea // Biosystems Diversity. 2021. Vol. 29, no. 4. P. 345-353. <https://doi.org/10.15421/012144>
6. Холодковская Е. В., Кудинский О. Ю. Поражение гонад черноморской мидии микроспоридией *Steinhausia mytilorum* // Биология и культивирование моллюсков. 1987. Москва : ВНИРО. С. 108-115.
7. Пестерев П. Н. Псевдомикозы и глубокие микозы: учебное пособие / П. Н. Пестерев, С. А. Хардикова. Томск : Издательство СибГМУ, 2020. 167 с.

Морфофункциональные характеристики зеленой микроводоросли *Coccotuxa parasitica* в накопительной культуре

Лавриченко Д. С.*, Кладченко Е. С., Богачева Е. А., Челебиева Э. С.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Morphofunctional characteristics of the green microalgae *Coccotuxa parasitica* in accumulation culture

Lavrichenko D. S.*, Kladchenko E. S., Bogacheva E. A., Chelebieva E. S.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

✉ lavrichenko_daria@ibss-ras.ru

Ключевые слова: зеленые микроводоросли, *Coccotuxa parasitica*, метаболическая активность, активные формы кислорода, мембранный потенциал митохондрий

В настоящее время в различных регионах Мирового океана наблюдаются случаи заражения двустворчатых моллюсков паразитическими микроводорослями рода *Coccotuxa*, в частности, *Coccotuxa parasitica* [1] и *C. veronica* [2]. Эти случаи зарегистрированы, в том числе, на территории Российской Федерации, в Японском море, близ Владивостока [3 ; 4], а также в Белом море [5]. *C. parasitica*, паразитирующая на моллюсках семейства митилид, является космополитичным видом, что создает значительные риски для аквакультурных хозяйств. Установлено, что инвазия этой микроводоросли приводит к деформации и хрупкости раковин у мидий *Mytilus edulis* [6], *Mytilus galloprovincialis* [7] и *Modiolus kurilensis* [4], снижению репродуктивной функции у моллюсков *Modiolus modiolus* [3] и проявлению водянистых, полупрозрачных тканей у *Mytilus edulis chilensis* [8]. При этом эколого-физиологические характеристики самой микроводоросли изучены недостаточно, за исключением данных о широком диапазоне соленосной и температурной толерантности канадского штамма *C. parasitica* (KJ372210) [9]. Высокая устойчивость и сохранение жизнеспособности микроводоросли при резком изменении условий среды свидетельствуют о ее значительном адаптационном потенциале и возможности глобального распространения [9]. В связи с вышеизложенным, для более глубокого понимания биологии и экологии *C. parasitica* необходимо исследование ее морфологических и функциональных характеристик в контролируемых условиях культивирования. Это определило цель настоящего исследования – первое комплексное изучение морфофункциональных особенностей российского штамма паразитической микроводоросли в лабораторной накопительной культуре. Основные задачи работы состояли в подборе питательной среды для получения активно растущих жидких культур штамма и оценке скорости роста и морфофункциональных характеристик вида с использованием методов проточной цитометрии и световой микроскопии.

Объектом исследования служил штамм *C. parasitica*, изолированный из зараженных двустворчатых моллюсков *M. kurilensis* в Дальневосточном регионе Российской Федерации с помощью модифицированной методики очистки Percoll [4]. Водоросль выращивали на модифицированных по содержанию N и P питательных средах F, F/2, 2F и при добавлении мидийного фильтрата в качестве органической вытяжки в контролируемых условиях шейкера-инкубатора US-3026 (ULAB, Китай). Освещенность (E) на наружной поверхности колб составляла 2000 Лк, температура питательной среды – 15 °С.

В данной работе впервые представлены данные, характеризующие скорость роста на накопительных культурах *C. parasitica*. Показана динамика изменения морфофункциональных параметров, таких как метаболическая активность, содержание активных форм кислорода и митохондриальный потенциал, в клетках зеленой паразитической микроводоросли при накопительном режиме культивирования на питательных средах, различных по уровню обогащения основными минеральными солями, микроэлементами и витаминами, и при дополнительном внесении органического субстрата.

Исследования показали, что наиболее оптимальной питательной средой для *C. parasitica* при заданных условиях культивирования является среда F, содержащая азот (17.6×10^{-4} М) и фосфор (7.24×10^{-5} М), с максимальной удельной скоростью роста ($\mu_{\max} = 0,18 \text{ сут}^{-1}$) при добавлении мидийного фильтрата в качестве органической вытяжки. Увеличение метаболической активности клеток и рост митохондриального потенциала свидетельствуют о высокой активности клеточного деления и эффективном клеточном дыхании, что подчеркивает предполагаемый оптимум для лабораторного культивирования *C. parasitica*.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 24-26-20096 (<https://rscf.ru/project/24-26-20096/>) "Экспансия паразитической микроводоросли Соссомуха parasitica в Черное море - оценка адаптационного потенциала и угроза для региональной марикультуры".

Список литературы

1. Stevenson R. N., South G. R. *Coccomyxa parasitica* sp. nov.(Coccomyxaceae, Chlorococcales), a parasite of giant scallops in Newfoundland // British Phycological Journal. 1974. Vol. 9, no. 3. P. 319-329. <https://doi.org/10.1080/00071617400650391>
2. Sokolnikova Y. et al. Novel species of parasitic green microalgae *Coccomyxa veronica* sp. nov. infects *Anadara broughtonii* from the Sea of Japan // Symbiosis. 2022. Vol. 87, iss. 3. P. 293-305. <https://doi.org/10.1007/s13199-022-00877-6>
3. Vaschenko M. A. et al. Reproduction-related effects of green alga Coccomyxa sp. infestation in the horse mussel *Modiolus modiolus* //Journal of invertebrate pathology. 2013. Vol. 113, iss. 1. P. 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.02.003>
4. Sokolnikova Y. et al. Permanent culture and parasitic impact of the microalga *Coccomyxa parasitica*, isolated from horse mussel *Modiolus kurilensis* // Journal of invertebrate pathology. 2016. Vol. 140. P. 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.07.012>
5. Симакова У. В. и др. Зеленые водоросли (CF Соссомуха) мидий Белого моря // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря : материалы XIII Всерос. конф. с междунар. уч. СПб, 2017. С. 185-188.
6. Mortensen S. et al. Picoeucaryot alga infecting blue mussel *Mytilus edulis* in southern Norway // Diseases of aquatic organisms. 2005. Vol. 63, no. 1. P. 25-32. <https://doi.org/10.3354/dao063025>
7. Crespo C. et al. *Coccomyxa* sp. (Chlorophyta: Chlorococcales), a new pathogen in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) of Vigo estuary (Galicia, NW Spain) // Journal of invertebrate pathology. 2009. Vol. 102, iss. 3. P. 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.08.010>
8. Gray A. P. et al. *Mytilus edulis chilensis* infested with *Coccomyxa parasitica* (Chlorococcales, Coccomyxaceae) // Journal of Molluscan Studies. 1999. Vol. 65, iss. 3. P. 289-294. <https://doi.org/10.1093/mollus/65.3.289>
9. Belzile C., Gosselin M. Free-living stage of the unicellular algae Coccomyxa sp. parasite of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Low-light adaptation, capacity for growth at a very wide salinity range and tolerance to low pH // Journal of Invertebrate Pathology. 2015. Vol. 132. P. 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.10.006>

Оценка роста и биофиксации CO₂ *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae)

Мальцева И. А.^{*}, Черкашина С. В.

ФГБОУ ВО Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

Assessment of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae) growth and biofixation of CO₂

Maltseva I. A.^{*}, Cherkashina S. V.

Melitopol State University, Melitopol, Russia

✉ maltseva-irina22@yandex.ru

Ключевые слова: микроводоросли, секвестрация, углерод, биомасса

Биологическая секвестрация, связанная с поглощением углекислого газа и включением углерода в органические соединения, – один из важнейших естественных механизмов уменьшения парниковых газов в атмосфере.

Микроводоросли – быстрорастущие организмы, способные к оксигенному фотосинтезу. Эффективность фотосинтеза у них очень высокая. Они способны связывать в 10–15 раз больше CO₂, чем другие наземные растения [1]. Микроводоросли характеризуются большим видовым разнообразием, обитают в различных наземных и водных экосистемах. Многие из них устойчивы к действию экстремальных факторов окружающей среды и культивируются в различных открытых и закрытых биоректорах. По мнению многих исследователей, микроводоросли могут обладать большим биосеквестрационным потенциалом [2]. Сообщалось о высокой способности к улавливанию и утилизации углекислого газа *Chlorella* sp., *Dunaliella tertiolecta* Butcher, *Desmodesmus* sp. и др. [1].

Способность микроводорослей поглощать и фиксировать CO₂ в биомассе открывает новые возможности смягчения последствий парникового эффекта и может стать реальной альтернативной секвестрации углерода высшими растениями. Биомасса микроводорослей богата на липиды, белки, углеводы, содержит различные биологически активные соединения, включая витамины, антиоксиданты, ценные полиненасыщенные жирные кислоты и др., которые используются для производства биотоплива, фармакологических и косметических препаратов, пищевых добавок, кормов. Таким образом увеличивая производство биомассы микроводорослей, можно не только обеспечивать биосеквестрацию, но и получать дополнительный эффект от ее переработки и использования в различных сферах хозяйственной деятельности.

Для оценки содержания углерода в клетках водорослей используют различные методы его измерения, а также различные коэффициенты преобразования, основанные на углеродной модели [3].

Целью данной работы была оценка роста и биосеквестрационного потенциала штамма *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ-Ch4 [4]. *Chlorococcum oleofaciens* – хорошо известный вид *Chlorophyceae* из водных и почвенных биотопов, способный накапливать в значительных количествах липиды. Это открывает широкие перспективы переработки его биомассы и получения продуктов с добавленной стоимостью.

Изучение ростовых характеристик штамма осуществляли в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с 150 мл среды ВВМ при 23 ± 2 °C. Начальная концентрация клеток была 2,89 · 10⁵ клеток · мл⁻¹. Интенсивность света составляла 5000 лк, режим освещения 16:8 (свет: темнота). За ростом следили на протяжении 25 дней. Численность клеток измеряли с помощью автоматического счетчика клеток Bio-Rad TC20™. Аэрацию культуры осуществляли компрессором Hailea ACO-308. Воздушную смесь подавали со скоростью 0,8 л · мин⁻¹ (вариант А) и 0,1 л · мин⁻¹ (вариант В).

Chlorococcum oleofaciens стационарной фазы достигал к 14 и 16 дню культивирования в вариантах А и В соответственно. Удельная скорость роста в экспоненциальной фазе составляла 0,27 сут⁻¹ (вариант А) и 0,19 сут⁻¹ (вариант В). Началу стационарной фазы в варианте А соответствовала биомасса 1.24 г сухого веса (СВ) · л⁻¹, но максимум был достигнут на 18 сутки, а именно

1,35 г СВ·л⁻¹. Объемная продуктивность биомассы на 18 сутки составила 0,08 г СВ·л⁻¹·сут. В варианте В биомасса достигла 1,93 г СВ·л⁻¹, а объемная продуктивность биомассы – 0,11 г СВ·л⁻¹·сут.

Количество углерода в клетках микроводорослей коррелирует с объемом клеток, содержанием хлорофилла *a* [3]. Таким образом, используя эмпирические или теоретически полученные отношения углерода к объему клеток водорослей и содержанию хлорофилла, можно рассчитать массу углерода и оценить биофиксацию CO₂. В соответствии с рекомендациями Menden-Deuer и Lessard [5] было рассчитано содержание углерода в клетках *Chlorococcum oleofaciens*. Учитывая максимальное количество биомассы, накопленной *Chlorococcum oleofaciens* в ходе эксперимента, показатель поглощения и утилизации CO₂ в варианте А достигал 3,21 г·л⁻¹, а в варианте В – 4,52 г·л⁻¹. Это первая оценка способности штамма *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ-Ch4 к фиксации CO₂ и дальнейшие исследования позволят выяснить дополнительные характеристики его биосовестрационного потенциала.

Работа выполнена в рамках темы «Секвестрационный потенциал микроводорослей и цианобактерий антропогенно-трансформированных экосистем Запорожской области в условиях возрастающей аридизации климата (FRRS-2024-0003; № 124040100028-6).

Список литературы

1. Tarafdar A., Sowmya G., Yogeshwari K., Rattu G., Negi T., Awasthi M. K., Hoang A., Sindhu R., Sirohi R. Environmental pollution mitigation through utilization of carbon dioxide by microalgae // Environmental Pollution. 2023. Vol. 328. Art. no. 121623. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121623>
2. Gautam K., Pareek A., Sharma D. K. Exploiting microalgae and macroalgae for production of biofuels and biosequestration of carbon dioxide – a review // International Journal of Green Energy. 2015. Vol. 12, no. 11. P. 1122-1143. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.893239>
3. Liu X., Sun J., Wei Y., Liu Y. Relationship between cell volume and particulate organic matter for different size phytoplankton // Marine Pollution Bulletin. 2023. Vol. 194, part A. Art. no. 115298. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115298>
4. Maltsev Y. I., Konovalenko T. V. New finding of green algae with potential for algal biotechnology, *Chlorococcum oleofaciens* and its molecular investigation // Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2017. Vol. 8, no 4. P. 532-539. <https://doi.org/10.15421/021782>
5. Menden-Deuer S., Lessard E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protist plankton // Limnology and Oceanography. 2000. Vol. 45, no. 3. P. 569-579. <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.3.00569>

Арктические микроорганизмы и их приспособление к изменениям окружающей среды

Назаров П. А.

НИИ Физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского, Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Arctic microorganisms and their adaptation to environmental changes

Nazarov P. A.

A. N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ nazarovpa@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, биоэнергетика, ледовые экосистемы, пампы МЛУ, супербактерии

В течение последних десятилетий интенсивные исследования биосфера привели к обнаружению живых организмов в условиях, которые ранее считались непригодными для жизни. Это изменило наше понимание экосистем и роли организмов в них. В своей уникальной роли "морозильника" для клеток, Арктика имеет особенности, такие как отражение солнечного света льдами и снегом, что позволяет сохранять простые живые формы, такие как бактерии и вирусы.

Изменения в окружающей арктической среде, в том числе под воздействием человеческой деятельности, влияют на климат в регионе. Наиболее активное таяние льда происходит в середине и конце лета, после чего начинается новый процесс его образования. Арктические течения переносят многолетний лед на север, увеличивая его массу и объем. Благодаря толщине и низкой солености этот тип льда частично сохраняется во время летнего периода, что способствует созданию уникальных экосистем, включая сезонные пресные озера, формирующиеся на поверхности льда под воздействием солнечного света [1].

Периоды замерзания и оттаивания сменяют друг друга, и это приводит к тому, что микроорганизмы оказываются "заключенными в лед" внутри многолетних льдовых шапок в Арктике. Однако из-за увеличения температуры в этом регионе дрейф льдов начинается раньше, и цикл оттаивания и замерзания претерпел значительные изменения: лед отступает быстрее и не успевает полностью восстановиться зимой из-за эволюции климатических условий. Согласно некоторым климатическим прогнозам, лед в Арктике может полностью исчезнуть к середине XXI века, что откроет доступ микроорганизмам для интеграции их в арктические экосистемы [2].

Понимание структуры микроорганизмов в Арктике имеет важное значение, учитывая потенциальные угрозы для экосистем и здоровья человека. Одним из примеров является распространение генов резистентности, включая ген blaNDM-1. В 2009 году этот ген был обнаружен на Индийском субконтиненте, а затем распространился до отдаленных регионов, включая Западный Шпицберген. На Шпицбергене также были обнаружены бактерии, устойчивые ко всем известным антибиотикам. Это показывает, что Арктика становится резервуаром генов резистентности, что вызывает беспокойство в свете проблемы бактериальной резистентности. Появление пула генов резистентности может способствовать развитию более стойких госпитальных супербактерий, нечувствительных к широкому спектру антибиотиков, включая последние лекарственные препараты, такие как колистин [3].

Таяние полярных льдов в Арктике представляет угрозу как самым арктическим экосистемам, которые являются весьма хрупкими и сложными, так и экосистемам за ее пределами. Это может привести не только к физическому разрушению экосистем, таким как пресноводные озера в ледовых полях, но также к сокращению ареала обитания животных, например, белых медведей, и связанных с ними микроорганизмов. Будет ли происходить это внезапно для нас или будет контролируемым процессом зависит от нашей готовности реагировать на новые угрозы или возможности [4].

Работа была начата в рамках полярных экспедиций Арктического плавучего университета (2021 и 2022) и выполняется при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант 22-15-00099, <https://rscf.ru/project/22-15-00099/>).

Список литературы

1. Gradinger R., Bluhm B. A., Hopcroft R. R., Gebruk A. V., Kosobokova K., Sirenko B., Węsławski J. M. Marine life in the Arctic // Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance / Ed. A. D. McIntyre. Chichester, UK : Blackwell Publishing Ltd, 2010. Chap. 10. P. 183-202. <https://doi.org/10.1002/9781444325508.ch10>
2. Влад И. В., Шароватов А. А. Вопросы предотвращения последствий глобального изменения климата в Арктике // Инновации и инвестиции. 2023. № 1, 52-57.
3. Nazarov P. A. MDR Pumps as Crossroads of Resistance: Antibiotics and Bacterio-phages // Antibiotics. 2022. Vol. 11, iss. 6. Art. no. 734. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060734>.
4. Кашин А. С., Аксёнов А. С., Гончаров А. Е., Назаров П. А., Намсараев З. Б., Сабуров А. А. Арктический плавучий университет - новая площадка для мониторинга и комплексного изучения микробных сообществ // Сборник тезисов IV Микробиологического Конгресса, Томск, 24-29 сентября. (В печати).

Характеристика трех штаммов черноморских альговирусов и их воздействие на микроводоросли

Сагадатова Р. Р.*, Стельмакх Л. В.

ФИЦ «Институт биологии южный морей имени А.О. Ковалевского Российской академии наук»

Characteristics of three strains of Black Sea algoviruses and their impact on microalgae

Sagadatova R. R.*, Stelmakh L.V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Russian Federation, Sevastopol

✉ sagadatova82@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, альговирусы, морские микроводоросли, лизис культур, сканирующая электронная микроскопия

Вирусы являются наиболее многочисленными представителями морских экосистем, их концентрация в воде составляет 10^4 – 10^9 частиц/мл. Смертность некоторых видов планктонных микроводорослей в море под воздействием вирусной инфекции может колебаться от 5 до 100% в сутки. Для выявления механизмов воздействия альговирусов на фитопланктон необходимо проведение исследований по контакту вирионов с отдельными видами водорослей в лаборатории в контролируемых условиях.

Наша работа была направлена на выделение отдельных штаммов альговирусов из прибрежных вод Черного моря, определение некоторых характеристик и изучение их влияния на культуры микроводорослей.

В 2022–2023 гг из бухт Севастополя были выделены штаммы альговирусов: TvV-SM2, IgV-SS1 и EhV-SS2. Изоляция основана на лизисе клеток индикаторных культур микроводорослей под действием патогена. Первый штамм вызывал лизис зеленой водоросли *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R.E.Norris, Hori & Chihara, второй поражал клетки гаптофитовой водоросли *Isochrysis galbana* Parke, третий лизировал культуру мелкой кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann).

Диаметр вирусных частиц у выделенных трех штаммов неодинаков. Для TvV-SM2 он составил 48–60 нм, для IgV-SS1 – 69–90 нм и для EhV-SS2 достигал 124–174 нм. Форма вирионов представляет собой правильный выпуклый многогранник – икосаэдр. Установлено, что все вирусные суспензии, обработанные хлороформом, теряли свою инфекционную активность, в результате чего лизис клеток водорослей не наблюдался. Это позволило заключить, что вирионы всех трех штаммов покрыты дополнительной липопротеиновой оболочкой – суперкапсидом.

Все вирусы видоспецифичны, имеют ограниченный круг хозяев. В процессе исследований возможного контакта вирусов трех выделенных штаммов с индикаторными культурами 32-х видов морских микроводорослей разной таксономической принадлежности было получено, что только альговирус TvV-SM2 поражал 2 вида водорослей – *T. viridis* и *Tetraselmis striata* Butcher. Иными словами, этот вирусный штамм имеет, как минимум, двух хозяев. Для двух других выделенных штаммов обнаружено только по одному хозяину.

Впервые показано, что под действием ионов меди в концентрации 100 мкг/л происходит полное подавление активности альговируса TvV-SM2, а воздействие токсиканта в концентрации 80 мкг/л приводило лишь к частичному угнетению этого штамма. Обработка альговируса медью в концентрации 1–40 мкг/л не оказывала влияние на вирионы.

Исследования влияния вирусов на индикаторные культуры *T. viridis* и *E. huxleyi*, показали, что при снижении исходного титра патогена на 3 порядка период скрытой инфекции увеличивался примерно в 4 раза, а скорость лизиса снижалась почти в 3 раза. В течение латентного периода отмечено снижение эффективности работы фотосистемы II у обеих инфицированных культур в 1.7–2 раза. Полный лизис водорослей не наблюдался даже к концу экспериментов.

От 10 до 15 % клеток исследованных культур сохраняли свою жизнеспособность, используя, вероятно, разные механизмы. Например, кокколитофорида *E. huxleyi* обеспечивала свою устойчивость к инфекционному воздействию путем утраты кокколит, покрывающих здоровые клетки водорослей.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагии в условиях антропогенного воздействия и изменений климата» (№ 124030400057-4).

Биоразнообразие кишечных микробиомов аквакультурных рыб и сельскохозяйственных птиц

Скворцова Е. Г., Филинская О. В.

ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», Ярославль, Россия

Biodiversity of gut microbiomes of aquaculture fish and poultry

Skvortsova E. G.^{*}, Filinskaya O. V.

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russian Federation

✉ e.skvorcova@yarx.ru

Ключевые слова: кишечный микробиоценоз, индекс Шеннона, африканский сом, стерлянь, цыплята-бройлеры, перепела, пробиотические препараты

Микробиота теплокровных животных и рыб очень разнообразна и может содержать до 20 типов бактерий, но общей чертой является то, что три типа: Proteobacteria, Firmicutes и Bacteroidetes доминируют в бактериальном сообществе [1], по современной классификации это Pseudomonadota, Bacillota и Bacteroidota соответственно [2]. Установлено, что в бактериальном сообществе кишечника рыб доминируют представители типов Firmicutes (Bacillota), Proteobacteria (Pseudomonadota) и Fusobacteria (Fusobacteriota), тогда как в кишечной микробиоте птиц наблюдается значительное превосходство одного типа микроорганизмов – Firmicutes (Bacillota). У рыб следующим типом по представленности является Fusobacteria (Fusobacteriota), тогда как у цыплят-бройлеров и перепелов данный тип является миорным. Представители типа Actinobacteria (Actinomycetota) содержатся в достаточно большом количестве у сомов и перепелов [3].

Популяцию фирмикутов у теплокровных животных и рыб, можно условно разделить на две группы: молочнокислые бактерии из отрядов Bacillales и Lactobacillales и анаэробные ферментативные бактерии, относящиеся к Clostridiales, такие как Clostridiaceae и Ruminococcaceae. Первый представляет микробиоту в окси- и микроокислических регионах, таких как слизистая оболочка рыб и тонкий кишечник животных, а второй представляет бескислородные ферментативные пищеварительные тракты, такие как рубец и толстая кишка. Lactobacillales – одна из наиболее часто встречающихся и наиболее изученных групп бактерий в микробиоте животных и рыб с некоторыми вариациями на уровне семейства, поскольку Lactobacillaceae является стабильным и важным колонизатором в тонком кишечнике свиней и кур, Carnobacteriaceae и Leuconostocaceae характерны для микробиоты рыб, а Enterococcaceae и Streptococcaceae обычно обнаруживаются как у животных, так и в микробиоте рыб [1].

В группе мелких сомов наиболее часто встречались условно патогенные грамотрицательные аэробные бактерии рода *Pseudomonas* (от 2 до 31%): *P. moraviensis*, *P. koreensis*. В группе крупных сомов лидирующие позиции занимали бактерии *Pseudomonas moraviensis* и *Cetobacterium somerae* (1,9 и 9%) [4].

При исследовании кишечника перепелов авторы уделяли особое внимание непатогенным бактериям состава рода *Collinsella*, *Coriobacteriaceae UCG-002* и патогенным *Olsenella*, чья доля изменялась при применении препарата бетаина [5].

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ» по теме «Разработка функциональных кормов и кормовых добавок с пробиотическими, пребиотическими, антиоксидантными, седативными свойствами для сельскохозяйственных животных на основе экологически безопасного сырья и побочной продукции перерабатывающей промышленности с подготовкой нормативно-технической документации» (№ гос. регистрации 123081600042-1).

Объектами нашего исследования явились две группы сомов *Clarias gariepinus* (мелкие и крупные), стерлянь *Acipenser ruthenus*, цыплята-бройлеры кросса Росс-308, перепела. Геномную ДНК

выделяли при помощи стандартных наборов. Автоматический анализ данных был проведен с использованием программного обеспечения Illumina MiSeq Reporter.

Индекс Шеннона кишечных микробиоценозов исследованных птиц и рыб колеблется в пределах от 2,1 до 6,7, что говорит о достаточно высоком биоразнообразии бактерий, населяющих желудочно-кишечный тракт. Наибольшее разнообразие наблюдалось в кишечном микробиоме цыплят-бройлеров – индекс Шеннона колебался в диапазоне от 6,3 до 6,7, наименьшее – у перепелов-несушек (2,1-4,5). У рыб наблюдались промежуточные показатели: в группе мелких сомов индекс Шеннона колебался в диапазоне от 4,3 до 5,1, в группе крупных сомов – от 5,6 до 6,0, у стерляди – от 3,5 до 5,3. Применение пробиотических препаратов дало неоднозначные результаты. У цыплят-бройлеров и самцов перепелов индекс Шеннона снизился до диапазонов 3,3-5,7 и 4,5-5,5, у перепелов-несушек – повысился до 4,0-4,9. У стерляди биоразнообразие кишечных микроорганизмов в группах, содержащихся с применением пробиотического препарата было на 0,3-1,0 пункта индекса Шеннона выше, чем у контрольных групп.

Список литературы

1. Ikeda-Ohtsubo W., Brugman S., Warden C. H. et al. How Can We Define «Optimal Microbiota?»: A Comparative Review of Structure and Functions of Microbiota of Animals, Fish, and Plants in Agriculture // Frontiers in Nutrition. 2018. Vol. 5. Art. no. 90 (18 p.). <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00090>
2. Oren A., Garrity G. M. Valid publication of the names of forty-two phyla of prokaryotes // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2021. Vol. 71, iss. 10. Art. no. 005056 (7 p.). <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005056>
3. Скворцова Е. Г., Филинская О. В. Сравнительный анализ кишечных микробиомов рыб разных таксономических групп и двух видов куриных птиц // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2023. № 2(65). С. 92-97.
4. Skvortsova E., Filinskaya O., Postrash I., Bushkareva A., Mostofina A. Biodiversity of gut microorganisms in aquacultured African catfish // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 463. Art. no. 01039 (6 p.). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346301039>
5. Pradista L., Prastowo S., Widyas N., Ratriyanto A. Metagenomic analysis of non-pathogenic and pathogenic cecal bacteria profiles in quail supplemented with betaine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1114. Art. no. 012008 (6 p.). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1114/1/012008>

Изменение в составе микробных сообществ байкальской губки *Lubomirskia baikalensis*

Черногор Л. И.^{1*}, Панова Ю. А.^{1,2}, Беликов С. И.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Changes in the composition of microbial communities of the Baikal sponge *Lubomirskia baikalensis*

Chernogor L. I.^{1*}, Panova Yu. A.^{1,2}, Belikov S. I.¹

¹Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk Russia

✉ lchernogor@mail.ru

Ключевые слова: *Lubomirskia baikalensis*, клеточная культура примморф, микробные сообщества, прокариоты, эукариоты, зеленые водоросли, симбионты, патогены

Губки (тип Porifera) - это древние многоклеточные животные, питающиеся фильтратами в морских и пресноводных экосистемах. Эндемичные байкальские губки живут в симбиозе с различными видами эукариотных и прокариотных микроорганизмов, включая водоросли, производящие хлорофилл [1 ; 2]. В последние годы, существует серьезная проблема массовых заболеваний и гибели эндемичных пресноводных губок озера Байкал. Этиология и экология заболеваний и гибели байкальских губок неизвестны. Ранее, мы показали, что в микробных сообществах губки *L. baikalensis* и ее клеточной культуре примморф произошли существенные изменения. Обнаружена массовая гибель основных симбионтов - зеленых водорослей (*Chlorocystis* sp., Chlorophyta), и изменение (сдвиг) в составах микробных сообществ губок / примморф [3 ; 4]. Анализ ампликонов генов 16S рРНК выявил значительное увеличение числа условно-патогенных микроорганизмов, принадлежащих, в основном, к филам *Bacteroidetes* и *Proteobacteria*. Было показано, что изолированные штаммы *Janthinobacterium* sp. SLB01 и *Janthinobacterium* sp. PLB02, *Flavobacterium* sp. SLB02, выделенные из больной губки и клеточной культуры примморф являются патогенами для губок и клеточной культуры примморф *L. baikalensis* [5 ; 6].

Цель данного исследования показать дальнейшие изменения в микробных сообществах. Образцы больных и здоровых байкальских губок *L. baikalensis* и клеточная культура примморф были объектом нашего исследования. В результате анализа ампликонов генов 16S рРНК было обнаружено дальнейшее изменение в микробных сообществах губок и примморф. Отмечено увеличение не идентифицированных ASV (вариантов сиквенса ампликонов) хлоропластов в больных губках, не похожих на последовательности нативных зеленых симбиотических водорослей (Chlorophyta), которые доминируют в здоровых губках. В тоже время, отмечено уменьшение количества *Cyanobacteria* в больных губках и значительное увеличение различных семейств бактерий, таких, как *Comamonadaceae*, *Oxalobacteraceae*, *Pseudomonadaceae*, *Rhodobacteraceae*, *Diplorickettsiaceae*, *Gallionellaceae*, *Moraxellaceae*, *Nitrosomonadaceae*, *Spongibacteraceae*, *Neisseriaceae*, *Sutterellaceae*, не характерных для здоровых губок.

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают, что изменения в микробных сообществах губок продолжают накапливаться без тенденции восстановления первоначальных симбионтов здоровых губок. Исследования изменений в микробных сообществах в дальнейшем помогут расширить наше представление о симбиотических взаимоотношениях микроорганизмов и понять причины развития заболеваний байкальских губок, связанные со сдвигом видовых составов в системе организм-хозяин с микробными прокариотами и эукариотами. Понимание причин этих явлений может позволить наметить меры по стабилизации и управлению охраной экосистемы озера Байкал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ЛИН СО РАН по теме: «Геномика симбиоза. Исследование взаимодействий между хозяином и консорциумами микроорганизмов и паразитов» (№ гос. регистрации 0279-2021-0011) и гранта Российского научного фонда № 19-14-00088 (<https://www.rscf.ru/project/19-14-00088/>).

Список литературы

1. Latyshev N. A., Zhukova N. V., Efremova S. M., Imbs A. B., Glysina O. I. Effect of habitat on participation of symbionts in formation of the fatty acid pool of freshwater sponges of Lake Baikal // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. 1992. Vol. 102, iss. 4. P. 961–965. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(92\)90109-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(92)90109-5)
2. Bil K., Titlyanov E., Berner T., Fomina I., Muscatine L. Some aspects of the physiology and biochemistry of *Lubomirskia baicalensis*, a sponge from Lake Baikal containing symbiotic algae // Symbiosis. 1999. Vol. 26. P. 179–191.
3. Belikov S., Belkova N., Butina T., Chernogor L., Martynova-Van Kley A., Nalian A., Rorex C., Khanaev I., Maikova O., Feranchuk S. Diversity and shifts of the bacterial community associated with Baikal sponge mass mortalities // PLoS ONE. 2019. Vol. 14, iss. 3. Art. no. e0213926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213926>
4. Chernogor L., Klimenko E., Khanaev I., Belikov S. Microbiome analysis of healthy and diseased sponges *Lubomirskia baicalensis* by using cell cultures of primmorphs // PeerJ. 2020. No. 8, Art. no. e9080. <https://doi.org/10.7717/peerj.9080>
5. Belikov S. I., Petrushin I. S., Chernogor L. I. 16S rRNA gene amplicon sequencing data of bacterial community of freshwater sponge *Lubomirskia baicalensis* // Microbiology Resource Announcements. 2022. Vol. 11, iss. 2. Art. no. e01164-21. <https://doi.org/10.1128/mra.01164-21>
6. Chernogor L., Eliseikina M., Petrushin I., Chernogor E., Khanaev I., Belikov S.I. *Janthinobacterium* sp. strain SLB01 as pathogenic bacteria for sponge *Lubomirskia baicalensis* // Pathogens. 2023. Vol. 12, iss. 1. Art. no. 8. <https://doi.org/10.3390/pathogens12010008>



Физиология и биохимия адаптационных процессов гидробионтов

Physiology and biochemistry
of adaptation processes of aquatic
organisms

Роль мульти-медной оксидазы MofA в окислении марганца у *Leptothrix mobilis* Feox-1

Алёмова А. С., Москвитина М. И., Зеленин И. С., Грабович М. Ю.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Ключевые слова: окисление марганца, *mofA*, *Leptothrix mobilis* Feox-1, мультимедные оксидазы

Прокариотические микроорганизмы играют важную роль в процессах круговорота веществ в биосфере, и они уже давно являются объектам, которые интересуют исследователей. Марганец входит в число наиболее распространенных элементов в земной коре. Круговорот марганца имеет огромное значение для биосфера. Ведущая роль в геохимическом цикле этого элемента принадлежит микроорганизмам, использующим разные формы марганца для конструктивных и энергетических потребностей.

Актуальность данной работы заключается в том, что марганец играет огромную роль в биогеохимическом круговороте веществ и может использоваться живыми организмами в качестве необходимого соединения для осуществления физиологических процессов. Марганец-окисляющие организмы также могут участвовать в удаление токсичных соединений марганца из воды.

Новизна данной работы заключается в том, что ранее была показана способность некоторых бактерий рода *Leptothrix* к окислению марганца, однако механизм этого процесса до конца изучен не был.

Объектом исследования служила бактерия из рода *Leptothrix* – *L. mobilis* Feox-1. Для изучения способности бактерии данного рода к окислению марганца были использованы следующие методы: биоинформационный анализ генома с целью поиска генов, кодирующих ферменты окисляющие марганец; динамику окисления марганца изучали формальдоксимовым методом; экспрессию гена мультимедной оксидазы, предположительно играющей ключевую роль в процессе окисления марганца [2], определяли с помощью ПЦР-РВ на приборе CFX96 Real-Time PCR Detection System («Bio Rad», США) с использованием интеркалирующего красителя SYBR Green I.

MofA – марганец-окисляющий белок, принадлежащий к семейству мультимедных оксидаз (ЕС 1.16.3.3, WP_130481838.1) [1 ; 4]. Фермент катализирует превращение двухвалентного марганца в четырехвалентный, кодируется геном *mofA* [5]. У *L. mobilis* Feox-1, для которого показана способность к окислению Mn (II) [6], наличие этого гена ранее не было показано, однако биоинформационный анализ выявил белок, гомологичный охарактеризованному белку у *L. discophora*. Ген *mofA* располагается рядом с генами *mofB* *mofC*, однако их роль в метаболизме марганца пока ещё не исследована. Для подтверждения способности бактерий рода *Leptothrix* к окислению марганца было проведено измерение общего белка в четырехдневной культуре в конце экспоненциальной фазы роста. Прирост белка в хемолитогетеротрофных условиях составил 20 мг/л, при этом наблюдалось образование оксидов марганца (VI). Бактерии, окисляющие марганец, превращают Mn (II) в Mn (IV). Для подтверждения данного процесса у *L. mobilis* FeOx была определена динамика убыли Mn (II) формальдоксимовым методом [3]. В результате показано, что в течение 96 часов культивирования концентрация ионов Mn (II) постепенно снижалась. При этом на поверхности происходило образование бурой пленки оксида марганца (IV). В химическом контроле, концентрация Mn (II) оставалась постоянной, что позволяет исключить возможность химического образования оксида марганца (IV).

Для подтверждения способности *L. mobilis* Feox-1 к ферментативному окислению марганца изучали экспрессию гена *mofA* – мультимедной оксидазы, обладающей способностью к окислению марганца. Исследование экспрессии показало, что за первые сутки после внесения бактерий экспрессия *mofA* резко возрастает – в 100 раз по сравнению с культурой, выращенной в условиях без марганца); рост экспрессии продолжается до 72 часов культивирования и относительный уровень транскриптов возрастает в 150-200 раз, после чего на 4 сутки относительный уровень транскриптов практически снижается до нуля. По-видимому, падение экспрессии связано с уменьшением количества Mn(II) в пробе, что согласуется с данными количественного определения иона Mn (II). Экспрессия *mofA*

у *L. mobilis* Feox-1 может быть связана с окисление марганца, однако в литературе имеются данные о наличии у марганец-окисляющих бактерий ферментативного комплекса, что говорит о возможном присутствии других ферментов, окисляющих марганец и требует дальнейшей экспериментальной проверки.

Список литературы

1. Aziz R. K. et al. The RAST Server: rapid annotations using subsystems technology // BMC genomics. 2008. Vol. 9. Art. no. 75. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-75>
2. Brouwers G. J. et al. Stimulation of Mn²⁺ oxidation in *Leptothrix discophora* SS-1 by Cu²⁺ and sequence analysis of the region flanking the gene encoding putative multicopper oxidase MofA // Geomicrobiology Journal. 2000. Vol. 17, iss. 1. P. 25-33. <https://doi.org/10.1080/014904500270468>
3. Dubinina G. A. Mechanism of the oxidation of divalent iron and manganese by iron bacteria growing at neutral pH of the medium // Microbiology. 1979. Vol. 47. P. 471-478.
4. Santelli C. M., Chaput D. L., Hansel C. M. Microbial communities promoting Mn(II) oxidation in Ashumet Pond, a historically polluted freshwater pond undergoing remediation // Geomicrobiology Journal. 2014. Vol. 31, iss. 7. P. 605-616. <https://doi.org/10.1080/01490451.2013.875605>
5. Siering P. L., Ghiorse W. C. PCR detection of a putative manganese oxidation gene (*mofA*) in environmental samples and assessment of *mofA* gene homology among diverse manganese-oxidizing bacteria // Geomicrobiology Journal. 1997. Vol. 14, iss. 2. P. 109-125. <https://doi.org/10.1080/01490459709378038>
6. Spring S. et al. Polyphasic Characterization of the Genus *Leptothrix*: New Descriptions of *Leptothrix mobilis* sp. nov. and *Leptothrix discophora* sp. nov. nom. rev. and Emended Description of *Leptothrix cholodnii* emend // Systematic and applied microbiology. 1996. Vol. 19, iss. 4. P. 634-643. [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(96\)80036-1](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(96)80036-1)

Комбинированное влияние закисления морской воды и гипоксии на организм средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819)

Андреева А. Ю.*, Кухарева Т. А., Кладченко Е. С., Подольская М. С., Ткачук А. А.,
Лавриченко Д. С., Богачева Е. А., Челебиева Э. С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Combined effect of water acidification and hypoxia on Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819)

Andreyeva A. Yu.*, Kukhareva T. A., Kladchenko E. S., Podolskaya M. S., Tkachuk A. A., Lavrichenko D. S.,
Bogacheva E. A., Chelebieva E. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ lab_eimg@ibss-ras.ru

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, закисление мирового океана, гипоксия, клеточный иммунитет, гемоциты

Двустворчатые моллюски составляют около 21 % объемов мировой добычи морских ресурсов, а также являются массовыми представителями бентоса в естественных прибрежных водных экосистемах [1]. В настоящее время выделяют два наиболее существенных абиотических фактора, способных негативным образом повлиять на жизнедеятельность двустворчатых моллюсков в естественных местообитаниях и на аквакультурных хозяйствах - снижение концентрации растворенного кислорода и закисление морских вод [2]. Показано, что оба фактора вызывают широкий спектр функциональных нарушений в организме, включая изменение состояния иммунной системы. При этом основная масса исследований оценивает воздействие или гипоксии, или ацидификации, а сочетанное влияние этих факторов на функциональное состояние и, в особенности, иммунную систему двустворчатых моллюсков не было широко исследовано до настоящего момента.

В связи с этим, целью настоящей работы было исследование динамических изменений показателей клеточного иммунного ответа в гемоцитах средиземноморской мидии *M. galloprovincialis* (Lamarck 1819) при экспериментальном моделировании закисления воды в сочетании с гипоксией или нормоксией.

Мидии (*M. galloprovincialis*) (длина створки 89.3 ± 0.8 мм, вес 28.3 ± 1.2 г, n=270) отбирались на марикультурной ферме в районе г. Севастополя ($44^{\circ}61' N$ and $33^{\circ}50' E$). После окончания периода акклиматизации 3 к лабораторным условиям (1 нед.) моллюсков разделили на 3 группы со следующими условиями: контроль (концентрация кислорода (8.0 ± 0.3) мг/л; pH = 8,2); закисление (концентрация кислорода (8.0 ± 0.3) мг/л; pH = 7,3); закисление с гипоксией (концентрация кислорода (1.5 ± 0.3) мг/л; pH = 7,3). Заданный уровень гипоксии создавался путем продувки воды газообразным азотом, а уровень pH – путем аэрации углекислым газом. Длительность инкубации моллюсков в экспериментальных условиях составила 8 дней с ежедневной сменой воды для удаления метаболитов из аквариумов. Отбор проб проводится на 1, 3, 6, и 8 дни. На каждой точке эксперимента проводили отбор проб гемолимфы из мышцы-замыкателя. После отмычки в стерильной морской воде (500 g, 5 мин) проводили анализ функциональных показателей гемолимфы. Фагоцитоз измеряли при помощи набора с флуоресцентным зимозаном (Phagocytosis Assay Kit, Green Zymosan) методом флуоресцентной микроскопии путем подсчета числа гемоцитов, поглотивших частицы зимозана (фагоцитарная активность, FA), а также рассчитывали число поглощенных частиц на гемоцит (фагоцитарный индекс, FI). Общее число гемоцитов в гемолимфе, также клеточный состав гемолимфы, а также уровень спонтанной продукции активных форм кислорода (АФК) анализировали на проточном цитометре MACS Quant Analyzer.

Статистический анализ проводился с использованием RStudio версии 4.3.2 (R Core Team, 2021). Для оценки влияния pH и концентрации кислорода был проведен трехфакторный дисперсионный анализ с использованием HSD Тьюки. Различия были достоверными при $p < 0,05$. Данные представлены в виде среднего значения $\pm SD$.

В настоящем исследовании отмечали выраженные негативные изменения параметров клеточного иммунитета. Закисление воды не приводило к достоверным изменениям клеточного состава гемолимфы, хотя общее количество циркулирующих гемоцитов в гемолимфе значительно снижалось, начиная с 6 и 8 сут экспериментального закисления как при нормоксии, так и при гипоксии. В обеих экспериментальных группах у агранулоцитов снижалась спонтанная продукция АФК, а в гранулоцитах снижение продукции АФК отмечалось только в виде тенденции, однако, различия не были достоверны относительно контроля. Помимо влияния на продукцию АФК у мидий обеих экспериментальных групп отмечалось снижение ФА гемоцитов. При ацидификации в условиях нормоксии показатель снижался только на 3 сут эксперимента, а затем восстанавливался. При сочетанном воздействии ацидификации и гипоксии ФА снижалась уже на первые сутки и оставалась ниже контроля на протяжении всего периода воздействия. Наиболее выраженные изменения маркерных показателей иммунного ответа отмечались на поздних этапах эксперимента (6–8 сут.) при закислении в условиях нормоксии. При гипоксии отмечалась сходная тенденция, за исключением ФА. Динамика изменения показателей свидетельствует об относительной устойчивости мидий к колебаниям pH воды, однако, эффективная компенсация воздействия низких pH продолжается относительно короткий период (до 6 сут), а затем отмечается нарастание неблагоприятных последствий в организме. Учитывая прогнозируемые будущие негативные изменения климата, связанные со снижением доступности кислорода и закислением вод, адаптивные реакции двустворчатых моллюсков на эти стрессоры будут иметь решающее значение в их дальнейшем расселении, жизнедеятельности и видовом разнообразии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБиОМ по теме «Механизмы функционирования иммунной системы двустворчатых моллюсков и физиологические основы ее адаптации к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам окружающей среды» (№ гос. регистрации 124030100090-4).

Список литературы

1. Wijsman J. W. M. , Troost K., Fang J., and Roncarati A. Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges // Goods and Services of Marine Bivalves / Eds. Smaal A., Ferreira J., Grant J., Petersen J., Strand Ø. Springer Cham. 2019. P. 7-26. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9_2
2. Doney S. C. et al. Climate change impacts on marine ecosystems // Annual Review of Marine Science. 2012. Vol. 4. P. 11–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>

Липидный состав липопротеинов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) во время нерестовой миграции

Васильева О. Б.*, Ефремов Д. А., Мурзина С. А.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИБ КарНЦ РАН), Петрозаводск, Россия

Lipid composition of lipoproteins of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) during spawning migration

Vasil'eva O. B.*, Efremov D. A., Murzina S. A.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

✉ olga_4428@mail.ru

Ключевые слова: липиды, липопротеины, нерестовая миграция, горбуши

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) относится к виду лососевых рыб, успешно интродуцированных в Белое море и водотоки его бассейна, и характеризуется коротким жизненным циклом (два года), высокими темпами роста и необратимыми физиологическими перестройками организма при нерестовой миграции из морской воды в пресную [1]. Известно, что миграция производителей горбуши из Белого моря к месту нереста происходит в условиях голодаия и требует значительных затрат эндогенных ресурсов, направленных, прежде всего, на энергообеспечение гаметогенеза и высокой физической активности рыб в условиях изменения соленосного, кислородного и температурного режимов [2]. Транспортная система липопротеинов плазмы крови горбуши осуществляет перенос структурных и запасных липидных компонентов между органами и тканями, активно участвуя в процессе созревания репродуктивной системы горбуши и подготовки ее к нересту в течение миграции в реку [3]. В настоящей работе проведено изучение динамики липидного состава липопротеинов сыворотки крови производителей (самок и самцов) горбуши *O. Gorbusha* во время нерестовой миграции из трех биотопов – «море» (Белое море), «эстуарий» и «река» (р. Индера, басс. Белого моря). Анализ биохимических показателей проводился на базе лаборатории экологической биохимии ИБ КарНЦ РАН и с использованием научного оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

В ходе миграции у самцов и самок горбуши установлено увеличение количества общих липидов в липопротеинах очень низкой и высокой плотности и их снижение в липопротеинах низкой плотности. У горбуши при переходе из эстуария в реку значительно возрастает уровень запасных липидов (триацилглицеринов и эфиров холестерина) в липопротеинах очень низкой плотности, что связано с возрастающими потребностями в энергетических и структурных липидных компонентах на заключительных этапах оо- и сперматогенеза, которые доставляются к гонадам рыб от различных органов и тканей. У самок горбуши из трех изученных биотопов, в отличие от самцов, значительно преобладали липопротеины высокой плотности, которые содержали высокий уровень фосфолипидов. Доминирование липопротеинов высокой плотности у половозрелых самок лососевых рыб является характерной особенностью распределения липопротеиновых профилей в период нереста и связано с синтезом вителлогенина. Выявленные особенности липидного состава липопротеинов самцов и самок производителей горбуши в ходе нерестовой миграции определяются, главным образом, спецификой репродуктивных процессов. Полученные результаты проясняют компенсаторные особенности адаптации пойкилтермных организмов на примере горбуши, которая также является промысловым видом, к изменяющимся условиям среды, что, несомненно, имеет значение для прояснения особенностей биологии и экологии вида, а также важно для мероприятий управления и мониторинга запасов этого биологического ресурса в условиях Северо-Запада России.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006 по теме «Эколого-биохимические стратегии адаптации природных популяций гидробионтов и объектов аквакультуры в условиях современного изменения климата в норме и при изменении факторов среды с целью обеспечения устойчивого использования водных биологических ресурсов» (№ гос. регистрации 122032100052-8).

Список литературы

1. Гордеева Н. В., Салменкова Е. А., Прусов С. В. Динамика биологических и популяционно-генетических показателей у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, вселённой в бассейн Белого моря // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55, №. 1. С. 45-45. <https://doi.org/10.7868/S0042875215010063>
2. Kiessling A., Lindahl-Kiessling K., Kiessling K. H. Energy utilization and metabolism in spawning migrating Early Stuart sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): the migratory paradox // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2004. Vol. 61, no. 3. P. 452-465. <https://doi.org/10.1139/f04-006>
3. Babin P. J., Vernier J.-M. Plasma lipoprotein in fish // Journal of Lipid Research. 1989. Vol. 30. P. 467-491. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38342-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38342-5)

Роль различных классов липидов в механизмах адаптации окуня-клювача (*Sebastes mentella*) при вертикальных перемещениях в условиях мезопелагиали (Северная Атлантика)

Воронин В. П.^{1*}, Рольский А. Ю.², Мурзина С. А.¹

¹Институт биологии – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИБ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, Россия

²Полярный филиал «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ПИНРО» им. Н. М. Книповича), г. Мурманск, Россия

The role of different lipid classes in the adaptation mechanisms of the beaked redfish (*Sebastes mentella*) during vertical movements in the mesopelagic zone (North Atlantic)

Voronin V. P.^{1*}, Rolskii A. Y.², Murzina S. A.¹

¹Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IB KarRC RAS),
Petrozavodsk, Russia

²Polar Branch of the “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)”
(“PINRO” named after N. M. Knipovich), Murmansk, Russia

✉ voronen-viktor@mail.ru

Ключевые слова: липиды, окунь-клювач, мезопелагиаль, вертикальные миграции, Северная Атлантика

В ходе эволюции глубоководные рыбы выработали ряд морфофизиологических и биохимических адаптаций к обитанию в условиях высокого гидростатического давления, специфического освещения, относительно низких температур и выраженной пространственной неоднородности и доступности пищевых ресурсов. К числу ключевых биохимических механизмов относятся накопление и изменение в теле веществ с низкой плотностью – липидов [1], а также поддержание целостности клеточной мембраны при изменении гидростатического давления за счёт коррекции качественного и количественного состава структурных липидов биомембранны [2].

Окунь-клювач (*Sebastes mentella*, сем. Scorpaenidae) является известным представителем глубоководных вертикально-мигрирующих организмов, глубинное распределение которого в море Ирмингера (Северная Атлантика) составляет от 0–50 метров до 1100 метров [3]. Этот вид характеризуется наличием выраженных вертикальных миграций как в течение суток, так и в процессе онтогенетического развития. В настоящей работе изучена роль различных (основных) классов липидов в поддержании гомеостаза внутренней среды и реализации компенсаторных реакций при вертикальных перемещениях (от 270 м до 850 м) окуня-клювача в условиях мезопелагиали (море Ирмингера, Северная Атлантика).

Установлено, что несмотря на наличие плавательного пузыря закрытого типа у окуня накапливались низкоплотные липиды (до 4,74% сухого вещества) в мышцах: триацилглицерины (ТАГ – 1,73% сухого вещества), воска (0,42% сухого вещества) и эфиры холестерина (ЭХС – 2,59% сухого вещества). При этом, показаны статистически значимые вариации данных липидов в мышцах рыбы в градиенте глубин. Известно [4], что содержание ТАГ, восков и ЭХС коррелирует с глубиной обитания гидробионта, а физико-химические свойства данных липидов (более низкая плотность по сравнению с плотностью морской воды) позволяет им принимать участие в формировании плавучести организма на отдельных глубинных горизонтах [5]. Накопление и вариации содержания данных липидов (ТАГ, ЭХС, восков) в мышцах морского окуня может являться одним из дополнительных механизмов регуляции оптимальной плавучести в ходе вертикальных перемещений рыбы, реализуемых совместно с основными физиолого-анатомическими и поведенческими механизмами.

Для поддержания гомеостаза организма при суточных вертикальных перемещениях у окуня-клювача на уровне липидного метаболизма сформирован ряд компенсаторно-приспособительных

реакций, направленных на поддержание целостности биомембранных клетки. Установлено, что реорганизация физико-химического состояния клеточной мембранных клеток клювоголового окуня осуществляется за счёт перестройки соотношения фосфтидилхолина (0,70–0,94% сухого вещества) и фосфатидилэтаноламина (0,25–0,38% сухого вещества) в липидном бислое мембраны. При этом, отмечены и вариации содержания ХС в мышцах (0,90–1,16% сухого вещества), что может указывать на участие этого липида в поддержании оптимального состояния биомембран при изменяющихся условиях среды (фактор давления при вертикальных перемещениях) [2]. Выявлено, что регуляция нормальной активности мембраносвязанных ферментных (и белковых) систем, ответственных за трансмембранный перенос ионов, также осуществляется путём включения минорных классов ФЛ (фосфатидилсерин, фосфатидилинозитол и лизофосфатидилхолин) в структуру биомембран мышц, что позволяет поддерживать двигательную активность окуня на должном уровне.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

Список литературы

1. Сиделева В. Г., Козлова Т. А. Сравнительное изучение эндемичных коттоидных рыб (Cottidae, Cottoperchidae) в связи с их приспособлением к обитанию в пелагиали озера Байкал // Труды зоологического института РАН. 2010. Т. 314, № 4. С. 433–447.
2. Macdonald A. In the Deep Sea and Other Environments. Springer Nature Switzerland AG : Cham, Switzerland, 2021. 445 p.
3. Мельников С. П. Океанический окунь-клювач Северной Атлантики: биология и промысел. Мурманск : Издательство ПИНРО, 2006. 111 с.
4. Phleger C. F. et al. Wax esters versus triacylglycerols in myctophid fishes from the Southern Ocean // Antarctic Science. 1999. Vol. 11, № 4. P. 436–444.
5. Campbell R., Dower J. Role of lipids in the maintenance of neutral buoyancy by zooplankton // Marine Ecology Progress Series. 2003. Vol. 263. P. 93–99. <http://dx.doi.org/10.3354/meps263093>

Применение термографии для оценки физиологического и функционального состояния настоящих тюленей

Ерохина И. А.* , Кавцевич Н. Н.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

Application of thermography to assess the physiological and functional state of true seals

Erokhina I. A.* , Kavtsevich N. N.

Murmansk Marine Biological Institute of RAS, Murmansk, Russia

 irina.erohina58@mail.ru

Ключевые слова: термография, настоящие тюлени, гренландский тюлень, серый тюлень, кольчатая нерпа, морской заяц, содержание в неволе

Термография – метод функциональной диагностики, в основе которого лежит регистрация инфракрасного излучения тела, широко применяется в медицинской и ветеринарной практике [1]. Информация о распределении температуры на поверхности тела визуализируется на экране тепловизора в виде цветного изображения. Несмотря на определенные ограничения, обусловленные обитанием объектов исследования в водной среде, метод используют и в эколого-физиологических исследованиях морских млекопитающих [2 ; 3].

Исследование проводили в океанариуме ООО "Арктиксервис – Мурманский океанариум" по договору о научно-техническом сотрудничестве. Объекты исследования: гренландский тюлень *Pagophilus groenlandica* (самец, возраст – 11 лет), серый тюлень *Haliçoerus griseus* (самец, 33 года), кольчатая нерпа *Pusa hispida* (самка, 14 лет) и морской заяц *Erignathus barbatus* (самец, 22 года). Регистрацию термограмм начинали после слива воды из бассейна, где содержатся тюлени, утром в 10:30. Съемку производили с расстояния 9–10 м. Температура воздуха составляла 15°C. Использовали тепловизор Mibir 8m, предназначенный для профессиональных термографических исследований, включая медицинские. Тепловизор обладает быстродействием, что позволяет регистрировать изменения температурного профиля объекта исследования непрерывно, в динамике в формате ИК-видео. Анализ термограмм производили с помощью специального программного обеспечения IrAnalyser V1.8.

Выявлены особенности расположения, формы и размеров "тепловых окон" с различной температурой. Температура "окон" значительно ниже температуры ядра тела, которая у морских млекопитающих составляет $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$, что согласуется с данными из литературных источников.

У гренландского тюленя области с наиболее высокой температурой расположены на спинной стороне тела, а не только на ластах и голове, как у серого тюленя и морского зайца. В работе Б. Маук и соавторов [3] термограммы туловища извлеченных из воды тюленей были проанализированы на предмет местоположения, размеров и развития тепловых окон. Тепловые окна наблюдались во всех экспериментальных сессиях, имели некоторые общие характеристики у всех тюленей, а также тенденцию появляться вновь в сходных участках тела отдельных тюленей. Согласно материалам наших исследований, характеристики тепловых окон могут иметь также видовые особенности.

Количественная оценка температурного профиля всей видимой поверхности тела тюленей также позволяет определить как его особенности у исследуемых особей, так и изменения в процессе высыхания кожи и шерсти. Гистограммы гренландского тюленя и морского зайца заметно сдвигаются вправо, т.е., теплоотдача увеличивается, а у серого тюленя – влево (теплоотдача снижается).

У всех обследованных тюленей наиболее высока интенсивность теплоотдачи с поверхности ластов и головы. Особенностью нерпы является высокая температура бедер и нижней челюсти. При обследовании ветеринарным врачом у этого тюленя обнаружены кровоточивость и воспаление десен зубов нижней челюсти. Яркие тепловые окна в области бедер у тюленей ранее не регистрировались [3]. Появление их у нерпы может быть следствием распространения воспалительной реакции.

Таким образом, в данной работе определены возможности применения термографии для оценки физиологического и функционального состояния тюленей. В результате исследования представителей четырех видов настоящих тюленей установлено, что могут существовать видовые особенности терморегуляции, определен характер изменения теплоотдачи при различной уровне двигательной активности, показана возможность выявления у тюленей заболеваний, сопровождающихся воспалительной реакцией.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН по теме «Экология и физиология морских млекопитающих арктических морей» (№ гос.регистрации 121091600101-6).

Список литературы

1. Ачкасов Е. Е., Воловик М. Г., Долгов И. М., Колесов С. Н. Медицинское тепловидение. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. 218 с.
2. Mauck B., Bilgmann K., Jones D. Eysel U., Dehnhardt G. Thermal windows on the trunk of hauled-out seals: hot spots for thermoregulatory evaporation? // Journal of Experimental Biology. 2003. Vol. 206. P. 1727-1738. <https://doi.org/10.1242/jeb.00348>
3. McCafferty D. J., Moss S., Bennett K., Pomeroy P. P. Factors influencing the radiative surface temperature of grey seal (*Halichoerus grypus*) pups during early and late lactation // Journal of Comparative Physiology B. 2005. Vol. 175. P. 423-431. <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0004-4>

**Функциональные изменения гемоцитов и сдвиг
окислительно-восстановительного баланса в мантии
тихоокеанской устрицы (*Magallana gigas* Thunberg, 1793),
вызванные поражением раковины сверлящей губкой (*Pione
vastifica* Hancock, 1849)**

Кладченко Е. С.*, Подольская М. С., Гостюхина О. Л., Лавриченко Д. С., Андреева А. Ю.,
Челебиева Э. С.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**The functional changes of hemocytes and the shift of the redox balance in the mantle
of the Pacific oyster (*Magallana gigas* Thunberg, 1793) caused by shell damage by the boring sponge
(*Pione vastifica* Hancock, 1849)**

Kladchenko E. S.*, Podolskaya M. S., Gostyukhina O. L., Lavrichenko D. S., Andreyeva A. Yu., Chelebieva E. S.
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ kladchenko_ekaterina@bk.ru

Ключевые слова: сверлящие губки, тихоокеанские устрицы, активные формы кислорода,
окислительный стресс, фагоцитарная активность

Тихоокеанская устрица (*Magallana gigas*, Thunberg, 1793) – объект массового культивирования более чем в 60 странах. Такое широкое распространение тихоокеанская устрица получила благодаря устойчивости к большинству известных патогенов [1]. Вместе с тем, в последние годы появились сообщения о поражении раковин устриц сверлящими губками (*Pione vastifica*, Hancock, 1849).

Целью настоящей работы было исследование антиоксидантной защиты и параметров окислительного стресса в мантии, а также оценить фагоцитарную активность, уровень продукции активных форм кислорода (АФК) и повреждения ДНК в гемоцитах тихоокеанских устриц *M. gigas*, пораженных сверлящей губкой *P. vastifica*.

Для исследования были отобраны взрослые устрицы *M. gigas* (массой $77,7 \pm 8,2$ г, длиной раковины $11,4 \pm 2,6$ см) в прибрежной акватории Севастопольской бухты (температура воды 16 °C, солености $17\text{--}18$ ‰, содержании кислорода $7,2\text{--}8,5$ мг/л). Моллюски были отсортированы и поделены на 2 группы: контрольную (здоровые устрицы, без видимого поражения раковины губкой) и опытную (устрицы, зараженные сверлящей губкой, имеющие внешние повреждения раковины или красные вкрапления на ее поверхности) ($n=60$). Устриц акклиматизировали к лабораторным условиям, соответствующим сезону года, в течение 7 дней. Образцы гемолимфы отбирали стерильным шприцом из сердечного синуса, затем трижды отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (5 мин, 500 г, при 5°C). Ткани мантии были извлечены и немедленно заморожены при температуре -80 °C для дальнейшего биохимического анализа.

Для анализа клеточного состава гемолимфы использовался ДНК-краситель SYBR Green I. Уровень АФК в клетках гемолимфы определяли методом проточной цитометрии на основании оценки интенсивности флуоресценции клеток, окрашенных красителем 2-7-дихлорфлуоресцеин-диацетат (DCF-DA) (финальная концентрация 10 мМ). Оценка повреждения ДНК в клетках гемолимфы проводилась с использованием метода ДНК-комет по протоколу описанному ранее [2]. Для анализа активности антиоксидантных ферментов, замороженные образцы мантии оттаивали на льду и гомогенизировали в 2 мл охлажденного буфера 20 мМ Tris/HCl (pH = 7,5), содержащего 0,5 мМ ЭДТА. Гомогенаты центрифугировали в течение 20 мин при 11000 g при 4 °C, супернатанты собирали и сразу использовали для определения активности ферментов (глутатионпероксидаза (ГП), глутатионредуктаза (ГР), супероксиддисмутаза (СОД), каталаза (КАТ)) согласно описанной ранее методике [3]. Степень перекисного окисления липидов измеряли по уровню продуктов, реагирующих

с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП). Для оценки фагоцитарной активности гемоцитов использовали флуоресцентный зимозан (Phagocytosis Assay Kit, Green Zymosan, США). Анализ проводился при помощи флуоресцентного микроскопа Olympus CX43 (Olympus, Япония).

Тихоокеанские устрицы *M. gigas* реагировали на инвазию сверлящих губок *P. vastifica* и повреждение раковины активацией адаптивного иммунного ответа иммунной. Результаты показали увеличение продукции АФК и фагоцитарной активности гемоцитов, на фоне снижения относительного количества гранулоцитов в гемолимфе пораженных моллюсков. Последнее вероятно свидетельствует об инфильтрации гемоцитов в ткани. Поскольку поражение скученными губками в первую очередь связано с повреждением раковины, можно предположить, что изменение уровня АФК связано с сигнальной ролью свободных радикалов в процессе восстановления. Помимо сигнальной роли АФК, нельзя игнорировать тот факт, что химическая активность свободных радикалов не является избирательной. Как известно, избыточное образование АФК может приводить к окислительному повреждению липидов, белков и ДНК. Для обнаружения разрывов ДНК на уровне отдельных клеток используется быстрый и чувствительный анализ ДНК-кометы. В нашем исследовании у устриц, зараженных скученными губками, были зафиксированы значительные повреждения ДНК, что свидетельствует о развитии окислительного стресса.

Предотвращение окислительного повреждения клеточных компонентов осуществляется за счет активации антиоксидантной системы организма при действии различных стрессовых факторов. Активность КАТ в мантии зараженных сверлящей губкой устриц была на 53 % выше, чем в контрольной группе ($p<0.01$). При этом активность СОД и ГР оставалась на уровне контроля. Активность ГП в мантии зараженных моллюсков, была достоверно ниже чем в контрольной группе ($p<0.01$). В мантии отмечены выраженные изменения содержание ТБК-АП, у зараженных сверлящей губкой особей уровень перекисного окисления липидов увеличился более чем на 70 %, по сравнению с контрольной группой ($p<0.01$). В совокупности настоящие результаты свидетельствуют о развитии окислительного стресса в мантии.

Таким образом, несмотря на то, что в гемоцитах зафиксирован высокий уровень АФК, в ткани, наиболее близко расположенной к сверлящей губке, не изменялась активность антиоксидантных ферментов. Поражение сверлящей губкой *P. vastifica* вызывает нарушение прооксидантно-антиоксидантного баланса и индуцирует окислительный стресс в тканях тихоокеанских устриц *M. gigas*.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-26-00019 (<https://rscf.ru/project/23-26-00019/>) «Сверлящая губка Черного моря: влияние на иммунную систему устриц и оценка эффективности метода гипоосмотического шока для борьбы с ее распространением на марикультурной ферме».

Список литературы

1. Botta R., Asche F., Borsum J. S., Camp E. V. A review of global oyster aquaculture production and consumption // Marine Policy. 2020. Vol. 117, Art. no. 103952. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103952>
2. Møller P., Stopper H., Collins A. R. Measurement of DNA damage with the comet assay in high-prevalence diseases: current status and future directions // Mutagenesis. 2020. Vol. 35, iss. 1. P. 5-18. <https://doi.org/10.1093/mutage/gez018>
3. Гостюхина О. Л., Солдатов А. А. Влияние голодаания на антиоксидантный комплекс двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) из Черного моря // Биология моря. 2023. Т. 49, №. 1. С. 17-26. <https://doi.org/10.31857/S0134347523010047>

Реорганизация метаболизма средиземноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) в условиях острой гипоксии

**Кохан А. С.*, Солдатов А. А., Головина И. В., Богданович Ю. В., Шалагина Н. Е.,
Рычкова В. Н.**

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Metabolic restructuring of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) under conditions of acute hypoxia

Kokhan A. S.*, Soldatov A. A., Golovina I. V., Bogdanovich Yu. V., Shalagina N. E., Rychkova V. N.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ kohan-alena@ibss-ras.ru

Ключевые слова: острая гипоксия, аденилатная система, октопиндегидрогеназа, ферменты гликолиза, гликолитические метаболиты, Mytilus galloprovincialis

Зоны острой гипоксии широко представлены в водах Мирового океана. Моллюски считаются одними из наиболее толерантных к дефициту кислорода организмов. Это качество определяется их способностью легко переходить к гипометаболическим состояниям и использовать на этом фоне эффективные анаэробные стратегии, позволяющие поддерживать стабильную выработку энергии в тканях в условиях гипоксии [3]. У данной группы организмов отмечены существенные модификации терминальных реакций анаэробного гликолиза, которые исключают образование лактата и развитие тканевого ацидоза.

Объектом исследования была выбрана средиземноморская мидия *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), которая активно использует глюкозо-опинный путь метаболизма в условиях внешнего дефицита кислорода [4]. Мидии являются общепризнанным объектом культивирования и биоиндикации качества морских акваторий. Поэтому результаты данного исследования имеют не только теоретическое, но и практическое значение.

Мидии были собраны с коллекторных установок «Дон-Комп» (Стрелецкая бухта, Севастополь) в июне 2022 года. Контрольную группу мидий ($n = 12$) содержали при 22 ± 1 °C, концентрации кислорода в воде $6,8\text{--}6,9 \text{ mgO}_2 \cdot \text{л}^{-1}$ и солености 17–18 %. Опытную ($n = 12$): при 22 ± 1 °C, 17–18 % и $0,85\text{--}0,9 \text{ mgO}_2 \cdot \text{л}^{-1}$. Экспозиция составляла 72 часа. Для лабораторного анализа были отобраны жабры, нога и гепатопанкрес. Активность ферментов (сукцинатдегидрогеназа (SDH), октопиндегидрогеназа (OcDH), лактатдегидрогеназа (LDH), малатдегидрогеназа (MDH), альдолаза) определяли по методикам, описанным ранее [5]. Содержание белка в пробах контролировали микробиуретовым методом [2]. Концентрацию метаболитов (глюкоза, лактат, пируват) определяли с помощью лабораторных наборов. Все измерения выполняли на двухлучевом спектрофотометре «SPECS SSP-715». Содержание адениловых нуклеотидов регистрировали хемилюминесцентным методом [1]. Статистические сравнения выполнены на основе непараметрического критерия У-критерия Манна-Уитни.

В настоящем исследовании при воздействии острой гипоксии был показан значительный рост активности SDH в жабрах и ноге моллюска. Это свидетельствует о перераспределении гликолитических метаболитов в направлении образования сукцината в условиях анаэробиоза, что позволяет митохондриям сохранять функциональную активность в условиях острой нехватки кислорода. При этом в гепатопанкресе наблюдалось снижение активности SDH, что может объясняться высоким уровнем окислительных процессов, протекающих в данном органе. Весьма неожиданным был рост активности альдолазы в жабрах моллюска, что свидетельствует об усилении процессов анаэробного гликолиза в данном органе, сопряжённого с развитием тканевого ацидоза. Снижение активности LDH и отсутствие изменения содержания лактата отражает подавление глюкозо-лактатного направления метаболизма. Изменения активности MDH при острой гипоксии не были зафиксированы. Это может

свидетельствовать о том, что сукцинатные пути метаболизма не реализуются в условиях дефицита кислорода в тканевых структурах мидий.

Острая гипоксия вызывала рост содержания глюкозы в жабрах и ноге моллюска. Донором выступал гепатопанкреас. В отличие от ноги и жабр содержание глюкозы в нем понижалось, что отражало перераспределение данного ресурса в пользу периферических органов и тканей. Этот процесс, по-видимому, дополнялся реакциями цикла Кори, косвенным свидетельством тому являлось существенное понижение содержания лактата в гепатопанкреасе. Помимо этого, в жабрах и ноге наблюдался значительный рост содержания пирувата в 1,5–3,0 раза. Это указывает на развитие гипоксического состояния, при котором одновременно происходит активизация процессов анаэробного гликолиза и ограничивается трансформация пирувата в направлении ацетил-КоА. Рост содержания лактата в тканях при этом не происходил. Это свидетельствует о превращении пирувата в опины, что подтверждается увеличением уровня активности OcDH.

Подобная реорганизация метаболизма происходила на фоне понижения содержания АТФ в тканях, уменьшения пула аденилатов и снижения значений аденилатного энергетического заряда, что отражало низкую эффективность глюкозо-опинного направления метаболизма, свойственного представителям рода *Mytilus*.

Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (№ го-регистрации 124030100137-6).

Список литературы

1. Holm-Hansen O., Booth C. R. The measurement of adenosine triphosphate in the Ocean and its ecological significance // Limnology and Oceanography. 1966. Vol. 11, iss. 4. P. 510–519. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.4.0510>
2. Itzhaki R. F., Gill D. M. A micro-biuret method for estimating proteins // Analytical Biochemistry. 1964. Vol. 9. P. 4401–410.
3. St-Pierre J., Tattersall G. J., Boutilier R. G. Metabolic depression and enhanced O₂ affinity of mitochondria in hypoxic hypometabolism. // American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2000. Vol. 279, iss. 4. P. R1205–R1214. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2000.279.4.R1205>
4. Vázquez-Dorado S., De Carlos A., Comesáñ A.S., Sanjuán A. Phylogenetic comparison of opine dehydrogenase sequences from marine invertebrates. // Biochemical Genetics. 2013. Vol. 51, iss. 1–2. P. 54–65. <https://doi.org/10.1007/s10528-012-9551-z>
5. Kokhan A. S., Soldatov A. A., Golovina I. V., Bogdanovich Yu. V., Shalagina N. E., Rychkova V. N. Parameters of Energy Metabolism and Adenylate System in *Mytilus galloprovincialis* Tissues under Moderate Hypoxia // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2023. Vol. 59, iss. 6. P. 1986–1994. <https://doi.org/10.1134/S002209302306008X>

Изменения протеома плазмы крови горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) в ходе нерестовой миграции

Кочнева А. А.* , Ефремов Д. А., Мурзина С. А.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

The changes in the blood plasma proteome of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) during spawning migration

Kochneva A. A.* , Efremov D. A., Murzina S. A.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

✉ kochnevaalbina@gmail.com

Ключевые слова: *Oncorhynchus gorbuscha*, горбуша, протеомика, плазма крови, анадромная миграция, нерест

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 — вид анадромных рыб семейства лососевых с двухлетним жизненным циклом, включающим нерестовую миграцию из моря в реки и завершающейся гибелю производителей. Особи горбуши претерпевают серию физиолого-биохимических изменений, связанных с подготовительными процессами к нересту и сменой факторов окружающей среды, проходящих на фоне ограничения пищевых ресурсов, поскольку в море рыбы прекращают питание. В жизнедеятельности любой живой системы важную роль играют белки. Для анализа белковых паттернов клеток и тканей организма используются протеомные методы, позволяющие описать изменения на молекулярном уровне, вызванные действием факторов внутренней и внешней среды.

В данном исследовании изучены качественные и количественные изменения протеома плазмы крови самок и самцов горбуши *O. gorbuscha* в ходе нерестовой миграции. Рыбы выловлены в августе 2021 года из трех различных биотопов — море (район Белого моря), эстуарии и непосредственно река Индера (басс. Белого моря). Кровь собирали, центрифугировали при 1700 g в течение 10 мин, плазму крови замораживали и хранили в жидким азоте. Хромато-масс-спектрометрический анализ проведен на ВЭЖХ системе Ultimate 3000 RSLCnano, соединенной с масс-спектрометром Q-Exactive HF-X. Идентификацию белков проводили в программе MaxQuant, статистический анализ данных — в программе Perseus с использованием t-теста на основе количественной оценки содержания Label-free quantification.

По результатам масс-спектрометрического анализа в плазме крови горбуши идентифицировано 716 белков. После обработки и фильтрации набора данных отобраны 412 белка для дальнейшего сравнения. Кластерный анализ выявил различия протеомных профилей крови самок и самцов горбуши, которые формируют две отдельные группы, при этом установлена внутренняя гетерогенность в каждой группе, связанная с биотопом.

Анализ протеома крови самок *O. gorbuscha* из различных биотопов в период нерестовой миграции выявил качественные и количественные различия. Самки из реки по сравнению с самками из эстуария характеризовались более высоким содержанием трех изоформ вителлогенина, хориогенина Н альфа, белка, связывающего жирные кислоты, белка, содержащего домен типа D фактора фон Виллебранда и не охарактеризованного белка A0A8C7TJ43, что указывает на усиление транспорта липидов и их участия в процессах созревания репродуктивной системы горбуши, в частности развитии ооцитов. Содержание не охарактеризованного белка LOC109899768, лейкоцитарного хемотаксина 2 и пептидазы семейства S1 было ниже в крови самок из реки и моря по сравнению с самками из эстуария. Увеличение содержания пептидаз в крови самок из эстуария следует рассматривать как стресс-индуцированную реакцию рыб, поскольку именно в эстуарии производители встречают

первое значительное изменение факторов окружающей среды. Показано, что только в плазме крови самок из реки идентифицированы бета-подобная субъединицакоатомера, фруктозо-бисфосфатаза, FABP 10-A liver basic и 4-гидроксифенилпируват диоксигеназа.

Состав протеомных профилей плазмы крови самцов горбуши изменялся при их переходе из моря в реку: снижался уровень фибриногена (α -, β -, γ -цепей), фибринопептида А, белка подобного лектину яйца рыб (FEL-like protein) и повышалось содержание белка, содержащего домен вителлогенина. Обнаруженные изменения могут быть связаны с ответной реакцией рыб как на вариации экзогенных факторов, такие как отсутствие питания, смена температуры воды и другие, так и эндогенные преобразования, связанные с развитием гонад и гормональными изменениями. Только у самцов из эстуария и реки идентифицирован лектин, связывающий маннозу, вовлеченный в процесс активации комплемента, при этом только у самцов из моря обнаружена пептидил-пролил-изомераза, участвующая в иммунных реакциях, контроле клеточного цикла и патогенезе. Таким образом, в период миграции к месту нереста протеом плазмы крови самцов *O. gorbuscha* варьирует по содержанию белков, участвующих в свертывании крови, иммунных реакциях и репродуктивных процессах.

У самок из всех биотопов отмечено повышение уровня нескольких изоформ вителлогенина, хориогенина, сперматозоид-связывающего белка 3 (zona pellucida) и глутатионпероксидазы, тогда как у самцов из всех биотопов — повышение содержания аминопептидазы, белка, содержащего С-концевой домен фибриногена, пентаксина и простагландин D-синтазы.

Более высокие уровни β -глобулина, связывающего половые гормоны, и более низкие уровни катехол-О-метилтрансферазы, наблюдались только в море и реке у самок по сравнению с самцами. Витронектин b и белок, содержащий домен TGF_BETA_2 обнаружены в крови только самцов из моря и эстуария, а церамидаза, не характеризованный белок A0A060Z7F0 и CD59-подобный — только у самцов из реки. Среди белков, обнаруженных только у самок горбуши во всех биотопах отмечены белок, содержащий четырехдисульфидный основной домен сывороточного кислого белка 2 и белок, содержащий С-концевой домен FAM20 (A0A060Y336), у самок из реки — неохарактеризованный белок A0A060Z3K3 и бета'-подобная субъединица коатомера, и у самок из моря — белок, содержащий домен VWFD. Так, белковые профили плазмы крови самок и самцов из каждого биотопа различались по белкам, участвующим в протеолитических процессах, транспорте липидов и иммунных реакциях.

В настоящем исследовании выявлены изменения протеома плазмы крови самок и самцов горбуши *O. gorbuscha* в ходе нерестовой миграции, которые, в первую очередь, затрагивают белки, вовлеченные в развитие репродуктивной системы, транспорт липидов и производство энергии у самок, и белки, участвующие в свертывании крови, иммунном ответе и репродуктивных процессах у самцов. Среди дифференциально экспрессируемых белков рыб разного пола идентифицированы белки, принимающие участие в иммунном ответе, росте и дифференцировке клеток, транспорте липидов. Полученные результаты имеют фундаментальное и практическое значение, поскольку дополняют существующие знания о стратегиях биохимических адаптаций в ходе нерестовой миграции горбуши — важного представителя промысловых мигрирующих видов рыб Баренцева и Белого моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006 (№ гос. регистрации 122032100052-8) с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Передовая масс-спектрометрия» Сколковского института науки и технологий и Центра коллективного пользования КарНЦ РАН.

Различия липидного и жирнокислотного профиля представителя рода *Nitzschia* (*Bacillariophyta*) в зависимости от солености среды

Манойлова Д. И.¹, Давидович О. А.², Давидович Н. А.², Воронин В. П.¹, Мурзина С. А.^{1,*}

¹Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

²Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского Российской академии наук», Феодосия, Россия

Differences in the lipid and fatty acid profile of a representative of the genus *Nitzschia* (*Bacillariophyta*) in terms of salinity

Manoilova D. I.¹, Davidovich O. A.², Davidovich N. A.², Voronin V. P.¹, Murzina S. A.^{1,*}

¹Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

²Vyazemsky Karadag Research Station, Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences, Branch of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Feodosiya Russia

✉ murzina.svetlana@gmail.com

Ключевые слова: диатомовые водоросли, биохимическая адаптация, липиды, жирные кислоты, соленость

Диатомовые водоросли – обширная группа микроводорослей, отличающаяся огромным видовым разнообразием (порядка 20 тыс. валидно описанных видов) и населяющие разнообразные по условиям среды водные объекты, в том числе экстремальные. Последнее относится, в частности к гиперсоленым водоемам, где наблюдаются перенасыщенные водные растворы и выпадение солей. Способность диатомей существовать в высокоосмотичной среде указывает на наличие физиологобиохимических свойствах этих одноклеточных организмов, позволяющих им занимать уникальные экологические ниши. Соленость — один из основных факторов, контролирующих продуктивность диатомовых водорослей, при этом изучению влияния этого фактора на состояние и реакцию живых систем посвящено ограниченное число работ, особенно в случае микробиоты, включающей диатомовые водоросли. Проведено изучение морфологических особенностей и описание экологофизиологических характеристик, а также выявлено изменение липидного и жирнокислотного состава клоновых культур диатомовой водоросли *Nitzschia* sp., обитающей в гипергалинных водоемах, при содержании в градиенте солености (10; 20; 40; 60; 80; 100 и 150‰).

Отбор проб проводили из залива Сиваш Азовского моря (45,327 с.ш., 35,396 в.д.) и бывших соляных чеков, прилегающих к заливу (45,329 с.ш., 35,402 в.д.). Соленость воды в местах отбора проб составляла 40 и 200 ‰ соответственно. Материалом эксперимента являлись клоновые культуры (штаммы), выделенные из отобранных проб микропипеточным способом [3]. Культуры содержали в стеклянных колбах объемом 100 мл в среде ESW с модификациями [1]. В течение года после выделения клоны содержали в модифицированной среде ESW с разной соленостью (10; 20; 40; 60; 80; 100 и 150‰), периодически пересевая. Визуальную оценку подвижности клеток, состояния хлоропластов, подсчет клеток осуществляли посредством световой микроскопии (инвертированный микроскоп Nib-100, Biobase, Китай), морфология и структура панциря изучены с использованием сканирующего электронного микроскопа (Hitachi SU3500, Япония). Анализ общих липидов проводили методом Дж.Фолча [4], исследование основных классов липидов осуществляли с помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ, CAMAG, Швейцария), а качественный и количественный состав жирных кислот – методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором (ГХ-МСД, α-Маэстро, Сайтегра, Россия). В работе использовано оборудование ЦКП КарНЦ РАН.

Морфологически изучаемый вид отдаленно напоминает *N. sigma*. При этом, как показывают проведенные исследования (неопубликованные данные), эти виды существенно различаются генетически. Сходство морфологических и генетических признаков *Nitzschia* sp. с другими видами из рода *Nitzschia*, имеющими сигмовидную форму панциря, также далеко неполное. Вегетативное деление клеток у исследуемого вида наблюдалось в широком диапазоне – от 10 до 310 %. Установлено, что темп деления при содержании в среде ESW (соленость 40 %) при фотопериоде Свет:Темнота = 12:12 часов и освещенности 1,5 клк был близок к одному делению в сутки. Выявлено, что половое воспроизведение более требовательно к факторам среды. В условиях экспериментов данный вид воспроизводился в диапазоне солености от 20 до 80 %. Это первая из диатомей, для которой установлена способность воспроизводиться половым путем в столь широком диапазоне солености, включая гиперсоленость.

В клетках *Nitzschia* sp. липидный профиль по количественному содержанию представлен доминирующим классом нейтральных липидов, за которыми следуют полярные липиды. Выявлена различающаяся динамика изменения липидов у двух изученных клонов (22.0622.-OD и 22.0622.-OG) при разной солености, что свидетельствует о наличии набора и вариативности компенсаторно-приспособительных механизмов адаптации к изменению солености у исследуемого вида. Для клона 22.0622.-OD установлено плавное повышение содержания восков при солености от 20% и выше, которому сопутствовало соответствующее изменение эфиров холестерина, однако последние имели тренд к снижению, а затем повышению при солёности 80%. Количество полярных липидов (общие фосфолипиды) повышалось от 40% и затем плавно снижалось к изначальному при 100%. Для клона 22.0622.-OG установлено соответствующее повышение нейтральных липидов при низких значениях солености, которое снижается при солености в 60, 80 и 100%, а при 150% снова увеличивается.

В совокупности с полученными нами ранее результатами по другому виду из этого рода, *N. thermaloides* [2], к характерным родовым признакам следует отнести крайне немногообразный ЖК-состав. В настоящем исследовании идентифицировано семь кислот; доминирующим по содержанию классом являлись насыщенные ЖК, за счет пальмитиновой кислоты, 16:0, а также 18:0, 14:0 и 15:0, далее следует класс мононенасыщенных ЖК (МНЖК) – 18:1(n-9), 16:1(n-7) и 18:1(n-7). Для клона 22.0622.-OD исследуемой диатомей показано существенно повышение содержания 16:0 кислоты при солености 20%, а затем снижение при 40%. При солености 150% количество этой кислоты в клетках водоросли такое же, как при 10%. Соответствующий тренд установлен и для 18:0 кислоты. Содержание МНЖК (18:1(n-9) и 16:1(n-7)) изменяется схожим образом: снижается при 20, 40 и 60%, затем повышается при 80 и 100% и снова снижается при 150% до значения как при 40%. Напротив, у клона 22.0622.-OG установлено повышенное содержание 16:0 в диапазоне от 80% вплоть до 150%. Отметим, что наблюдалось снижение количества 18:1(n-9) при солености 20, 40, 60, 100%, достигая наибольшего содержания при 80%, а при солености 150% эта кислота имеет схожее значение с таковым при 10%. Установленные вариации липидного и ЖК-состава у двух клонов *Nitzschia* sp. указывают на наличие разнообразных биохимических адаптаций на уровне липогенеза, способствующих высокой адаптивности и поддержке жизнедеятельности при изменении солености в широком диапазоне. Биохимическая адаптация достигается за счет регуляции энергетического обмена в клетке и поддержания надлежащего жидкостного состояния биологических мембран, при которых обеспечивается поддержание оптимальной среды для работы серии мембранных ферментов. Отмечено, при общем сохранении количества или слабой вариации основных ЖК, в большей степени компенсаторная реакция обеспечивается минорными компонентами. Выявлено изменение, в том числе в сторону повышения, содержания аутотоксичного 2,4-ди-трет-бутилфенола, а также сигнальных молекул, таких как азелайновая кислота, способной активировать защитные реакции у растений (преимущественно у клона 22.0622.-OD – повышение при 80 и 100%, при этом у клона 22.0622.-OG ее количество было наибольшим только при 10%) и фталевая кислота (преимущественно у клона 22.0622.-OG при солености 80%). Способностям биосинтеза и биоаккумуляции фталатов водорослями в последние годы посвящается все большее количество работ [5], при этом отмечается, что именно биоаккумуляция водорослями фталатов, свидетельствующая об антропогенном воздействии на водную среду, является ведущим процессом по сравнению с заметно менее выраженным биосинтезом.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.0

Список литературы

1. Полякова С. Л., Давидович О. И., Подунай Ю. А., Давидович Н. А. Модификация среды ESAW, используемой для культивирования морских диатомовых водорослей. Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, № 2. С. 73-78. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>
2. Репкина Н. С., Воронин В. П., Давидович О. И., Давидович Н. А., Мурзина С. А. Влияние солености среды на размножение и жирнокислотный состав микроводоросли *Nitzschia cf. thermaloides*. Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2024. Т. 514. С. 11-15.
3. Andersen, R. A., Kawachi, M. Traditional microalgae isolation techniques. In: Algal culturing techniques. (Ed by Andersen, R.A.). 2005. Elsevier Academic Press. P. 83-100.
4. Folch J., Lees M., Sloane Stanley G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // Journal of Biological Chemistry. 1957. Vol. 226, iss. 1. P. 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
5. Pace A., Vaglica A., Maccotta A., Savoca D. The Origin of Phthalates in Algae: Biosynthesis and Environmental Bioaccumulation // Environments. 2024. Vol. 11, iss. 4. Art. no. 78. <https://doi.org/10.3390/environments11040078>

Протеомный анализ гемоцианина камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западно- сахалинской популяции на разных стадиях линочного цикла

**Моисеева С. А.^{1*}, Моисеев С. И.², Ковалев Л. И.³, Ковалева М. А.³, Новикова Л. А.³,
Шевелёва М. П.⁴**

¹ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований» РАН,
Институт биофизики клетки, Пущино, Московская область, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»)

³ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Институт биохимии им. А.Н. Баха, Москва

⁴ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований» РАН,
Институт биологического приборостроения, Пущино, Московская область, Россия

Proteomic analysis of the hemocyanin from the red king crab *Paralithodes camtschaticus* of the West Sakhalin population at different stages of the molt cycle

Moiseeva S. A.^{1*}, Moiseev S. I.², Kovalev L. I.³, Kovaleva M. A.³, Novikova L. A.³, Shevelyova M. P.⁴

¹Institute of Cell Biophysics, Federal Research Center «Pushchino Scientific Center for Biological Research»
of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, Russia

²Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

³A.N. Bach Institute of Biochemistry, Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology»
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Institute for Biological Instrumentation,
Federal Research Center «Pushchino Scientific Center for Biological Research» of the Russian Academy of Sciences,
Pushchino, Moscow Region, Russia

✉ svmois.icb@rambler.ru

Ключевые слова: Crustacean, *Paralithodes camtschaticus*, линочный цикл, гемоцианин,
структурно-функция, изоформа белка, протеомные исследования

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* — один из наиболее ценных видов среди промысловых ракообразных. Мониторинг структуры и динамики популяции камчатского краба является сложной задачей из-за обширного ареала распространения вида и большой численности, а также из-за высоких показателей расселения и перемешивания популяций. Одним из возможных маркеров биологического состояния популяции является белок-переносчик кислорода в крови ракообразных – гемоцианин [1 ; 2].

Гемоцианины ракообразных представляют собой гексамеры или олигогексамеры из субъединиц с молекулярной массой ~ 75 kDa, каждая из которых содержит один активный центр. В состав активного центра входят два катиона меди, между которыми обратимо связывается кислород. Перестройка генов гемоцианинов при адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды в процессе эволюции привела к образованию множества изоформ различных субъединиц. Молекулярный полиморфизм, регуляция транскрипции отдельных субъединиц и расщепление их на функциональные пептиды, посттрансляционные модификации – все это лежит в основе структурного и функционального разнообразия олигомеров гемоцианина [3].

В нашей работе для масс-спектрометрической идентификации белков была использована база аннотированных транскриптов семи видов Crustacean, созданная в Китайском университете Гонконга <http://cat.sls.cuhk.edu.hk> [4]. При создании базы для функциональной аннотации собранного de novo транскриптома камчатского краба Аляскинской популяции в качестве референсных последовательностей использовались субъединицы *a*, *b* и *c* гемоцианина калифорнийского лангуста *Panulirus interruptus* (UniProt: HCYA_PANIN, HCYB_PANIN, HCYC_PANIN). Транскриптомная база

содержит 14 уникальных последовательностей, кодирующих гемоцианин *P. camtschaticus*: одну изоформу типа *a*, три изоформы типа *b* и 10 изоформ типа *c*. Изоформы гемоцианина *P. camtschaticus* отличаются молекулярной массой, уровнем и тканеспецифичностью экспрессии, содержанием цистеина и числом дисульфидных связей.

Протеомный анализ гемолимфы самцов камчатского краба западно- сахалинской популяции на разных стадиях линочного цикла показал наличие шести изоформ гемоцианина типа *c* и двух изоформ типа *b*. Все идентифицированные изоформы гемоцианина экспрессируются в гепатопанкреасе. Методом двумерного электрофореза выявлены качественные и количественные изменения состава изоформ гемоцианина *P. camtschaticus* на разных стадиях линочного цикла. На ранних стадиях линочного цикла и в межлиночный период в гемолимфе краба присутствуют все шесть изоформ гемоцианина, при этом наряду с полными формами полипептидных цепей присутствуют и усеченные формы. Присутствие усеченных изоформ гемоцианина может свидетельствовать об участии данного белка в иммунных реакциях организма краба (образование антибактериальных пептидов и активация фенолоксидазной активности) [5]. В предлиночный период в гемолимфе присутствует только две полные изоформы гемоцианина типа *c*, усеченные формы отсутствуют. Методом атомно-адсорбционной спектроскопии было показано, что содержание меди в гемоцианине камчатского краба в предлиночный период в расчете на одну субъединицу белка меньше двух атомов, что свидетельствует о том, что часть субъединиц находится в апоформе.

Наблюдаются существенные различия в уровнях экспрессии изоформ гемоцианина *P. camtschaticus* типа *b* и типа *c* в течение линочного цикла. Относительное содержание изоформ типа *b* коррелирует с активностью синтеза гемоцианина в постлиночный период. Фракция изоформ типа *b* появляется на ранних постлиночных стадиях, затем ее относительное количество постепенно увеличивается. В поздний межлиночный период, когда концентрация гемоцианина достигает максимума, а интенсивность его синтеза снижается, относительное количество фракции изоформ типа *b* уменьшается. В предлиночный период присутствуют только следовые количества данной фракции.

Исследования показали, что гемоцианин камчатского краба является сложной системой с высокой степенью полиморфизма, реагирующей как на внешние факторы, так и на внутренние сигналы организма. При этом динамика изменения различных фракций гемоцианина может сильно отличаться. Понимание молекулярных основ многофункциональности гемоцианинов будет полезно для разработки новых стратегий оценки биологического состояния популяций ракообразных, прогнозирования и управления промыслом, борьбы с болезнями ракообразных при искусственном выращивании и/или длительном аквариальном содержании.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФИЦ ПНЦБИ РАН по теме «Исследование физико-химических свойств и функциональных характеристик биомолекул и надмолекулярных комплексов с использованием экспериментальных и информационно-аналитических подходов. Создание баз данных и алгоритмов анализа и аннотации геномов и метагеномов» (№ гос. регистрации № 075-00609-24-01).

Список литературы

1. Моисеев С. И., Горянина С. В., Моисеева С. А. Сравнительные исследования структуры и концентрации гемоцианина в гемолимфе камчатского краба (*Patalithodes camtschaticus*) из Баренцева и Охотского морей // Известия ТИНРО. 2011. Т. 165. С. 216–230.
2. Moiseev S. I., Moiseeva S. A., Ryazanova T. V., Lapteva A. M. Effect of the pot fishing on the physical condition of snow crab (*Chionoecetes opilio*) and southern tanner crab (*Chionoecetes bairdi*) // Fishery Bulletin. 2013. Vol. 111, no. 3. P. 233–251. <https://doi.org/10.7755/FB.111.3.3>
3. Giomi F., Beltramini M. The molecular heterogeneity of hemocyanin: Its role in the adaptive plasticity of Crustacea // Gene. 2007. Vol. 398, iss. 1–2. P. 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2007.02.039>

4. Nong W., Chai Z. Y. H., Jiang X., Qin J., Ma K. Y., Chan K. M., Chan T. F., Chow B. K. C., Kwan H. S., Wong C. K. C., Qiu J.-W., Hui J. H. L., Chu K. H. A crustacean annotated transcriptome (CAT) database // BMC Genomics. 2020. Vol. 21. Art. no. 32. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6433-3>
5. Coates C. J., Nairn J. Diverse immune functions of hemocyanins // Developmental & Comparative Immunology. 2014. Vol. 45, iss. 1. P. 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.01.021>

Изменчивость жирности черноморского шпрота на протяжении годового цикла

Никольский В. Н.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Variability in the fat content of Black Sea sprat throughout an annual cycle

Nikolsky V. N.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ vnikols@ibss.su

Ключевые слова: черноморский шпрот, резервные липиды, сезонная динамика жирности

Массовый вид мелких пелагических рыб Черного моря – шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827) занимает одно из ключевых мест в трофической структуре пелагиали моря. Обитая в водной толще с температурой 7–16°C, питается преимущественно холодноводными копеподами, а также эвритеческими и тепловодными представителями мезопланктона. Потребляется хищными рыбами и дельфинами. Поэтому состояние этого многочисленного вида отражает как продуктивность зоопланктонного сообщества, так и уровень развития кормовой базы хищных рыб и млекопитающих. Является объектом морского рыболовства, по объему добычи занимая второе место после азовочерноморской хамсы.

Одной из характеристик состояния популяций рыб является уровень энергетических запасов, накапливаемых к завершению посленерестового нагула и отражающего обеспеченность рыб пищей. Резервные липиды (жир, триацилглицерины) служат основным источником пластического материала и энергии, используемых при формировании гонад и нересте, а также для обеспечения метаболических процессов в те периоды годового цикла, когда поступление пищи в организм ограничено [1]. Содержание резервных липидов в теле рыб подвержено значительным колебаниям в зависимости от периодов годового цикла, возраста и физиологического состояния, уровня развития кормовой базы. Установлено, что с возрастом содержание резервных липидов в теле рыб увеличивается, во время нереста находится на низком уровне, к окончанию периода нагула достигает максимальной величины. Пик нереста шпрота приходится на зимние месяцы. После завершения нереста весной начинается нагул, который длится до начала осени. В период нагула шпрот растет и накапливает резервные липиды. В отличие от тепловодных рыб, накопление жира у холодноводного шпрота происходит в весенне-летний период, максимальная жирность отмечается летом, минимальная – зимой [1]. Цель настоящей работы – на основе данных многолетних наблюдений количественно описать динамику жирности шпрота и ее изменчивость на протяжении года.

Материалом для настоящей работы послужил массив данных мониторинга жирности черноморского шпрота, начатого Г. Е. Шульманом с 1960 г. [2] и выполняемого в отделе физиологии животных и биохимии ФИЦ ИнБЮМ по настоящее время. Основу массива данных составляют результаты определений содержания суммарных липидов в теле шпрота, добываемого промысловыми судами у берегов Крыма, часть материала собрана в рейсах научно-исследовательских и научно-поисковых судов. Как следует из таблицы, минимум жирности шпрота приходится на январь и февраль, а максимум – на июнь и июль. Также от зимы к лету в 2–2,5 раза возрастает размах ее изменчивости. В зависимости от условий нагула средняя жирность шпрота может меняться в довольно широких пределах. Среднемесячные величины, приведенные в таблице, служат ориентиром для оценки характера динамики жирности конкретного года наблюдений, – изменчивость жирности в пределах стандартного отклонения считается «нормой». Характер сезонной динамики жиронакопления шпрота в последние годы изменился – наряду со снижением общего уровня накопленных липидов, ранее явно выраженный максимум в июне–июле теперь сменился менее определенным куполом с мая

по ноябрь, что указывает на ухудшение условий питания шпрота у берегов Крыма. Предположено, что это обусловлено низким содержанием липидов в пище шпрота вследствие изменения качественного состава потребляемого мезопланктона: уменьшением доли крупных холдиноводных калинусов по сравнению с мелкими эвритеческими и теплолюбивыми планктонными организмами [3].

Месяцы	Количество определений	Средняя жирность, %	Стандартное отклонение
Январь	62	3.53	1.38
Февраль	187	3.54	2.16
Март	214	5.06	1.86
Апрель	361	6.33	2.19
Май	695	9.37	3.31
Июнь	725	10.95	3.32
Июль	1026	11.17	3.56
Август	595	9.89	3.10
Сентябрь	319	9.63	2.96
Октябрь	197	8.46	2.10
Ноябрь	155	7.42	1.84
Декабрь	45	5.78	1.62
Всего:	4581		

Таблица 1: Изменение средней жирности черноморского шпрота по месяцам наблюдений

Годовую динамику жирности черноморского шпрота можно аппроксимировать суммой функций синуса и косинуса с периодом 1 год [1]:

$$y = a \sin \omega t + b \cos \omega t + c, \quad (1)$$

где t – время; константа $\omega = 2\pi/T$ (T – период колебания – 12 месяцев или 365 суток, в зависимости от выбора отсчетов времени); a , b и c – коэффициенты линейной регрессии для функции двух переменных $\sin \omega t$ и $\cos \omega t$, определяемые по методу наименьших квадратов. При этом если коэффициент c соответствует среднегодовому значению жирности, то a и b трудно интерпретируются. Но уравнение (1) эквивалентно уравнению:

$$y = A \cos \omega(t-\tau) + c, \quad (2)$$

в котором все три коэффициента обретают физический (биологический) смысл: c – по-прежнему, среднегодовой уровень жирности; A – амплитуда годового колебания (разность между максимальным и минимальным значениями), так, что в течение года жирность меняется в пределах диапазона $c \pm A$; τ – сдвиг функции по времени относительно начала координат (соответствует времени достижения максимума функции). Параметры функции A и τ вычисляются через те же коэффициенты регрессии a и b :

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}; \tau = \omega^{-1}(\operatorname{arctg} a/b) \text{ если } b > 0 \text{ и } \tau = \omega^{-1}(\operatorname{arctg} a/b \pm \pi) \text{ если } b < 0. \quad (3)$$

Предлагаемую модель (2) можно использовать просто для компактного описания данных, либо для исключения сезонной составляющей при оценке долгосрочных тенденций, или прогнозирования будущих значений ряда. Нами она применяется для сглаживания данных наблюдений, полученных за неравные промежутки времени для определения максимально достигнутой жирности шпрота и сроков достижения максимума в каждом конкретном году наблюдений. Модель может быть также полезна в имитационных исследованиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (№ гос. регистрации №124030100137-6).

Список литературы

1. Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. Москва : Пищевая промышленность, 1972. 368 с.
2. Шульман Г. Е., Чащин А. К., Минюк Г. С., Щепкин В. Я., Никольский В. Н., Доброволов И. С., Доброволова С. Г., Жигуненко А. С. Многолетний мониторинг состояния черноморского шпрота // Доклады Академии наук. 1994. Т. 335, № 1. С. 124-126.
3. Юнева Т. В., Забелинский С. А., Дацык Н. А., Щепкина А. М., Никольский В. Н., Шульман Г. Е. Влияние качественного состава пищи на содержание липидов и незаменимых жирных кислот в теле черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Clupeidae) // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56, № 3. С. 304-313. <https://doi.org/10.7868/S0042875216030218>

Вопросы автоматизации поведенческих экспериментов с морскими млекопитающими

Пахомов М. В.

ФГБУН Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, Мурманск, Россия

Automation of behavioral experiments with marine mammals

Pakhomov M. V.

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

✉ edr750v@yandex.ru

Ключевые слова: серый тюлень, поведенческий эксперимент, автоматизация

При осуществлении хозяйственной деятельности морские млекопитающие не только подвергаются антропогенному воздействию, но и могут быть задействованы в ней в качестве рабочих элементов биотехнических систем [1]. Как для изучении степени влияния природных и антропогенных факторов, так и для интеграции морских млекопитающих в биотехнические системы, в первую очередь необходимы знания о сенсорных и когнитивных способностях этих животных. Одним из наиболее эффективных по соотношению информативность-трудозатратность методов исследования сенсорных и когнитивных способностей морских млекопитающих является поведенческий эксперимент, когда на определенный стимул, например свет с определенной длиной волны, звук с определенной частотой или определенный запах, исследуемое животное демонстрирует определенный двигательный акт, например, касание источника стимула. Безусловно, многие инструментальные методы, такие как разного рода электрографии, томографии и оптические методы, например, ретинография сетчатки, более информативны, но требуют, во-первых, фиксации животного, в том числе и с помощью наркоза, что достаточно опасно для морских млекопитающих, ввиду их полуводного образа жизни. Во-вторых, требуют специального водозащищенного оборудования, которое зачастую изготавливается на заказ в единственном экземпляре, что приводит к высокой цене и, как следствие, невозможности массового исследования большого количества особей в разных условиях обитания или содержания.

Лаборатория морских млекопитающих ММБИ проводит работы с разными видами морских млекопитающих, в основном арктическими ластоногими, начиная с 1984 года. За это время было проведено множество как поведенческих экспериментов, так и научно-практических работ, основанных на результатах этих экспериментов [2], что позволило выявить основные трудности при проведении поведенческих экспериментов с морскими млекопитающими как в закрытых помещениях океанариума, так и на акватории Кольского залива, либо в открытых вольерах, либо непосредственно на самой акватории. Главной проблемой являлись подводные работы, когда тюлени с поверхности отправляли искать озвученные или освещенные объекты, находящиеся на дне или в толще воды, основная проблема заключалась в трудности оценки результатов работы тюленей. Оценку результатов либо визуально проводил тренер при работе на малых глубинах, либо ассистент-водолаз. При таком режиме работы, во-первых, проходило достаточно много времени между совершением тюленем действия и оценкой результатов этого действия в виде соответствующего «бридж-сигнала» и подкрепления или наказания, так как сначала ассистент-водолаз должен был подать сигнал тренеру, а тренер, в свою очередь, мог подкрепить или наказать тюлена только после того как тюлень подплывал к нему. Другими проблемами при работе с тюленями были сложность сравнения результатов эксперимента из-за разного профессионального уровня тренеров, их личного отношения к конкретным тюленям и отношения тюленей к конкретным тренерам. Большой проблемой выступали ошибки тренера, такие как: разное время подачи «бридж-сигнала» и пищевого поощрения и субъективность оценки выполненной тюленем работы или подача пищевого поощрения при неправильно выполненной работе тюленя.

Со стороны тюленей также наблюдались проблемные ситуации, например, при работе по выбору из двух объектов (стимул

шум), когда тюлень касался сначала одного объекта, а затем сразу же другого, что затрудняло оценку результатов и требовало дополнительных тренировок по обучению тюленя длительное время удерживать выбранный объект. Другим типичным поведением тюленя при работе по схеме «выбор из двух» или «действуй

бездействуй» было следующее: тюлень подплывал к объекту, делал вид, что оценивает его, но сам в это время внимательно наблюдал за реакцией тренера и делал выбор на основе оценки реакций человека, по-сущи проявляя эффект «умного Ганса». Помимо прочего, при использовании классических тренерских методов, возникали сложности, а порой и невозможность, оценки времени реакции тюленя, которая является важным показателем работы нервной системы. Также возникали проблемы с оценкой результатов работы тюленя при демонстрации не детектируемого человеком стимула, например высокочастотных звуков, индифферентных для человека запахов или электромагнитных полей.

Для решения вышеуказанных проблем лабораторией морских млекопитающих ММБИ была разработана концепция системы устройств для автоматической и автономной работы с морскими млекопитающими. Система включает в себя блок управления, системы генерации и демонстрации стимулов, система взаимодействия с животным и система подачи пищевого поощрения. В отличии от человека, система всегда с одинаковым временным интервалом подает «бридж-сигналы» и пищевое поощрение, результаты работы животного оценивает объективно и однозначно, знает когда и какой стимул демонстрируется.

Применение автоматической системы в ряде экспериментальных работ показало, что систему можно эффективно применять для выработки у молодых тюленей навыков «бридж-сигнала» и «таргет» при первоначальном обучении. При работе по обучению тюленей реагировать на демонстрацию стимула нажатием на специальную клавишу или рычаг было установлено, что тюлени, в целом, быстрее обучаются дифференцировать подкрепляемый стимул, так, например, при обучении тюленей выбирать табличку определенного цвета из двух предложенных занимает у серого тюленя в среднем 100 предъявлений (по 20 предъявлений на тренировку), при использовании автоматической системы, работающей по аналогичной схеме, серые тюлени обучались в среднем за 60 предъявлений, при этом за одну тренировку тюлени отрабатывали до 40 предъявлений. Такой рост производительности связан с тем, что тюлень при работе с автоматом не тратит часть «нервных сил» на контакт с человеком, на котором тюлень концентрирует внимание как для получения команды, так и для избегания возможной угрозы. Также автомат не подвержен действию «уловок», что тюлень осознает на самых ранних этапах работы, а также максимально быстро и объективно оценивает результат работы тюленя, что значительно ускоряет процесс обучения.

Список литературы

1. Матишов Г. Г. Стратегические направления развития и безопасности России // Гуманитарий Юга России. 2020. Т. 9, № 1. С. 55-66. <https://doi.org/10.19181/2227-8656.2020.1.3>
2. Матишов Г. Г., Войнов В. Б., Михайлук А. Л. Морские млекопитающие Арктики в составе биотехнических систем // Вестник Южного научного центра РАН. 2014. Т. 10, № 2. С. 65-74.

Оценка влияния ультразвуковой установки на состояние некоторых видов рыб Черного моря

**Сигачева Т. Б.¹, Гаврюсева Т. В.¹, Скуратовская Е. Н.^{1*}, Кирин М. П.¹, Мороз Н. А.²,
Клюева М. В.¹, Сербин А. Д.¹**

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций», Москва,
Россия

Safety Assessment of the Ultrasound Equipment Effect on the State of Some Fish Species of the Black Sea

Sigacheva T. B.¹, Gavrusova T. V.¹, Skuratovskaya E. N.^{1*}, Kirin M. P.¹, Moroz N. A.², Klyueva M. V.¹, Serbin A. D.¹

¹A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²«All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation», Moscow, Russia

✉ skuratovskaya@ibss-ras.ru

Ключевые слова: ультразвуковое воздействие, черноморские виды рыб, поведенческие реакции, выживаемость, биохимические параметры, гистопатологические изменения

Для введения в эксплуатацию ультразвуковой установки (УЗУ), эффективной для борьбы с микропитообразованиями гидротехнических сооружений атомных электростанций, необходимо проведение натурных исследований, подтверждающих ее безопасность для гидробионтов, в частности рыб, попадающих в зону действия ультразвука. В связи с этим, цель работы – оценка воздействия УЗУ (АО «ВНИИАЭС», г. Москва) (мощностью 500 Вт, частотой 27 кГц, силой тока 3 А) на поведенческие, биохимические и гистопатологические показатели некоторых видов рыб Черного моря в условиях морской акватории (б. Карантинная).

Для проведения эксперимента были подготовлены контрольный и опытный садки с откидными крышками (длиной 4 м, шириной 2 м, высотой 1 м), обтянутые капроновой сеткой с ячейкой 10 мм. Контрольный садок был отбуксирован от зоны опыта на расстояние 30 м. Экспериментальный садок был закреплен около причала для размещения в нем излучающей аппаратуры. Эксперимент проводили в течение трех дней, в каждый из которых УЗУ включали на 1 ч с частотой воздействия 27 кГц. После этого особи содержались в садках еще на протяжении пяти дней для оценки возможных отсроченных эффектов. Оценку поведения и распределения рыб (султанка *Mullus ponticus*, рулея *Symphodus tinca*, морской ерш *Scorpaena porcus*, морской кот *Dasyatis pastinaca*, морская лисица *Raja clavata*, ставрида *Trachurus ponticus*, ласкирь *Diplodus annularis*, темный горбыль *Sciaena umbra*, смарида *Spicara flexuosa*, морская ласточка *Chromis chromis*) в опытном и контрольном садках проводили с применением подводной видеокамеры и визуально по расстоянию между фронтом стаи рыб и УЗУ. Оценку выживаемости рыб в опытном садке оценивали путем подсчета погибших экземпляров рыб во время и после воздействия УЗУ, в контрольном – в течение всего эксперимента. Оценку влияния УЗУ на биохимические (уровень окислительной модификации белков и перекисного окисления липидов, активность супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы, аминотрансфераз и холинэстеразы, а также содержание глюкозы) показатели определяли в тканях (печени и сыворотке крови) султанки и морского ерша методами, описанными нами ранее [1]. Для гистологического анализа пробы жабр, печени и почек султанки и морского ерша фиксировали в растворе Дэвидсона и обрабатывали с использованием стандартных методов [2]. Гистологические исследования органов рыб проводили с использованием модифицированного полуколичественного анализа альтераций по методике Берне с соавторами [3] и оценки распространенности повреждений в органах согласно балльной системы (0 – изменения отсутствуют или норма, 1 – встречаются редко ($\leq 25\%$), 2 – умеренно (26–50%), 3 – часто (51–75%), 4 – очень часто (>75%). Определяли факторы значимости выявленных повреждений, значения индексов альтерации органов и общий индекс патологии у рыб.

Установлен раздражающий и отпугивающий эффект на рыб на небольшом расстоянии (10–30 см) от УЗУ. Наиболее выраженные поведенческие реакции были отмечены у султанки, ставриды, смариды и морского кота, наименее выраженные – у морского ерша. При этом гибели рыб не наблюдали в опытном и контрольном садках на протяжении всего эксперимента. Показано отсутствие достоверных отличий между биохимическими показателями в тканях султанки и морского ерша из опытного и контрольного садков. Индексы гистопатологических изменений печени, жабр и почек, а также общий индекс альтераций также не отличались у сравниваемых групп султанки и морского ерша.

Таким образом, анализ поведенческих, биохимических и гистологических показателей некоторых видов рыб Черного моря может свидетельствовать об отсутствии негативного влияния УЗУ (АО «ВНИИАЭС», г. Москва) (мощностью 500 Вт, частотой 27 кГц, силой тока 3 А) на состояние здоровья рыб из опытной группы, что позволяет рекомендовать данную установку к использованию в условиях вод системы технического водоснабжения АЭС.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Sigacheva T., Skuratovskaya E. Application of biochemical and morphophysiological parameters of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) for assessment of marine ecological state // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29, iss. 26. P. 39323–39330. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18962-0>
2. Bancroft J. D., Lyton K., Survarna K. S. Theory and practice of histological techniques. 7th ed. London : Elsevier, 2012. 604 p.
3. Bernet D., Schmidt H., Meier W., Burkhard-Holm P., Wahli T. Histopathology in fish: proposal for protocol to assess aquatic pollution // Journal of Fish Diseases. 1999. Vol. 22. P. 25–34. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x>

Липидный состав массовых видов красных водорослей в прибрежной зоне Севастополя (Черное море)

Слепушкина Е. А.*, Чернышева Е. Б.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Lipid composition of mass species of red algae in the coastal zone of Sevastopol (Black Sea)

Slepushkina E. A.* Chernyshova E. B.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ Slepushkina.elizaveta@yandex.ru

*Ключевые слова: красные водоросли, биохимический состав, липиды, хозяйствственно-бытовые
стоки, юго-западный Крым*

Каменистая супралитораль (по классификации EUNIS - B3) является одним из самых уязвимых местообитаний морских акваторий. Макрофиты, приуроченные к этим биотопам и небольшим глубинам, подвержены влиянию сложных динамических и гидрохимических условий, оказывающих влияние на их биохимический состав. Данные по липидному составу макроводорослей, в том числе, Черного моря, известны только для нескольких видов-индикаторов комплексного загрязнения среды [3]. В связи с этим, цель работы заключалась в определении содержания липидов у массовых видов красных водорослей супралиторали и сравнительном анализе этого показателя в акваториях с различным уровнем загрязнения хозяйственно-бытовыми стоками.

Анализ липидного состава Rhodophyta выполнен для *Ceramium virgatum* Roth 1797, *Laurencia coronopus* J.Agardh 1852 и *Vertebrata subulifera* (C.Agardh) Kuntze 1891, широко распространённых в регионе Севастополя, на каменистых субстратах в зоне супралиторали от уреза воды до глубины 20 м [5]. Талломы исследуемых видов отбирали в супралиторали в акваториях отличающихся по степени хозяйственно-бытового загрязнения б. Голубая (условно загрязненная) и у парка Победы (условно чистая) [2], в холодное время года при температуре воды 8 – 10 С°. Содержание липидов для каждого вида определяли по стандартной методике в трёх повторностях в пересчете на 1 г сухой массы [1]. Различия данных по двум факторам (район, вид) выявлены с помощью дисперсионного анализа (ANOVA), постапостериорный анализ проведён по тесту Тьюки с использованием программы PAST 4.16 ($p<0,05$).

Установлено, что концентрация липидов в талломах исследуемых видов красных макроводорослей в б. Голубой выше в 1,5 - 4,5 раза, чем в акватории у парка Победы: у *C. virgatum* - 68,99 и 15,49 мг/г; *L. coronopus* – 20,6 и 13,6 мг/г; *V. subulifera* – 39,8 и 17,15 мг/г соответственно.

По данным дисперсионного анализа содержание липидов в талломах исследуемых видов Rhodophyta зависит от района произрастания, при этом их концентрация в б. Голубой достоверно выше, чем в акватории у парка Победы ($F=174,3$; $p=1,03 \cdot 10^{-6}$). В талломах разных видов багрянок этот показатель так же достоверно различается ($F=72,76$; $p=7,3 \cdot 10^{-6}$) – при попарном сравнении выявлено достоверное различие: *L. coronopus* – *C. virgatum* ($p=5,92 \cdot 10^{-6}$), *L. coronopus* – *V. subulifera* ($p=9,35 \cdot 10^{-5}$), *V. subulifera* – *C. virgatum* ($p=2,29 \cdot 10^{-4}$).

Таким образом обнаружено статистически подтверждённое различие содержания липидов у разных видов красных водорослей в супралиторальной зоне акваторий с отличающимся уровнем хозяйственно-бытового загрязнения. Учитывая, что макроводоросли являются биоиндикаторами загрязнений и используются для мониторинга состояния прибрежных экосистем, изучение их биохимического состава представляет значительный интерес, поскольку может отражать изменение качества среды под воздействием антропогенных и других негативных факторов [3 ; 4]. Очевидно, что изучение липидов, а так же белков и углеводов в различные сезоны и на участках с разным уровнем загрязнения может быть использовано для мониторинга качества среды прибрежных акваторий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Агатова А. И., Аржанова Н. В., Лапина Н. М., Налетова И. А.; Торгунова Н. И. Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. М : Изд-во ВНИРО, 2004. 124 с.
2. Грузинов В. М., Дьяков Н. Н., Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А., Жохова Н. В., Коршенко А. Н. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // Океанология. 2019. Т. 59, №. 4. С. 579-590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
3. Муравьёва И. П. Химический состав зеленой водоросли *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link из обрастаний причалов Севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря. 2002. Т. 60. С. 39-43
4. Очеретяна С. О., Походина М. А., Якушева И. А. Исследование химического состава массовых видов зеленых водорослей прибрежных вод Камчатки // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2014. №. 2. С. 70-78.
5. Milchakova N. A. Marine plants of the Black Sea. An illustrated field guide. 2011. Sevastopol, DigitPrint, 2011. 144 pp.

Причины и следствия спонтанного роста концентрации метгемоглобина в крови рыб

**Солдатов А. А.^{1,2}, Парфенова И. А.², Шалагина Н. Е.¹, Рычкова В. Н.¹, Рокотова А. Г.¹,
Кухарева Т. А.¹**

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Causes and consequences of spontaneous increase in methemoglobin concentration in the blood of fish

Soldatov A. A.^{1,2}, Parfenova I. A.², Shalagina N. E.¹, Rychkova V. N.¹, Rokotova A. G.¹, Kukhareva T. A.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

✉ alekssoldatov@yandex.ru

Ключевые слова: метгемоглобин (*MetHb*), кровь, пронефрос, эритроциты, эритропоэз, кислотные эритrogramмы, годовой цикл, кефаль-сингиль, камбала-глосса

В норме процесс деоксигенации молекулы оксигемоглобина сопровождается диссоциацией комплекса HbO_2 с отрывом кислорода. Железо при этом сохраняется в двухвалентном ферро-состоянии (Fe^{2+}). Однако в некоторых случаях это приводит к образованию супероксиданионрадикала (O_2^-) и окислению железа – гем переходит в ферри-состояние (Fe^{3+}). Гемоглобин, имеющий гем с Fe^{3+} , не способен к ассоциации с кислородом и получил название метгемоглобина (*MetHb*). Процесс перехода гемоглобина в мет-состояние может быть индуцирован рядом агентов: нитритом, нитратами, анилином, нитробензолом и рядом других соединений. Однако особый интерес представляет спонтанное естественное окисление пигмента в момент его дезоксигенации и причины его определяющие. Респираторные пигменты рыб отличаются низкой устойчивостью к окислению в сравнении с высшими позвоночными. Они могут периодически переходить в ферри-форму без видимых признаков токсической метгемоглобинемии. Максимальная концентрация *MtHb* была выявлена у *Gadus morhua* – 27 %. Причины этого до конца не ясны.

Для выявления причин, определяющих спонтанный рост концентрации *MetHb* было изучена динамика содержания числа эритроцитов и концентрации метгемоглобина в крови теплолюбивой кефали-сингиля (*Chelon auratus* Risso, 1810) и холодолюбивой камбалы-глоссы (*Platichthys flesus* L., 1758) на протяжении годового цикла. О степени зрелости циркулирующей эритроцитарной массы судили на основе построения кислотных эритrogramм. Между числом эритроцитов и концентрацией метгемоглобина в крови обоих видов обнаружена выраженная отрицательная связь (г менее -0,650). Показано, что наиболее молодая генерация клеток красной крови появляется в периферической русле у обоих видов в постнерестовый период (1,5-2,0 месяца), что отражает активную продукцию эритроцитов гемопоэтической тканью. В остальное время происходит постепенное старение циркулирующей эриоцитарной массы. Это приводит к уменьшению числа эритроцитов в крови и сопровождается ростом концентрации метгемоглобина. Последнее, по-видимому, определяет выработку эритропоэтинов в почках и активирует процессы эритропоэза в гемопоэтической ткани (преднерестовый период).

В развитие полученных результатов был изучен эритрон крови и пронефроса у двух видов костиных рыб, нерест которых протекает в различные периоды годового цикла: теплолюбивой кефали-сингиля (*Chelon auratus* Risso, 1810) и холодолюбивой камбалы-глоссы (*Platichthys flesus* L., 1758).

У кефали-сингиля исследовали изменение числа эритроцитов и содержание незрелых эритроидных форм в крови и гемопоэтической ткани на протяжении годового цикла. Отлов и доставку рыбы в аквариальную проводили ежемесячно. Определяли содержание эритробластов, базофильных и полихроматофильных нормобластов, в головной почке (пронефрос) и циркулирующей крови.

Установлено, что процессы эритропоэза в гемопоэтической ткани кефали-сингиля протекают нерегулярно. Активная продукция эритроидной массы приурочена в основном к постнерестовому периоду. Об этом свидетельствует увеличение содержания незрелых эритроидных форм в головной почке и крови. Это совпадает с общим увеличением числа клеток красной крови в системе циркуляции и свидетельствует о смещении эритроцитарного баланса в пользу продукции процессов. В остальной период времени процессы противоположны. Допускается, что это связано с особенностями организации системы красной крови, которая исключает регулярную продукцию эритропоэтина в почках.

Одновременно был изучен состав эритрона головной почки (пронефроса) и циркулирующей крови у холодолюбивой камбалы-глоссы (*Platichthys flesus* L., 1758) на протяжении годового цикла. Эритрон пронефроса в основном был представлен эритробластами (ЭБ) и базофильными нормобластами (БН). Содержание полихроматофильных нормобластов (ПН) было невелико (менее 2 %). Максимальный размер эритроидного ростка гемопоэза в пронефросе отмечали в постнерестовый период (апрель–июль). На него приходилось до 17 % от клеточной массы отпечатков. В крови в основном преобладали БН и ПН не способные к пролиферации. Максимальное содержание данных клеточных форм также отмечали в постнерестовый период. Клетки более ранних генераций (ЭБ) в крови не обнаруживались. Рост продукции эритроидных клеток гемопоэтической тканью совпадал с увеличение числа циркулирующих эритроцитов в крови камбалы-глоссы (R^2 0,608 и 0,991), что свидетельствовало о смещении эритроцитарного баланса в системе красной крови в пользу продукции процессов. Рассматриваются факторы, ответственные за генерацию эритроцитов гемопоэтической тканью у рыб, находящихся в состоянии нереста.

Как видно, нерест вызывает наиболее радикальные изменения в крови и гемопоэтической ткани. Преднерестовая анемия, по-видимому, является ключевым фактором, индуцирующим продукцию эритропоэтинов и генерацию эритроцитов в гемопоэтической ткани рыб на протяжении годового цикла. Это наиболее масштабный процесс, который при этом не исключает иные адаптивные реакции кроветворной ткани на факторы среды и состояния организма. В остальной период времени происходит постепенное старение циркулирующей эритроцитарной массы. Это сопровождается переходом гемоглобина в окисленное состояние (ферри-форма) и частичным лизисом зрелых эритроцитов. По-видимому, это основной процесс, определяющий периодическое повышение уровня MetHb в крови костищих рыб.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-24-00061 (<https://rscf.ru/project/23-24-00061/>) по теме «Определение причин спонтанного роста концентрации метгемоглобина в крови морских рыб на протяжении годового цикла».

Изучение иммунного ответа *Mytilus galloprovincialis* на заражение *Nematopsis legeri*

Уппе В. А.^{1*}, Водясова Е. А.¹, Серебрякова М. К.², Токмакова А. С.²

¹ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

²Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Investigation of *Mytilus galloprovincialis* immune response to *Nematopsis legeri* infection

Uppe V. A.^{1*}, Vodiasova E. A.¹, Serebriakova M. K.², Tokmakova A. S.²

¹A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopol, Russia

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

✉ uppeviktoria@ibss-ras.ru

Ключевые слова: *Mytilus galloprovincialis*, *Nematopsis legeri*, проточная цитометрия, экспрессия генов иммунного ответа, гены семейства GST

Mytilus galloprovincialis является важным объектом аквакультуры, в том числе в Черном море. У этого моллюска как в естественной среде, так и в условиях искусственного разведения встречаются различные паразитические организмы. Среди них грекарии *Nematopsis legeri*, которые паразитируют на стадии ооцист в жаберной ткани *M. galloprovincialis*, вызывая у моллюска ряд морфофизиологических нарушений, описанных как заболевание *нематонциоз*. Для разработки эффективных мер по профилактике и лечению данной патологии необходимо понимание механизма формирования у хозяина иммунного ответа при заражении этим паразитом. Однако данные по реакции мидии на инвазию грекаринами на тканевом и клеточном уровнях практически отсутствуют. Наше исследование охватывает несколько аспектов воздействия *N. legeri* на мидию *M. galloprovincialis*, включая анализ клеточного состава гемолимфы, экспрессию генов иммунного ответа и детоксикации организма.

Для анализа физиологического состояния мидий было отобрано 40 зараженных и 26 незараженных особей из Черного моря. Используя метод проточной цитометрии, было показано, что при заражении паразитом происходит увеличение доли более крупных и гранулярных клеток гемолимфы, что свидетельствует об активации иммунной системы, в частности фагоцитоза. Кроме этого, было выявлено снижение активности митохондрий и лизосом при заражении нематонциозом.

Была оценена экспрессия ряда генов иммунного ответа (лектина-С типа – *CLEC*, галектина - *Gal-8*, цистатина - *CST* и ферритина - *FTH*) и генов системы детоксикации (классы глутатион S-трансферазы - *GST*) у зараженных и интактных моллюсков. Кроме того, чтобы определить, носит ли действие паразита местный или общий характер, были отобраны участки жаберной ткани инфицированной мидии с разной степенью зараженности: участки без ооцист, с единичными ооцистами (1-2 в поле зрения) и с большим скоплением ооцист (>5).

Было обнаружено, что уровень *CLEC*, в целом, увеличивается у зараженных мидий, при этом наибольшее его увеличение наблюдается в участках с единичными ооцистами, а в сильно зараженных жабрах его экспрессия, наоборот, уменьшается. Уровень *Gal-8* демонстрировал тенденцию к снижению, особенно в участках с единичными ооцистами. Уровень *CST* у зараженных особей был ниже, но без значительных колебаний по разным участкам. Уровень *FTH* оставался стабильным как у зараженных, так и у незараженных особей. Полученные данные указывают на то, что паразит *Nematopsis*, вероятно, угнетает иммунный ответ *M. galloprovincialis*.

В рамках исследования были также получены данные по экспрессии генов семейства *GST*. Практически для всех генов повышается их экспрессия при заражении (кроме *GST-omega* и *GST-pi*), при этом различные классы активируются в тканях с различной степенью заражения. *GST-sigma3* и *GST-mi* активизируются в тканях зараженных моллюсков, не содержащих ооцист. *GST-tau* имеет повышенную экспрессию в тканях с единичными ооцистами, а *GST-sigma1* в тканях жабр, где

наблюдаются многочисленные скопления ооцист. Было выявлено, что классы *alpha* и *MAPeG* показали значительное увеличение экспрессии (более чем в 3 раза) в ответ на инфекцию во всех тканях. Это указывает на их участие в физиологическом ответе моллюска на паразитарное воздействие.

Таким образом, *N. legeri* оказывает значительное влияние на физиологическое состояние мидии. У моллюска активируются системы детоксикации и иммунного ответа даже при минимальном заражении, что необходимо учитывать при оценке физиологического состояния мидий из естественных водоемов.

Исследование поддержано темой госзадания Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского, номер 121030100028-0.

Влияние острого холодового шока на состояние антиоксидантного ферментного комплекса тканей морского ерша (*Scorpaena porcus* L., 1758)

Шалагина Н. Е.^{*}, Гостюхина О. Л., Рычкова В. Н., Солдатов А. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Oxidative stress parameters in black scorpionfish *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758) exposed to cold
shock**

Shalagina N. E.^{*}, Gostyukhina O. L., Rychkova V. N., Soldatov A. A.

Animal Physiology and Biochemistry Department,

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ nadezda-shalagina@yandex.ru

Ключевые слова: холодовой шок, *Scorpaena porcus*, окислительный стресс, перекисное окисление липидов, активные продукты тиобарбитуроевой кислоты, супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза

Температура является одним из важнейших абиотических факторов водной среды. Резкие изменения температуры воды происходят, в основном, в зонах апвеллинга, которые являются местом обитания многих водных организмов. Функциональные основы их толерантности к данному фактору до конца не понятны и активно исследуются на протяжении 15-ти последних лет. В настоящем исследовании в условиях эксперимента изучено влияние температурного градиента на организм морского ерша (*Scorpaena porcus* L.), особи которого способны переносить условиях холодового шока.

Контрольная группа ершей содержалась при $18\pm1^{\circ}\text{C}$. Плотность посадки составляла 10 л на одну особь. Температура воды у опытной группы понижалась до $6\pm1^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут. Экспозиция – 3 часа. По окончании эксперимента был произведен отбор крови путем пункции хвостовой артерии, а также взяты образцы тканей печени, жабр, белой мышцы и мозга. При отборе крови в качестве антикоагуланта применяли гепарин.

Самое высокое содержание активных продуктов тиобарбитуроевой кислоты (ТБК-АП) наблюдалось в печени скорпены: $4,88\pm0,78$ мкмоль МДА/мг ткани. После воздействия холодового шока содержание ТБК-АП увеличилось на 74 % ($p < 0,05$) и достигло $8,52\pm1,3$ мкмоль МДА/мг ткани. Содержание ТБК-АП в жабрах и мышце ерша было значительно ниже и составило $0,041\pm0,004$ и $0,052\pm0,003$ мкмоль МДА/мг ткани и увеличилось после холодового воздействия на 48% и 60% соответственно. Данные изменения свидетельствуют об интенсификации процессов перекисного окисления в указанных тканях. Содержание ТБК-АП в мозге скорпены в контрольной группе составляло $0,196\pm0,015$ мкмоль МДА/мг ткани и статистически значимо не отличалось от экспериментальной группы рыб.

Активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ) у контрольной группы рыб была самой высокой также в печени и составляла $60,4\pm7,7$ У/мин мг белка и $3,38\pm0,29$ мкмоль H_2O_2 /мин мг белка. Близкие значения были получены для жабр морского ерша, а в мышцах и мозге они были значительно ниже. Активность ГП, напротив, была самой высокой в мозге: $2,7\pm0,2$ мкмоль / мин мг белка. В условиях холодового шока у морского ерша было зарегистрировано снижение активности СОД и КАТ в жабрах (37% и 45% соответственно, $p < 0,05$). Активность глутатионпероксидазы (ГП) так же имела тенденцию к снижению ($p=0,078$).

Исследования других авторов показали, что жабры являются чувствительными к холодовому воздействию. При этом в них происходит нарушение клеточных структур и образование обломков, что приводит к общему падению защитных функций [1]. Также, как и в жабрах активность КАТ в мышцах экспериментальной группы была ниже чем у контрольной, но это происходило на фоне роста

активности ГП. Известно, что ГП дополняет действие каталазы по нейтрализации гидропероксидов [2]. В связи с этим, можно предположить, что при падении активности каталазы ГП помогает в нейтрализации низких концентраций пероксидов. К тому же есть данные, что в мышцах при низких температурах происходит накопление восстановленного глутатиона (GSH) [3]. Являясь коэнзимом глутатионпероксидазы GSH при накоплении приводит к росту активности данного фермента. Таким образом, данные по изменению содержания ТБК-АП и активности антиоксидантных ферментов в жабрах и поверхностном слое мышц свидетельствуют об их чувствительности к действию холодового шока.

Изменение активности антиоксидантных ферментов в печени было противоположным. Наблюдался рост СОД и КАТ на фоне падения ГП. Известно, что ГП имеет более высокое сродство к H_2O_2 и играет ключевую роль в антиоксидантной защите при внутриклеточных концентрациях H_2O_2 близких к физиологическим. Таким образом, наблюдаемые изменения предполагают присутствие значительного окислительного стресса в данном органе.

Известно, что печень рыб способна трансформировать и деактивировать активные формы кислорода (АФК) и другие токсичные вещества [4]. Можно предположить, что дополнительные АФК поступают в печень с током крови от периферических тканей. В нашем исследовании зарегистрирована тенденция к росту АФК у эритроцитов крови ($p=0,055$) по интенсивности флуоресценции 2',7'-дихлорфлуоресцеин диацетата (DCF-DA), а также рост мембранныго потенциала митохондрий красных клеток крови по интенсивности флуоресценции родамина 123 (R123). Рост мембранныго потенциала митохондрий обычно свидетельствует о присутствии функционального напряжения данного органоида, что допускает утечку электронов и увеличение продукции АФК [5].

В отличие от рассмотренных выше тканей в мозге морского ерша не наблюдали каких-либо изменений. Уровень ТБК-АП, активности всех изученных ферментов сохранялись на уровне контрольных значений. Имеющиеся различия не были статистически значимы. Это означает, что организм данного вида устойчив к действию холодового шока, а зарегистрированные изменения на уровне печени, скелетных мышц и жабр носят адаптивный характер.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (№ гос. регистрации 124030100137-6).

Список литературы

1. Phrompanya P., Panase P., Saenphet S., Saenphet K. Histopathology and oxidative stress responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to temperature shocks // Fisheries Science. 2021. Vol. 87. P. 491-502. <https://doi.org/10.1007/s12562-021-01511-y>
2. Gutteridge J. M., Halliwell B. Free radicals and antioxidants in the year 2000: a historical look to the future // Annals of the New York Academy of sciences. 2000. Vol. 899(1). P. 136-147. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06182.x>
3. Fadhloui M., Couture P. Combined effects of temperature and metal exposure on the fatty acid composition of cell membranes, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in yellow perch (*Perca flavescens*) // Aquatic Toxicology. 2016. Vol. 180. P. 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.09.005>
4. Franco M. E., Schönenberger R., Hollender J., Schirmer K. Organ-specific biotransformation in salmonids: Insight into intrinsic enzyme activity and biotransformation of three micropollutants // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 925. Art. no. 171769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171769>
5. Suski J. M., Lebiedzinska M., Bonora M., Pinton P., Duszynski J., Wieckowski M. R. Relation between mitochondrial membrane potential and ROS formation // Mitochondrial bioenergetics: methods and protocols / Eds. Palmeira C., Moreno A. Humana Press, 2012. P. 183-205. (Ser: Methods in Molecular Biology). https://doi.org/10.1007/978-1-61779-382-0_12

Активность ферментов энергетического и углеводного обмена в органах горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) из трех локаций миграционного пути на нерест

**Шульгина Н. С.^{*}, Кузнецова М. В., Родин М. А., Крупнова М. Ю., Ефремов Д. А.,
Немова Н. Н., Мурзина С. А.**

Институт биологии - обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской
академии наук», г. Петрозаводск, Россия

**Activity of enzymes of energy and carbohydrate metabolism in the organs
of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) from three locations of the migration route
to spawning**

Shulgina N. S.^{*}, Kuznetsova M. V., Rodin M. A., Krupnova M. Yu., Efremov D. A., Nemova N. N., Murzina S. A.
Institute of Biology of Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia

✉ Shulgina28@yandex.ru

Ключевые слова: горбуши, активность ферментов, энергетический обмен, углеводный обмен, река
Индёра

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* – один из наиболее распространенных представителей рода тихоокеанских лососей, совершающих анадромные миграции из морских местообитаний в пресные водоемы на нерест [1]. Половозрелые особи преодолевают большие расстояния вверх по течению рек во время нерестовой миграции, претерпевая значительные физиологические изменения [2]. Перед началом нереста, еще находясь в море, лососи перестают питаться, поэтому во время миграции такие энергозатратные процессы как осморегуляция (переход из соленой в пресную воду), физическая активность (преодоление потока), созревание гонад обеспечиваются энергией эндогенных запасов организма рыб. Регуляция доставки субстратов и их окисления в органах и тканях рыб является определяющим фактором, обеспечивающим доступность энергии на разных этапах миграции [3]. Известно, что функциональная активность органов и тканей определяется их метаболическим статусом, который в свою очередь зависит от изменения показателей энергетического обмена в процессе миграции лососей [4]. Однако механизмы регуляции метаболизма на уровне изменения активности ферментов энергетического и углеводного обмена у производителей горбуши, мигрирующих на нерест, остаются малоизученными.

Целью настоящей работы было оценить активность ферментов энергетического и углеводного обмена (цитохром с оксидазы (ЦО), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), пируваткиназы (ПК), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г6ФДГ), 1-глицерофосфатдегидрогеназы (1-ГФДГ) и альдолазы) в жабрах, печени, белых и красных мышцах у производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) в ходе их нерестовой миграции из эстуария в реку.

Показано снижение активности ЦО и альдолазы в белых мышцах, ЛДГ и 1-ГФДГ в красных мышцах, а также ПК и 1-ГФДГ в печени у особей горбуши, достигших реки. В то же время у рыб, выловленных из реки, установлены относительно более высокие значения активности ЦО в жабрах, Г6ФДГ в красных мышцах, а также альдолазы в печени. Выявленные изменения активности исследуемых ферментов позволяют предположить, что во время речного этапа миграционного пути на нерест у производителей горбуши в условиях голодаания в целом снижается интенсивность путей окисления глюкозы. По-видимому, у рыб по мере движения к нерестилищам происходят метаболические изменения, связанные с перераспределением энергетических субстратов в сторону усиления использования липидов и белков мышечной ткани, что необходимо для энергообеспечения процесса осморегуляции, высокой физической активности и репродуктивной функции в условиях полного

экзогенного голодаания. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о наличии у производителей горбуши адаптивных перестроек в аэробном и анаэробном обмене, функционировании пентозофосфатного пути в зависимости от солёности среды и этапа анадромной миграции.

Исследования проведены на научном оборудовании Центра коллективного пользования КарНЦ РАН в рамках выполнения государственного задания по теме «Эколого-биохимические стратегии адаптации природных популяций гидробионтов и объектов аквакультуры в условиях современного изменения климата в норме и при изменении факторов среды с целью обеспечения устойчивого использования водных биологических ресурсов» (№ FMEN-2022-0006).

Список литературы

1. Groot C., Margolis L. Pacific salmon life histories. Vancouver : University of British Columbia Press, 1991. 564 p .
2. Miller K. M., Schulze A. D., Ginther N. et al. Salmon spawning migration: metabolic shifts and environmental triggers // Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics. 2009. Vol. 4, iss. 2. P. 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2008.11.002>
3. Crossin G. T., Hinch S. G., Farrell A. P. et al. Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) migratory energetics: response to migratory difficulty and comparisons with sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Canadian Journal of Zoology. 2003. Vol. 81, iss. 12. P. 1986–1995. <https://doi.org/10.1139/z03-193>
4. Morash A. J., Yu W., Le Moine C. M. et al. Genomic and metabolic preparation of muscle in sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* for spawning migration // Physiological and Biochemical Zoology. 2013. Vol. 86, iss. 6. P. 750–760. <https://doi.org/10.1086/673376>

Репродуктивные параметры сиговых рыб Обь-Иртышского бассейна

Шуман Л. А.* , Селюков А. Г., Некрасов И. С.

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», лаборатория AquaBioSafe, г. Тюмень

Reproductive parameters of whitefishes in the Ob-Irtysh basin

Shuman L. A.* , Selyukov A. G., Nekrasov I. S.

Tyumen State University, AquaBioSafe laboratory, Tyumen

✉ leonidshuman@yandex.ru

Ключевые слова: репродуктивный потенциал, сиговые рыбы, гистологический анализ, гидрохимия

Репродуктивная система рыб является основой устойчивости популяций, знания об особенностях её функционирования позволяют предсказывать численность поколений, влияние различных факторов среды на воспроизводство популяций. Популяции рыб Сибири находятся под постоянным антропогенным воздействием разной природы. Здесь мы проанализируем данные о репродуктивных и морфо-физиологических параметрах сиговых рыб, собранные нами в 2011–2023 гг.

Объектами анализа являются 6 видов сиговых рыб: пелядь *Coregonus peled* (данные из [2]), чир *Coregonus nasus*, сиг-пыхъян *Coregonus lavaretus pidschian*, нельма *Stenodus leucichthys nelma* и сибирский хариус *Thymallus arcticus* [3]. Рыбы отлавливались преимущественно в летний период. При отборе у каждой особи проводилось измерение комплекса морфофункциональных параметров: размерно-весовые характеристики, концентрация гемоглобина в крови, стадия зрелости и масса гонад, анатомические патологии внутренних органов и присутствие полостных паразитов. Также определялся возраст по чешуе. Для гистологического анализа отбирали печень, почки, жабры и гонады рыб, подсчитывались гистологические патологии внутренних органов [1], определялось соотношение половых клеток разных генераций. В печени, почках, жабрах, мышцах и скелете определяли концентрацию ртути, кадмия и свинца. При помощи корреляционного анализа (коэффициент корреляции Спирмана) выявляли связь репродуктивных и морфофункциональных параметров рыб.

Анализ показал, что репродуктивные параметры рыб, такие как масса гонад и гонадосоматический индекс, соотношение ооцитов разных стадий зрелости, диаметр ооцитов и др. связаны с комплексом морфофизиологических параметров, таких как гистологические патологии органов (коэффициенты корреляции от -0,4 до -0,7), особенно почек и печени (рис. 1). Патологии внутренних органов, в свою очередь, сильно связаны с накоплением тяжёлых металлов в них (коэффициенты корреляции до 0,9). Соответственно, репродуктивные параметры также обладают связью с накоплением тяжёлых металлов в соматических органах, особенно в печени, которая в норме обеспечивает вителлогенез за счёт синтеза вителлогенина (рис. 2).

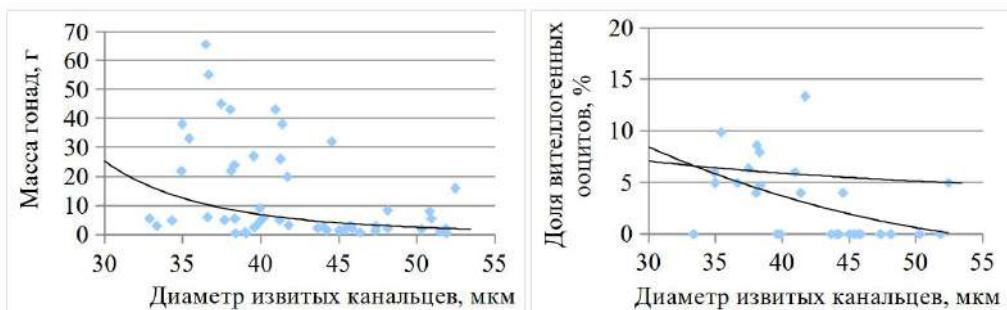


Рис. 1: Связь репродуктивных параметров и гистологических характеристик почек пеляди

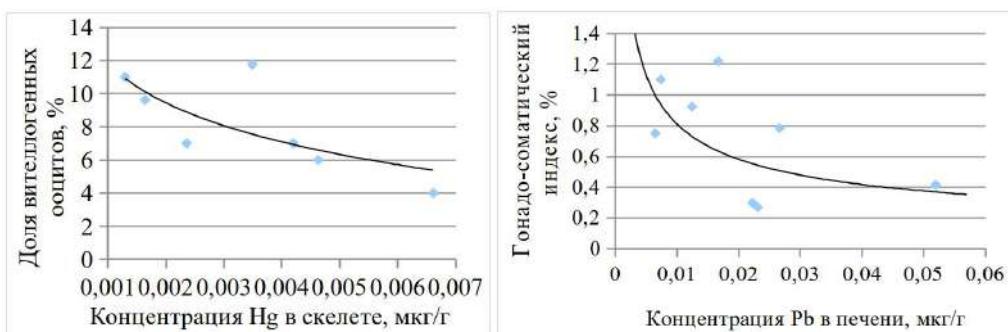


Рис. 2: Связь репродуктивных параметров и накопления тяжёлых металлов в тканях пеляди

Таким образом, репродуктивный потенциал сиговых рыб находится под постоянным влиянием факторов среды, в том числе токсической природы, что может неблагоприятно сказаться на численности популяции и, в совокупности с другими факторами, такими как избыточный отлов, поставить популяции ценных видов на грань исчезновения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

Список литературы

1. Agamy E. Histopathological Changes in the Livers of Rabbit Fish (*Siganus canaliculatus*) Following Exposure to Crude Oil and Dispersed Oil // Toxicologic pathology. 2012. Vol. 40, iss. 8 P. 1128-1140. <https://doi.org/10.1177/0192623312448936>
2. Shuman, L. A. , Selyukov, A. G. , Nekrasov, I. S. , Kyrov, D. N. Histopathology and changes of reproductive parameters in peled, *Coregonus peled*, from the Lower Ob Basin. Russian Journal of Ecology. 2019. Vol. 50, iss. 4. P. 372-383. <https://doi.org/10.1134/S1067413619040143>
3. Nekrasov, I. S., Selyukov A. G. Size-age and histomorphological indicators of the arctic grayling (*Thymallus arcticus*) of Putorana nature reserve // Theoretical and applied ecology. 2023. №1. C.117-124. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-117-124>

Influence of polychlorinated biphenyls on biochemical parameters of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819

Serbin A. D.^{1,2}, Skuratovskaya E. N.^{1*}, Chekmareva T. M.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

²Sevastopol State University

✉ skuratovskaya@ibss-ras.ru

Keywords: polychlorinated biphenyls, mussel *Mytilus galloprovincialis*, hepatopancreas, prooxidant-antioxidant system, cholinesterase activity

Ever-increasing anthropogenic load on marine coastal waters negatively affects the state of aquatic communities. The main influencing factor is considered to be the chemical pollution. Various toxicants entering water and sediments adversely affect survival, growth, reproduction and the health of hydrobionts. Organochlorine compounds, including polychlorinated biphenyls (PCBs), are the most dangerous pollutants of anthropogenic origin entering from various sources into the coastal sea waters. Even at the smallest doses they can change physiological and biochemical processes, exert toxic, mutagenic and carcinogenic effects in hydrobionts [1–5]. The aim of the work was to study the effect of PCBs at 1, 100, 1000 µg/L on oxidative stress parameters (level of oxidized proteins (neutral aldehydes and ketones, basic aldehydes and ketones) and lipid peroxidation), antioxidant enzyme activities (superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT)) and cholinesterase (ChE) activity in the hepatopancreas of mussel *Mytilus galloprovincialis* in the 5 days' toxicological experiment.

Mussels were obtained in July from the collectors of the mussel-oyster farm in Karantinnaya Bay (Black Sea, Sevastopol). The specimens 50–60 mm of length were taken for the experiment and acclimated to the laboratory conditions during 7 days being kept in glass tanks with purified water in the ratio of five liters per one specimen with a constant aeration at the temperature 20–22 °C.

The results obtained have shown that no animal mortality was registered during the experiment. It can indicate quite high toxic resistance of *M. galloprovincialis* to experimental PCBs concentrations. Along with this, it was stated that PCBs at 1, 100, 1000 µg/L caused remarkable changes in biochemical parameters in the hepatopancreas of mussels. The level of oxidized proteins at 100 µg/L and 1000 µg/L as well as lipid peroxidation at 1, 100, 1000 µg/L was significantly higher compared to the control. SOD activity increased, while ChE activity decreased at 1, 100, 1000 µg/L and CAT activity reduced at 1000 µg/L compared to the control. The data obtained demonstrate the development of oxidative stress in the hepatopancreas of mollusks. It occurred due to shifting in the prooxidant-antioxidant balance towards intensification of protein (at 100, 1000 µg/L) and lipid (at 1, 100, 1000 µg/L) peroxidation as well as reduction in CAT activity (at 1000 µg/L). An increase in the SOD activity detected at all experimental concentrations can be considered as an adaptive compensatory reaction to the toxicants. The inhibition of ChE activity found at 1, 100, 1000 µg/L testified to PCBs neurotoxic effect. The level of oxidized proteins and lipid peroxidation, SOD, CAT and ChE activities can be suitable biomarkers to evaluate the toxicity of PCBs and *M. galloprovincialis* can be used as a bioindicator in the monitoring of marine ecosystems contaminated with these pollutants.

This work was conducted under financial support of the Russian Academy of Science research grant № 124022400148-4.

References

1. Faria M., Carrasco L., Diez S., Riva M. K., Bayona J. M., Barata C. Multi-biomarker responses in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* exposed to polychlorobiphenyls and metals // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2009. Vol. 149, iss. 3. P. 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.07.012>

2. Golovanova I. L., Kuzmina V. V., Chuiko G. M., Ushakova N. V., Filippov A. A. Impact of Polychlorinated Biphenyls on the Activity of Intestinal Proteinases and Carbohydrases in Juvenile Roach *Rutilus rutilus* (L.) // Inland Water Biology. 2011. Vol. 4, iss. 2, P. 249-255. <https://doi.org/10.1134/S1995082911020064>
3. Kapranova L. L., Malakhova L. V., Nekhoroshev M. V., Lobko V. V., Ryabushko V. I. Fatty acid composition in trophophores of mussel *Mytilus galloprovincialis* grown under contamination with polychlorinated biphenyls // Marine Biological Journal. Vol. 5, no. 2. P. 38-49. <https://doi.org/10.21072/mbj.2020.05.2.04>
4. Malakhova L. V., Skuratovskaya E. N., Malakhova T. V., Lobko V. V. The relationship between integrated biochemical index and content of organochlorine xenobiotics in the liver of the black scorpion fish Linnaeus, 1758, from Sevastopol Bays and coastal areas // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2020. Vol. 13, no. 4. P. 387-409. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0335>
5. Soldatov A. A., Bochko O. Yu., Golovina I. V., Shcherban S. A., Vyalova O. Yu. Biochemical effects of polychlorinated biphenyls in organism of the Black Sea mollusk *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Marine Ecological Journal. 2005. Iss. 1. P. 105-112 (In Russ.).



Молекулярная биология и генетика гидробионтов

Molecular biology and genetics
of aquatic organisms

Взаимосвязь соматического роста двустворчатых моллюсков с РНК/ДНК индексом и экспрессией генов роста

Игнатьева Д. А.^{1,2,3*}, Андреенко Т. И.^{1,2}, Солдатов А. А.²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

²ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

³«Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии» –

филиал ФИЦ ИнБЮМ, Херсон, Россия

The relationship of the somatic growth of bivalves with the RNA/DNA index and expression of growth genes

Ignateva D. A.^{1,2,3*}, Andreenko T. I.^{1,2}, Soldatov A. A.²

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

³Research Center of Freshwater and Brackish Water Hydrobiology, Kherson, Russia

✉ da_igniteva@ibss-ras.ru

*Ключевые слова: двустворчатые моллюски, индекс РНК/ДНК, соматический рост, экспрессия
генов, ядро генов контроля роста, аквакультура*

Аквакультура, представляющая собой отрасль, направленную на разведение гидробионтов, весьма значима в современном мире. Одним из главных объектов разведения являются двустворчатые моллюски, которые активно употребляются человеком в пищу и содержат большое количество белка, полиненасыщенных жирных кислот, макро и микроэлементов, витаминов. Поэтому весьма важно понимать причины повышения или понижения темпов роста для их возможного контроля в дальнейшем. К факторам, позволяющим дать оценку скорости соматического роста моллюсков, относят в том числе РНК/ДНК индекс и ряд молекулярно-генетических факторов [1]. Нахождение подобной взаимосвязи в перспективе приведет к разработке механизмов, позволяющих контролировать рост такого важного промыслового объекта как двустворчатые моллюски, и поспособствует развитию аквакультуры.

В качестве объекта исследования выступают три представителя класса *Bivalvia*: черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis*, тихookeанская устрица *Magallana gigas* и анадара *Anadara kagoshimensis*. Целью работы является поиск взаимосвязи между ростом двустворчатых моллюсков и соотношением концентраций РНК и ДНК, или же РНК/ДНК-индексом, а также выявление генов, предположительно оказывающих влияние на соматический рост у гидробионтов, для дальнейшего анализа их экспрессии путем ПЦР в реальном времени в жабрах, мантии, гепатопанкреасе и ноге среди трех интересующих групп двустворчатых моллюсков.

Гены, потенциально связанные с соматическим ростом, называют ядром генов контроля роста. К ним относится несколько групп функционально связанных генов. В том числе, сюда относят группу генов, кодирующих гормоны роста и гены инсулин-ассоциированных пептидов, их рецепторов и рецептор-ассоциированных белков, ферментов сигнального пути инсулина и инсулиноподобного фактора роста, группу, кодирующую белки-регуляторы экспрессии факторов роста через сигнальный путь рапамицина, ферменты четырех дополнительных сигнальных путей Raf/Ras/Mapk, Jnk, TOR и Hippo. Экспрессия данных функциональных генов может регулировать ряд сигнальных путей, весьма чувствительным ко многим факторам [3]. В конце этих сигнальных путей несколько транскрипционных факторов, таких как FOXO, eIF4E или TEAD, которые регулируют экспрессию факторов роста, контролирующих рост клеток, пролиферацию клеток и апоптоз. Это регуляторы клеточного цикла, такие как циклин-зависимые киназы Cdk1 и Cdk4, циклин D, циклин E. Ядро генов контроля роста обеспечивает базовую молекулярную среду, в которой можно искать дифференциальную экспрессию генов, связанную с различиями в скорости роста [5].

В исследованиях, проводимых на двустворчатых моллюсках, было показано, что гены, связанные с регуляцией роста, развитием и морфогенезом, белками внеклеточного матрикса и протеолизом, были чрезмерно представлены в жабрах. В пищеварительной железе экспрессируемые гены контролируются посредством перегруппировки хроматина, малых ГТФаз, связанных с RAS, гликолиза и энергетического метаболизма. Это свидетельствует о важной роли, среди прочих, некоторых генов, связанных с инсулиноподобным фактором роста, таких как ген ParaHox Xlox, CCAR и семейство секреции белков CCN, в регуляции соматического роста двустворчатых моллюсков [3].

Одним из важнейших биохимических показателей, применяемых для описания процессов роста отдельных организмов и популяций в целом, является РНК/ДНК индекс, так как содержание суммарной РНК в тканях организма определенный период его жизни отображает скорость синтеза белка в данный момент [1]. Проведенные ранее исследования подтверждают, что значения РНК/ДНК индекса положительно коррелируют с темпами роста различных гидробионтов, в частности различных видов рыб, особенно лососевых, а также двустворчатых моллюсков. Данный индекс нередко упоминается в качестве показателя «мгновенной» скорости генеративного роста, так как он отражает ростовые показатели от нескольких суток до момента определения данного параметра. При этом характер взаимосвязи индекса РНК/ДНК с размерами организмов различался в зависимости от вида и возраста исследуемого организма [4]. При изучении связи соотношения РНК/ДНК зеленогубых мидий *Perna viridis*, как биомаркера роста, наравне с дополнительным параметром в виде содержания в среде обитания тяжелых металлов, была выявлена корреляция РНК/ДНК индекса с наличием данных загрязнителей. Таким образом, данный биомаркер подходит для фиксации состояния мидий в текущий момент для оценки экологического состояния среды [2].

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ИнБЮМ по теме «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (№ гос. регистрации 124030100137-6) и частично по теме НИЦ ПСГ – филиал ФИЦ ИнБЮМ «Оценка и развитие рыбохозяйственного потенциала перспективных районов Северного Причерноморья». Работа выполнена на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Филогеномика и транскриптомика» (ФИЦ ИнБЮМ).

Список литературы

1. Saavedra C. et al. A Microarray Study of Carpet-Shell Clam (*Ruditapes decussatus*) Shows Common and Organ-Specific Growth-Related Gene Expression Differences in Gills and Digestive Gland // Frontiers in Physiology. 2017. Vol. 8. Art. no. 943. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00943>
2. Roark A. M. et al. Biochemical indices as correlates of recent growth in juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2009. Vol. 376, iss. 2. P. 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.06.004>
3. Dagg M. J., Littlepage J. L. Relationships between growth rate and RNA, DNA, protein and dry weight in *Artemia salina* and *Euchaeta elongata* // Marine Biology. 1972. Vol. 17, iss. 2. P. 162–170. <https://doi.org/10.1007/BF00347307>
4. Peragon J. et al. Growth, protein-turnover rates and nucleic-acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development // The International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 2001. Vol. 33, iss. 12. P. 1227-1238. [https://doi.org/10.1016/S1357-2725\(01\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S1357-2725(01)00088-7)
5. Li Z. et al. RNAi-mediated knock-down of the dopamine beta-hydroxylase gene changes growth of razor clams // Comparative Biochemistry and Physiology B. 2021. Vol. 252. Art. no. 110534. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2020.110534>

Генетическое разнообразие ремонтно-маточного стада осетровых видов рыб на Гривенском ОРЗ и предложения к их рациональному использованию

Небесихина Н. А.* , Алимова А. Ш., Гайдамаченко В. Н., Мещанкина В. С.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

Genetic diversity in the broodstock of sturgeon species at the Grivenski sturgeon farm and proposals for their rational use

Nebesikhina N. A.* , Alimova A. Sh., Gaidamachenko V. N., Meshchankina V. S.

Azov-Black Sea Branch of VNIRO Russian Federal Research Institute Of Fisheries And Oceanography (AzNIIRKH), Rostov-on-Don, Russia

✉ nebo71na@mail.ru

Ключевые слова: русский осетр, севрюга, ремонтно-маточное стадо, осетровый рыбоводный завод, искусственное воспроизводство, генетическое разнообразие, микросателлиты

Процветавшее в 1990 гг. браконьерство привело к снижению запаса и закрытию в 2000 г. промысла русского осетра и севрюги в бассейне Азовского моря [1]. В условиях дефицита «диких» производителей осетровых видов рыб для воспроизводственных целей рыбоводные предприятия пошли по пути создания собственных ремонтно-маточных стад (PMC), формирование которых в основном осуществлялось стихийно и без учета генетической составляющей.

В этот период в таких же условиях шло формирования и PMC на Гривенском ОРЗ (ГОРЗ). Учитывая особенности биологии вида, начиная с 2014 г., в рыбоводном процессе используют производителей русского осетра и севрюги, выращенных на ГОРЗ от «икры», отсутствие генетических паспортов у производителей ведет к риску близкородственного скрещивания, и, как следствие, возрастанию уровня инбридинга. Увеличение гомозиготности в результате инбридинга обычно сопровождается снижением продуктивности и плодовитости рыб. В сложившейся ситуации необходимо применение наиболее современных и совершенных способов мониторинга генетических процессов, протекающих в искусственно воспроизводимых популяциях и PMC осетровых рыб. При этом в воспроизводственном процессе особое внимание следует уделять мероприятиям, направленным на сохранение оптимального генетического разнообразия восстанавливаемых популяций, обеспечивающих адаптивную приспособленность потомства в природных условиях.

Метод анализа микросателлитной ДНК (STR метод) представляет собой удобный инструмент исследования ДНК. Высокое аллельное разнообразие микросателлитных локусов позволяет с их помощью идентифицировать потомство конкретных родительских пар. Что позволяет оценить репродуктивный успех и приспособленность особей, отличающихся биологическими характеристиками [2]. Разработанная ранее в ФГБНУ «ВНИРО» система генетической паспортизации осетровых видов рыб позволяет дать оценку генетической разнокачественности PMC и составить оптимальные схемы скрещивания потенциальных производителей для воспроизводственных целей.

Расчет оптимальных схем скрещивания проводили в пакете программы Genassemblage 2.0 [3], где были использованы данные индивидуальных генотипов по 5 STR-локусам. Был выбран модуль «Лучшие пары для разведения», где учтены следующие критерии: ожидаемая гетерозиготность, аллельное разнообразие. По завершению расчётов программное обеспечение генерирует итоговый файл результатов по гетерозиготности, слабым гетерозиготам и количеству унаследованных аллелей потомством для каждой пары скрещивания производителей.

Для 76 самок и 26 самцов русского осетра были рассчитаны 1976 схем скрещивания.

По результатам минимальное количество наследуемых от этих производителей потомством аллелей составило 13, максимальное – 29. Для сохранения максимального генетического разнообразия у предполагаемого потомства принят оптимальный диапазон количества аллелей от 24 до 29. По данному критерию было получено 359 оптимальных вариантов скрещивания т.е. 18 % от общего числа схем.

Анализ ожидаемой гетерозиготности возможного потомства в проанализированных парах производителей позволил выявить высокую степень генетического разнообразия: гетерозиготность более 0,9 была определена для 1870 пар, что составляет 94 % от общего числа схем.

Для диплоидного вида – севрюги (32 самки и 8 самцов) севрюги было рассчитано 256 пар скрещивания.

Минимальное количество аллелей у будущего потомства составило 11, максимальное – 19. Для поддержания генетического разнообразия этого вида в данной выборки производителей был принят оптимальный диапазон количества аллелей от 15 до 19. Полученная от данных производителей молодь будет иметь ожидаемую гетерозиготность в пределах 0,800-1,000. По данному критерию было получено 256 вариантов скрещивания, что составило 68 % от общего числа пар скрещивания.

Различия в количестве выявленных оптимальных пар скрещивания, как у русского осетра, так и севрюги, основанные на аллельном (количество аллелей) и гетерозиготном (значение гетерозиготности) подходах ставят перед выбором какой из подходов является более оптимальным с позиции, как поддержания максимального генетического разнообразия отдельных особей и популяции в целом, так и с позиции рациональной эксплуатации РМС воспроизводственных предприятий. Подход, основанный на количестве аллелей является более требовательным к генотипу производителей, но одновременно более экономически выгоден предприятиям, так как позволяет получить гетерогенное потомство при наличии меньшей численности РМС.

На основании полученных материалов были сформированы таблицы, руководствуясь данными которых возможно оптимально подойти к эксплуатации рыбоводного и генетического потенциала производителей из РМС ГОРЗ. Получая на предприятии генетически гетерогенную молодь, в целом положительно скажется как на сохранении генофонда популяций осетровых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне, так и на выживаемости потомства на этапе заводского выращивания и во время жизни в природных водоемах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Генетический мониторинг искусственного воспроизводства осетровых рыб (2024 г.) (№ гос. регистрации 720000Ф.99.1.БН62АБ62000

Список литературы

1. Реков Ю. И. Изменения запасов азовских осетровых рыб // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. научн. тр. АзНИИРХ (1998–1999 гг.). Ростов-на-Дону, 2000. С. 84–87
2. Мюге Н. С., Барминцева А. Е. Методика генотипирования производителей и молоди осетровых видов рыб с целью проведения генетического мониторинга искусственного воспроизводства // Actual status and conservation of natural population of sturgeon fish Acipenseridae : тез. докл. конф. Olsztyn, 2014. С. 159–165.
3. Kaczmarczyk D., Wolnicki J. Genassemblage 2.0 software as a tool for maintaining genetic variation in human dependent fish populations // Front. Mar. Sci. Conference Abstract: XVI European Congress of Ichthyology, Lausanne, Switzerland, 2–6 Sep, 2019. <https://doi.org/10.3389/conf.fmars.2019.00164>

Исследование популяционно-генетической структуры нерки (*Oncorhynchus nerka*) в бассейне р. Камчатки

Пильгандук О. А.* , Муравская У. О., Савенков В. В., Денисенко А. Д., Зикунова О. В.

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии
(«КамчатНИРО»), г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Study of the population genetic structure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Kamchatka River basin

Pilganchuk O. A.* , Muravskaya U. O., Savenkov V. V., Denisenko A. D., Zikunova O. V.

Kamchatka Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography” (“KamchatNIRO”), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

✉ o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru

Ключевые слова: популяционно-генетическая структура, нерка (*Oncorhynchus nerka*),
микросателлитные локусы, генетическая дифференциация

Тихоокеанский лосось нерка (*Oncorhynchus nerka*) один из наиболее ценных промысловых видов рыб на Дальнем Востоке РФ. Для нерки характерна сложная популяционно-генетическая структура, наличие различных экологических групп и сезонных форм. На азиатской части ареала самой крупной озерно-речной системой, в которой нерестится нерка, является река Камчатка. На основе анализа чешуи и паразитов-индикаторов в бассейне реки были выделены локальные стада и группировки локальных стад второго порядка [1]. Наиболее многочисленными из них являются популяции, воспроизводящиеся в бассейнах реки Еловка и озера Азабачье. По времени хода нерка р. Камчатки подразделяется на раннюю (заполняет нерестилища в мае-июне) и позднюю (июль-август) формы [1]. Анализ 16 выборок нерки из разных районов бас. р. Камчатки на основе десяти микросателлитных локусов позволил выделить популяционные группировки — «оз. Азабачье» (ранняя и поздняя форма), «верхнее течение р. Камчатка», «среднее течение р. Камчатка» [2]. Цель настоящего исследования — расширить количество проанализированных выборок, и получить новые данные о популяционно-генетической структуре нерки реки Камчатки.

В работе проанализировано 22 выборки нерки (1034 экз.), отобранные из различных локальностей в бассейне реки Камчатки с 2003 по 2020 г. в разное время нерестового хода. Анализ популяционно-генетической структуры осуществляли на основе девяти микросателлитных локусов (*Ots107*, *Oki1a*, *Oki1b*, *One104*, *One109*, *Oki6*, *OtsG68*, *Ottm1037*, *Ots100*) как описано ранее [2].

Все проанализированные локусы были полиморфны. Суммарно по девяти локусам было выявлено 108 аллелей. Наибольшими значениями среднего количества аллелей (7,4) характеризовались выборки бас. р. Еловки и оз. Азабачье (раннего времени хода), наименьшими выборки оз. Ушки (4,9) и Двухурточное (5,7). В ходе проведения исследования было обнаружено 19 уникальных аллелей. Наибольшее значение эффективного числа аллелей наблюдалось у нерки поздней формы в оз. Азабачье (3,908), наименьшее в озере Ушки (2,987). Информационный индекс разнообразия Шеннона также был выше у производителей, нерестящихся в оз. Азабачье и составил 1,316. Наименьшие значения данного показателя отмечены для нерки из озер Ушки (1,083) и Двухурточное (1,091). Средние значения наблюдаемой гетерозиготности в выборках из оз. Азабачье (0,618) имели значения выше, чем в выборках из других локальностях бассейна р. Камчатки (0,570). Самыми низкими данные показатели были в выборках из бассейна реки Двухурточной (0,513). Отклонения от равновесия Харди-Вайнберга наблюдались только в единичных локусах в отдельных популяциях. В среднем по всем локусам показатель *PIC* (показатель уровня информационного полиморфизма) составил 0,569, что подтверждает высокую информативность используемых в работе микросателлитных маркеров.

Результаты анализа выборок в пространстве главных компонент подтверждают полученные ранее данные о сложной популяционно-генетической структуре нерки р. Камчатки [2]. Исследование на основе 22 выборок позволило выделить, как минимум, шесть генетически обособленных группировок: 1) верхнее и среднее течение бас. р. Камчатки; 2) оз. Азабачье (ранняя форма); 3) оз. Азабачье (поздняя форма); 4) бассейн р. Еловка, нижнее течение р. Камчатки; 5) оз. Двухурочное; 6) оз. Ушки.

Для количественной оценки величины генетических различий между выделенными группами мы провели анализ молекулярной вариансы (AMOVA). Результаты анализа показали, что на долю межгрупповой компоненты приходится 2,87%, что значительно превосходит дисперсию между выборками внутри групп (0,5%). Значения попарных оценок генетической дифференциации F_{ST} варьировали от 0,008 до 0,063 и были значимы между всеми анализируемыми группами. Низкая дифференциация обнаружена между выборкой нерки оз. Двухурочное и выборками из бассейна р. Еловки и нижнего течения р. Камчатки (0,008). Наибольшие отличия наблюдались между выборкой из оз. Ушки и выборками из бассейна р. Еловки (0,063).

Полученная информация расширяет представления о популяционно-генетической структуре нерки в бассейне р. Камчатки и востребована при разработке рекомендаций по рациональному ведению промысла и с целью поддержания численности всех структурных единиц запаса на стablyно оптимальном уровне.

Список литературы

1. Бугаев В. Ф. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М. : Колос, 1995. 464 с.
2. Пильганчук О. А., Шпигальская Н. Ю., Денисенко А. Д., Савенков В. В. Генетическая дифференциация нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) бассейна р. Камчатка // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2019. Вып. 53. С. 41–57. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2019.53.41-56>

Патогенраспознающие рецепторы гемоцитов моллюсков *Planorbarius corneus* (Gastropoda, Pulmonata)

Прохорова Е. Е.*, Бобровская А. В.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Pattern recognition receptors from hemocytes of molluscs *Planorbarius corneus* (Gastropoda, Pulmonata)

Prokhorova E. E.*, Bobrovskaya A. V.

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

✉ elenne@mail.ru

Ключевые слова: *Planorbarius corneus*, *Bilharziella polonica*, иммунные реакции, trematodная инвазия, гемоциты, транскриптом, гемоциты, патогенраспознающие молекулы, лектины, транскриптом гемоцитов

Изучение механизмов распознавания патогенов в системе врождённого иммунитета у животных разных таксонов является одним из ключевых направлений современной сравнительной иммунологии [1]. Одним из активно исследуемых в отношении иммунных реакций видов пульмонат являются моллюски *Planorbarius corneus*. Роговые катушки обитают на значительной части территории Евразии и являются промежуточными хозяевами для trematod из нескольких семейств. Наибольший интерес среди последних представляет *Bilharziella polonica* (сем. *Schistosomatidae*), которая вызывает церкариозный дерматит человека [2].

В данном исследовании мы подробно проанализировали набор транскриптов патогенраспознающих рецепторов (PRR) в гемоцитах моллюсков *Planorbarius corneus*, в том числе зараженных *Bilharziella polonica*. Для предсказания закодированных в транскриптоме доменов использовали InterProScan и BLAST. Доменный состав был визуализирован с помощью ресурса аннотации белковых доменов SMART.

В результате анализа транскриптома гемоцитов *Planorbarius corneus* было выявлено 2687 транскриптов, кодирующих домены факторов врождённого иммунитета [3]. Из них 1776 было отнесено к транскриптам PRR. Самыми многочисленными по представленности оказались транскрипты лектинов, молекул иммуноглобулинового суперсемейства, молекул адгезии и толл-подобных рецепторов. Мы не выявили достоверных различий в экспрессии PRR между заражёнными и незаражёнными моллюсками.

Анализ предсказанной доменной структуры показал большое разнообразие PRR в гемоцитах моллюсков *P. corneus*. Предсказанная структура рецепторов роговых катушек часто отличается от канонической структуры PRR позвоночных животных. У брюхоногих моллюсков такое разнообразие рецепторов может быть связано с тем, что развитие иммунитета гастропод в большой степени связано с эволюционно сложившимися паразито-хозяинными системами «трематоды–моллюски» [4; 5].

Список литературы

1. Janeway C. A., Medzhitov R. Innate Immune Recognition. Annual Review of Immunology. 2002. Vol. 20, iss. 1. P. 197–216. <https://doi.org/10.1146/annurev.immunol.20.083001.084359>
2. Źbikowska E. Infection of snails with bird schistosomes and the threat of swimmer's itch in selected Polish lakes // Parasitology Research. 2004. Vol. 92. P. 30–35. <https://doi.org/10.1007/s00436-003-0997-0>

3. Orlov I. A., Ataev G. L., Gourbal B. et al. The transcriptomic analysis of *Planorbarius corneus* hemocytes (Gastropoda) naturally infected with *Bilharziella polonica* (Schistosomatidae) // Developmental & Comparative Immunology. 2023. Vol. 140. Art. no. 104607. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104607>
4. Атаев Г. Л., Полевщикова А. В. Защитные реакции брюхоногих моллюсков. 1. Клеточные реакции // Паразитология. 2004. Т. 38, № 4. С. 342–351.
5. Adema C. M., Loker E. S. Digenean-gastropod host associations inform on aspects of specific immunity in snails // Developmental and Comparative Immunology. 2015. Vol. 48, no. 2. P. 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.06.014>

Первое молекулярно-генетическое исследование морского представителя афелид – паразита зеленой водоросли *Rhizoclonium* – и особенности его жизненного цикла

Селиук А. О.*, Карпов С. А.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

First molecular-genetic study of marine representative aphelids – parasite of green algae *Rhizoclonium* – and peculiarities of its life cycle

Seliuk A. O.*, Karpov S. A.

Zoological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

 aleksey1seluk@gmail.com

Ключевые слова: афелиды, молекулярная-филогения, Белое море

В настоящее время разные страны с неодинаковым успехом приближаются к замене ископаемого топлива биотопливом. Для этого используется как животное, так и растительное сырье, в частности, водоросли. Однако в открытых водоемах, где получают необходимую биомассу водорослей, часто наблюдается их массовая гибель, вызванная одноклеточными хитридиевыми грибами *sensu lato* или грибоподобными паразитами водорослей – афелидами [1].

Жизненный цикл афелид схож с хитридиевыми грибами. Расселительная стадия – зооспора, с направленным назад жгутиком при движении, – находит водоросль и образует цисту на ее поверхности, от которой внутрь клетки водоросли вырастает трубка проникновения. Все содержимое цисты переходит в клетку хозяина. Попавшая в цитоплазму амеба является трофонтом, который полностью выедает (фагоцитирует) содержимое водоросли и превращается в многоядерный плазмодий. Последний делится на одноядерные клетки – зооспоры, которые покидают опустошенную клетку и заражают другие водоросли. Хитриды, в свою очередь, как и остальные грибы, питаются сапрофитно: циста, которую образует зооспора, прорастает внутрь клетки водоросли с формированием ризоида; циста превращается в спорангий и посредством ризоида питается – всасывает содержимое клетки водоросли.

Таксономическое положение афелид долгое время оставалось неясным, хотя в ряде работ начала 20-го века авторы предполагали родственные связи афелид с низшими грибами. Недавно это было подтверждено методами мультигенной филогении: афелиды представляют собой сестринскую группу всем грибам [2].

К сожалению, афелиды еще плохо изучены. К настоящему моменту описано всего 4 рода и примерно 20 видов, однако, судя по метагеномным данным, группа обладает колоссальным разнообразием: афелиды распространены повсеместно, как в пресных и морских водах, так и в почвах [3]. Правда, из морских проб был описан лишь один вид *Pseudaphelidium drebessii*, паразитирующий на диатомовой водоросли *Thalassiosira punctigera*, но он не был изучен молекулярно-филогенетическими методами.

В августе 2023 года мы собрали пробы с литорали Белого моря у БЕС МГУ им. Н.А. Перцова и получили два изолята нового представителя афелид, паразитирующего на зеленой водоросли *Rhizoclonium* sp. Исследование его жизненного цикла показало, что цисты образуются не только для проникновения в клетку хозяина, но и для выхода из нее. Т.е., после деления плазмодия зооспоры сначала инцистируются, а потом прорастают сквозь толстую стенку водоросли наружу, чтобы покинуть клетку хозяина. Эта особенность беломорского вида делает его похожим на *P. drebessii*, у которого также происходит инцистирование только что образованных зооспор, но вне хозяина.

Впервые мы получили сиквенсы 18S рДНК двух беломорских изолятов афелид. Молекулярно-филогенетический анализ показал, что они находятся внутри клады афелид, представленной лишь

природными последовательностями. Примечательно, что хотя расстояние между местами взятия проб, откуда были выделены эти два изолята, составляет примерно 700 метров, их гены 18S rPHK оказались идентичны друг другу, что свидетельствует об их принадлежности к одному (новому) виду, который будет представлять и новый род.

Работа поддержана грантом РНФ 21-74-20089 (<https://rscf.ru/project/21-74-20089/>) и выполнена в рамках НИР ЗИН РАН № 122031100260-0.

Список литературы

1. Letcher P. M. et al. A new isolate of *Amoeboaphelidium protococcarum*, and *Amoeboaphelidium occidentale*, a new species in phylum Aphelida (Opisthosporidia) // Mycologia. 2015. Vol. 107, iss. 3. P. 522–531. <https://doi.org/10.3852/14-064>
2. Mikhailov K. V. et al. Genomic analysis reveals cryptic diversity in aphelids and sheds light on the emergence of Fungi // Current Biology. 2022. Vol. 32, iss. 21. P. 4607-4619.e7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.08.071>
3. Yang J. et al. Niche and ecosystem preference of earliest diverging fungi in soils // Mycology. 2023. Vol. 14, iss. 3. P. 239-255. <https://doi.org/10.1080/21501203.2023.2237047>

Таксономическая идентификация сверлящей губки пиона (сем. Clionaidae), обитающей на раковинах тихоокеанской устрицы (*Magallana gigas*) в акватории г. Севастополя

Челебиева Э. С.*, Подольская М. С., Рылькова О. А., Лавриченко Д. С., Кладченко Е. С.
ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Taxonomic Identification of the Boring Sponge (Family Clionaidae) Associated with the Pacific Oyster (*Magallana gigas*) in the Sevastopol Water Area

Chelebieva E. S.*, Podolskaya M. S., Rylkova O. A., Lavrichenko D. S., Kladchenko E. S.
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ e.chelebieva@ibss-ras.ru

Ключевые слова: сверлящая губка, тихоокеанская устрица, сканирующая электронная
микроскопия, филогенетика

Сверлящие губки семейства Clionaidae – широко распространенная группа биоэрзационных организмов, способных проникать в пористые поверхности различных субстратов, включая раковины двустворчатых моллюсков. Их игольчатые отростки обеспечивают надежное прикрепление к раковинам, способствуя их закреплению и разрастанию. Формирование губками сети туннелей и камер снижает прочность раковины, создавая условия для заселения микроорганизмами. Инвазия Clionaidae привлекает все больше внимания из-за интенсивного поражения промысловых моллюсков, таких как тихоокеанские устрицы *Magallana gigas*, что может негативно сказаться на их популяциях и приносить ущерб марикультурным хозяйствам. В Черном море, на сегодняшний день, присутствует три вида губок – *Cliona lobata* (Hancock, 1849), *Pione stationis* (Nassonow, 1883), *P. vastifica* (Evcen A., Çınar M. E. 2015). Предполагается, что именно *P. vastifica* активно поражает тихоокеанских устриц у крымского побережья Черного моря [1 ; 2]. Однако, сверлящие губки обладают ограниченным числом морфологических признаков, что затрудняет их таксономическую идентификацию. Элементы их скелета склонны к гомоплазии и могут зависеть от условий окружающей среды [3]. Несмотря на неточность метода идентификации губок по форме спикул, этот метод все еще используется в сочетании с молекулярно-генетическими подходами [4 ; 5].

Целью данной работы является применение интегративного подхода для верификации таксономического статуса сверлящей губки, поражающей тихоокеанских устриц у крымского побережья Черного моря. Исследование включает анализ элементов скелета губки с использованием сканирующей электронной микроскопии и молекулярно-филогенетический анализ нуклеотидных последовательностей субъединицы 1 цитохромоксидазы (COI).

В работе использовали особи тихоокеанских устриц *M. gigas* с характерными оранжевыми и кирпично-красными вкраплениями на раковине. Образцы сверлящей губки фотографировались на месте с помощью цифровой камеры и фиксировались в абсолютном этаноле для молекулярно-генетического анализа. Кроме того, фрагменты были очищены путем погружения в горячий гипохлорит натрия (максимальная концентрация 5%) для последующего анализа при помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi SU3500 (Япония). Нуклеотидные последовательности митохондриального CO1 были секвенированы с использованием вырожденных праймеров CO1 [6] на базе ЦКП «Филогеномика и Транскриптомика» ФИЦ ИНБЮМ.

Отмечено, что отверстия, просверленные губкой, распределены по поверхности раковины моллюска и имеют в основном сферическую форму, диаметром менее 1 мм. Тилостили губки прямые, с шаровидными головками, а микроксеи имеют микрошипы и изогнуты в средней части, что соответствует характеристикам *P. vastifica*. Таксономический статус выделенных образцов был подтвержден

путем анализа фрагмента субъединицы 1 цитохромоксидазы (COI). Изученные нуклеотидные последовательности имели ожидаемую длину около 500 п.н. Поиск гомологов с использованием BLAST показал максимальное соответствие последовательностям сверлящих губок семейства Clionaidae. На филогенетическом дереве, построенном по алгоритму максимального правдоподобия, образцы исследуемой губки образуют единый кластер с представителями вида *P. vastifica*, с высокой степенью bootstrap - поддержки, что позволяет отнести их к данному виду.

Таким образом, проведенная верификация таксономического статуса сверлящей губки *P. vastifica* (сем. Clionaidae), обитающей на раковинах тихоокеанской устрицы *Magallana gigas* в акватории г. Севастополя, подтвердила идентификацию данного вида с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и молекулярной филогении.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Механизмы функционирования иммунной системы двустворчатых моллюсков и физиологические основы ее адаптации к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам окружающей среды» (№ гос. регистрации : 124030100090-4).

Список литературы

1. Гаевская А. В., Лебедовская М. В. Паразиты и болезни гигантской устрицы (*Crassostrea gigas*) в условиях культивирования. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. 218 с.
2. Ковальчук Н. А. Фауна перфораторов некоторых видов черноморских моллюсков // Паразитология и патология морских организмов : тез. докл. V симп. (Севастополь, 26–28 октября 1992 г.). Севастополь, 1992. С. 24–26.
3. Maldonado M., Riesgo A. Gametogenesis, embryogenesis, and larval features of the oviparous sponge *Petrosia ficiformis* (Haplosclerida, Demospongiae) // Marine Biology. 2009. Vol. 156. P. 2181–2197. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-009-1248-4>
4. Kumar P.S. Bioeroding Sponges in Aquaculture Systems / Marine Sponges: Chemicobiological and Biomedical Applications. / In: Pallela, R., Ehrlich, H(eds). Springer, New Delhi, 2016. P. 53-56.
5. Bell J. J., McGrath E., Kandler N. M., Marlow J., Beepat S. S., Bachtiar R., Shaffer M. R., Mortimer C., Micaroni V., Mobilia V., Rovellini A., Harris B., Farnham E., Strano F., Carballo J. L. Inter ocean patterns in shallow water sponge assemblage structure and function // Biological Reviews. 2020. Vol. 95, iss. 6. P. 1720-1758. <https://doi.org/10.1111/brv.12637>
6. Meyer C. P., Geller J. B., Paulay G. Fine scale endemism on coral reefs: archipelagic differentiation in turbinid gastropods // Evolution. 2005. Vol. 59., iss. 1. P. 113–125. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb00899.x>

Подбор методики выделения ДНК из зеленой нитчатой водоросли *Cladophora spp.*

Шаповалова В. Е.^{1,2*}, Лантушенко А. О.², Шадрин Н. В.¹, Ануфриева Е. В.¹

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Looking for methods for DNA extraction from green filamentous algae *Cladophora spp.*

Shapovalova V. E.^{1,2*}, Lantushenko A. O.², Shadrin N. V.¹, Anufrieva E. V.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

✉ veshapovalova@sevsu.ru

Ключевые слова: выделение ДНК, зеленые макроводоросли, маркерные гены, ПЦР тест

Cladophora spp. – род зеленых нитчатых водорослей, обитающих по всему миру в водоемах с различной соленостью – от пресноводных до гиперсоленных [1]. В многочисленных гиперсоленных водоемах Крыма эти водоросли активно развиваются, создавая огромную биомассу, и играют важную экосистемную роль [1]. Их биомасса в последние годы привлекает все большее внимание в качестве ценного сырья для использования в медицине, сельском хозяйстве, для получения биоразлагаемых пластиков и т.д. [2–5]. Поэтому к ним растет внимание исследователей, которым важно знать то, с каким именно видом кладофоры они работают. Идентификация видов *Cladophora* затруднительна, потому что большинство таксономических критериев являются качественными, и существует большая степень морфологической изменчивости в зависимости от условий окружающей среды и возраста водорослей. Для точной идентификации необходим молекулярно-генетический анализ. Поэтому впервые поставлена задача разработки методов экстракции и анализа ДНК из биомассы кладофоры гиперсоленных водоемов.

Данная работа посвящена подбору оптимального протокола выделения ДНК из кладофоры собранной в гиперсоленом озере Ярылгач (Крым) (соленость при сборе 60 г/л), подбору праймеров к маркерным генам и их ПЦР-анализу. Для филогенетического анализа использовались рибосомальные гены 18S и 28S. Подбор и разработка праймеров для этих генов производилась на сайте NCBI с помощью ресурса Primer-BLAST. Выделение ДНК проводили из сухой биомассы, измельченной с помощью мельницы, а также из свежих образцов водоросли. Предварительную гомогенизацию образцов осуществляли с помощью ступки и пестика в жидком азоте. Выделение ДНК осуществляли тремя различными наборами: ДНК-Экстран-2 («Синтол», Россия), D-Plant («Биолабмикс», Россия), СОРБ-ГМО-Б («Синтол», Россия).

Использование набора ДНК-Экстран-2 показало следующие результаты: концентрация ДНК, выделенной из свежей массы – 17.4 нг/мкл, из сухой и предварительно измельченной мельницей – нет результатов. Выделение ДНК набором D-Plant фирмы «Биолабмикс»: концентрация ДНК из свежей массы – 89.5 нг/мкл, из измельченной массы – 15.4 нг/мкл, из сухой массы – нет результатов. Оценка чистоты выделенной ДНК проводилась спектрофотометрически с помощью нанофотометра Imlen. В спектрах образцов ДНК, выделенной двумя вышеупомянутыми наборами, кроме основного пика поглощения нуклеиновых кислот на 260 нм, присутствовали дополнительные пики, что может свидетельствовать о загрязнении образца фенольными соединениями. ПЦР тест полученных образцов не дал результатов. Можно сделать вывод, что в выделенной ДНК присутствуют ингибиторы ПЦР, которыми богаты водоросли рода *Cladophora*. Набор для выделения ДНК СОРБ-ГМО-Б фирмы «Синтол» содержит хлороформ, который осаждает фенольные соединения. Для всех вышеупомянутых образцов выделение ДНК дало определенный результат, при этом концентрации ДНК, полученной с помощью этого набора, варьируются в зависимости от образца от 13 до

25 нг/мкл. В спектрах образцов ДНК, выделенной данным набором, присутствует только основной пик поглощения нуклеиновых кислот на 260 нм, что является свидетельством чистоты образца. ПЦР анализ ДНК, выделенной из сухой и измельченной массы показал отрицательный результат, при этом использование ДНК, выделенной из свежих образцов, позволило получить ПЦР продукты определенной длины (700-800 нуклеотидов). Таким образом, для выделения ДНК из *Cladophora* целесообразно использовать свежую биомассу, проводить гомогенизацию жидким азотом и использовать содержащие хлороформ наборы для выделения ДНК.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001, <https://rscf.ru/project/24-66-00001/>.

Список литературы

1. Prazukin A., Shadrin N., Balycheva D., Firsov Yu., Lee R., Anufrieva E. *Cladophora* spp. (Chlorophyta) modulate environment and create a habitat for microalgae in hypersaline waters // European Journal of Phycology. 2021. Vol. 56, no. 3. P. 231-243. <https://doi.org/10.1080/09670262.2020.1814423>
2. Zhou S., Nyholm L., Strømme M., Wang Z. Cladophora cellulose: unique biopolymer nanofibrils for emerging energy, environmental, and life science applications // Accounts of Chemical Research. 2019. Vol. 52, iss. 8. P. 2232-2243. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00215>
3. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Is biomass of filamentous green algae *Cladophora* spp. (Chlorophyta, Ulvophyceae) an unlimited cheap and valuable resource for medicine and pharmacology? A review // Reviews in Aquaculture. 2020. Vol. 12, iss. 4. P. 2493-2510. <https://doi.org/10.1111/raq.12454>
4. Prazukin A. V., Firsov Yu. K., Gureeva E. V., Kapranov S. V., Zheleznova S. N., Maoka T., Nekhoroshev M. V. Biomass of green filamentous alga *Cladophora* (Chlorophyta) from a hypersaline lake in Crimea as a prospective source of lutein and other pigments // Algal Research. 2021. Vol. 54. Article no. 102195 (9 p.). <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2021.102195>
5. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment // Aquaculture International. 2024. Vol. 23, iss. 3. P. 3637–3673. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>

Redescription of one species and description of one new species of *Dactylogyrus* Diesing, 1850 (Platyhelminthes: Monogenea) from *Devario aequipinnatus* (McClelland, 1839) (Cyprinidae: Danionidae) in Arunachal Pradesh, India

Matey C.*, Tripathi A.

Department of Zoology, University of Lucknow, Lucknow-226007, India

✉ chawanmatey19@gmail.com

Keywords: DNA sequences, *Dactylogyrus*, new species, neotype, redescription

Devario aequipinnatus (McClelland, 1839) (Cyprinidae: Danionidae) is a freshwater, pelagic danionid (Cypriniformes) fish species known to inhabit the hilly streams of Asia [1]. Here, we describe and illustrate *Dactylogyrus volSELLA* n. sp. and redescribe *Dactylogyrus aequipinnati* from the gills of *D. aequipinnatus* collected from Arunachal Pradesh, India (26.9929° N, 95.5014° E) by using the combination of morphological and molecular approaches.

Dactylogyrus volSELLA sp. n. is morphologically distinct from all congeners in that it has a forceps-shaped accessory piece with variable sheathes enclosing and guiding the copulatory tube, as well as a bone-shaped dorsal bar with slightly enlarged lateral ends. *Dactylogyrus aequipinnati* Gusev, 1963, not recorded since its original description from *D. aequipinnatus* in Sri Lanka, is rediscovered, redescribed, and its species status is confirmed.

Partial fragments (domains C1-D2) of the 28S rRNA gene were amplified and sequenced to confirm the morphological identification of both species and also for phylogenetic reconstruction.

References

1. Froese R., Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org. Accessed 28 August 2023.



Проблемы загрязнения водных экосистем и морская радиохемоэкология

Problems of pollution of aquatic
ecosystems and marine
radiochemoecology

Динамика многолетней изменчивости содержания меди и цинка в воде Азовского моря (1991–2023 гг.)

Буфетова М. В.

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Dynamics of multi-year variability of copper and zinc content in the Azov Sea water (1991–2023)

Bufetova M. V.

Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze Moscow, Russia

✉ mbufetova@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, медь, цинк, загрязнение, тяжелые металлы

Азовское море – относительно небольшой мелководный водоем, который испытывает высокую антропогенную нагрузку. К числу наиболее значимых загрязняющих веществ, поступающих в акваторию Азовского моря, относятся тяжелые металлы, в том числе эссенциальные микроэлементы – медь и цинк, которые необходимы для метаболизма гидробионтов при низкой концентрации, но становятся токсичными для них при более высокой.

В работе были использованы данные, предоставленные филиалом «Азовморинформцентр» ФГБВУ «Центррегионводхоз» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), по концентрации меди и цинка в воде Азовского моря в 2010–2023 гг. Для определения межгодовых трендов дополнительно были использованы литературные данные о содержании меди и цинка в воде Азовского моря с 1991 по 2009 г. [1 ; 2].

ПДК меди для морских вод составляет 5 мкг/л, для цинка – 50 мкг/л. Цинк и медь отнесены к 3-му классу опасности («умеренно опасные») и имеют токсикологический лимитирующий показатель вредности [3].

В исследовании были выделены три района: Керченский пролив с предпроливьем, открытая акватория Азовского моря (собственно море) и Таганрогский залив что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями.

Анализ сезонной динамики концентраций растворенных форм меди в воде Керченского пролива показал превышение ПДК во все годы наблюдений, что говорит о хроническом загрязнении данного района Азовского моря этим металлом. Также, в районе порта Кавказ и косы Тузла зафиксированы значения цинка, превышающие ПДК, например, в период 2018–2023 гг. концентрация в указанных районах находилась в диапазоне 51–82 мкг/л.

В собственно море более высокие значения меди и цинка отмечены для Кубано-Ахтарского и Кубано-Темрюкского районов, что объясняется влиянием городов Приморско-Ахтарск, Темрюк, выносом металлов с водами р. Кубань, загрязненных сбросами с рисовых чек и стоками с прилегающими полей, а также выносом загрязнений с ливневыми водами селитебных территорий населенных пунктов.

В Таганрогском заливе за последние пять лет концентрации меди и цинка находились в диапазонах 0.1–13.2 мкг/л при среднем значении 4.6 мкг/л и 1.1–80 мкг/л при среднем значении 12.4 мкг/л, соответственно. Для Таганрогского залива значимым источником поступления меди и цинка являются речные воды р. Дон. В работе [4] приводятся данные по содержанию растворенных форм меди и цинка в воде нижнего течения реки Дон. Так, концентрации меди варьировали в пределах 1–14 мкг/л (среднее значение 3.5 мкг/л), для цинка – в пределах 1–10 мкг/л (среднее значение 5.6 мкг/л). По [5] в залив с речными водами может поступить до 50 т меди и 144 т цинка в год. Превышения ПДК по меди и цинку в разные годы также фиксировались в районах влияния г. Ейска и Миусского лимана.

Для установления сезонных трендов концентрации по каждому тяжелому металлу были пересчитаны в относительные единицы по отношению к максимальному их значению. Максимальное значение средней относительной концентрации меди и цинка в воде во всех районах наблюдалось весной и осенью. Летом средние относительные концентрации были ниже. Отмеченная межсезонная динамика связана с переходом от одних гидрохимических и гидробиологических условий к другим: разный уровень содержания растворенного кислорода в водной толще, вариации солености и температуры воды обусловили стадии фотосинтеза и регенерации остатков фитопланктона. В конце весны и осенью в связи с гибелью фитопланктона, накопленные им микроэлементы, в том числе медь и цинк, начинают высвобождаться и переходить в водный раствор, повышая концентрацию растворенной формы. Также повышенные концентрации меди в воде открытой части моря и в Таганрогском заливе весной и осенью говорят о смыве соединений меди (например, кумир, купросил, купроксат и др.) с весенным половодьем и началом осеннего периода дождей с прилегающих территорий. Низкая концентрация меди и цинка в летний период может быть связана с фитогенной ассимиляцией, в результате чего растворенные формы этих металлов переходят во взвешенную органическую форму. С другой стороны, на поглощение металлов живым веществом могут накладываться процессы адсорбции растворенных форм меди и цинка оксидами и гидроксидами железа и марганца и органоминеральными частицами взвеси, что также обуславливает уменьшение их концентраций [4].

Таким образом, средний многолетний уровень загрязнения медью и цинком Азовского моря однороден в пространстве, исключение составляет район Керченского пролива, где зафиксирован более высокий уровень загрязнения. Весной и осенью наблюдаются более высокие концентрации меди и цинка, чем летом.

Список литературы

1. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Кленкин [и др.]. Краснодар, 2007. 324 с.
2. Кораблина И. В., Севостьянова М. В., Барабашин Т. О., Геворкян Ж. В., Каталевский Н. И., Евсеева А. И. Тяжелые металлы в экосистеме Азовского моря // Вопросы рыболовства. 2018. Т. 19. № 4. С. 509–521.
3. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (дата обращения: 03.05.2024).
4. Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Предеина Л. М. Пространственно-временная изменчивость концентрации меди и цинка в воде нижнего течения реки Дон // Метеорология и гидрология. 2022. № 3. С. 106–117. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-3-106-117>
5. Буфетова М. В. Оценка поступления и элиминации тяжелых металлов в Таганрогский залив Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 2. С. 77–85. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-2-78-85>

Реконструкция поступления ДДТ и его метаболитов в донные отложения реки Салгир (Крым)

**Войцеховская В. В.*, Малахова Л. В., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н., Малахова Т. В.,
Овечко С. В.**

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**Reconstruction of the input of DDT and its metabolites into the bottom sediments of the Salgir River
(Crimea)**

Voitsekhovskaia V. V.* , Malakhova L. V., Mirzoeva N. Yu., Moseychenko I. N., Malakhova T. V., Ovechko S. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ voitsekh@ibss-ras.ru

Ключевые слова: ДДТ и его метаболиты, Cs-137, донные отложения, река Салгир, Крым

П,п'-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) – вещество, синтезированное человеком, является одним из самых широко распространенных и опасных хлорорганических пестицидов (ХОП), которые поступали в природную среду. ДДТ устойчив в условиях окружающей среды, со временем может разлагаться на не менее стабильные и токсичные, чем исходное вещество, метаболиты ДДД (дихлордифенилдихлорэтан) и ДДЕ (дихлордифенилдихлорэтилен). ДДТ и его метаболиты способны накапливаться в живых организмах с увеличением концентрации по трофической цепи, могут оказывать токсическое действие на репродуктивную, нервную, иммунную и эндокринную системы живых организмов, в связи с этим во многих странах в 1970-х гг. был введен запрет на его использование. Благодаря своей гидрофобности ДДТ может прочно связываться с твердыми частицами и удаляться в донные отложения. Анализ современных и ретроспективных данных о загрязнении донных отложений этими соединениями имеет большое значение для понимания текущего экологического состояния и истории загрязнения районов исследования.

Информация о содержании ДДТ и его метаболитов в наиболее протяженной крымской реке Салгир ограничена одной публикацией, где сообщалось, что загрязнение ДДТ воды и донных отложений было крайне неравномерным. На протяжении 100 км между селами Белоглинка и Молочным концентрация ДДТ в воде и донных отложениях увеличивалась более чем в 30 раз, что свидетельствовало о наличии локальных источников поступления ДДТ между этими районами. Для выявления этих источников требовалось определить район, где качество воды в реке по уровню содержания ДДТ изменялось от «чистого» до «загрязненного». Поэтому целью данного исследования явилась оценка пространственно-временных изменений содержания ДДТ и его метаболитов в донных отложениях наиболее протяженной крымской реки Салгир.

Отбор проб донных отложений проводили с мая по октябрь 2023 г. в 13 точках р. Салгир: выше и ниже г. Симферополя (в районах села Доброе, Белоглинка и Совхозное), далее через 10 км в среднем течении реки от с. Красная зорька до с. Новогригорьевка и в нижнем течении – до с. Изобильное. Концентрацию ДДТ, ДДД, ДДЭ определяли методом газовой хроматографии в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000.2 с микро-ДЭЗ и 30-ти метровой колонкой с фазой CR- 5.

Для изучения хронологии загрязнения в водоемах широкое распространение получили природные и техногенные радионуклиды, используемые в качестве трассеров для датировки осадков. Техногенный радионуклид ¹³⁷Cs, который поступил в окружающую среду после глобальных испытаний ядерного оружия в 1960-х годах, а также в результате радиоактивных выбросов во время аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. является одним из таких трассеров. Удельную активность ¹³⁷Cs измеряли на полупроводниковом детекторе на основе кристалла сверхчистого германия (НТЦ «РАДЭК», Санкт Петербург, РФ) в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Распределение в поверхностном слое донных отложений р. Салгир концентрации суммы ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД (далее Σ ДДТ) имело неравномерный очаговый характер. В районе г. Симферополя определена относительно низкая концентрация: от 9.06 до 12.92 нг/г. Максимальная концентрация Σ ДДТ, составляющая 270 и 256 нг/г, обнаружена в среднем течении реки в районе с. Красная Зорька и Пятихатка соответственно. Эти концентрации превышали ориентировочно допустимые уровни в донных отложениях более чем в 10 раз.

По соотношению концентрации исходного ДДТ и метаболитов можно оценить период поступления пестицида в экосистему: если отношение ДДТ/ДДЕ больше 0.33, то такое загрязнение считается свежим. На семи станциях в среднем течении р. Салгир величины этого соотношения существенно превышали значение 0.33, что свидетельствует о недавнем поступлении ДДТ в эти районы. Наибольшие величины этого отношения определены в районах максимального загрязнения у с. Красная зорька и Пятихатка.

В нижнем течении реки концентрация Σ ДДТ снизилась и составляла в среднем 30 нг/г на четырех станциях от пгт. Нижнегорский до с. Изобильное. В РФ существуют только региональные допустимые уровни содержания Σ ДДТ в донных осадках: безопасный уровень установлен в 2.5 нг/г, при концентрации Σ ДДТ от 2.5 до 10 нг/г осадки считаются слабозагрязненными, при более высокой концентрации – загрязненными. По этим нормам донные отложения по уровню загрязнения Σ ДДТ выше г. Симферополя являются слабозагрязненными, в остальных районах – загрязненными.

Средняя концентрация Σ ДДТ в слоях 22-сантиметрового керна, отобранного в нижнем течении р. Салгир у с. Изобильного, была ниже в 7 раз, чем в этом же интервале глубин в среднем течении у с. Искра, и изменялась в узком интервале от 10 до 26 нг/г (в среднем – 14.4 нг/г). Исходный пестицид ДДТ был обнаружен только в слое этого керна от 6 до 7 см. В сумме концентрации преобладал ДДЭ, его доля во всех слоях грунтов изменялась от 54 до 91%, в среднем составляя 82%. В колонке грунта у с. Искра концентрация Σ ДДТ изменялась от 44.3 до 561.7 нг/г (в среднем - 143.9 нг/г). В профиле распределения наблюдались два максимума: в слое 11–12 см (250 нг/г) и в слое от 21 до 26 см (562 нг/г).

С использованием методов изотопной геохронологии на основе анализа распределения радиотрассера ^{137}Cs произведена датировка донных отложений, отобранных колонками из среднего и нижнего течения реки, определена скорость осадконакопления, которая составляла 0.37 и 0.42 см/год, соответственно.

На основании скоростей осадконакопления проведена датировка осадков и реконструкция поступления Σ ДДТ в грунты реки с 1950-х годов по настоящее время. Выявлен период максимальной загрязненности ДДТ донных отложений, соответствующий 50–60 годам прошлого века.

Работа выполнена по темам государственного задания № 124030100127-7 ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» и № 123101900019-5 «Изучение особенностей структуры и динамики пресноводных экосистем Северного Причерноморья».

Биотестирование прибрежных вод Черного моря, подверженных воздействию речного стока в районе Большого Сочи с использованием диатомовых водорослей *Phaedactylum tricornutum* B.

Горбунова Т. Л.

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»,
Сочи, Россия

**Biotesting of Black Sea coastal waters impacted by river drainage within the Greater Sochi area
using the diatom algae *Phaedactylum tricornutum* B.**

Gorbunova T. L.

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of sciences, Sochi, Russia

✉ tatianashaw@mail.ru

*Ключевые слова: биотестирование, морские прибрежные воды, плюмы, планктонные
микроводоросли, антропогенное воздействие*

Речные воды исследуемого региона имеют сложный химический состав, обусловленный горными породами, особенностями местных почв, техногенными источниками. Эти региональные геохимические особенности, безусловно оказывает воздействие на развитие водорослей фитопланктона. В настоящее время на территории Большого Сочи происходит активное увеличение антропогенной нагрузки на прибрежную полосу Чёрного моря, связанное с демографическими, экономическими и антропогенными факторами. Это обуславливает актуальность разработки и апробации в специфических условиях экономически приемлемых и надежных систем биомаркеров для различных типов загрязнения.

Такую возможность может дать включение методов биотестирования в процесс экологического мониторинга водной среды.

Являясь организмами – автотрофами, одноклеточные планктонные водоросли чувствительны к таким физико-химическим показателям морской воды (содержание биогенных веществ, pH и освещение водного столба, зависящая от прозрачности воды), в большей степени, чем представители вышестоящих звеньев трофических цепей [1]. Кроме того, отмечено, что в биоценозах водоросли играют средообразующую роль в качестве основы трофической цепи [2].

В наших исследованиях для биотестирования морской воды использовались диатомовые планктонные водоросли *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, культура которых была получена из коллекции отдела экологической физиологии водорослей ФИЦ ИнБЮМ. Биотестирование проводилось в соответствии с методическими рекомендациями. Культивирование водорослей осуществлялось на среде Гольдберга в модификации Кабановой [3]. Культивирование водорослей, постановка токсикологических экспериментов и обработка результатов тестирования проводились в соответствии с общепринятой методикой [4].

Отбор проб воды для биотестирования производился в поверхностном слое зон плюмов крупнейших рек региона – рр. Сочи ($43^{\circ}34'59.7''N$ $39^{\circ}42'50.8''E$) и Мзымта ($43^{\circ}25'02.9''N$ $39^{\circ}55'18.6''E$) в период с апреля до августа 2022 г.

Водоросли не демонстрировали достоверного токсичного или стимулирующего воздействия среды в острых экспериментах (длительностью 24 часа).

В серии подострых экспериментов (72 часа) самые высокие значения отклонений от контроля наблюдались в июне (37,1%) и в августе (31,2 %) в пробах прибрежной морской воды плюма реки Сочи. В хронических экспериментах с морской прибрежной водой плюма этой реки динамика показателей отклонений от контроля по приросту численности водорослей менялась – наблюдалось

возрастание достоверных отклонений от контроля в июне – 54,3 %, а в августе – 72,1 %. В апреле, до начала интенсивного курортного сезона в г. Сочи, достоверных отклонений в пробах этой станции выявлено не было. Все выявленные в ходе данной работы достоверные отклонения от контроля в пробах зоны влияния р. Сочи были со стимулирующим воздействием на рост микроводорослей, что говорит о присутствии в воде веществ, ускоряющих прирост их клеток.

Однако, в апрельских пробах в хронических экспериментах (7 суток) были выявлены достоверные отклонения от контроля для проб прибрежной морской воды при впадении реки Мзымта с эффектом ингибирования роста численности клеток (30,2 %). В июне достоверного воздействия на прирост клеток *Ph. tricornutum* обнаружено не было ни в одной группе экспериментов. Однако, в августе было выявлено достоверное отклонение от контроля по приросту численности водорослей с эффектом стимуляции (37,7 %).

Выявленное, в большей мере в течение хронических экспериментов, увеличение показателей прироста численности клеток водорослей по сравнению с контролем в летние месяцы, является следствием интенсификации рекреационно-курортной деятельности в летний период и повышения антропогенной нагрузки в зонах водосбора рек, главным образом, р. Сочи, протекающей через промышленные и рекреационные районы города с максимальной техногенной нагрузкой.

В тоже время, наблюдаемый достоверный эффект угнетения роста численности водорослей в пробах прибрежных вод плюма р. Мзымта в апреле скорее всего обусловлен загрязненными ливневыми стоками с территорий водосбора реки, где осуществляется интенсивная застройка.

Кроме того, определено, что воды реки Мзымта по химическому составу значительно богаче вод реки Сочи, что в большей степени определяется горными породами, слагающими ее долину. Для р. Мзымта характерно развитие полиметаллической, свинцовой, цинковой, золоторудной и других минерализаций и оруденения, что может оказывать наибольший эффект на гидробионты именно в периоды паводков (апрель ассоциируется с периодом весеннего паводка, вызванного снеготаянием и повышением количества осадков). В тоже время, выявлено, что коэффициенты суммарного загрязнения вод р. Сочи в приусտевой зоне в межень превышают этот показатель, расчитанный для паводковых периодов (межень - Zc 24 единицы, а в паводок – 13) [5].

Таким образом, примененные нам подходы биотестирования морских прибрежных вод, подверженных воздействию стоков рек, с использованием морских планктонных диатомовых водорослей продемонстрировали чувствительность к факторам воздействия различного генезиса на представителей морского фитопланктона. На основании данной работы сделан вывод о присутствии взаимосвязи загрязнения речного стока и свойствами прибрежной морской воды в зоне впадения водотоков в Черное море.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНИЦ РАН FGRW-2024-0004, № госрегистрации 124022000094-0492-2021-0015 «Эволюция окружающей среды и климата вследствие естественных причин и антропогенного воздействия»

Список литературы

1. Lee P. F., McNaughton K. A. Macrophyte induced microchemical changes in the water column of a northern Boreal Lake, *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 522 P. 207-220. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000029987.64557.36>
2. Stelmakh L., Kovrigina N., Gorbunova T. Response of marine microalgae *Phaeodactilum tricornutum* Procentrum cordatum and *Gyrodinium fissum* to complex pollution of Sevastopol bays (Black Sea), *Ecologica Montenegrina*. 2021. Vol. 48. P. 109-116. <https://doi.org/10.37828/EM.2021.48.13>
3. Zhuravel E. V., Markina Z. V., Aizdaicher N. A. Influence of water pollution on the growth and pigment concentration of the microalgae *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin (Bacillariophyta). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184, P. 2909–2919. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2159-7>

4. Рекомендации. Р 52.24.690-2006. Оценка токсического загрязнения вод водотоков и водоемов различной солености и зон смешения речных и морских вод методами биотестирования. Разработан ГУ «Гидрохимический институт» Росгидромета. Дата введения: 01.02.2007. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200070999> (ссылка активна на: 12.03.2023)
5. Zakharikhina L., Vinitskaya E. Mirroring Land and Sea: The Geochemistry of Coastal Biomarkers // Ecologica Montenegrina. 2023. Vol. 64. P. 207-220. <https://doi.org/10.37828/em.2023.64.6>

Загрязнение почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика, Западная Африка) тяжелыми металлами и микроэлементами (на основе данных экспедиционных исследований в сухой сезон 2023 г.)

**Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В.*, Братанов Н. С., Фам К. Н., Сафонова М. С., Фаерман А. В.,
Табунчик В. А., Никифорова А. А., Линева Н. П.**

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Soil pollution in the Fatala River basin (Republic of Guinea, West Africa) with heavy metals and trace elements (based on data from expedition research during the dry season of 2023)

Gorbunova T. Yu., Gorbunov R. V.*, Bratanov N. S., Pham C. N., Safonova M. S., Faerman A. V., Tabunschik V. A.,
Nikiforova A. A., Lineva N. P.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ gorbunov@ibss-ras.ru

Ключевые слова: Гвинейская Республика, Фатала, бассейн реки, почвы, загрязнение, тяжелые металлы

Бассейн реки Фатала расположен на западе Гвинейской Республики, в пределах экорегионов Нижней и Средней Гвинеи. Исток реки находится в регионе Фриа, протекает через префектуру Боффа и в конечном итоге сливается с рекой Рио-Понго. Бассейн реки также захватывает префектуру Телимеле. Рельеф территории разнообразный – от предгорий на северо-востоке (800–1000 м) до низменных равнин на юго-западе. Территория характеризуется тропическим муссонным типом климата с влажным летним и сухим зимним сезонами. Почвы на территории бассейна представлены в основном тремя типами: lithic leptosols, red ferrallitic soils и thionic fluvisols.

Для определения концентраций загрязняющих веществ в почвах бассейна реки Фатала были проведены экспедиционные исследования в бассейне реки Фатала в ноябре 2023 года. За время проведения экспедиционных исследований было заложено 18 почвенных профилей с учетом геологического строения, положения в рельфе и растительных условий, в различных ландшафтных условиях на территории бассейна реки Фатала. На каждой точке было проведено описание ландшафтных условий, заложен почвенный профиль, собраны образцы растений, произрастающих в данной фации, отобраны образцы почвы из каждого почвенного горизонта для проведения химических анализов.

Определение содержания тяжелых металлов и микроэлементов в отобранных почвенных пробах проводились с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанный плазмой PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 в научно-образовательном центре коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Пробоподготовка для определения содержания микроэлементов и тяжелых металлов выполнена по ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 «Количественный химический анализ почв».

На основе проведенных анализов концентрации тяжелых металлов и микроэлементов были построены карты их содержания, рассчитаны коэффициенты опасности, коэффициенты концентрации (загрязнения) и суммарный показатель загрязнения бассейна реки Фатала. Поля, характеризующиеся высокими концентрациями некоторых элементов (Al, Fe, Se, Sb, As, Mo) на территории бассейна реки Фатала приурочены к крупным добывающим районам Сангареди и Фрия. Низким содержанием всех рассмотренных элементов выделяется фация 18. Необходимо более детальные исследования для определения причин таких концентраций.

Анализ коэффициента опасности, рассчитываемого с использованием ПДК, показывает, что для территории бассейна реки Фатала можно выделить 4 группы: 1) тяжелые металлы, содержание которых не превышает ПДК (Cu и Pb; 2) тяжелые металлы и микроэлементы, для которых значение

коэффициента опасности находится в диапазоне 0–4 (Co, As, Sb); 3) тяжелые металлы с коэффициентом опасности от 0 до 8. (Ni, Zn); 4) тяжелые металлы с коэффициентом опасности более 8 (Cd). Низкие значения коэффициента опасности характерны только для 18 фации.

Расчет коэффициентов концентраций был произведен на основе значений их кларков в земной коре. Для Co, Ni, Pb диапазон концентраций лежит в пределах их кларков. Незначительно превышают значения кларков Cu, Mo, Ti и Zn. При этом единичные пики наблюдаются для Ti в фации 4 и для Zn в фации 12 и 13. Небольшое равномерное превышение наблюдается для Be, As, Sb (от 2,6 до 14,9 раз). Сильные превышения значений кларков наблюдаются у Se, Ag, Cd. Их концентрация превысила значение кларков в 124–235 раз. Такие превышения, по всей видимости, связаны с геохимическими особенностями коренных пород. Вопрос поиска объяснения таких концентраций требует дополнительного исследования.

На основе коэффициентов опасности построена карта суммарного показателя загрязнения бассейна реки Фатала. Выявлено, большая часть территории относится к умеренно опасной категории загрязнения, для которой характерно увеличение общей заболеваемости.

Загрязнение почвы тяжелыми металлами представляет серьезную угрозу для здоровья населения, проживающего на загрязненных территориях. Воздействие этих загрязнителей может привести к различным проблемам со здоровьем, включая отравления и болезни, в том числе хронические. Накапливаясь в почве, тяжелые металлы и микроэлементы не только воздействуют на здоровье человека, но и влияют общее на состояние окружающей среды. Кране важным на наш взгляд является проведение дальнейших исследований, внедрение системы нормирования концентраций загрязняющих веществ и разработка мер по уменьшению вредного воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России: грант в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2023-592 по теме № 13.2251.21.0216)

Оценка микробиомного разнообразия почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) и выявление взаимосвязи с загрязнением почв тяжелыми металлами

Игнатьева Д. А.^{1,2}, Горбунова Т. Ю.¹, Горбунов Р. В.¹

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

²«Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии» — филиал ФИЦ
ИнБЮМ, Херсон, Россия

Assessment of microbiome diversity in soils of the Fatala River Basin (Republic of Guinea) and identification of relationships with heavy metal contamination of soils

Ignateva D. A.^{1,2*}, Gorbunova T. Yu.¹, Gorbunov R.V.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Research Center of Freshwater and Brackish-water Hydrobiology, Kherson, Russia

✉ da_igniteva@ibss-ras.ru

Ключевые слова: микробиом, метагеномное секвенирование, тяжелые металлы, почва,
загрязнение, река Фатала, Республика Гвинея

Республика Гвинея, являющаяся крупнейшим экспортёром бокситов в Африке и вторым по величине в мире, содержит также месторождения железной руды, алмазов, золота, урана. Предполагается, что в ближайшие десятилетия Гвинея станет основным центром производства глинозема и алюминия [1]. Поэтому требуется экологический мониторинг природоохранных зон Гвинейской Республики, в том числе, выявление загрязнения почв тяжелыми металлами.

Выявление ассоциации микробных сообществ с различными загрязнителями стало возможно благодаря расшифровке метагеномов молекулярно-генетическими методами. Ранее не уделялось достаточного внимания исследованиям связи загрязнения почв Республики Гвинея бокситами и прочими тяжелыми металлами с составом микробиома. Еще не проводилось комплексного исследования взаимосвязи микробного состава почв с загрязнениями тяжелыми металлами, изучалась лишь взаимосвязь отдельных поллютантов с содержанием бактерий. Но микроорганизмы активно применяются для тестирования загрязнения экосистем других природных сред, поскольку благодаря их быстрому росту можно зафиксировать реакцию даже на слабые концентрации загрязнителей [2].

Обилие и разнообразие микроорганизмов в почве зависят от ее типа, климатических условий, эдафических факторов, доступных питательных веществ и доступности кислорода. Ряд исследований показал изменения богатства и разнообразия микробных сообществ из-за загрязнения тяжелыми металлами, что можно объяснить ингибированием чувствительных к металлам видов и продвижение устойчивых. Кроме того, почвенные микроорганизмы способны к превращению тяжелых металлов в менее токсичные формы путем метилирования или окислительно-восстановительных реакций, которые изменяют растворимость тяжелых металлов в почве. Различные бактерии обладают механизмами, которые трансформируют, нейтрализуют, накапливают или выводят загрязняющие вещества [3].

Формы алюминия, являющегося основным компонентом бокситов, могут быть токсичны для бактериальных сообществ. По литературным данным, имеется положительная корреляция между факторами, отражающими токсичность алюминия в почве, и численностью филумов *Betaproteobacteria* и *Nyphomicrobiaceae*. При закислении ряда почв, сопровождающемуся повышением токсичности алюминия, отмечалась потеря микробного бета-разнообразия и увеличение родов, ответственных за функции дегидрирования, и родов, являющихся кислотозависимыми биомаркерами (*Rhodanobacter*, *Gemmatisrosa*, *Sphingomonas* и *Streptomyces*) [4]. Почвы лесов после подсечно-огневой вырубки характеризуются понижением содержания алюминия и сокращением численности

Chlamydiae, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, однако увеличением филума *Actinobacteria*, а именно, сообщества *Actinomycetales*. Также зафиксировано возрастание альфа-разнообразия и филогенетического разнообразия в целом. По некоторым данным содержание в почве алюминия снижало численность бактерий филума *Bacteroidetes* и семейства *Chitinophagaceae* [5].

Целью проведенного исследования являлась оценка микробиомного разнообразия почв бассейна реки Фатала с выявлением изменений в зависимости от загрязнения почвы тяжелыми металлами. В ходе экспедиционных исследований были отобраны образцы почв из 18 почвенных профилей с учетом геологического строения, положения в рельфе и растительных условий, в различных ландшафтных условиях на территории бассейна реки Фатала. Для каждой точки оценивались концентрации 16 микроэлементов и тяжелых металлов.

Метагеномное разнообразие оценивалось методом массового параллельного секвенирования библиотек ампликонов V3 и V4 вариабельного региона гена, кодирующего 16S субъединицу рибосомальной РНК. Благодаря праймерам для секвенирования, которые комплементарны консервативным участкам, получили последовательности гипервариабельных участков. Ампликоновые библиотеки подготавливались путем постановки ПЦР с праймерами, содержащими адаптерные и индексные участки. Индексные последовательности расположены между адапторным участком и локус-специфическим участком праймера. Разработана технология выделения тотальной ДНК бактерий из образцов почвы и оценки бактериального состава почв посредством метагеномного секвенирования. Биоинформационический анализ метагеномов на основе массива 16S-ампликонов основывался на стандартном алгоритме таких данных. Анализ альфа- и бета- разнообразия проводился на основе многомерного выравнивания и оценки уровня гомологии генов с использованием аннотированных в базе последовательностей.

По результатам работы получены филогенетические данные о микроорганизмах, составляющих микробиомы. В результате анализа и аннотации полученной информации сформировано представление об ответе микробных сообществ на воздействие и изменение окружающей среды и содержание в ней микроэлементов и тяжелых металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России: грант в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2023-592 по теме № 13.2251.21.0216). Работа выполнена на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Филогеномика и транскриптомика» (ФИЦ ИнБЮМ).

Список литературы

1. Sidiki S. Bauxite Mining in the Boké Region (Western Guinea): Method Used and Impacts on Physical Environment // European Journal of Sustainable Development. 2019. Vol. 3, iss. 3. Art. no. em0087. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/5735>
2. Khatri N., Tyagi S. Influences of Natural and Anthropogenic Factors on Surface and Groundwater Quality in Rural and Urban Areas // Frontiers in Life Science. Vol. 8. P. 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
3. Harms H., Schlosser D., Wick L. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals // Nature Reviews Microbiology. 2011. Vol. 9. P. 177-192. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2519>
4. Shen J. et al. The exacerbation of soil acidification correlates with structural and functional succession of the soil microbiome upon agricultural intensification // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 828. Art. no. 154524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154524>
5. Navarrete A. A. et al. Soil microbiome responses to the short-term effects of Amazonian deforestation // Molecular Ecology. 2015. Vol. 24, iss. 10. P. 2433-2448. <https://doi.org/10.1111/mec.13172>

Сравнительная оценка источников радиационных экологических рисков ихтиофауны водоемов-охладителей Белоярской и Ленинградской АЭС

Коржавин А. В.*, Коржавина Т. Н., Вохмянин Б. Н.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Comparative assessment of sources of radiation environmental risks of ichthyofauna of cooling ponds of Beloyarsk and Leningrad NPP

Korzhavin A. V.*, Korzhavina T. N., Vokhmyanin B. N.

Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Yekaterinburg, Russia

✉ BFS_zar@mail.ru

Ключевые слова: водоем-охладитель, действующие АЭС, радиационные экологические риски, ихтиофауна, радиоактивные изотопы

Радиационная безопасность водоемов-охладителей атомных электростанций занимает особое место при радиоэкологической оценке территорий, прилегающих к предприятиям атомного профиля [1]. Ленинградская и Белоярская АЭС находятся в эксплуатации уже достаточно длительное время. На Ленинградской АЭС (ЛАЭС) из 6 построенных энергоблоков в настоящее время функционируют четыре блока: № 3 и 4 (РБМК-1000), № 5 и 6 (ВВЭР-1200). Водоёмом - охладителем для ЛАЭС служит естественный морской залив - Копорская губа Финского залива [2].

На Белоярской атомной станции (БАЭС) в разные годы эксплуатировались 4 энергоблока: первые два реактора на тепловых нейтронах (АМБ-100 и АМБ-200) остановлены и находятся на стадии вывода из эксплуатации. Сейчас функционируют два реактора на быстрых нейтронах: блок № 3 (БН-600) и блок № 4 (БН-800). Водоемом-охладителем для БАЭС служит Белоярское водохранилище, созданное путем перекрытия русла реки Пышмы в 75 км от ее истока в период 1959–1963 гг. [3].

Цель исследования: изучение источников радиационных рисков для ихтиофауны водоемов-охладителей Белоярской и Ленинградской АЭС и их сравнительная оценка.

В работе представлена сравнительная оценка источников радиационных рисков от хронического облучения для референтных видов рыб (лещ, окунь, плотва, щука, салака) водоемов-охладителей Ленинградской и Белоярской атомных электростанций. Оценка радиационных рисков биоты проводилась по единому универсальному показателю – безразмерному коэффициенту опасности, определяемому как отношение мощности дозы облучения организмов к экологически безопасному уровню облучения.

Периоды рассмотрения радиоэкологической ситуации в Капорской губе соответствуют периодам работы АЭС: до Чернобыльской аварии (1973–1985 гг.), во время аварии и сразу после нее (1986–1990 гг.); период (2000–2019 гг.) [2]. В работе Белоярской АЭС выделены следующие периоды: 1976–1989 гг. — работа тепловых энергоблоков АМБ-100 и АМБ-200 и ввод в эксплуатацию третьего энергоблока БН-600; 2011—2014 г. работа одного энергоблока БН-600; 2016–2019 г. — работа БН-600 и ввод в эксплуатацию четвертого энергоблока БН-800 [3].

Для Белоярского водоема-охладителя характерна четко выраженная зависимость радиационной нагрузки на ихтиофауну от типов действующих энергоблоков на БАЭС. Более высокие радиационные риски ихтиофауна водоема-охладителя испытывала при работе энергоблоков АМБ-100 и АМБ-200, а основным источником экологических рисков в этот период для ихтиофауны являлся ¹³⁷Cs. Наиболее высокий уровень радиационного риска отмечен у леща, но при этом полученное значение было в 60 раз ниже максимально допустимого коэффициента опасности. Также и у других видов рыб уровень радиационного риска был ниже максимального коэффициента опасности: у плотвы в 85 раз, у щуки - в 230 раз, у окуня – в 240 раз. Доля ¹³⁷Cs в формировании радиационного риска

у леща составила 94%, у окуня – 78%, у плотвы – 94% и у щуки – 91%. Кроме ^{137}Cs на ихтиофауну водоема-охладителя оказывали влияние ^{60}Co и ^{90}Sr , но их участие в формировании рисков было незначительным.

В период 2011–2014 г. при работе одного энергоблока БН-600 произошло значительное снижение уровней радиационной нагрузки на ихтиофауну в связи с общим улучшением радиационной обстановки в водоеме. Данная тенденция прослеживалась и в последующие годы. Уровень радиационного риска у леща за весь период наблюдения (1977–2019 гг.) уменьшился в 18,5 раз, у окуня – в 15,3 раз, у плотвы – в 17,6 раз, у щуки – 2,75 раза. Кардинально изменилось соотношение радиоактивных изотопов в формировании радиационных рисков ихтиофауны при существенном преобладании ^{90}Sr . Доля ^{90}Sr в формировании радиационного риска у леща на заключительном этапе исследований составила 64 %, у окуня – 71 %, у плотвы – 69 % и у щуки – 97 %. Присутствие ^{60}Co было ничтожно. Если учесть, что ^{90}Sr с атомной станции практически не сбрасывается, а в основном имеет глобальное происхождение, то можно заключить, что в период работы энергоблоков с реакторами на быстрых нейтронах большое влияние на уровни рисков ихтиофауны водоема-охладителя оказывают внешние факторы, связанные с поступлением ^{90}Sr в составе атмосферных выпадений, а не деятельность самой атомной станции.

Формирование радиационных рисков у ихтиофауны водоема-охладителя Ленинградской АЭС в период 1973–1985 гг. было связано с присутствием в водоеме радиоизотопов с наведенной активностью (^{60}Co , ^{54}Mn и ^{65}Zn), как вследствие работы ядерных реакторов ВВЭР 1000 первых двух блоков АЭС. На долю радионуклидов с наведенной активностью у окуня в сумме приходилось 68,9%, у плотвы – 85,5%. Присутствие долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs , была существенно меньше, 31,1% и 14,5% соответственно. В период 1986–1990 гг. радиационные риски для ихтиофауны Копорской губы были в основном связаны с последствиями Чернобыльской аварии и радиоактивным загрязнением водоема-охладителя ^{137}Cs . У плотвы уровень радиационного риска увеличился в 20 раз, у салаки – в 16 раз. У окуня в первый год он вырос в 7,9 раза, а к концу 1987 г. – еще в 4,3 раза. После 1990 г. у основных видов рыбы Копорской губы наметилось последовательное снижение радиационных рисков. К 2000 году радиационные риски у окуня снизились в 13 раз, у плотвы – в 3,5 раза и у салаки – в 11 раз. Но при этом, спустя 33 года после аварии, значения радиационных рисков не вернулись к прежним показателям, которые были до Чернобыльской аварии. У окуня уровень радиационного риска остался в 2,7 раза выше первоначального, у плотвы – в 4,2 раза и у салаки – в 1,1 раза. Таким образом, последствия Чернобыльской аварии до настоящего времени оказывают заметное влияние на формирование радиационных рисков для ихтиофауны Копорской губы. Появление в последние годы информации о содержании ^{14}C в компонентах водоема-охладителя Ленинградской АЭС позволило оценить значительный вклад данного радионуклида в формирование радиационных рисков для ихтиофауны водоема. Более подверженной влиянию ^{14}C оказалась плотва – 52,8 % от суммарного риска. У других видов влияние тоже заметное: салака – 44,6 %, окунь – 37 %.

В целом экологическую ситуацию для ихтиофауны Копорской губы в настоящее время можно считать стабильной и приемлемой для существования и размножения рыбы в данном водоеме. Уровни радиационных рисков у окуня ниже критического значения в 2000 раз, у плотвы – в 1200 раз, у салаки – в 3000 раз.

Таким образом, радиационные экологические риски для ихтиофауны в водоемах-охладителях действующих АЭС обусловлены сочетанным воздействием радиоизотопов разного происхождения, соотношение которых в разные годы может существенно меняться. В количественном отношении радиационные экологические риски для ихтиофауны в водоемах-охладителях на два–три порядка величин ниже максимально допустимого коэффициента опасности, что подтверждает возможность безопасного существования и развития разных видов рыб. При работе АЭС в штатном режиме не образуется недопустимых радиационных рисков, представляющих реальную экологическую угрозу для ихтиофауны данных водоемов-охладителей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института экологии растений и животных УрО РАН по теме «Изучение закономерностей миграции и биологического действия техногенных радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах в зонах воздействия предприятий атомного комплекса» (№ гос. регистрации 122021000077-6).

Список литературы

1. Линге И. И., Крышев И. И. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. М. : САМ полиграфист, 2015. 296 с.
2. Крышев И. И., Сазыкина Т. Г., Павлова Н. Н., Косых И. В., Бурякова А. А., Крышев А. И. Оценка радиационной безопасности морской среды в районе расположения Ленинградской АЭС по данным многолетнего мониторинга (1973-2019) // Морской биологический журнал. 2021. Т. 6, № 1. С. 41–57. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.1.04>
3. Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Т. IV. Екатеринбург: Изд-во АкадемНаука, 2019. 448 с.

Комбинированное действие наночастиц полистирола с токсикантами различной природы на тест-объект *Chlorella vulgaris*

Лазарева А. М.*, Ипатова В. И., Ильинский В. В., Ильина О. В.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Combined effect of polystyrene nanoparticles with toxicants of various natures on the test object

Chlorella vulgaris

Lazareva A. M.*, Ipatova V. I., Il'inskii V. V., Il'ina O. V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ lazanna1998@mail.ru

Ключевые слова: нанопластик, тяжелые металлы, бихромат калия, медный купорос, метиленовый синий, биотестирование, *Chlorella vulgaris*, зеленые микроводоросли

Полистирол является одним из наиболее часто используемых пластиков для пищевых продуктов, упаковок для напитков и других розничных товаров, может сохраняться в окружающей среде сотни лет и является загрязнителем водной среды. Для приготовления суспензии наночастиц полистирола использовали образец первичного полистирола (EPS) с размером частиц 100 нм, полученный из коммерческих источников производителя SIGMA-ALDRICH®, поставляемый в виде 10% водной суспензии с концентрацией частиц 1,05 г/см³. Ранее было изучено влияние данных наночастиц полистирола на культуру представителей фитопланктона *Scenedesmus quadricauda* [1], однако в природе редко встречается загрязнение водных объектов только одним токсикантом, чаще природные сообщества испытывают на себе их комбинированное действие, а потому в данной работе изучали совместный эффект наночастиц пластика с другими токсикантами.

При изучении комбинированного эффекта наночастиц полистирола с другими токсикантами на тест-организм зеленую водоросль *Chlorella vulgaris* были взяты полистирол с содержанием 10 и 50 мг/л наночастиц, не вызывающих угнетения роста и концентрации метиленового синего, бихромата калия и медного купороса, выбранные по результатам предварительных опытов.

Чтобы учесть возможные взаимодействия между изучаемыми токсикантами, был поставлены опыты по плану полнофакторного эксперимента. Получены данные отдельного и совместного действия изучаемых добавок в парных комбинациях их концентраций на тест-культуры. Контролем служил рост культуры в чистой среде без токсикантов.

Краткосрочные эксперименты длились 2 сут в культиваторе на 2% среде Тамия при температуре 36 °С согласно методике биотестирования по изменению оптической плотности клеток этого вида [2]. Благодаря высокой скорости роста численность клеток *Chlorella vulgaris* в норме увеличивается за сутки в 25–35 раз, при этом проходит 5 поколений, что дает возможность этим экспресс-методом быстро оценить токсический эффект. Данная методика допущена для целей государственного экологического контроля.

Результаты экспериментов по изучению комбинированного действия метиленового синего и наночастиц пластика показали, что совместные их добавки в среду снижают их токсичность для тест-организма. При этом чем выше были концентрации нанопластика, тем сильнее проявлялся антагонистический эффект.

Добавки нанопластика в концентрации 50 мг/л снижали токсичность высоких концентраций соли меди и бихромата калия. При этом добавки 10 мг/л нанопластика с солями тяжелых металлов взаимодействовали между собой по-разному: как по типу антагонизма, так и усиливая действие друг друга. Характер взаимодействия зависел от концентрации соли металла и длительности эксперимента.

Результаты данного исследования показывают, что комбинированный эффект метиленового синего или солей тяжелых металлов и наночастиц полистирола зависит от различных комбинаций их концентраций и времени действия. Взаимодействие токсикантов в среде культивирования может приводить как к ослаблению, так и к усилению токсического действия наиболее токсичного компонента.

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш07-44.

Список литературы

1. Лазарева А. М., Рак А. Н., Ипатова В. И., Гершкович Д. М., Ильинский В. В., Ильина О. В., Поярков А. А. Исследование влияния наночастиц пластика на представителей фито- и зоопланктона // Экологические системы и приборы. 2023. № 11. С. 47-58.
2. Токсикологические методы анализа. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer.). ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-2004. Москва, 2024. 42 с.

Изменение мощности дозы облучения фитопланктона в процессе вертикальных миграций в озере Кызылташ

Меньших Т. Б.*, Смагин А. И.

ФГБУН Южно-уральский институт биофизики ФМБА, Озерск, Россия

Change in the dose rate of phytoplankton irradiation during vertical migrations in Lake Kyzyltash

Menshikh T. B.*, Smagin A. I.

Southern Urals Biophysics Institute of the FMBA, Ozyorsk, Russia

 Menshikh.T@subi.su

Ключевые слова: фитопланктон, *Microcystis wesenbergii*, озеро Кызылташ, водоем-охладитель, сезонная динамика, концентрация хлорофилла «а», пигментные индексы, накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs , вертикальное распределение, мощность поглощенной дозы

При расчёте дозы облучения фитопланктона в водоемах, загрязненных радионуклидами, каковым является озеро Кызылташ, обычно не учитываются периоды нахождения организмов планктона в придонных слоях. Так, для референтного организма «phytoplankton» в современных моделях принята геометрия источника «в водном столбе, водный источник» [1].

Ряд организмов фитопланктона, и в частности, *Microcystis* способны не только вертикально перемещаться в водной толще, но длительно находиться в придонных горизонтах и на дне водоема [2]. По продолжительности периоды нахождения фитопланктона в придонных горизонтах водной толщи и на дне могут составлять значительную долю жизненного цикла популяции, включая зимовку [2–4].

Определение мощности дозы требует знания распределения радионуклидов в окружающей фитопланктон водной среде, а также его местонахождения в течение жизненного цикла. Обычно наблюдается увеличение дозы внешнего облучения гидробионтов при перемещении от поверхности воды до донных отложений [5 ; 6]. Наиболее радиологически значимыми радионуклидами в озере Кызылташ, используемом в качестве водоема-охладителя радиохимического предприятия, являются ^{90}Sr и ^{137}Cs [5 ; 7 ; 8].

Цель данной работы – оценка мощности дозы облучения фитопланктона в летне-осенний и зимний периоды, используя данные о вертикальном распределении и накоплении ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах водной среды озера Кызылташ.

Хорошим индикатором уровня биомассы фитопланктона и его физиологического состояния являются хлорофилл «а» и пигментные индексы, которые аналитически определяются достаточно экспрессно и точно. Получено, что в летне-осенний сезон 2007 г. биомасса фитопланктона в пелагическом слое озера Кызылташ тесно коррелировала с концентрацией хлорофилла «а» ($R^2=0,99$). Показано, что в фитопланктоне по численности преобладали синезеленые водоросли, среди которых доминировал вид *Microcystis wesenbergii* (Komárek 1958) Komárek ex Komárek 2006 [8]. В вертикальном распределении, исследованном с борта катера в августе, отмечался глубокий максимум хлорофилла «а» на глубине 4,5 м – 36 ± 8 мкг/л, в то время как величина пигментного индекса E480/E664 в этом бентосном слое равнялась 0,93-0,95, что свидетельствует о физиологически активном состоянии фитопланктона [9]. Погружение из пелагического слоя в бентосный может быть связано с повышением в последнем содержания фосфора вследствие ресуспенсирования донных отложений [10].

Полученные нами полевые данные позволили обосновать выбор четырех сценариев в вычислительной радиоэкологической программе ERICA [11], различающихся по значению фактора заселения («occupancy factor»): на поверхности воды, в водной толще, на поверхности донных отложений, в донных отложениях. Кроме того, для использования в качестве входных данных были определены уровни накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в фитопланктоне, воде и донных отложениях озера Кызылташ.

Расчет по вышеупомянутой программе показал, что мощность дозы облучения фитопланктона во время зимовки в составе бентосной популяции составила от 7,1E+02 до 1,3E+03 $\mu\text{Гр}/\text{ч}$, в то время как эта величина в составе пелагической популяции равнялась 1,4E+02 $\mu\text{Гр}/\text{ч}$. Таким образом, характерной чертой условий обитания фитопланктона в озере Кызылташ является изменение в процессе вертикальных миграций мощности дозы облучения до одного порядка величины.

Работа проводилась частично при финансовой поддержке Гранта РФФИ № 04–04–96086.

Список литературы

1. UNSCEAR. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011. 164 p.
2. Reynolds C. S. Ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 507 p.
3. Kim S.-G., Joung S.-H., Ahn C.-Y., Ko S.-R., Boo S. M., Oh H.-M. Annual variation of *Microcystis* genotypes and their potential toxicity in water and sediment from a eutrophic reservoir // FEMS Microbiology Ecology. 2010. Vol. 74, no. 1. P. 93–102. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00947.x>
4. Kitchens Ch. M., Thomas H. J., Davis T.W. Establishing spatial and temporal patterns in *Microcystis* sediment seed stock viability and their relationship to subsequent bloom development in Western Lake Erie // PLoS One. 2018. Vol. 13 (11). Art. no. e0206821 (18 p.). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206821>
5. Смагин А. И. Экологические и радиоэкологические эффекты от долгосрочного использования озера Кызыл-Таш в качестве резервуара-охладителя установкой ядерного топливного цикла // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, № 4. С. 443-465.
6. Рябов И. Н. Оценка воздействия радиоактивного загрязнения на гидробионтов 30-ти км зоны контроля аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 1992. Т. 32, № 5. С. 662-667.
7. Смагин А. И., Меньших Т. Б., Никитина Л.В., Литовкина Е.В. Анализ многолетней динамики биомассы фитопланктона и абиотических факторов среды озера КызылТаш в период 1964-2001 гг. // Вопросы радиационной безопасности. 2003. № 4. С. 30-40.
8. Меньших Т. Б., Никитина Л. В., Ровный С.И. Роль фитопланктона в самоочищении водоема-охладителя ПО "Маяк" от долгоживущих радионуклидов // Вопросы радиационной безопасности. 2005. № 3. С.71-76.
9. Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. Москва: Наука, 2004. 156 с.
10. Blottière L., Rossi M., Madricardo F. et al. Modeling the role of wind and warming on *Microcystis aeruginosa* blooms in shallow lakes with different trophic status // Theoretical Ecology. 2014. Vol. 7. P. 35–52. <https://doi.org/10.1007/s12080-013-0196-2>
11. Brown J. E., Alfonso B., Avila R., Beresford N. A., Copplestone D., Pröhl G., Ulanovsky, A. The ERICA Tool // Journal of Environmental Radioactivity. 2008. Vol. 99, iss. 9. P. 1371–1383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.01.008>

⁹⁰Sr в экосистемах Северо-Крымского канала, орошаемых вдоль него почвах, поливных сельскохозяйственных культурах (2022–2024 гг.)

Мирзоева Н. Ю.*, Архипова С. И., Мосейченко И. Н., Гулина Л. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

⁹⁰Sr in ecosystems of the North Crimean Canal, irrigated soils along it, irrigated crops (2022–2024)

Mirzoeva N. Yu.*, Arkhipova S. I., Moseichenko I. N., Gulina L. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ natmirz@mail.ru

Ключевые слова: Северо-Крымский канал, ⁹⁰Sr, компоненты водной экосистемы, поливные сельскохозяйственные угодья, прогноз

Северо-Крымский канал (СКК) – оросительно-обводнительный канал длиной 402.6 км, построен в 1961–1971 гг. для обеспечения устойчивого водоснабжения маловодных и засушливых территорий Херсонской и Крымской областей [1]. После аварии на ЧАЭС с 1986 г. и до 2014 г. днепровская вода, приходящая по руслу СКК в Крым, являлась фактором хронического вторичного радиоактивного загрязнения искусственным радионуклидом ⁹⁰Sr внутренних водоемов и поливных земель Крымского региона [2]. В апреле 2014 г. подача днепровской воды в Крым по СКК была прекращена [3]. С возобновлением подачи днепровской воды в Крым 3 марта 2022 г. было восстановлено поливное земледелие, включая возделывание риса в северном Крыму [3]. Однако 6 июня 2023 г. произошел подрыв дамбы на Каховской ГЭС, днепровская вода перестала поступать в систему СКК с 8 июня 2023 г. [4].

Цель исследований состояла в оценке современного (2022–2024 гг.) радиоэкологического состояния водной экосистемы Северо-Крымского канала в отношении загрязнения ⁹⁰Sr, изучении роли днепровской воды СКК в переносе этого долгоживущего искусственного радионуклида на поливные сельскохозяйственные (с/х) угодья, расположенные вдоль канала. Метод, используемый для определения ⁹⁰Sr в объектах окружающей среды, соответствует общепринятым в мировой практике и прошел тестирование в рамках международной интеркалибрации [5].

В 2022 году удельная активность ⁹⁰Sr в днепровской воде, вновь поступившей в СКК, составляла 427.2 ± 16.4 Бк/м³, что в 100 раз превышало доаварийные уровни этого радионуклида в воде реки Днепр, и соответствовало концентрациям, отмечаемым в воде Каховского водохранилища и СКК в 1986–1987 гг. [5]. Значительные концентрации ⁹⁰Sr наблюдались в воде на рисовых чеках (с. Крепкое): в 2022 г. – 40.8 ± 2.3 Бк/м³ (в 1.8 раз превышало концентрацию радионуклида в магистральном русле), в 2023 г. – 22.9 ± 1.5 Бк/м³ (соответствовало концентрации ⁹⁰Sr в канале). Это свидетельствует о накоплении ⁹⁰Sr орошаемой системой рисовых чеков при многократном заливе этих с/х угодий днепровской водой. С апреля 2022 г. и в период 2023 г. значение концентрации ⁹⁰Sr в днепровской воде было равномерным (в среднем 77.0 Бк/м³ в 2022 году, 25.2 Бк/м³ в 2023 году). Т.е. ситуация в отношении загрязнения днепровской воды ⁹⁰Sr улучшилась в сторону снижения, что свидетельствует о благоприятном прогнозе использования днепровской воды для различных хозяйственных нужд региона Крыма. В 2024 г. в русло СКК была подана вода из реки Биюк-Карасу (Крым) для обеспечения водой регион г. Керчи. Удельная активность ⁹⁰Sr в воде реки Биюк-Карасу до канала составляла 3.6 ± 1.5 Бк/м³, тогда как в русле СКК это значение увеличилось до 13.7 ± 1.3 Бк/м³, что объясняется ремобилизацией ⁹⁰Sr из тех донных отложений, которые смогли сформироваться за время прохождения днепровской воды по руслу канала в 2022–2023 гг.

В гидробионтах наибольшие концентрации ⁹⁰Sr отмечены в 2022 г. – в моллюске Беззубка обыкновенная европейская (*Anodonta sp.*), в 2023 г. – в рдесте пронзеннолистном (*Potamogeton perfoliatus*).

Эти концентрации на порядок превышали таковые для этих гидробионтов, отмечаемые в СКК и Каховском водохранилище в 1992-1994 гг. [5]. Диапазон коэффициентов накопления (K_H) ^{90}Sr для гидробионтов СКК изменялся в следующих пределах: $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^3$ – для водных растений; $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^4$ – для моллюсков; $n \cdot 10^1$ – для рыб.

Удельная активность ^{90}Sr в донных отложениях СКК, поливных почвах вдоль канала была незначительной, на порядок ниже, чем уровни, определяемые в 1992-1994 гг. Определена скорость накопления ^{90}Sr в донных отложениях СКК, которая составляет 2.2 Бк/кг сухой массы в месяц. Время перехода растворенных загрязнителей различной природы их воды в донные отложения СКК составляет не более 6 месяцев с момента подачи днепровской воды по руслу канала.

Определено, что в урожае всех изучаемых с/х культур концентрации ^{90}Sr были ниже в 11 раз для ^{90}Sr значений ПДК, предъявляемых для пищевого зерна, а также в 10-57 раз и 80 раз, соответственно, ниже ПДК для фуражного зерна.

По прогнозным оценкам получено, что при возобновлении подачи днепровской воды в СКК снижение концентрации ^{90}Sr в воде канала к доаварийным уровням произойдет к 2053 году. При этом определено, что не зависимо от сезона отбора проб в 2022-2024 гг., концентрация ^{90}Sr в воде СКК была на 1-2 порядка ниже уровней вмешательства, принятой для питьевой воды (4.9 Бк/кг) в РФ. То есть, восстановление работы СКК для подачи днепровской воды после подрыва дамбы Каховской ГЭС является необходимым и безопасным для развития с/х в Крыму.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-26-00128 «Роль оросительной системы Северо-Крымского канала в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводородов с днепровской водой на поливные сельхозугодья Крыма» (№ гос. регистрации 123022100021-4).

Список литературы

1. Соколов А. А. Гидрография СССР (Воды суши). Л. : Гидрометеоиздат, 1964. 535 с.
2. Гулин С. Б., Мирзоева Н. Ю., Лазоренко Г. Е., Егоров В. Н., Трапезников А. В., Сидоров И. Г., Проскурин В. Ю., Поповичев В. Н., Бей О. Н., Родина Е. А. Современная радиологическая ситуация, связанная с режимом функционирования Северо-Крымского канала // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, № 6. С. 647-654. [10.7868/S0869803116060059](https://doi.org/10.7868/S0869803116060059)
3. Mirzoeva N., Tereshchenko N., Korotkov A. Artificial Radionuclides in the System: Water, Irrigated Soils, and Agricultural Plants of the Crimea Region // Land. 2022. Vol. 11, iss. 9. Art. no. 1539 (22 p.). <https://doi.org/10.3390/land11091539>
4. 7. Теракт на Каховской ГЭС: какие угрозы он создал Крыму... <https://rg.ru/2023/06/08/techenie-bedy.html> (обращение 27.11.2023)
5. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.

Радиоактивное загрязнение почвенно-растительного покрова Восточно-Уральского государственного заповедника и сопредельных территорий

Михайлова Л. Н.*, Позолотина В. Н., Михайлова З. Б.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Radioactive contaminations of soil-plant cover on the East Ural State Reserve territory and adjacent territories

Mikhailovskaya L. N.*, Pozolotina V. N., Mikhailovskaya Z. B.

Institute of Plant and Animal Ecology of the UB RAS, Yekaterinburg, Russia

✉ mila_mikhaylovska@mail.ru

*Ключевые слова: радионуклиды, почва, растения, Восточно-Уральский радиоактивный след,
Восточно-Уральский государственный заповедник*

В 1957 г. на производственном объединении «Маяк» произошла авария, в результате которой смесь радионуклидов поднялась в атмосферу и, выпадая из облака, сформировала Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). В 1967 г. он был загрязнен вторично радиоактивными донными отложениями, принесенными ветром с берегов обмелевшего озера Карабай, которое использовалось в качестве технологического водоема. В 1966 г. вблизи эпицентра аварии на наиболее загрязненной территории был организован Восточно-Уральский государственный заповедник (ВУГЗ). Его границы определяли по плотности загрязнения почв ^{90}Sr ($74 \text{ кБк}/\text{м}^2$). Протяженность заповедника 30 км при ширине от 4,5 до 6 км, общая площадь составляет 16616 км^2 . В настоящее время интегральные запасы ^{90}Sr в почвенном покрове составляют примерно $571.2 \times 10^{12} \text{ Бк}$, а $^{137}\text{Cs} - 66.1 \times 10^{12} \text{ Бк}$ [1]. Такие количества долгоживущих радионуклидов превращают заповедник в потенциальный источник вторичного загрязнения сопредельных территорий [2].

Цель работы: оценить современные уровни загрязнения и характер пространственного распределения долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в основных компонентах наземных экосистем ВУГЗа и сопредельных территорий.

Обследованная территория расположена в лесостепной зоне, рельеф которой характеризуется общим понижением с запада на восток. Направление господствующих ветров – восточное, юго-восточное и северо-восточное. Наземные экосистемы представлены в основном березовыми и смешанными лесами, частично суходольными лугами и залежами; в почвенном покрове преобладают серые лесные почвы, часто встречаются черноземы и дерново-подзолистые почвы [3]. Пробы почв, подстилок и разнотравья отбраны на однородных по мезорельефу участках, расположенных в основных типах экосистем на разном удалении от эпицентра аварии. Почвенные разрезы располагали в вершинах равносторонних треугольников с длиной стороны 10 м. Содержание радионуклидов в пробах почв, отобранных по такой схеме, представительно характеризует территорию площадью 0.01 км^2 .

Все пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и озоляли при $t=450^\circ \text{ С}$. Содержание ^{90}Sr определяли радиохимическим методом с использованием радиометрической установки УМФ-2000 (Россия). Содержание ^{137}Cs в образцах определяли на многоканальном анализаторе фирмы “ORTEC” (США) с германиевым полупроводниковым детектором.

Через 65 лет после аварии в загрязнении ВУГЗа и сопредельных с ним территорий преобладает ^{90}Sr . Диапазон плотности загрязнения почв заповедника ^{90}Sr составляет $15.2-67645.5 \text{ кБк}/\text{м}^2$, $^{137}\text{Cs} 11.3-1759.0 \text{ кБк}/\text{м}^2$. Уровень загрязнения почв снижается от центра к перифериям заповедника и достигает фоновых значений за его пределами. На восточных сопредельных территориях

средняя плотность загрязнения почв ^{90}Sr составляет $50.4\pm34.9 \text{ кБк}/\text{м}^2$ и ^{137}Cs $34.9\pm30.7 \text{ кБк}/\text{м}^2$, что в 2.5–4.2 раза выше, чем на западе ^{90}Sr $19.8\pm22.2 \text{ кБк}/\text{м}^2$ и ^{137}Cs $8.3\pm5.1 \text{ кБк}/\text{м}^2$ (t_{st} 0.0017–0.0048).

Величина отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ отражает вклад разных источников в загрязнение территории ВУГЗа. Основными источниками остаются выпадения Кыштымской аварии 1957 г. и перенос радионуклидов с берегов оз. Карабай 1967 г., отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в выпадениях составляло 71 и 0.3 соответственно. В настоящее время величина радионуклидного отношения в почвах ВУГЗа на оси следа составляет 27.7, снижается к периферии до 5.9 и 2.4 за пределами заповедника. Почвы, в пределах центральной оси следа, загрязнены преимущественно выпадениями от Кыштымской аварии ^{90}Sr (75%) и ^{137}Cs (50%). Большая часть ^{137}Cs (77%) поступила на территорию западной и восточной периферий в результате переноса загрязненного ила и песка с берегов оз. Карабай. Суммарный вклад штатных выбросов ПО «Маяк» в уровень загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr сравним с фоновым уровнем, сформированным глобальными выпадениями из атмосферы. Вклад глобальных выпадений в загрязнение территории невелик и составляет примерно 1,5 и 2,4 $\text{kБк}/\text{м}^2$ для ^{90}Sr и ^{137}Cs соответственно [4].

Пространственное распределение радионуклидов в разнотравье и подстилках определяется уровнями загрязнения почв. В пределах ВУГЗа разнотравье характеризуется меньшей концентрацией радионуклидов (^{90}Sr 65–450763 $\text{Бк}/\text{кг}$ ^{137}Cs 1.9–2687 $\text{Бк}/\text{кг}$) по сравнению с подстилкой (^{90}Sr 111–638932 $\text{Бк}/\text{кг}$, ^{137}Cs 24–5455 $\text{Бк}/\text{кг}$). Величина отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ для разнотравья на оси следа составляет 52–2133 и 20–24 на сопредельных территориях, а для подстилки 7–117 и 6.2–9.1 соответственно. Снижение величины отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в ряду разнотравье>подстилка>почва свидетельствуют о большей подвижности ^{90}Sr относительно ^{137}Cs .

Территория ВУГЗа не может быть использована в хозяйственных целях. Содержание ^{90}Sr в травах на территории заповедника, как правило, превышает контрольный уровень (100 $\text{Бк}/\text{кг}$). Заготовка сена и использование его в качестве кормов для животных, даже вблизи границ заповедника, возможны только с разрешения и под контролем органов государственной ветеринарной службы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН (№122021000077-6).

Список литературы

1. Molchanova I., Mikhailovskaya L., Antonov K., Pozolotina V., Antonova E. Current assessment of integrated content of long-lived radionuclides in soils of the head part of the East Ural Radioactive Trace // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. V. 138, № 6. P. 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.09.004>
2. Радиационная обстановка на территории СССР в 1989 г./под ред. Махонько К. П. Обнинск : НПО «Тайфун». 1990. 108 с.
3. Позолотина В. Н., Молчанова И. В., Караваева Е. Н., Михайловская Л. Н., Антонова Е. В. Современное состояние наземных экосистем зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа. Екатеринбург : Изд-во «Гошицкий», 2008. 204 с.
4. Михайловская Л. Н. , Молчанова И. В., Караваева Е. Н., Позолотина В. Н., Тарасов О. В. Радиоэкологическое исследование почвенного покрова Восточно-Уральского государственного заповедника и сопредельных территорий // Радиационная биология Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 4. С.476-482. EDN: OCXOQF.

Проблемы загрязнения водных экосистем стойкими органическими веществами, тяжелыми металлами и поверхностно-активными веществами

Никонова А. А.^{1*}, Пашкова Г. В.^{1,2}, Дылгерова С. Д.^{1,2}, Ханаев И. В.¹, Чиндывская А. Н.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Problems of pollution of water ecosystems with persistent organic pollutants, heavy metals, and anionic surfactants

Nikonova A. A.^{1*}, Pashkova G. V.^{1,2}, Dylgerova S. D.^{1,2}, Khanaev I. V.¹, Chindiyavskaya A. N.¹

¹Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

²Institute of Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

✉ alenaxis@list.ru

*Ключевые слова: АСПАВ, алкилбензолсульфонат, ПХБ, тяжелые металлы, биогены, губка
L. baikalensis, ВЭЖХ, ГХ-МС, ТСХ, окислительный стресс, Cu, Zn, СОД, глобулины*

Объем воды на Земле сравнительно постоянен на протяжении миллионов лет, тогда как масса поступающих в воды химических загрязнителей, разнообразие этих веществ и их токсичность для экосистем возрастают по мере развития научно-технического прогресса. Известны тысячи отдельных веществ, чужеродных для водоемов. Система постоянного мониторинга разработана лишь для наиболее опасных, например, стойкие органические загрязнители (СОЗ) и тяжелые металлы (ТМ). При этом ряд веществ, хотя и относятся к основным загрязнителям вод, но их контролю уделено недостаточно внимания. Существует пробел в понимании их поведения в водоемах, токсического воздействия и в системе их аналитического определения. К таким веществам относят синтетические поверхностью-активные вещества (СПАВ). В докладе будут рассмотрены проблемы загрязнения водоемов разного типа токсикантами указанных классов на примере полихлорированных бифенилов (ПХБ), Fe, Cu, Zn, Mn, Ti, Pb и алкилбензолсульфонатов натрия (АБСН). Общей чертой для этих веществ являются токсичность и способность вызывать окислительный стресс.

Загрязнение водных экосистем ПХБ в связи с запретом производства в настоящее время более связано с атмосферным переносом. Несмотря на частую низкие концентрации в воде токсичность их очень высока. Существует множество подходов анализа ПХБ, которые продолжают совершенствоваться [1]. Также совершенствуются имеющиеся методы анализа ТМ [2], что позволяет активно применять их для оценки содержаний даже на низком уровне концентраций. Например, в поверхностной воде оз. Байкал концентрация ПХБ ≤ 0.0072 мкг/л [3]. В донных осадках их содержание ≤ 0.0040 нг/г сухой массы [4]. За счет биоконцентрирования (коэффициент $BCF \sim 10^7$) содержание ПХБ в жире байкальского тюленя *Phoca sibirica* достигает 25.0 мкг/г жира [4].

Степень биоконцентрирования ТМ ниже, чем для ПХБ (BCF для байкальской губки 10^2 – 10^4). Так, в прибрежной воде озера Байкал ($n=20$) концентрации Fe, Cu, Zn и Mn достигают 20, 11, 0.7 и 2.1 мкг/л соответственно [5], а их содержание в губке *Lubomirskia baikalensis* достигает 7900, 1000, 360 и 1300 мкг/г сухой массы [результаты этой работы]. В то время как ПХБ и АСПАВ являются типичными ксенобиотиками, то некоторые ТМ (Mn, Fe, Co, Mo, Cu, Zn и др.) могут быть и биогенными элементами. Существует пробел в понимании экологической роли ТМ, участвующих в Red-Ox процессах живой клетки. Какой уровень ТМ считать нормой и какой – загрязнением? В докладе будут рассмотрены вопросы интерпретации данных содержания ТМ в гидробионтах и представлены первые результаты [4] их анализа в белках *L. baikalensis*. Координация Cu (до 72%) и Zn (до 56%) с глобулинами здоровой губки и снижение их содержания для больных губок свидетельствует об их важной

экологической роли и об их участии в составе медно-цинковых супероксиддисмутаз (Cu/Zn-СОД), обладающих антиоксидантными свойствами [результаты этой работы].

Алкилбензолсульфонаты натрия являются анионными СПАВ и согласно Программе ООН по окружающей среде отнесены к веществам опасным для водных экосистем. Эти поллютанты устойчивы в пресноводных олиготрофных водоемах с низкими температурой воды, минерализацией и численностью микроорганизмов, способных биодеградировать эти вещества. Их способность к биоконцентрированию ниже, чем у ПХБ и ТМ, но они способны вызывать острую токсичность. Так, в экспериментах *in vivo* и *in vitro* в приближенных к естественным условиям нами показано, что АБСН вызывают оксилительный стресс губок и водорослей при их концентрации в воде 10 мкг/л, а при 20 мкг/л оказывают острую токсичность с гибелю 100% клеток за 36–48 часов [6].

Отсутствие методов контроля АБСН в природных водоемах во многом обусловленное дифильностью их молекул, является существенной проблемой и АБСН определяются совместно с прочими АСПАВ (сумма АСПАВ) методами спектрофотометри и флуориметрии. Нами предложены подходы к анализу АБСН как отдельного класса АСПАВ с применением методов твердофазной экстракции (ТФЭ), очистки экстрактов на прямых и обращенно-фазных сорбентах, тонкослойной хроматографии (ТХ), реэкстракции с метиленовым синим, метилирования триметилортогоформиатом. Впервые предложен анализ АБСН методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с УФ-детектированием в форме их метиловых эфиров, что обеспечивает высокую чувствительность (ПО 16 нг/л) и отличается от метода ГХ-МС более широким диапазоном линейности (0.008–1.0 мкг на инжекцию). Извлечение анализов из образца ≥98% [7 ; 8, данные в печати]. Методика опробована при анализе АБСН в глубинной воде озера Байкал, в воде р. Крестовка (приток южного Байкала), и в снеговой воде, отобранный со льда р. Крестовка (C_{ABCN} от 0.24 ± 0.02 до 31.1 ± 1.0 мкг/л) [7 ; 8, данные настоящего исследования]. Исследование предполагает дальнейшее развитие и внедрение предложенных методов в систему экологического мониторинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 0279-2021-0005 и гранта № 075-15-2021-0005.

Список литературы

1. Chervonnaya T. A., Musorina T. N., Temerdashev Z. A., et al. GC-MS determination of polychlorinated biphenyls in water using extractive freezing-out of analytes // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2024. Vol. 90, no. 5. P. 20–26. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2024-90-5-20-26>.
2. Pashkova G. V., Nikonova A. A., Dylgerova S. D., et al. Applicability of total reflection x-ray fluorescence for heavy metal analysis in Lake Baikal sponges // X-Ray Spectrometry. 2023. P. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.3396>.
3. Gorshkov A. G., Kustova O. V., Izosimova O. N., et al. POPs monitoring system in Lake Baikal – impact of time or the first need? // Limnology and Freshwater Biology. 2018. No. 1, P. 43–48. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-43>.
4. Nikonova A. A., Gorshkov A. G. Rapid chromatography for the determination of polychlorinated biphenyls by GC-MS in environmental monitoring // Analytical Letters. 2011. Vol. 44, iss. 7. P. 1290–1300. <https://doi.org/10.1080/00032719.2010.546024>.
5. Yakhnenko A., Zinicovscaia I. N., Yushin N., et al. Endemic sponge *Lubomirskia baicalensis* as a bioindicator of chemical elements pollution in Lake Baikal // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 182. Art. no. 114025. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114025>.
6. Nikonova A. A., Mizandrontsev I. B., Bazhenov B. N., et al. Toxic effect of anionic surfactants on freshwater sponge *Lubomirskia baicalensis* and its endosymbiotic microalgae *Chlorella* sp. // Diversity. 2023. Vol. 15, iss. 1. Art. no. 77. <https://doi.org/10.3390/d15010077>.

7. Nikonova A. A., Proidakov A. G., Rokhin A.V., et al. Efficient and green esterification approach for determining of sodium alkylbenzenesulfonates in dry extracts // *Talanta Open*. Vol. 8. Art. no. 100238. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2023.100238>.
8. Никонова А. А., Рохина Е. Ф., Глызина О. Ю. и др. Тонкослойная хроматография метилированных производных алкилбензолсульфонатов натрия в анализе воды методом ГХ-МС // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24, № 2, С. 268–280. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12132>.

Химико-экологическая характеристика малых рек и водно-болотных угодий Амурской области

Пакусина А. П.*, Таскаева А. И., Гуленова Т. В.

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет

Chemical and ecological characteristics of small rivers and wetlands of the Amur region

Pakusina A. P.*, Taskaeva A. I., Gulenova T. V.

Far Eastern State Agrarian University

✉ pakusina.a@yandex.ru

Ключевые слова: малые реки, водно-болотные угодья, тяжелые металлы, загрязняющие вещества, добыча золота

Амурская область обладает значительными запасами водных ресурсов. Здесь расположено более 2,5 тыс. малых рек, около 19 % всей территории области занимают водно-болотные угодья. На севере области на экологическое состояние малых рек оказывают огромную нагрузку золотодобывающие предприятия, а на юге области развито сельское хозяйство, развивается транспортная инфраструктура, строятся промышленные объекты, в том числе по переработке нефти и газа. Болота имеют важное значение: в них аккумулируется углерод и углекислый газ; в болотах сосредоточен огромный запас пресной воды. Учитывая пограничный характер значительного участка поймы среднего Амура, обеспечение и сохранение биотического баланса пойменных экосистем являются важными факторами экологической безопасности страны на её рубежах. Водно-болотные экосистемы эффективно исполняют роль буферов на путях трансграничных загрязнений водной и воздушной среды и распространения опасных заболеваний культурных растений и животных. Водно-болотные угодья являются местом обитания редких видов растений, животных и птиц. Поэтому вопросы сохранения водно-болотных экосистем являются актуальными.

На севере Амурской области в результате деятельности артелей и золотодобывающих предприятий происходит деградация малых рек, сокращается биоразнообразие. В зоне добычи россыпного золота в воде малых рек обнаружены высокие концентрации загрязняющих веществ, в том числе ртути, кадмия и свинца [1]. Среди причин такого высокого содержания токсичных элементов в воде ведущая роль принадлежит золотодобытчикам, поскольку сопутствующими породами с золотоносной рудой являются минералы, в состав которых входят соединения свинца, мышьяка. Ртуть в окружающей среде может присутствовать из-за амальгамного способа добычи золота, который в настоещее время запрещен. При добыче золота увеличивается мутность рек [2]. Отмечено изменение гидрохимического и гидрологического режимов рек, загрязнение почв при значительных площадях разрабатываемых месторождений полезных ископаемых в бассейне рек [3].

За сезон 2020 года было установлено более 30 фактов превышения содержания взвешенных веществ в малых реках и ручьях в ходе деятельности артелей и золотодобывающих организаций в Амурской области. Например, в реке Уруша Сковородинского района фоновое содержание взвешенных веществ составило $4,1 \pm 0,6$ мг/л, а контрольное значение – $336,0 \pm 26,1$ мг/л. Были зафиксированы высокие содержания нефтепродуктов в воде малых рек, где велась золотодобыча. В результате использования тяжёлой техники топливо попадало в воду малых рек, содержание нефтепродуктов превышало рыбохозяйственный норматив (0,05 мг/л). Например, в р. Кутыкан Тындинского района фоновое содержание нефтепродуктов составило $0,042 \pm 0,012$ мг/л, контрольное значение – $0,180 \pm 0,050$ мг/л. Особое беспокойство вызывает то, что золотоносные реки протекают по мало освоенным территориям Амурской области с плотностью населения 0,2 человека на 1 кв. км, однако, эти реки испытывают прессинг со стороны добывающих золото предприятий.

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду и сохранения её биологического разнообразия золотодобывающие предприятия должны проводить рекультивацию нарушенных земель, восстановить растительный покров на нарушенной территории, провести работу по восстановлению рыбных ресурсов.

Сельскохозяйственная деятельность человека на юге Амурской области повлекла за собой трансформацию природных ландшафтов. Применение гербицидов в сельском хозяйстве явилось причиной увеличения токсичных элементов в почве. При наводнениях происходил вынос загрязняющих веществ из поверхностных слоёв почв в воду малых рек и водно-болотных угодий [4]. В результате токсичные вещества накапливались в различных компонентах водной экосистемы. Так, в воде пойменных озёр и водно-болотных угодий Амурского государственного заказника в 2023 г. концентрация меди варьировала от $4,2 \pm 0,4$ мкг/л до $30,5 \pm 3,1$ мкг/л, цинка – от $34,6 \pm 3,4$ мкг/л до $44,1 \pm 4,4$ мкг/л, свинца – от $3,4 \pm 0,4$ мкг/л до $20,1$ мкг/л, что значительно превышает рыбохозяйственные нормативы. Так же были отмечены высокие содержания ртути, которые достигали $0,0132$ мг/л. В 80-е годы прошлого столетия аграрии использовали ртутьсодержащий гербицид гранозан, применение которого в настоящее время не допускается. Тяжелые металлы накапливаются в рыбе, например, в ротане (*Percottus gleni*) содержание кадмия достигало $0,25 \pm 0,02$ мг/кг, мышьяка – $1,06 \pm 0,11$ мг/кг, свинца – $1,59 \pm 0,16$ мг/кг. Это создаёт опасность миграции тяжелых металлов по цепи питания в организме птиц, в том числе, редких и исчезающих видов журавлей, аистов, которые гнездятся и размножаются в Амурском заказнике.

Поэтому необходимо принимать меры по эффективному землепользованию, направленные на минимизацию влияния хозяйственной деятельности на водные объекты.

Список литературы

1. Пакусина А. П., Чупаченко О. Н., Гафаров Ю. М., Литвинцева Н. С., Платонова Т. П. Влияние добычи золота на экологическое состояние малых рек Зейского района Амурской области // Проблемы региональной экологии. 2023. № 1. С. 82-86. <https://www.doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-82-86>
2. Ушаков М В. Влияние добычи россыпного золота на мутность воды реки Колымы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 9. С. 316-325.
3. Абрамов Б. Н., Еремин О. В., Филенко Р. А., Цыренов Т. Г. Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья // Геосферные исследования. 2020. № 2. С. 64-67. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>
4. Makhinov A. N., Liu Shuguang, Dai C., Araruna J. T., Kim V. I., Makhinova A. F. Impact of large floods on water resources and infrastructure of urban areas in the Amur river Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666. Art. no. 032019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/3/032019>

Исследования микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб в районах отечественного рыболовства

Педченко А. П.^{1*}, Ульченко В. А.¹, Беляев П. С.¹, Рыбаков М. О.², Старовойтов А. Н.³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Москва, Россия

²Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО»), Мурманск, Россия

³Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

Research on microplastics in the gastrointestinal tract of fish in the areas of national fisheries

Pedchenko A. P.^{1*}, Ulchenko V. A.¹, Belyaev P. S.¹, Rybakov M. O.², Starovoitov A. N.³

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

²Polar Branch of VNIRO (PINRO), Murmansk, Russia

³Pacific Branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

✉ pedchenko@vniro.ru

*Ключевые слова: микропластик, пробы ЖКТ рыб, промысловые рыбы, моря Арктики, Северной
Пацифики, Азово-Черноморского бассейна*

Синтетические полимеры, в том числе пластик, вошли в нашу повседневную жизнь всего 60-70 лет назад – лёгкие и дешёвые материалы, с огромным спектром самых нужных свойств. Сегодня мелкие частицы пластика (микропластик, <5 мм) обнаруживаются повсюду. Пространственно-временные масштабы возможных последствий пластикового загрязнения оказываются примерно такими же, как и масштабы глобальных проблем изменения климата, оцениваются в планетарном охвате и на сотни лет.

Свойства частиц микропластика (МП) не только разнообразны и специфичны, но и изменяются со временем пребывания в морской среде, причём изменяются в зависимости как от внешних условий (и абиотических, и биотических), встречаемых каждой конкретной частицей, так и от её собственных свойств.

В конце 1960-х годов исследователи обратили внимание на присутствие пластика в пище морских обитателей. В результате исследований морских экосистем в конкретных регионах Мирового океана, частицы МП были обнаружены в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) ряда таксонов практически на всех трофических уровнях [5]. Вовлечение синтетических полимеров в пищевые цепи и разные аспекты жизни биоты увеличивается с каждым годом. Поглощение частиц микропластика морскими организмами различного трофического уровня может отказывать негативное как физиологическое (связанное, например, с закупоркой путей у фильтратов или кишечных трактов у рыб), так и потенциально токсикологическое воздействие, обусловленное выделением вредных добавок, химических соединений и/или токсинов, сорбированных на поверхности частиц пластика или адсорбированных с них.

Изучение встречаемости и накопления микропластика в ЖКТ рыб необходимы для оценки такого рода антропогенного воздействия на объекты отечественного промысла, и как следствие возможного влияния на качество рыбной продукции и ее пищевую безопасность, на что обратили внимание ряд исследователей в своих публикациях [4 ; 6 ; 9][и др.].

Исследования ВНИРО в морях российского сектора Арктики в 2019-2022 гг. не выявили локализаций микропластика и его содержание в поверхностном слое было значительно меньше по сравнению с другими районами Мирового океана [1]. При этом отмечено, что значительная часть фрагментов МП и волокна переносятся течениями в Арктический регион.

Факты эпизодической встречаемости фрагментов МП и волокон в ЖКТ некоторых особей промысловых рыб морей северной части Тихого океана (горбуша, сельдь, терпуг, окунь) были выявлены в ходе паразитологического анализа проб в 2018-2022 гг. [2]. МП и/или синтетические волокна были

обнаружены единичной только в 15 из 121 ЖКТ рыб, что составляет около 12% от обследованных особей из промысловых уловов. Этот показатель значительно ниже, чем у минтая в Беринговом море по оценкам [7].

Результаты этих исследований обусловили необходимость разработки методических указаний по обследованию рыб и взятию проб ЖКТ на наличие МП. В 2023 году было подготовлено обоснование целевых научных исследований ВНИРО для оценки загрязнения МП морских и пресноводных экосистем в районах отечественного рыболовства и выполнены первые масштабные сборы проб ЖКТ промысловых рыб в Северной Пацифике, Баренцевом, Азовском и Черном морях. Они обозначили переход ВНИРО от научно-поисковых наблюдений загрязнения МП к масштабным исследованиям его распределения и содержания в воде и ЖКТ рыб на акваториях ресурсных и международных съемок в окраинных и трансграничных морях.

Сбор проб ЖКТ рыб на загрязнение их МП выполняли из учетных уловов методом случайных выборок, согласно методическим указаниям ЦИ ФГБНУ «ВНИРО». При подготовке материалов использовали данные полного биологического анализа промысловых рыб из траловых уловов. Отбирали не менее 30 экземпляров одного вида рыб в районах их массовых скоплений (более 100 экз. за траление). Сборы проб ЖКТ проводили из разных тралов каждого укрупненного подрайона с целью получения равномерной выборки по всей акватории работ [2].

В 2023 году в ходе траловой съемки верхней эпи-пелагиали в районе к востоку от Курильских островов собрано 80 проб ЖКТ лососевых рыб (горбуша – 30, кета – 31, нерка – 19), в ходе экосистемной съемки в восточной части Баренцева моря собрано 297 проб ЖКТ пелагических рыб (сельдь – 167, мойва – 85, сайда – 45), в ходе траловых съемок в Черном и Азовском морях собрано 202 пробы ЖКТ промысловых рыб (мерланг – 50, шпрот – 40, сингиль – 10, сельдь – 12, тюлька – 30, хамса – 30, бычок – 30).

В 2024 году сбор проб был выполнен в весенний и летний периоды в морских и пресноводных водных объектах рыбохозяйственного значения. Соответственно, увеличились сборы репрезентативных проб ЖКТ пелагических рыб в Баренцевом море (мойва - 510, сельдь - 270, полярная треска -120), промысловых рыб в Охотском и Беринговом морях (окуня – 60, минтая – 270), промысловых рыб в Черном, Азовском морях (шпрот – 50, мерланг – 30).

Собранные пробы ЖКТ рыб обрабатываются. Щелочной гидролиз 10% раствором КОН, выделение частиц МП в каждом отдельном образце желудочно-кишечного тракта, оценка количественного содержания и их идентификация выполняется в лабораторных условиях по отработанным, общепринятым методикам аналогично [3].

Изучение, освоение и рациональное использование водных биологических ресурсов морей Арктического региона, Азово-Черноморского бассейна, Дальнего Востока и пресноводных водных объектов требует актуализированных сведений о состоянии и изменчивости экосистем, в результате воздействия на них природных и антропогенных факторов. Эти потребности будут возрастать по мере полномасштабного введения в эксплуатацию Северного морского пути, дальнейшего освоения ресурсов окраинных морей, развития аквакультуры и марикультуры, а также других крупных инфраструктурных проектов.

Важно отметить, что разнообразие пластмасс и связанных с ними химических веществ, производимых, используемых и выбрасываемых в окружающую среду во всем мире, привели к трансграничному загрязнению, которое оказывает неблагоприятное воздействие на морские экосистемы, усугубляя изменение климата и утрату биоразнообразия [8]. С учетом этого, проведение масштабных исследований ФГБНУ «ВНИРО» в окраинных морях и районах трансграничного рыболовства весьма актуально, поскольку в настоящее время нет достоверных данных о содержании МП в воде и накоплении его частиц в организмах водных биоресурсов. Сбор, обобщение и систематизация этой информации крайне необходимы для оценки воздействия загрязнения МП на экосистемы в условиях растущего производства пластмасс для предотвращения возможных экологических, социальных и экономических последствий.

Работы выполняются в рамках Государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» на проведение научного исследования по теме «Оценка загрязнения микропластиком морских и пресноводных экосистем в районах отечественного рыболовства» (номер реестровой записи государственной работы: 720000Ф.99.1.БН62АБ62000).

Список литературы

1. Колончин К. В., Педченко А. П., Беляев В. А. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыbach: от научного поиска к масштабному мониторингу // Труды ВНИРО. М. : Изд-во ВНИРО. 2023 г. Т. 193. С. 162-173. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-162-173>
2. Педченко А. П., Согрина А. В., Ведищева Е. В., Гордеев И. И., Старовойтов А. Н., Бомко С. П., Новокрещенных С. В., Кантаков Г. А., Беляев П. С. О встречаемости микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб Дальневосточных морей // Материалы II Международной научно-практической конференции "Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет Российской академии наук". Москва: ВНИРО. 2024. Т.1. С. 222-232.
3. Tropin N. Yu., Rakhmatullina S. N., Vorobiev E. D., Vorobiev D. S., Frank Yu. A. Microplastic Content in the Gastrointestinal Tract of Some Fish Species of Lake Kubenskoe (Vologda Oblast) // Inland Water Biology. 2024 Vol.17, no. 2. P. 336-344. <https://doi.org/10.1134/S1995082924020196>
4. Barboza L. G. A., Lopes C., Oliveira P. et al., Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 717. Art. no. 134625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>
5. Bellasi A., Binda G., Pozzi A. et al. Microplastic contamination in freshwater environments: A review, focusing on interactions with sediments and benthic organisms // Environments. 2020. Vol. 7, no. 4. Art. no. 30. <https://doi.org/10.3390/environments7040030>
6. Capone A., Petrillo M., Misic C. Ingestion and elimination of anthropogenic fibres and microplastic fragments by the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) of the NW Mediterranean Sea // Marine Biology. 2020. Vol. 167. Art. no. 166. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03779-7>
7. Ding J., Ju P., Ran Q., Li J., Jiang F., Cao W., Zhang J., Sun C. Elder fish means more microplastics? Alaska pollock microplastic story in the Bering Sea // Science Advances. 2023. Vol. 9, no. 27. Art. no. eadf5897. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf5897>
8. United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions (2023). Chemicals in plastics: a technical report. Geneva. ISBN: 978-92-807-4026-4. Available from: <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> [accessed Mar 30 2024].
9. Wang W., Ge J., Yu X., Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2000. Vol. 189. Art. no. 109913. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>

Изучение содержания микропластика в песчаных грунтах береговой зоны озера Сенная Курья (г. Томск) с привлечением гражданской науки

Реднин А. Р.^{1*}, Франк Ю. А.¹, Сотникова Ю. С.², Карпова Е. В.², Воробьев Д. С.¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия

**Investigation of the microplastic content in the beach sand of Lake Sennaya Kurya (Tomsk)
with the involvement of citizen science**

Redninkin A. R.^{1*}, Frank Y. A.¹, Sotnikova Y. S.², Karpova E. V.², Vorobiev D. S.¹

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of SB RAS, Novosibirsk, Russia

✉ alexredninkin@yandex.ru

*Ключевые слова: микропластик, пляжные пески, загрязнение, гражданская наука, научное
волонтёрство*

Берега рек и озёр являются популярным местом для отдыха населения. В ходе своей рекреационной деятельности человек может использовать различные пластиковые изделия, например, одноразовую посуду, упаковку. Оставленный в береговой зоне пластиковый мусор способен разлагаться под воздействием факторов окружающей среды на микрочастицы (< 5 мм), которые могут транспортироваться с береговых зон отдыха в водоёмы [1]. К источникам загрязнения береговой полосы микропластиком относят также и обратный процесс — перераспределение частиц в поймах рек в периоды повышения уровня воды [2].

В Томске одним из мест для отдыха горожан является берег озера Сенная Курья. Оно расположено на расстоянии менее 1 км от границы города в пойме реки Томь, имеет хорошую транспортную доступность и инфраструктуру для отдыха: пляж, спортивные и детские площадки, зоны для пикников. В связи с этим, данный участок имеет потенциальный риск микропластикового загрязнения. Целью исследования была оценка содержания крупного микропластика (1–5 мм по максимальной оси) в пляжных песках на берегу Сенной Курьи. Отбор проб проводили на пробных площадках в береговой полосе оз. Сенная Курья: (1) Т-8-22-U, верхняя площадка, 56°26'54.6"N 84°55'54.1"E; (2) Т-8-22-L, нижняя площадка 56°26'53.9"N 84°55'52.7"E в конце августа 2022 г. Для отбора проб пляжного песка использовали рамки из нержавеющей стали глубиной 5.0 см и площадью 22.5 x 22.5 см. Для каждого сайта последовательно просеивали песок с трех пробных площадок 0.063 м² (в общей сложности 0.1875 м²) через металлические сита с диаметром пор 5.0 мм и 1.0 мм. Частицы, похожие на микропластик, отбирали с сит пинцетом и помещали в стеклянную чашку Петри для последующего лабораторного анализа. Идентификация частиц методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье выполнена на базе партнерского института НИОХ СО РАН, г. Новосибирск — члена Консорциума организаций по исследованию микропластика в окружающей среде.

В ходе отбора проб были привлечены научные волонтёры из числа горожан в рамках проекта по популяризации науки «Гранит науки ТГУ», для которых актуальна чистота данного места отдыха и экологическое просвещение в целом. Научные волонтёры просеивали песок *in situ* для извлечения микропластика и выбирали потенциальные частицы пластика под контролем исследователей из центра исследования микропластика в окружающей среде НИ ТГУ для последующего изучения морфологии, полимерного состава и количественного учета в лабораторных условиях. Ранее уже был реализован проект по изучению содержания МП в водоёмах Архангельской области с привлечением 200 научных волонтёров из числа школьников, студентов и местных жителей, который показал эффективность данного подхода [3].

В общей сложности из песка береговой зоны оз. Сенная Курья (верхняя и нижняя площадки) волонтёрами извлечено 10 и 12 частиц, соответственно. Из них 9 частиц из нижней площадки являлись волокнами, остальные частицы в виде фрагментов. Однако по итогам спектроскопического анализа к пластиковым частицам не более 5 мм по наибольшей оси отнесена только одна частица полиэтилентерефталата (PET) из пробы T-8-22-U и две частицы (мочевино-формальдегидная смола и полипропилен (PP)) из пробы T-8-22-L; все они были представлены фрагментами нерегулярной формы и окрашены в яркие цвета: белый, голубой и зелёный. При этом одежда и инвентарь волонтёров не содержали предметов данных цветов или же были изготовлены из натуральных тканей, что говорит об отсутствии контаминации проб в результате их отбора.

Уровень загрязнения пляжных песков МП размерного диапазона от 1 до 5 мм составил 4–8 ед./м² или 80–160 ед./м³, что примерно соответствует 0,05–0,1 ед./кг грунта. Концентрации МП в песчаных грунтах береговой зоны оз. Сенная Курья оказались значимо ($p < 0,01$, U-критерий) ниже в сравнении с грунтами береговой полосы р. Обь вблизи дачных поселков [6], несмотря на интенсивную антропогенную нагрузку на озеро. Это может объясняться регулярной уборкой пляжа оз. Сенная Курья. Полученные значения концентраций МП схожи с ранее выявленным содержанием МП в песках пляжа Омега вблизи г. Севастополь на побережье Чёрного моря ($4,3 \pm 0,05 \dots 6,9 \pm 0,28$ ед./м²) [4]. Наши результаты значительно отличаются в меньшую сторону от показателей содержания МП в песках озера Верхнее на границе США и Канады, где его концентрация составляет 65 ед./кг грунта [5]. Однако разный размерный диапазон исследуемых частиц затрудняет сравнительный анализ уровня микропластикового загрязнения компонентов природной среды, в том числе и пляжных песков.

Таким образом, по итогам работы выявлено, что популярное место отдыха для жителей Томска на берегу оз. Сенная Курья имеет сравнительно низкий уровень загрязнения так называемым «крупным микропластиком» размерами 1–5 мм, несмотря на то, что в лентических водоёмах аккумуляция микрочастиц в прибрежных грунтах обычно более выражена. Относительно низкие концентрации МП в пляжных песках оз. Сенная Курья можно объяснить регулярной уборкой пляжа, а также наличием контейнеров для сбора мусора на прилегающей территории. В рамках отбора проб работа волонтёров ускорила процесс отбора проб и не привела к искажению результатов от контаминации проб вследствие учета МП довольно крупных размеров > 1 мм. Данный пример привлечения научных волонтеров подтверждает возможность применения гражданской науки для исследований МП в окружающей среде.

Исследование поддержано программой развития Томского государственного университета Приоритет-2030 и Государственным заданием НИОХ СО РАН. Привлечение научных волонтеров организовано в рамках проекта центра по популяризации науки «Гранит науки ТГУ».

Список литературы

1. Priya A. K., Jalil A. A., Dutta K. et al. Microplastics in the environment: Recent developments in characteristic, occurrence, identification and ecological risk // Chemosphere. 2022. Vol. 298. Art. no. 134161. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134161>.
2. van Emmerik T., Mellink Y., Hauk R., Waldschläger K., Schreyers L. Rivers as Plastic Reservoirs // Frontiers in Water. 2022. Vol. 3. Art. no. 786936. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>.
3. Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic) // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 173, part A. Art. no. 112955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112955>

4. Сибирцова Е. Н. Микропластиковое загрязнение грунтов пляжей г. Севастополя в летний период 2016–2017 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 1. С. 64–73. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-1-64-73>
5. Davidson B., Batista K., Samrah S., Mendoza L. M. R., Pujara N. Microplastic contamination of sediments across and within three beaches in western Lake Superior // Journal of Great Lakes Research. 2022. Vol. 48, iss. 6. P. 1563–1572. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.09.011>
6. Frank Y. A., Sotnikova Y. S., Tsygankov V. Y., Rednikin A. R., Donets M. M., Karpova E. V., Belanov M. A., Rakhmatullina S., Borovkova A. D., Polovyanenko D. N., et al. Pollution of Beach Sands of the Ob River (Western Siberia) with Microplastics and Persistent Organic Pollutants // Journal of Xenobiotics. 2024. Vol. 14, P. 989-1002. <https://doi.org/10.3390/jox14030055>

Муха *Drosophila melanogaster* как тест-модель для эколого-токсикологической оценки состояния озера Имандра

Смирнова М. В.^{1*}, Денисов Д. Б.²

¹Центр наноматериаловедения Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» РАН, лаборатория медицинских и биологических технологий (ЛМБТ ЦНМ ФИЦ КНЦ РАН), г. Апатиты, Россия

²Институт проблем промышленной экологии Севера Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» РАН (ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН), г. Апатиты, Россия

***Drosophila melanogaster* as a test model for ecological and toxicological assessment of the state of Lake Imandra**

Smirnova M. V.^{1*}, Denisov D. B.²

¹Laboratory of Medical and Biological Technologies, NRC Federal Research Centre Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences (KSC RAS), Apatity, Russia

²Institute of the North Industrial Ecology Problems, Federal Research Centre Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences (INEP KSC RAS), Apatity, Russia

✉ zbe3do4et@mail.ru

Ключевые слова: Север, биотестирование, биомониторинг, дрозофилы меланогастер, Имандра,
Мурманская область

Озеро Имандра - самое крупное озеро Мурманской области, расположенное на крайнем северо-западе Европейской территории России и состоит из трех плесов (Большая Имандра, Бабинская Имандра и Йокостровская (Экостровская Имандра) [1]. Оно уже долгое время подвергается нагрузке стоками предприятий и населенных пунктов, что не могло не отразиться на его экологическом состоянии, выражющимся в изменениях химического состава воды и донных отложений [2].

Дрозофилу меланогастер (*Drosophila melanogaster*) можно рассматривать не только как простую тест-модель из-за большого потомства, легкого содержания и отсутствия этических проблем, но и как несколько модельных организмов для решения различных задач токсикологии из-за стадий развития (яйцо, личинки (три возраста), куколка и имаго) [3]. Жизненный цикл дрозофилы занимает 10-11 суток при температуре 23-25 °C, влажности 40-45% и продолжительности освещения день/ночь 12 часов.

Данных по применению дрозофилы для экологического мониторинга водных источников недостаточно, поэтому эта работа является актуальной и для Мурманской области проводится впервые.

Таким образом, целью настоящего исследования было биотестирование воды с точек оз. Имандра с помощью *D. melanogaster*.

Для эксперимента брали воду с поверхности оз. Имандра плеса Экостровская Имандра с водозабора Кольской АЭС, г. Зашечная и плеса Бабинская Имандра г. Молочная, г. Уполокша и пролива Широкая Салма с помощью 2-литрового пластикового батометра [4]. Образцы воды хранили в темном месте при температуре 5-10 °C в пластиковых емкостях.

В работе использовали методику [5] с незначительной модификацией и окрашиванием кишечника личинок трипановым синим для выявления возможных повреждений клеток. Все пробы и контроль (дистилизированная вода) выполняли в трехкратной повторности. 5 самцов и 5 самок *D. melanogaster* линии D-32 возрастом от 2-3 суток перемещали в пробирки со стандартной питательной средой (с увеличенной долей дрожжей и сахара) с замешанной в ней подслащенной водой с пунктов сбора в пропорции 1:3 и оставляли на 3 суток для откладки яиц. Через 3 суток мух удаляли и наблюдали за личинками, пупариями и имаго. Оценивали состояние кишечника личинок 3 возраста, высоту расположения пупарии над средой (в мм) и соотношение полов по сравнению с контролем. За эксперимент была посчитана высота 945 куколок.

Статистическую обработку данных проводили в R Studio. Различия в выборках высоты пупариев определяли при $p \leq 0,05$ с использованием тестов ANOVA и Тьюки. Для сравнения соотношения полов использовали критерий Хи-квадрат.

В итоге проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Не обнаружено повреждений кишечника после окрашивания трипановым синим;
2. Замечена задержка прохождения первой и второй личиночной стадии примерно на 72 часа пробах воды по сравнению с контролем;
3. Различие по отношению к контролю в соотношении полов при сравнении критерием хи-квадрат показала пробы с г. Молочная;
4. По сравнению с контролем все опытные образцы показали достоверное понижение показателя высоты расположения куколок над средой.

Таким образом, вода с опытных станций оз. Имандря оказывает влияние на прохождение жизненного цикла дрозофилой, вызывая задержку прохождения стадий развития, достоверное понижение показателя высоты куколок по сравнению с контролем во всех пробах и изменение соотношения полов по сравнению с контролем в пробе с г. Молочная. Повреждений кишечника личинок отмечено не было. Дрозофилы показала себя чувствительной тест-системой, однако необходимо продолжение исследований с расширением параметров оценки.

Работа выполнена в рамках НИР № FMEZ-2022-0008 и № FMEZ-2023-0012.

Список литературы

1. Рихтер Г. Д. Физико-географический очерк озера Имандря и его бассейна. Ленинград : Государственное технико-теоретическое изд-во, 1934. 144 с.
2. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандря / ред. Т. И. Моисеенко. Москва : Наука, 2002. С. 24–32.
3. Chifiriuc M. C., Ratiu A. C., Popa M., Ecovoiu A. A. Drosophotoxicology: an emerging research area for assessing nanoparticles interaction with living organisms // International Journal of Molecular Science. 2016. Vol. 17, iss. 2. Art. no. 36 (14 p.). <https://doi.org/10.3390/ijms17020036>.
4. Сандимиров С. С. Влияние технического водоснабжения Кольской АЭС на содержание тяжелых металлов в озере Имандря // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №2 (82). С. 93–103. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2020.25.2.93-103>.
5. Азарова С. В., Язиков Е. Г., Ильинских Н. Н. Оценка экологической опасности отходов горнодобывающих предприятий Республики Хакасия с применением метода биотестирования // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307, № 4. С. 55–59.

Спектральная визуализация – перспективный метод мониторинга биомассы водорослей для биотехнологии и защиты окружающей среды

Соловченко А. Е.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Advanced spectral imaging as a promising approach to monitoring of algal biomass for environmental and biotechnological applications

Solovchenko A. E.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ solovchenkoae@my.msu.ru

*Ключевые слова: спектральные изображения, дистанционное зондирование, проксимальное
зондирование, хлорофилл, биомасса, повреждения, стресс*

Для решения задач экологического мониторинга (в т. ч. для борьбы с эвтрофикацией), как и для эффективной работы установок для промышленного выращивания микроводорослей необходим постоянный контроль накопления биомассы и состояния культуры. Для экспериментальных установок и небольших культивационных систем эту задачу можно решить традиционными лабораторными методами (например, гравиметрически). Однако в случае мониторинга больших культивационных систем и обширных морских экосистем эта цель достижима только с помощью неинвазивных методов, позволяющих оперативно охватывать количественным мониторингом большие территории. Яркими примером таких методов является спектральная визуализация (получение и анализ изображений) отражательных свойств поверхности водоемов и (или) промышленных культур. В настоящее время доступно несколько вариантов визуализации, использующих спутниковые, авиационные и беспилотные платформы, а также разные методы обработки изображений (анализ в терминах вегетационных индексов либо с привлечением алгоритмов машинного обучения).

Следует отметить, что спектральные методы, первоначально разработанные для дистанционного зондирования крупных водоемов на больших расстояниях (спутниковое и авиационное зондирование), в настоящее время все чаще используются для мониторинга фитопланктона в природных экосистемах и крупномасштабных культур микроводорослей в открытых водоемах и в закрытых фотобиореакторах. Подобно высокопроизводительному фенотипированию, которое в настоящее время занимает центральное место в физиологии растений, ускоренной селекции и точном земледелии, спектральная визуализация привлекает все большее внимание в биотехнологии микроводорослей и экомониторинге. Её мощь заключается в автоматизированном, быстром и неинвазивном сборе больших массивов данных и их оперативной обработке методами машинного обучения (ML). К преимуществам спектральной визуализации относятся доступность по цене, высокая информативность и техническая простота.

В докладе кратко представлены методы визуализации, используемые в настоящее время в исследованиях водорослей, при этом основное внимание уделяется спектральной визуализации. Представлены предпосылки и биофизические основы дистанционного зондирования сообществ и искусственных монокультур водорослей. Подробно рассматриваются методы извлечения смысловой информации из спектральных изображений для мониторинга накопления биомассы и целевых метаболитов, «цветения», состояния культур. Особое внимание былоделено современным приложениям машинного обучения для обработки изображений и спектральных данных, позволяющим получить полезную информацию о состоянии водорослей в природных экосистемах и искусственных культивационных системах..

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (гранты 21-74-20004, 23-44-00006).

Углеводороды в воде Северо-Крымского канала, Крым

Соловьёва О. В.*, Тихонова Е. А., Алёмова Т. Е., Мирзоева Н. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Hydrocarbons in water of the North Crimean Canal, Crimea

Soloveva O. V.*, Tikhonova E. A., Alyomova T. E., Mirzoeva N. Yu.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ kozl_ya_oly@mail.ru

Ключевые слова: алифатические углеводороды, н-алканы, вода, маркеры, Северо-Крымский канал, Крым

Северо-Крымский канал (СКК) — это гидротехническое сооружение, берущее начало из Каховского водохранилища и протекающий по территории Крымского полуострова. Канал является важным источником питьевого водоснабжения, а также используется для орошения сельскохозяйственных земель и наполнения рыбных ферм. Следует отметить, что последние 10 лет (с 2014 г. по 2023 г.) функционирование СКК не было стабильным. В марте 2022 г. днепровская вода спустя 8 лет ее отсутствия в СКК вновь стала поступать по руслу канала на территорию Крыма. 8 июня 2023 г. в результате разрушения дамбы на Каховской ГЭС подача воды по руслу СКК прекратилась. При этом хемоэкологические процессы в водной экосистеме СКК исследованы недостаточно. Поэтому изучение особенностей содержания и распределения углеводородов (УВ) в водной экосистеме СКК, в частности содержания нефтяных соединений, является актуальной задачей для обеспечения устойчивого развития и формирования водной экосистемы в канале, а также безопасного водопользования из СКК.

Целью настоящей работы было определение содержания (с оценкой безопасности), особенностей пространственного и сезонного распределения, а также потенциальных источников УВ в водах СКК.

Содержание алифатических углеводородов (АУВ) и состав н-алканов определяли на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом газовой хроматографии с использованием газового хроматографа Кристалл 5000.2 с пламенно-ионизационным детектором.

За период исследований (с марта по ноябрь 2023 г.) в магистральной части СКК содержание АУВ не превышало санитарных норм (0,05 мг/л). Их повышенные концентрации были отмечены в летне-осенний период в ответвлениях канала, и могли быть связаны с процессами в водах канала при их протекании по территории Крымского полуострова.

Состав н-алканов имел временную и пространственную изменчивость. В период с весны по осень содержание автохтонных соединений резко снизилось. Увеличилась доля аллохтонных соединений, что явилось, прежде всего, следствием природных процессов. В октябре в периферических участках канала отмечено распределение н-алканов, характерное для активного развития микросообществ.

Анализ биогеохимических маркеров показал, что в весенне-летний период преобладают автохтонные соединения, продуцируемые фитопланктоном. В дальнейшем они имели подчиненное значение, а основная доля приходилась на аллохтонные н-алканы.

Зафиксированное превышение концентраций АУВ над ПДК в водах периферических участков канала связано с процессами в толще воды и может происходить за счет поступления органических веществ извне. Влияние стока канала на прилегающие акватории было выраженным при отсутствии значительного загрязнения прибрежных вод органическими веществами. Если содержание АУВ в морской воде увеличивалось под влиянием других факторов, то влияние стока становилось менее значимым.

В конце лета концентрация углеводородов в морской воде Каркинитского залива была существенно выше, чем в водах канала, а состав н-алканов характеризовался сильным преобладанием

аллохтонных компонентов. Можно было предположить, что это явление связано не только с поступлением загрязняющих веществ из канала, но и с прямым поступлением АУВ в соленые воды из других источников. Одним из источников мог стать поступление воды в залив в результате разрушения Каховской ГЭС и дальнейшего вымывания органических веществ с затопленных территорий.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ «Роль оросительной системы Северо-Крымского канала в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводородов с днепровской водой на поливные сельхозугодья Крыма» № 23-26-00128 (<https://rscf.ru/project/23-26-00128/>).

Концентрирование ртути в морской взвеси прибрежной акватории Южного берега Крыма (Черное море) в марте 2024 г.

Стецюк А. П.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Kovalevskого РАН», Севастополь, Россия

Accumulation of mercury in marine suspended matter in coastal waters of Southern Coast of Crimea (Black Sea) in March 2024

Stetsiuk A. P.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ alex-ra-777@mail.ru

Ключевые слова: ртуть, морская взвесь, Южный берег Крыма, Чёрное море

Для решения проблем контроля экологического состояния прибрежной акватории ЮБК, необходимо изучение распределения и накопления ртути, представляющей опасность для морских экосистем. Часть ртути в морской воде связана со взвесью минерального и органического происхождения. Основным биогеохимическим механизмом самоочищения Чёрного моря от ртути является седиментационное самоочищение его вод взвешенным веществом [1].

В марте 2024 г., в морской воде прибрежной акватории Южного берега Крыма, концентрация растворённой формы ртути варьировала от 30 до 150 нг·л⁻¹, а взвешенной от 3 до 90 нг·л⁻¹. Общее содержание ртути варьировало от 35 до 240 нг·л⁻¹, превысив предельно-допустимую концентрацию (ПДК=100 нг·л⁻¹) лишь на двух станциях. Максимальная концентрация растворённой формы ртути составила значение 150 нг·л⁻¹, а взвешенной 90 нг·л⁻¹. Концентрирование ртути в морской взвеси, выраженное коэффициентом накопления (Кн), варьировало в диапазоне n·10⁴ до n·10⁷. При этом максимальное значение соответствовало максимальному значению удельной концентрации ртути во взвеси, равному 76389 нг·г⁻¹ и невысокой концентрации растворённой формы ртути в морской воде. Согласно построенному графику зависимости Кн от растворённой формы ртути, Кн снижался с увеличением концентрации ртути в воде, свидетельствуя о снижении концентрирующей способности морской взвеси с повышением загрязнения морской воды ртутью. Различия в накопительной способности морской взвеси на разных станциях можно объяснить как природными, так и антропогенными факторами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водообъемных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7), а также благодаря центру коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» (130-й рейс) ФИЦ ИнБЮМ.

Список литературы

1. Егоров В. Н., Поликарпов Г. Г., Светашева С. К. Загрязнение Черного моря ртутью с речным стоком и способность его вод к самоочищению в результате протекания биохимических циклов // Материалы Международной конференции «Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ». Севастополь, 1992. С. 61-62.

Современные уровни удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ и дозовые нагрузки от основных дозообразующих радионуклидов в реках дельты Меконга и Канзё (Юг Вьетнама)

**Терещенко Н. Н.^{1*}, Параксив А. А.¹, Сидоров И. Г.¹, Коротков А. А.¹, Нгуен Чонг Хиеп²,
Ву Тхи Минь Чау², Проскурнин В. Ю.¹**

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Южное Отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

Current levels of concentration activity of $^{239+240}\text{Pu}$ and dose commitments from the main dose-forming radionuclides in the rivers of the Mekong delta and Cangio (Southern Vietnam)

Tereshchenko N. N.^{1*}, Paraskiv A. A.¹, Sidorov I. G.¹, Korotkov A. A.¹, Nguyen Trong Hiep²,
Vu Thi Minh Chau², Proskurnin V. Yu.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²South Branch of the Joint Vietnamese-Russian Tropical Research and Technology Center, Ho Chi Minh City, Vietnam

✉ ntereshchenko@yandex.ru

Ключевые слова: удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$, реки дельты Меконга и Канзё, донные отложения, гидробионты, основные дозообразующие радионуклиды, дозовые нагрузки

В результате трансграничного переноса водным и атмосферным путём после ядерных испытаний в открытых средах и аварий на атомных объектах техногенные радионуклиды поступили практически во все водные экосистемы планеты. $^{239+240}\text{Pu}$ относятся к основным техногенным альфаизлучающим радиоизотопам и подлежат радиоэкологическому мониторингу. Рекогносцировочное исследование так называемого нулевого цикла, современных уровней удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в реках юга Вьетнама приобретает особое практическое значение в свете возможного возобновления развития атомной энергетики в стране в связи с растущими энергетическими потребностями развивающейся экономики. Поэтому целью наших исследований было изучение современных уровней удельной активности (Ауд) $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях, как основном депо плутония в водоёмах, а также гидробионтах (рыбах и креветках – представителях основных промысловых групп водных организмов) с последующей оценкой дозовых нагрузок и ожидаемых биологических эффектов для биоты от ионизирующего излучения $^{239+240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{210}Po – основных дозообразующих техногенных и природных радионуклидов.

Сбор материала проводили в 2021-2022 гг. на юге Вьетнама в реках Кагау и Лонгтау в буферной зоне биосферного заповедника Канзё и в низовье дельты Меконга в самом полноводном её рукаве – реке Хамлуонг и на одной станции в реке Тиен.

Установлено, что в реках дельты Меконга в поверхностном слое донных отложений Ауд $^{239+240}\text{Pu}$ составляла 5–28 мБк/кг, а р. Кагау – 119–147 и р. Лонгтау 28–110 мБк/кг. Отмечено уменьшение Ауд $^{239+240}\text{Pu}$ в устьевых участках рек по сравнению с ранее наблюдавшимися значениями в прилегающих морских акваториях. Оно происходило в следствие процессов самоочищения вод от плутония, включая разбавления его концентрации за счет активных гидрологических процессов в этих районах. На уровне Ауд $^{239+240}\text{Pu}$ влиял также гранулометрический состав осадков. В р. Кагау (иловые осадки) в верхнем 0–5 см слое донных отложений запас плутония ($5,8 \text{ Бк}/\text{м}^2$) был выше на 20 % по сравнению с таковым ($4,8 \text{ Бк}/\text{м}^2$) в р. Лонгтау (илы с примесью песка). В донных отложениях в р. Хамлуонг запас $^{239+240}\text{Pu}$ составлял 0,2–1,0, а р. Тиен – $0,5 \text{ Бк}/\text{м}^2$, где основным источником поступления техногенных радионуклидов служит их перенос с водами Восточного моря, а в реках Канзё, особенно в р. Кагау, источником служат также илы мангровых зарослей.

Уровни Ауд $^{239+240}\text{Pu}$ в исследованных гидробионтах (рыбы, креветки) были низкие и изменялись от $<0,1$ до $1,7$ мБк/кг. У креветок, превалирующее количество $^{239+240}\text{Pu}$ накапливается во внешних покровах раков, самые низкие Ауд $^{239+240}\text{Pu}$ отмечены в тушках рыб. Оценка дозовых нагрузок от альфа-излучения $^{239+240}\text{Pu}$ показала, что максимальные мощности эквивалентных доз составляли для позвоночных животных (рыбы) – $0,24$ мкГр/год = 7×10^{-7} мГр/сут и для беспозвоночных (креветки) – $8,9$ мкГр/год = $2,4 \times 10^{-5}$ мГр/сут. Полученные величины дозовых нагрузок, значительно ниже установленных предельно допустимых уровней (1 мГр/сут для позвоночных животных и 10 мГр/сут для беспозвоночных животных или с учётом коэффициента запаса (10) при скрининговой оценке, соответственно 0,1 и 1 мГр/сут). Это свидетельствует о безопасной радиационной ситуации в исследованных реках в отношении $^{239+240}\text{Pu}$. Расчёт дозовых нагрузок от основных дозообразующих техногенных ($^{239+240}\text{Pu}, ^{137}\text{Cs}$) и природных ($^{40}\text{K}, ^{210}\text{Po}$) радионуклидов показал, что для рыб основной вклад (порядка 99%) вносили природные радионуклиды: ^{40}K и ^{210}Po . Процентная доля техногенных радионуклидов ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ достигала всего лишь 1,06 %. Для креветок соотношение вкладов отдельных радионуклидов было несколько другим, но превалирующий вклад в дозовую нагрузку вносили: ^{210}Po (93,47%) и ^{40}K (6,19 %). Вклад ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ был ниже 1 %. Следовательно, индивидуальный вклад радионуклидов в суммарную дозовую нагрузку зависел от уровня организации гидробионтов и определялся преимущественно природными радионуклидами.

Для оценки ожидаемого биологического действия дозовых нагрузок на гидробионты использовали Концептуальную модель Г.Г. Поликарпова. Для $^{239+240}\text{Pu}$ ожидаемые биологические эффекты для рыб и креветок относились к Зоне неопределенности, для ^{40}K и ^{137}Cs – к Зоне радиационного благополучия, для ^{210}Po – к Зоне радиационного благополучия и Зоне физиологической маскировки, а суммарное воздействие от четырёх радионуклидов относилось к Зоне физиологической маскировки.

Таким образом, проведенные рекогносцировочные исследования позволили количественно охарактеризовать современные уровни удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях, как основном депо плутония в водных экосистемах и гидробионтах, а также оценить дозовые нагрузки и уровни ожидаемого хронического радиационного воздействия от $^{239+240}\text{Pu}$ в сравнении с таковыми для основных дозообразующих природных ($^{40}\text{K}, ^{210}\text{Po}$) и техногенного (^{137}Cs) радионуклидов. Полученные результаты свидетельствуют, что вклад техногенных радионуклидов в формирование техногенно модифицированного радиационного фона и дозовых нагрузок на гидробионты незначителен и определяется в превалирующей степени природными радионуклидами, что позволяет рекомендовать данные районы как фоновые при исследовании радиоэкологического состояния акваторий в отношении техногенных радионуклидов.

Работа выполнена по теме гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азовско-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7) и по теме НИР Эколан Э-3.4 «Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия» Совместного Вьетнамско-Российского Тропического научно-исследовательского и технологического центра.

Распределение органических веществ в донных отложениях крымского и кавказского побережий (по данным 113-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)

Ткаченко Ю. С.*, Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Алемов С. В.

ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Российская Федерация

**Distribution of organic matter in the bottom sediments of the Crimean and Caucasian coasts
(according to the data of the 113th cruise of the research vessel “Professor Vodyanitsky”)**

Tkachenko Yu. S.*, Tikhonova E. A., Burdiyan N. V., Alemov S. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ yulechkatkachenko.90@mail.ru

*Ключевые слова: прибрежная акватория, донные отложения, хлороформ-экстрагируемые
вещества, нефтяные углеводороды, Азовское море, Черное море*

Нефтяные углеводороды являются постоянными компонентами морской среды. В последние годы их концентрация значительно возросла из-за антропогенной деятельности [1], особенно в прибрежных районах, прилегающих к густонаселенным городским зонам. Прибрежная акватория является наиболее уязвимой в экологическом аспекте, поскольку здесь концентрируются загрязняющие вещества, попадающие как со стороны берега, так и со стороны моря. В этом отношении выделяются Черное и Азовское моря как морские регионы с наибольшим антропогенным воздействием в Европе [2].

При оценке качества водоемов особое внимание уделяется донным отложениям, поскольку в результате естественных процессов сорбции в них накапливаются многие загрязняющие вещества [3]. Под влиянием волновой и ветровой деятельности, а также биологического взмучивания моллюсками донные осадки становятся источником вторичного загрязнения вод [4].

Целью данной работы является изучение пространственно-временных особенностей накопления и распределения органических веществ, в том числе НУ, в донных отложениях прибрежных районов крымского и кавказского побережий по данным 113-го рейса НИС «Профессор Водяницкий».

Материалом для исследования послужили пробы донных отложений, отобранных летом 2020 г. вдоль крымского и кавказского побережья (Черное и Азовское моря). Донные осадки отбирали с помощью дночерпателя «Океан-50». Для анализа использовали верхний 5-сантиметровый слой. Концентрацию хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) определяли весовым методом, нефтяных углеводородов (НУ) – методом инфракрасной спектрометрии на спектрофотометре ФСМ-1201.

Отобранные в ходе 113-й экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» донные отложения в основном были представлены илистыми осадками с примесью ракушечника и песка, на некоторых станциях был отмечен слабый запах сероводорода. Согласно классификации [5], полученные в настоящем исследовании максимальные показатели, как для крымского, так и для кавказского побережья соответствуют уровню загрязнения III.

Максимальные зафиксированные концентрации ХЭВ, относящиеся к уровню загрязнения III, отмечены в донных отложениях акватории г. Севастополя ($225 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), у м. Тарханкут ($120 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), района Карадага ($120 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), южной части Азовского моря ($125 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) и г. Туапсе ($110 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). В 46 % всех проанализированных проб донные осадки (акваторий Каркинитского, Каламитского, Феодосийского заливов, Малореченска, оз. Донузлав, Ялты, предпроливной части Керченского пролива, Таганрогского залива (Азовское море), прибрежной части кавказского побережья) имели уровень загрязнения II со средним показателем ХЭВ $72 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ возд.-сух. в-ва. Остальные участки (31 %) можно охарактеризовать как условно чистые уровня I

(менее $50 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Это акватории м. Опук, мористой части м. Тарханкут, п. Мирного, б. Ласпи, Партенита и прибрежной части кавказского побережья. Следует отметить, что полученные данные о концентрации ХЭВ в донных отложениях кавказского побережья несколько ниже, чем у побережья Крыма.

Максимальные значения НУ, как и концентрации ХЭВ, зафиксированы в прибрежной акватории Севастополя ($59 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), м. Тарханкут ($43 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) и Карадага ($45 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). При входе в Керченский пролив на всех станциях концентрация НУ не превышала $18 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, что является характерным показателем для данной судоходной акватории. Минимальные количества НУ, близкие к следовым, отмечены в прибрежной акватории кавказского побережья. Таким образом, учитывая полученные данные по содержанию ХЭВ и НУ, а также физико-химические показатели донных отложений, можно резюмировать, что в 2020 г. донные осадки крымского и кавказского побережья Черного моря, а также азовоморского побережья обладали свойствами, типичными для морских грунтов исследованного региона. Это свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий. В целом уровень загрязнения донных отложений органическими веществами остался неизменным по сравнению с данными прошлых лет, в частности с данными 2016 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБиОМ по теме: «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы

1. Миронов О. А., Миронов О. Г. Современные данные по загрязнению прибрежной акватории Азово-Черноморского региона России нефтяными углеводородами // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 3. С. 77–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-77-85>
2. Tikhonova E. A., Kotelyanets E. A., Soloveva O. V. Sea Bottom Sediments Pollution of the Crimean Coast (The Black and Azov Seas) // Processes in GeoMedia – Volume 2 / Ed. T. Chaplina. Cham, Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2021. P. 199-211. (Ser.: Springer Geology). https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_23
3. Геннадиев А., Пиковский Ю., Tsibart A., Smirnova M. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1195-1209. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15100020>
4. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск : изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
5. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал. Т. 22, № 6. 1986. С. 76-78.

Загрязнение поверхностных вод и донных отложений бассейна Оби микропластиком

Франк Ю. А.*, Воробьев Е. Д., Рахматуллина С. Н., Воробьев Д. С.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Microplastics pollution of surface water and bottom sediments of the Ob basin

Frank Yu. A.*, Vorobiev E. D., Rakhmatullina S. N., Vorobiev D. S.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

✉ yulia.a.frank@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, река Обь, река Томь, вода, донные отложения, загрязнение

Растущее производство и потребление пластиковых материалов постепенно превращается в огромную экологическую проблему, связанную с повсеместным загрязнением морских и пресноводных экосистем [1 ; 2]. На сегодняшний день накоплено достаточно данных для признания микропластика (МП) от 1 мкм до 5 мм по наибольшей оси широко распространенным загрязнителем пресноводных экосистем. Загрязнение природных сред частицами МП представляет собой комплексную проблему с прямыми и отдаленными последствиями для природных систем и здоровья населения [3 ; 4]. Территория Сибири в целом и речная система Оби в частности крайне слабо изучены на предмет загрязнения микропластиком (МП) [1 ; 5]. При этом Обь является второй рекой по объему годового стока в Карское море и, следовательно, важным транспортным путем для поступления МП в Арктику. Получение новых данных об актуальных концентрациях и динамике содержания МП в поверхностных водах и донных отложениях в бассейне Оби важно для мировой науки.

В 2023 году проведено комплексное пространственное исследование уровня и характера загрязнения р. Обь микропластиком (МП), включая количественную оценку содержания частиц в поверхностных водах и донных отложениях. В основе плана работ лежал отбор проб в период летней межени в 14 точках от истока (место слияния Бии и Катуни) до устья ниже Салехарда, количественный и качественный анализ частиц в образцах. Также в 2021–2023 гг. выполнен мониторинг содержания МП в поверхностных водах крупного притока Оби, р. Томь для оценки сезонной и межгодовой динамики загрязнения.

Получены данные о фактических концентрациях МП в поверхностных водах и донных отложениях Оби. В июле 2023 г. в пробах воды и донных отложений р. Оби найдены разнообразные по морфологии частицы 150 – 5000 мкм. Содержание МП данного размерного диапазона в поверхностных водах р. Обь достигало на момент исследования в 2023 году 9.17 ± 4.5 ед./м³ в районе г. Салехард и 6.81 ± 6.81 мг/м³ в истоке реки, пос. Верх-Обский Алтайского края. В донных отложениях максимальные концентрации составили 78.5 ± 46.2 ед./кг в Новосибирской обл. и 12.3 ± 20.8 мг/кг в районе Салехарда. Концентрация МП в воде и донных отложениях реки достоверно не зависела от плотности населения в районах исследования, скорости течения и содержания органического вещества. По форме в р. Обь преобладали волокна МП, которые в разных точках отбора проб составляли до 89.8 % от суммы частиц в воде и до 100 % частиц в донных отложениях. В поверхностном слое воды, помимо волокон, фрагментов и сфер, были распространены микропленки, которые в самых северных точках составляли до 60 % от суммы частиц. Наиболее распространенной категорией МП по размеру в воде были частицы 300–1000 мкм, за ними следовали частицы размерных диапазонов 150–300 и 1000–2000 мкм. Более крупный МП в воде Оби встречался значительно реже. По результатам верификации результатов визуального учета частиц с применением микроскопии, совмещенной со спектроскопией комбинационного рассеяния (микро-Раман), пластиковая природа подтверждена для 94.3 % из частиц, извлеченных из воды и учтенных визуально, и для 100 % частиц из донных отложений р. Обь. Наиболее распространенным типом полимера в воде был PET.

В донных отложениях распределение полимеров носило характер: PSU > PET > PESU > PMP > другие пластики. Средняя плотность частиц в воде и в донных отложениях составила в среднем по всем исследованным точкам 1.17 и 1.25 г/см³, соответственно. Присутствие в поверхностном слое воды МП с плотностью выше 1 г/см³ может быть индикатором близкого расположения источника загрязнения.

За период наблюдений 2021–2023 гг. максимальные концентрации микропластика в воде р. Томь (приток Оби) составили 8.67 ± 4.8 ед. или, в единицах массы, 1.56 мг/м³. Общее содержание частиц в поверхностных водах реки не зависело от фазы гидрологического режима; межгодовые различия недостоверны. Установлено, что среднее общее содержание частиц МП в воде р. Томь в 2021–2023 гг. как в абсолютном выражении, так и по массе, достоверно не зависело от уровня воды. Только между содержанием МП в форме сфер и пленок (ед./м³) и уровнем воды выявлена достоверная корреляционная связь ($r_s > 0.6$). Масса пленок (мг/м³) также значимо зависела от уровня воды Томи ($p < 0.05$) с $r_s = 0.67$, тогда как масса сфер и МП в целом – нет.

Таким образом, показано, что бассейн Оби загрязнен МП, однако значимого накопления частиц в воде и донных отложениях по направлению от истока к устью главной реки не выявлено, как и годовой динамики в содержании МП в воде притока Оби, р. Томь. Уровень загрязнения речной системы, по имеющимся данным, остается постоянным в последние 3 года. Поступающий в Обь микроразмерный пластик не накапливается по направлению к устью, распределяясь между компонентами речной системы (вода, донные отложения, пойма, биота).

Работа выполнена в рамках Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.2.3.22 ОНГ «Детекция и идентификация микропластика в компонентах природной среды бассейна Оби», и проекта РНФ № 22-27-00720 «Распространение и аккумуляция микропластика в реках Сибири».

Список литературы

1. Rochman C. M., Hoellein T. The global odyssey of plastic pollution // Science. 2020. Vol. 368, iss. 6496. P. 1184-1185. <https://doi.org/10.1126/science.abc4428>
2. Wagner M., Scherer C., Alvarez-Muñoz D. et al. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know // Environmental Sciences Europe. 2014. Vol. 26. Art. no. 12. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
3. Windsor F. M., Durance I., Horton A. A., Thompson R. C., Tyler C. R., Ormerod S. J. A catchment-scale perspective of plastic pollution // Global Change Biology. 2019, Vol. 25, iss. 4. P. 1207-1221. <https://doi.org/10.1111/gcb.14572>
4. Bank M. S., Hansson S. V. The microplastic cycle: An introduction to a complex issue. In: Bank, M.S. (Ed.) Microplastic in the Environment: Pattern and Process. Environmental Contamination Remediation and Management, Springer, 2022. P. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78627-4_1
5. Frank Y., Ershova A., Batasheva S., Vorobiev E., Rakhatullina S., Vorobiev D., Fakhrullin R. Microplastics in freshwater: A focus on the Russian inland waters // Water. 2022, Vol. 14, iss. 23. Art. no. 3909. <https://doi.org/10.3390/w14233909>

Геохимическое взаимодействие макрофитов с водой и донными отложениями в заливах и устьях малых притоков Иваньковского водохранилища

Чекмарева Е. А.

Иваньковская научно-исследовательская станция, Институт водных проблем РАН, Конаково, Россия

**Geochemical interaction of macrophytes with water and bottom sediments
in bays and mouths of small tributaries of the Ivankovo Reservoir**

Chekmareva E. A.

Ivankovo Research Station, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Konakovo, Russia

✉ s_taya@list.ru

*Ключевые слова: геохимия, макрофиты, речные воды, донные отложения, заливы, малые притоки,
Иваньковское водохранилище*

Изучение геохимических особенностей миграции химических веществ в водной среде было направлено на оценку взаимодействия макрофитов с водой и донными отложениями заливов и приступьев малых притоков Иваньковского водохранилища.

Экспедиционные работы с отбором представительных образцов макрофитов, воды и донных отложений проводили летом 2021 года совместно с сотрудниками лаборатории высшей водной растительности ИБВВ им. Папанина РАН. В качестве объектов исследования были выбраны заливы с площадью зарастания свободно плавающими на поверхности воды гидрофитами и гелофитами (S_{Γ}) 1-й Бревновский (40.5 % S_{Γ}), Мошковичский (13.7 % S_{Γ}), Перетрусовский (19.9 % S_{Γ}), Технический (27.8 % S_{Γ}), Федоровский (33.9 % S_{Γ}), а также заливы у СНТ Волжанка, д. Ст. Мелково, п. Эммаус; устья малых притоков рр. Созь и Сосца, Донховка, Сучок, Терехова. В них были отмечены наиболее распространенные виды гидрофитов [1, 2]: эуидрофиты *Stratiotes aloides* (телорез), *Potamogeton lucens* L. (рдест блестящий); плейстогидрофиты *Trapa natans* L. s. l. (рогульник плавающий), *Nuphar lutea* (L.) Smith (кубышка желтая), *Nymphaea candida* J. et C Presl (кувшинка снежнобелая); аэрогидрофиты *Phragmites australis* (Cav.) Trin (тростник обыкновенный), *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla (камыш озерный), *Zizania latifolia* (Gresed.) Siapf (цицания широколистная), *Sagittaria sagittifolia* (стрелолист обыкновенный) и гигрогепофиты: гигрогелофит *Stachys palustris* L. (чащец болотный). Вышеперечисленные виды макрофитов были отобраны на анализ валовой формы тяжёлых металлов цинка (Zn), свинца (Pb), меди (Cu), хрома (Cr), марганца (Mn), кобальта (Co), никеля (Ni), кадмия (Cd).

Анализ содержания тяжёлых металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре AA-6800F (SHIMADZU, Япония) в аттестованной лаборатории ИвНИС ИВП РАН (аттестат аккредитации RA.RU.21АН36 от 21.11.2016 г) в 2022-2023 гг.

Анализ содержания тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cu, Cr, Mn) в воде и донных отложениях проводили с использованием коэффициента донной аккумуляции (КДА):

$$КДА = \frac{C_{DO}}{C_{вода}},$$

где C_{DO} – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг;

$C_{вода}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранный одновременно в этом же створе, мг/дм³.

Согласно распределению КДА по точкам отбора проб в заливах от верхней до устьевой части можно выделить места донной аккумуляции тяжёлых металлов. В Домкинском заливе КДА Cr (121.3 ед.), Mn (203 ед.) и Zn (1549 ед.) высокий в устьевой части залива, тогда как Cu (512 ед.) —

ближе к середине залива, после места слияния с Коровинским заливом. Коровинский залив выделяется среди других заливов Иваньковского водохранилища высокими показателями КДА по Cr (1150 ед.) и Zn (3725 ед.) в районе застройки (дд. Обухово, Коровино, Новое Завражье, с/п Дмитровогорское Конаковского р-на Тверской области) и стоков с сельскохозяйственных территорий, в том числе ГК «Агропромкомплектация». Перетрусовский залив, где КДА по Cr и Zn в верхней части залива в районе д. Перетрусово (с/п Первомайское Конаковского р-на Тверской области), вблизи впадения р. Каменка составили 580 и 575 ед. соответственно, отличается слабым водообменом и интенсивным зарастанием. КДА в Техническом заливе в верхней и устьевой части занимает наиболее высокие значения по Cr (выше 110 ед.) и Zn (в устьевой части в 1.8 раз, до 467 ед.), а Pb накапливается в верхней части (448.2 ед.). Марганец скапливается ближе к о. Клинцы (Перетрусовский залив) со значениями КДА 251.1 ед. (в 4 раза больше, чем в верхней части), выше 215 ед. КДА в 1-ом Бревновском заливе, а наиболее стабильно высокие значения КДА по Mn наблюдаются в Техническом заливе и составляют от 158.2 до 308.9 ед. В более мелких заливах высокие значения КДА по Cu от 180 до 340.6 ед. были рассчитаны для заливов у СНТ Волжанка и Ст. Мелково, а также устья р. Созь; КДА по Zn в заливе у Ст. Мелково - 505.3 ед.; КДА по Mn составил от 294.6 до 524.8 ед. в заливе у СНТ Волжанка и выше 300 ед. в устье р. Созь. В целом КДА варьируется по исследуемым заливам в диапазонах: 2-512 ед. Cu, 0-1150 ед. Cr, 34-1549 ед. Zn, 0-3725 ед. Pb, 19-525 ед. Mn.

Согласно данным содержания тяжёлых металлов в биомассе макрофитов без дифференциации видов были рассчитаны суммы накопления тяжёлых металлов ($\Sigma_{\text{тм}}$) для Cu, Pb, Zn, Cr, Mn, Co, Ni, Cd в килограммах на всю площадь зарастания для свободно плавающих на поверхности воды гидрофитов и гелофитов. Максимальное количество тяжёлых металлов в своей биомассе накапливают макрофиты Перетрусовского ($\Sigma_{\text{тм}}$ 586.51 кг), Домкинского ($\Sigma_{\text{тм}}$ 415.65 кг) и Федоровского ($\Sigma_{\text{тм}}$ 232.09 кг) заливов, что связано с большими площадями зарастания этих заливов высшей водной растительностью. Различия в содержании тяжёлых металлов по заливам Иваньковского водохранилища были представлены геохимическими ассоциациями (ГА). Так в Перетрусовском заливе ГА выглядит следующим образом: Mn_{495.3}-Zn_{49.4}-Pb_{11.4}-Cr_{8.9}-Cu_{8.8}-Ni_{8.1}-Co_{4.0}-Cd_{0.7}, в Домкинском заливе ГА: Mn_{351.0}-Zn_{35.0}-Pb_{8.1}-Cr_{6.3}-Cu_{6.2}-Ni_{5.7}-Co_{2.8}-Cd_{0.5}, в Федоровском заливе ГА: Mn_{196.0}-Zn_{19.6}-Pb_{4.5}-Cr_{3.5}-Cu_{3.5}-Ni_{3.2}-Co_{1.6}-Cd_{0.3}. При этом коэффициент корреляции между собой параметров биомассы, площади зарастания и суммы тяжёлых металлов (Cu, Pb, Zn, Cr, Mn, Co, Ni, Cd) равен 1, что свидетельствует о тесной связи между параметрами. Таким образом мы можем предположить, что зависимость количества накопленных тяжёлых металлов от зарастания и прироста биомассы связаны с депонирующей и ёмкостной способностью макрофитов накапливать тяжёлые металлы до порогового значения, после которого макрофиты перестают вовлекать тяжелые металлы в жизненный цикл и накапливать в организме, либо начинают деградировать и гибнуть. Такие свойства макрофитов свидетельствуют о наличие у них механизма саморегуляции при накоплении вредных веществ.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий» Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. Высшие водные растения Беларуси. Минск : БГУ, 2001. 230 с.
2. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды / сост. Войтов И. В., Кожевникова Р. К. Вып. 31. Минск : ОДО «Лорандж-2», 2001. 172 с.

Оценка загрязнения тяжелыми металлами морских прибрежных вод с помощью организмов: методические рекомендации

Чернова Е. Н.

ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

**Assessment of heavy metal pollution of marine coastal waters using organisms: methodological
recommendations**

Chernova E. N.

Pacific geographical Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

✉ elena@tigdvo.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, биомониторинг, оценка загрязнения среды

Массовые виды организмов – водорослей и двустворчатых моллюсков около полувека применяются для задач по мониторингу загрязнения водной среды химическими элементами. Их использование привлекало исследователей широким распространением в прибрежных водах, легкостью отбора, устойчивостью к загрязнению металлами, способностью аккумулировать химические элементы пропорционально среде с высоким коэффициентом накопления (КН) (до $10^4 - 10^6$). Кроме того – меньшей вероятностью загрязнить материал при соблюдении минимальных требований при отборе (в отличие от проб воды) при большем времени ожидания от отбора до попадания в лабораторию.

Для биомониторинга загрязнения водной среды металлами используются бурые, зеленые и красные водоросли, а также морские травы. Из беспозвоночных чаще используются прикрепленные двустворчатые моллюски: морские – семейства Ostreidae, Mytilidae, пресноводные – Cyrenidae, Unionidae.

Варианты подготовки проб организмов для определения в них химических элементов собраны и опубликованы в работах Гарсия-Сиони с коллегами [4].

Для долговременного или пространственного мониторинга производят сравнение концентраций металлов в контрольных образцах с эталонным (фоновым) в данном районе или в другой период. Для оценки загрязнения металлами организмов, используемых в пищу, существуют санитарно-гигиенические нормативы (ПДК) для четырех наиболее токсичных элементов. Однако они мало пригодны для оценки загрязнения элементами среды обитания. Для оценки среды необходимо знать систематические особенности накопления элемента биомонитором и биогеохимические особенности водного бассейна. И пока это не осуществлено в полной мере, в качестве эталонных величин использовались статистические величины выборки – среднее, среднее плюс его среднеквадратическое отклонение, мода, медиана, усеченное среднее, квартили (Q_3) и процентили (P_{85}).

Накопление данных по содержанию металлов в разных видах водорослей и морских трав, моллюсках, позволило нам рассчитать предельные величины их фоновых концентраций ($C_{\text{порог}} = \text{Медиана} + 2\text{МАО}$ (двойная медиана абсолютных отклонений от медианы)) в прибрежных водах Японского, Охотского, Белого морей [2]. Превышение этих величин дает основание считать местообитание загрязненным.

Однако если экспериментально и в природных условиях показано, что в широком диапазоне концентраций металлов в воде наблюдается прямая линейная зависимость содержания металла в организме от такового в среде, то в пределах фонового диапазона степень связи между концентрацией металла в организме и среде уменьшается и даже исчезает, из-за влияния других факторов, лимитирующих скорость роста и накопления [1 ; 3]. Это вызывает необходимость дать методические рекомендации к выполнению работ по оценке загрязнения среды металлами с помощью организмов, с учетом особенностей накопления металлов в фоновых условиях.

При полевом сборе материала необходимо обратить внимание на массовые виды макроводорослей и морских трав, для которых уже определены пороговые концентрации.

Если для организмов, обитающих в исследуемой акватории, отсутствуют величины $C_{\text{порог}}$, в качестве пороговых содержаний рекомендуется использовать значения третьего квартиля (Q_3) концентраций металлов из международной выборки макрофитов [5].

При выявлении в организмах-мониторах концентраций металлов выше пороговых значений для данного рода (вида) и конкретной акватории, их места обитания следует считать загрязненными данными элементами. Если биоиндикаторы накапливают контролируемые металлы в фоновом диапазоне, можно констатировать, что район отбора проб в исследуемый период не загрязнен изучаемым элементом.

Переход границы $C_{\text{порог}}$ в сторону уменьшения или увеличения концентрации металла в биомониторах одного из двух соседних пунктов наблюдений, или двух периодов отбора дают основание считать, что среда, из которой изъяты организмы-мониторы, изменилась в сторону улучшения состояния или его ухудшения (при наличии статистически достоверных различий между ними).

При периодических наблюдениях за изменением содержания металлов в пределах фоновых концентраций в организмах контрольного района, невозможно с большой определенностью утверждать, что это изменение концентрации элемента в организме связано с изменением его количества в среде, даже при наличии статистически достоверных различий. Эти различия могут быть связаны с другими лимитирующими факторами среды – изменением светового режима, биомассы литорали, концентрации биогенных и других элементов, усиливающих рост, или превысивших свой фоновый диапазон концентраций и конкурирующих с контролируемым металлом за места связывания.

При расчете коэффициентов накопления металлов организмами из воды и интерпретации этих данных следует помнить о том, что в фоновом диапазоне концентраций металла в воде и организме наблюдается максимальный и высокоизменчивый КН. За пределами фонового диапазона КН снижается и становится константной величиной, с помощью которой можно пересчитать известные концентрации металла в организме на его содержание в среде.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (№ АААА-А16-116111610032-5).

Список литературы

1. Чернова Е. Н. Принцип лимитирующих факторов применительно к накоплению металлов водорослями // Биота и среда природных территорий. 2023. Т. 11, № 1, С. 73-83. https://doi.org/10.25221/2782-1978_2023_1_4
2. Chernova, E. N. The Biogeochemical Background and Trace Metal Accumulation by Brown Algae of the Genus *Fucus* in Coastal Waters of the Sea of Japan, the Sea of Okhotsk, and the White Sea // Russian Journal of Marine Biology. 2016. Vol. 42, no. 1. P. 87-96. <https://doi.org/10.1134/S1063074016010053>
3. Chernova, E. N., Shulkin V. M. Concentrations of Metals in the Environment and in Algae: The Bioaccumulation Factor // Russian Journal of Marine Biology. 2019. Vol. 45, no. 3. P. 191-201. <https://doi.org/10.1134/S1063074019030027>
4. García-Seoane, R., Fernández J. A., Villares R., Aboal J.R. Use of macroalgae to biomonitor pollutants in coastal waters: Optimization of the methodology // Ecological Indicators. 2018. Vol. 84. P. 710-726. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.015>
5. Sánchez-Quiles D., Marbà N., Tovar-Sánchez A. Trace metal accumulation in marine macrophytes: Hotspots of coastal contamination worldwide // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 576. P. 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.144>

Оценка экологического состояния воды рек Хау и Меконг (дельта Меконга, Вьетнам) по содержанию микроэлементов

Чужикова О. Д.^{1*}, Проскурин В. Ю.¹, Нгуен Чонг Хиеп², Ву Тхи Минь Чау², Терещенко Н. Н.¹

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Южное отделение Российско-Вьетнамского Тропического исследовательского научного и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

The assessment of the ecological state of the water in the Hau and Mekong rivers (Mekong delta, Vietnam) by the content of microelements

Chuzhikova O. D.^{1*}, Proskurnin V. Yu.¹, Nguyen Chong Hiep², Vu Thi Minh Chau², Tereshchenko N. N.¹

¹The A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia

²South Branch of the Russian-Vietnamese Tropical Research Science and Technology Center,
Ho Chi Minh City, Vietnam

✉ chuzhikova@ibss-ras.ru

Ключевые слова: микроэлементы (металлы и металлоиды), качество вод, река Меконг, река Хау, Вьетнам

Реки во Вьетнаме имеют большое значение для экономики страны и для населения – это источники воды и пищи, а также важные транспортные артерии. Активная хозяйственная деятельность во Вьетнаме и в странах, расположенных выше по течению, ведёт к существенной антропогенной нагрузке на экосистемы рек, что в первую очередь вызвано поступлением большого количества техногенных веществ.

В 2023 году исследования проводились в верхней части дельты Меконга – вблизи границы с Камбоджей, где река разделена на два рукава – Хау и Меконг, между которыми имеются естественные и искусственные перетоки.

Целью работы было оценить экологическое состояние вод в реках Хау и Меконг, протекающих на территории Вьетнама, по содержанию в них микроэлементов (металлов и металлоидов), а также выявить влияние хозяйственной деятельности в регионе на изменение химического состава вод.

Пробы воды отбирали на 8 станциях – по 4 станции на каждой реке. Станции выбирались таким образом, чтобы располагались выше и ниже населённых пунктов: Тяудок и Лонгсюен на реке Хау и Хонгу и Каолань на реке Меконг. На каждой станции отбирали по 3 пробы поверхностной воды – по центру русла и у каждого берега, и придонную воду по центру русла. В воде определяли концентрацию растворенных лабильных форм пятнадцати микроэлементов (Be, Se, Sb, Tl, V, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Mo, Co, Fe As, Ag) в соответствии с РД 52.10.243-92. Измерения проводили в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 на масс-спектрометре с индуктивно связанный плазмой (ИСП-МС) Plasma Quant MS Elite (Analytik Jena AG) в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для оценки экологического состояния вод в реках Хау и Меконг проводилось сравнение полученных концентраций микроэлементов с нормативными значениями концентраций по «Голландским листам» [1] и по техническому регламенту Вьетнама для поверхностных вод для источников категории А1 (РВ_{пв}) [2].

Согласно полученным данным наблюдаемые концентрации микроэлементов не превышали РВ_{пв} для всех нормируемых элементов (Pb, Cu, Zn, Ni, As, Cd и Fe). Сравнение результатов с нормативными значениями концентраций по «Голландским листам» показало, что обнаружены превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) в реке Хау по меди (2.73 мкг/л) и цинку (38.38 мкг/л), а в реке Меконг – по меди (2.33 мкг/л) и кобальту (3.08 мкг/л). При этом средние концентрации данных элементов превысили предел безопасной концентрации (ПБК или ТВ [1]), а потому медь, цинк и кобальт следует отнести к критическим элементам в районах исследования. Кроме того в реке Хау ПБК был превышен и по серебру, что определяет его как потенциально критический элемент.

Анализ пространственного распределения концентрации микроэлементов в воде рек Хая и Меконг показал, что имеются зоны локального поступления антропогенных загрязняющих веществ вблизи крупных населённых пунктов. Например, повышенные концентрации меди (до 2.33 мкг/л), мышьяка (до 0.13 мкг/л) и кадмия (до 0.03 мкг/л) определены в воде реки Меконг ниже города Каолань (самая нижняя станция по течению в районе исследования), а в реке Хая более высокие концентрации в воде никеля (до 2.11 мкг/л), цинка (до 38.38 мкг/л), мышьяка (до 0.18 мкг/л), кадмия (до 0.05 мкг/л) и серебра (до 0.09 мкг/л) были обнаружены на крайних станциях вверх по течению – около города Тядок. Кроме того явно прослеживается тенденция, что максимальные концентрации микроэлементов чаще всего обнаруживались у одного из берегов на станции отбора проб, а по центру русла и на противоположном берегу были значительно ниже. Это подтверждает наличие локальных источников поступления микроэлементов в реки Хая и Меконг, вероятно связанных с хозяйственной деятельностью, влияние которых нивелируется за счёт разбавительной способности вод исследуемых рек и их высокой экологической ёмкости, что особенно характерно для влажного сезона с большим количеством осадков и полноводностью.

В некоторых случаях максимальные концентрации микроэлементов на станции были характерны для придонной воды, что может указывать на их ремобилизацию из донных отложений, как источник поступления микроэлементов в воду.

Сравнение результатов, полученных в районе исследования, с результатами, полученными в реке Хамлонг (рукав Меконга в нижней части дельты) [3], показало, что нет существенных различий в средних концентрациях микроэлементов в водах рек. Превышения ПДК встречаются в единичных случаях и приурочены к местам локальных источников поступления микроэлементов в реки, что вероятно является антропогенным фактором, но не оказывает существенного влияния на экологическое состояние рек в целом в силу процессов их самоочищения.

Исследование выполнено по теме НИР Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра «Эколан Э-3.4» и теме госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы

1. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001, RIZA report 2002.009. Lelystad, 2002. 77 p.
2. 14QCVN 08-MT:2015/BTNMT. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. National Technical Regulation on Surface Water Quality. HÀ NỘI, 2015. 13 tr. [Электронный ресурс] <http://sem.gov.vn/storage/documents/5d6f3ecb26484qcvn-08-mt2015btnmt.pdf>. (дата обращения: 29.04.2023) (Вьетнамский язык)
3. Терещенко Н. Н., Проскурин В. Ю., Чужикова-Проскурнина О. Д., Нгуен Чонг Хиеп, Сидоров И. Г. Мониторинговые исследования для оценки качества вод и биологических ресурсов по содержанию микроэлементов в реке Хамлонг (дельта Меконга, Вьетнам) // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023 : сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, 18–21 сентября 2023 г. Севастополь : СевГУ, 2023. С. 111-115.



Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

Biological resources, biotechnology
and aquaculture

Перспективы использования биоресурсов гиперсоленых вод в Крыму: ракообразные

Ануфриева Е. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Prospects for the use of bioresources of hypersaline waters in Crimea: crustaceans

Anufrieva E. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ lena_anufrieva@mail.ru

Ключевые слова: аквакультура, биоресурсы, гиперсоленые водоемы, ракообразные

Среди основных вызовов растущему человечеству одними из острейших являются недостаток пресной воды и продовольствия. Обеспечить население полноценным питанием без интенсивного развития аквакультуры невозможно. Однако развитие аквакультуры с использованием пресных вод уменьшает ресурс питьевой воды. Рост пресноводной аквакультуры обостряет проблему растущей потребности в пресной воде. Конфликты между пользователями пресной воды проявляются особенно остро в аридных регионах, в частности, таких как Крым. Одним из подходов к преодолению этого противоречия может служить заготовка биоресурсов и развитие аквакультуры в соленных и гиперсоленых водоемах с выращиванием солеустойчивых культур на прилегающих к ним засоленных почвах [1]. На Крымском полуострове имеется большое количество гиперсоленых водоемов, пригодных для заготовки биоресурсов и развития аквакультуры [2 ; 3]. Глобальные изменения климата и антропогенная активность ведут к росту солености во многих водоемах мира, в том числе и крымских. Гиперсоленые воды образуются также и при опреснении морской воды. В Крыму существует масштабный природный потенциал для заготовки биоресурсов и развития аквакультуры гиперсоленых вод. Имеется также и довольно широкий спектр перспективных для этого гидробионтов. В первую очередь – ряд видов ракообразных, массово развивающихся в гиперсоленых водоемах Крыма. Эти виды, как правило, не только галотolerантны, но способны развиваться, создавая высокую численность, в широком диапазоне температуры при значительных колебаниях концентрации кислорода [1 ; 4]. Эти виды можно не только заготавливать в природных водоемах, но и успешно культивировать. Среди них прежде всего следует выделить: 1. Четыре двуполых вида и партеногенетические популяции *Artemia* (*Anostraca*), которые отмечены в Крыму [5], и уже широко культивируются во многих странах, 2. *Moina salina* (*Cladocera*), вид культивируется в ряде стран, 3. *Palaemon adspersus* (*Decapoda*), вид культивируется в ряде стран, но при более низкой солености (до 30 г/л), хотя в водоемах Крыма эти креветки существуют при солености до 52 г/л, 4. *Arctodiaptomus salinus* (*Copepoda*, *Calanoida*), вид культивируется в некоторых странах, в Крыму встречается при солености до 300 г/л, 5. *Cletocamptus retrogressus* (*Copepoda*, *Narciticoidea*), самый галотolerантный вид, найден до солености 360 г/л, ряд близких видов культивируется, 6. *Gammarus aequicauda* (*Amphipoda*) – перспективный объект, что отмечается рядом ученых. Учитывая природные предпосылки, большие возможности и перспективы, следует начинать интенсивное развитие аквакультуры гиперсоленых вод в Крыму.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001.

Список литературы

1. Anufrieva E. V. How can saline and hypersaline lakes contribute to aquaculture development? A review // Journal of Oceanology and Limnology. 2018. Vol. 36, iss. 6. P. 2002–2009. <https://doi.org/10.1007/s00343-018-7306-3>

2. Курнаков Н. С., Кузнецов В. Г., Дзенс-Литовский А. И., Равич М. И. Соляные озёра Крыма. Москва ; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1936. 278 с.
3. Балушкина Е. В., Голубков С. М., Голубков М. С., Литвинчук Л. Ф., Шадрин Н. В. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем соленых озер Крыма // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70, № 6. С. 504–514. EDN: LJUYJL
4. Shadrin N., Yakovenko V., Anufriieva E. *Gammarus aequicauda* and *Moina salina* in the Crimean saline waters: New experimental and field data on their trophic relation // Aquaculture Research. 2020. Vol. 51, iss. 8. P. 3091-3099. <https://doi.org/10.1111/are.14643>
5. Lantushenko A., Meger Ya., Gadzhi A., Anufriieva E., Shadrin N. *Artemia* spp. (Crustacea, Anostraca) in Crimea: New Molecular Genetic Results and New Questions without Answers // Water. 2022. Vol. 14, iss. 17. Article no. 2617 (11 p.). <https://doi.org/10.3390/w14172617>

Новые возможности использования белков микробного синтеза в стартовых комбикормах для ценных видов рыб

Арнаутов М. В.¹, Артемов Р. В.¹, Гершунская В. В.^{1*}, Волынец А. В.²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

²Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»), Рыбное, Россия

New opportunities for methanotroph-based single cell protein in starter diets for fish species

Arnautov M. V.¹, Artemov R. V.¹, Gershunskaya V. V.^{1*}, Volynets A. V.²

¹Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography «VNIRO», Moscow, Russia

²Branch for the Freshwater Fisheries of VNIRO (VNIIPRKh), Rybnoe, Russia

✉ gershunskaya@vniro.ru

Ключевые слова: гаприн, комбикорма, молодь осетровых рыб, кета, рыбоводно-биологические показатели

Успешное развитие индустриальной аквакультуры во многом связано с применением полноценных комбикормов, специализированных для отдельных видов рыб и технологий выращивания. Традиционно основным источником протеина в кормах служила рыбная мука, но все увеличивающийся дефицит данного компонента привел к активному поиску альтернативных источников белка среди продуктов животного и растительного происхождения. В настоящее время все чаще ученые возвращаются к идеи использования в кормах для рыб продуктов микробиологического синтеза.

Научными исследованиями, проведенными в СССР в 70-е–90-е годы прошлого века было установлено, что гаприн (белок на основе биомассы метанокисляющих бактерий) является ценным кормовым компонентом и показана его высокая эффективность в составе стартовых кормов при выращивании карповых, сиговых и лососевых рыб [1]. Это связано с присутствием в составе гаприна веществ (незаменимых аминокислот, нуклеиновых кислот, низкомолекулярных пептидов, микроэлементов и витаминов группы В), которыми богата и естественная пища ранней молоди рыб – мелкий зоопланктон. В настоящее время интерес к промышленному производству микробиологического биопротеина возобновился не только в Российской Федерации, но и в общемировом масштабе. При этом отечественные производители имеют конкурентное преимущество благодаря наличию в стране значительных запасов природного газа. В нашей стране в последние годы сразу несколько научно-производственных коллективов («Гипробиосинтез», «Протелюкс», «Биопрактика» и ряд других) вновь взялись за масштабирование выпуска бактериального белка [2].

Во ВНИРО проведены комплексные исследования по включению белковых кормовых добавок на основе метанокисляющих бактерий в рецепты стартовых кормов.

Для выращивания молоди осетровых рыб разработаны рецептуры комбикормов с заменой от 20 до 50 % рыбной муки на бактериальный биопротеин. Образцы комбикормов производили методом экструдирования на полупромышленной линии Amandus Kahl (Германия), а рыбоводно-биологические испытания проводили на Конаковском заводе по осетроводству в условиях УЗВ на стерляди и разнообразных гибридах (ленский осетр × калуга; русский осетр × ленский осетр; амурский осетр × калуга; русский осетр × калуга; бестер). В частности, при выращивании гибрида ленский осетр × калуга рыб рассаживали в лотки размером 270×50 см, площадью 1,35 м², плотность посадки составляла 4500 шт./лоток. В течение 5,5 недель молодь осетровых рыб с начальной массой 48 мг кормили опытными кормами, контролем служил импортный корм Coppens. Среднее значение температуры воды составило 17,1 °C, содержание растворенного в воде кислорода было 9,1 мг О₂/л, что близко к оптимальным условиям. Скорость роста молоди осетровых рыб на опытных кормах составила 93,6 мг/сут, в то время как на контрольных она была 56,2 мг/сут. Средняя конечная масса молоди в опытной группе была 3,6 г, а контрольная группа смогла достичь навески

только 2,2 г. В опыте получена более высокая (58 %) выживаемость против 43 % в контроле и более низкие кормовые затраты (0,6 и 0,8 соответственно). В результате биологических испытаний выявлено, что применение белков микробного синтеза для частичной замены рыбной муки положительно влияет на выживаемость и ростовые показатели молоди. В настоящее время по разработанным рецептам стартовых комбикормов с гаприном в рамках промышленной апробации на Конаковском заводе по осетроводству с 2022 года выращено уже более 5 млн. штук молоди осетровых рыб.

При разработке стартовых кормов для тихоокеанских лососевых рыб проводили подбор белков микробного синтеза и различных кормовых компонентов для ввода в рецепты и изготовления экспериментальных партий комбикормов. В качестве тестируемых белковых компонентов в рецепты включали высокобелковую кормовую добавку, представляющую собой концентрат микробного белка из инактивированной культуры клеток *Methylococcus capsulatus* штамм ГБС-15, кормовой биопротеин из биомассы инактивированных микроорганизмов *Methylococcus capsulatus* штамм NCIMB-11132, сухой рыбный ферментолизат и гидролизные дрожжи. В зависимости от фракции, стартовые корма для тихоокеанских лососей отличались количеством этих компонентов (замена 16 % рыбной муки для фракций 0,2-0,4/ 0,4-0,6 и 10 % для третьей фракции 0,6-1,0). По разработанным рецептам выпущено более одной тонны экструдированных стартовых кормов. Для оценки эффективности кормов проведены их испытания при промышленной плотности посадки на молоди кеты (средняя начальная масса 300 мг) на лососевых рыбоводных заводах Сахалинского филиала ФГБУ «Главрыбвод». Согласно результатам исследований все опытные рецептуры показали высокий рыболовный эффект, однако лучший результат зафиксирован на кормах с включением белков микробиального синтеза: выживаемость молоди составила в среднем 98%, средняя масса в конце эксперимента – 850 мг, кормовые затраты не превышали 0,7.

Таким образом, проведенные промышленные испытания подтвердили эффективность частичной замены рыбной муки на белковые кормовые добавки на основе метанокисляющих бактерий в рецептах стартовых кормов для ценных видов рыб. Полученные результаты работ внедряются в производство в условиях современных комбикормовых заводов, что дает возможность обеспечить решение проблемы импортозамещения кормов для отечественной аквакультуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Разработка научно-обоснованных материалов к рекомендациям по технологическим параметрам и режимам изготовления экструдированных комбикормов на основе перспективных видов сырья для кормления объектов аквакультуры с учетом их видовой, возрастной специфики и технологий выращивания».

Список литературы

1. Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства / Под ред. И. Н. Остроумовой // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Выпуск 306. Ленинград, 1991. 163 с.
2. Безуглова В. Животных накормят бактериями, а бактерии – газом// Эксперт. 2021. № 14. С. 30-33.

Влияние температурного режима на различные стадии гонадного цикла приморского гребешка в условиях культивирования (СЗ Японского моря)

Гайко Л. А.^{1,2}

¹Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, Россия,

²Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

**Influence of temperature on various stages of the Japanese scallop gonad cycle
during cultivation (Northwest Sea of Japan)**

Gayko L. A.^{1,2}

¹V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Dalrybvtuz, Vladivostok, Russia

✉ gayko@yandex.ru

Ключевые слова: гаметогенез, гидрометеорологическая станция, залив Посытета, изменение климата, культивирование приморского гребешка, температура воды, температура воздуха, линейный тренд, хозяйство марикультуры

В плане мониторинга все большее значение приобретает изучение влияния абиотических факторов среды на жизненные циклы морских организмов, особенно в связи с глобальными изменениями климата на планете. В работе произведена оценка влияния температурного режима на различные стадии годового цикла развития приморского гребешка в условиях культивирования. Для оценки влияния абиотических факторов на моллюск необходим длительный ряд регулярных наблюдений как за средой обитания гребешка, так и за стадиями годового цикла развития моллюска. Выращивание приморского гребешка производилось на морской ферме «Экспериментальной морской базы Посытет» (ЭМБ «Посытет») в зал. Посытета, зал. Петра Великого, где выращивание гидробионтов производится экстенсивным методом (в естественной среде), поэтому находится в большой зависимости от факторов среды, особенно климатических. Температурный режим акватории освещает гидрометеорологическая станция (ГМС) Посытет, также расположенная на берегу зал. Посытета. Инструментальные наблюдения на станции ведутся с 1931 г. Для исследования влияния термических ресурсов климата на различные стадии годового цикла развития приморского гребешка была собрана, сопоставлена и проанализирована многолетняя серия среднесуточных данных наблюдений на ГМС Посытет (1960–2020 гг.) и ЭМБ «Посытет» (1970–2012 гг.). К сожалению, в связи с изменившейся политической ситуацией в стране в начале 90-х гг., наблюдения за жизнедеятельностью молоди гребешка на базе с 1991 по 1995 гг. не проводились, ряд был прерван. Но с середины 90-х гг. всё же сотрудники базы возобновили её деятельность, и уже в качестве ОАО «ТЕМП» база продолжала функционировать по 2012 г.

Ведение температурного мониторинга в прибрежной зоне зал. Петра Великого, проводимое автором более двадцати лет, позволяет отслеживать климатические изменения в рассматриваемом районе. При исследовании хода среднегодовой температуры на ГМС Посытет было отмечено, что в 1989 г. произошёл резкий скачкообразный рост температуры воды, и воздуха, после которого её колебания стали происходить уже на более высоком уровне, что было отмечено автором для всего побережья Приморья [1]. Таким образом, именно на конец 80-х годов прошлого века пришлось начать «волны потепления» в прибрежной зоне Приморского края, и именно на этот же период пришёлся перерыв в наблюдениях на ЭМБ «Посытет», разделивший данные наблюдений за молодью гребешка на два временных интервала: 1970–1990 и 1996–2012 гг. Стоит отметить, что, во-первых, эти интервалы находятся на рубеже веков, во-вторых, как раз между ними произошёл переход температуры на более высокий уровень.

Муссонный климат умеренных широт, к которому относится и климат Приморского края, характеризуется четко выраженной сезонностью. В прибрежной зоне годовой ход температуры воды и воздуха имеют один минимум (в январе) и один максимум (в августе). За период исследования среднегодовая температура воздуха на ГМС Посыт составила 6,4°C, воды – 9,1°C; среднемесячная температура в январе: – воздуха -9,5°C, воды -1,6°C; в августе: 21,1° и 23,3°C соответственно. Исследуя динамику среднегодовых температур воды и воздуха с 1960 по 2020 гг. был выявлен положительный линейный тренд, значимый на 5%-ом уровне. При этом, следует отметить, что в 70-е годы, когда начали выращивать гребешок, в районе зал. Посыта наблюдался пониженный температурный фон, преобладали отрицательные аномалии температуры, а с 1989 по 2012 гг. – наблюдались практически только положительные аномалии. Вдоль побережья залива Посыта с 1960 по 2020 гг. температура воды выросла на 0,9°C, а воздуха на 1,4°C. Повышение температуры воды на ГМС Посыт в среднем происходит со скоростью 0,16°C/10 лет, а воздуха – 0,24°C/10 лет. Если проанализировать ход температуры воды и воздуха для самого тёплого и самого холодного месяцев, то её прирост для обоих сред в августе и для температуры воздуха в январе составляет 0,21–0,30°C/10 лет, а температуры воды в январе – всего 0,02°C/10 лет. Размах колебаний среднегодовой температуры воздуха за рассматриваемый период составил 2,8°C, а воды – 1,8°C.

Прибрежная зона моря, используемая для культивирования приморского гребешка, подвержена значительной изменчивости, поэтому факторы среды влияют на любой этап годового гонадного цикла моллюска. Температуру воды можно рассматривать как фактор, значение которого неизменно велико на любой стадии развития гребешка [2]. Для оценки влияния климатических изменений на гаметогенез выделены четыре периода, которые охватывают весь годовой цикл развития молоди гребешка от начала гаметогенеза до оседания спата: I период – преднерестовый; II период – планктонного развития (личиночный); III период – оседания личинок; IV период – начало гаметогенеза (от даты перехода осенью температуры воды через 14°C до даты перехода через 0°C) [3 ; 4]. Были вычислены длительности каждого периода (сут.), выявлены границы начала и окончания всех четырех периодов развития приморского гребешка как для всего ряда наблюдений в целом, так и отдельно для временных интервалов 1970–1990 и 1996–2012 гг. При сравнении продолжительности всех четырех периодов развития гребешка за отрезки времени 1970–1990 и 1996–2012 можно было отметить, что сама продолжительность изменилась в небольших пределах, но размах между максимальной и минимальной длительностью уменьшился, т.е. максимальные и минимальные границы периодов как бы сблизились. Отмечено, что чем длительнее преднерестовый период, тем короче периоды нереста и оседания. В то же время, чем короче период начальной стадии гаметогенеза (осенний), тем длиннее – завершающей (весенний). Вычислены среднепериодные температуры (°C), среднепериодные суммы температур ($\Sigma^{\circ}\text{C}$) для каждого периода от даты его начала до даты окончания.

Были построены графики длительности каждого из четырех периодов гаметогенеза: I, II, III и IV, за весь период наблюдений (1970–2012 гг.) и для анализа – графики хода температуры воды и воздуха соответствующего сопряженного периоду месяца (март, май, июнь и октябрь) за этот же период. Сравнение показало, что для I, II и III периодов гаметогенеза тренд не выявлен, но прослеживается тенденция к уменьшению их продолжительности, т.е. линия регрессии имеет отрицательный наклон, однако для личиночного (II) периода с 1970 по 1990 гг. была выявлена значимая на 5%-ом уровне тенденция сокращения периода. Продолжительность IV периода подвержена наименьшей изменчивости. В ходе температуры воды и воздуха за все 4 месяца линия регрессии имеет положительный наклон, но значимый положительный тренд для температуры воды выявлен только в октябре, а для температуры воздуха – в марте, июне и октябре. Средняя температура периодов изменилась незначительно. Верхняя граница экстремальных температур периодов осталась прежней, с разницей менее 1,0°C, за исключением I периода, где максимальное значение температуры снизилось на 1,5°C. Нижняя граница температуры для всех периодов повысилась. Сравнение среднепериодных температур показало, что температура I и II периодов для временного интервала 1996–2012 гг., по сравнению с 1970–1990 гг., имеет тенденцию к повышению, температура III периода (период оседания) выросла даже на 1,0°C, в то время как температура IV периода незначительно понизилась (на 0,1°C). Уменьшился размер стандартных отклонений, за исключением IV периода, приходящегося на осень.

Следовательно, в весенне-летний период температура становилась более стабильной, а осенью наоборот.

Таким образом, с 1960 по 2020 гг. вдоль побережья залива Посытета температура воды выросла на 0,9°C, а воздуха на 1,4°C, что свидетельствует об общем увеличении температурного фона в районе исследования. Прослеживается тенденция сокращения длительности I, II и III периодов, но тренд не выявлен. Продолжительность IV периода подвержена наименьшей изменчивости. Хотя сама продолжительность изменилась в небольших пределах, но максимальные и минимальные границы периодов как бы сблизились. Температурные характеристики периодов стали более стабильными.

В заключение можно выразить только глубокое сожаление, что база прекратила свою деятельность в самом начале глобальных климатических изменений, и прервался ряд наблюдений за годовым циклом развития приморского гребешка, выполнявшихся регулярно и по стандартным методикам.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН, 2024-2026 гг., «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений» № рег. 124022100079-4.

Список литературы

1. Гайко Л. А. Особенности температурного режима прибрежной зоны Приморского края на рубеже веков / Экологические исследования на Дальнем Востоке России: история и современность : монография / Под ред. В. Ю. Цыганкова, С. Б. Ярусовой. Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2023. С. 73–82.
<https://doi.org/10.24886/0685-5-73-82>
2. Касьянов В. Л., Крючкова Г. А., Куликова В. А., Медведева Л. А. Личинки морских двустворчатых моллюсков и иглокожих. М.: Наука, 1983. 216 с.
3. Викторовская Г. И. Методические рекомендации по оценке плодовитости и качества половых продуктов приморского гребешка. Владивосток: ТИНРО. 1989. 12 с.
4. Гайко Л. А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов. Владивосток: Дальнаука, 2006. 204 с.

Предпосылки к созданию и организация в Приморье первого в России хозяйства марикультуры и отработка биотехники по культивированию приморского гребешка (залив Посыета, залив Петра Великого, Японское море)

Гайко Л. А.^{1,2}

¹Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, Россия

²Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

**Prerequisites for the creation and organization in Primorye of the first marine farm in Russia
and the development of biotechnologies for the cultivation of the Japanese scallop (Possyet Bay,
Peter the Great Bay, Sea of Japan)**

Gayko L. A.^{1,2}

¹V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Dalrybvtuz, Vladivostok, Russia

✉ gayko@yandex.ru

*Ключевые слова: биотехнология полупромышленного культивирования, бухта Миноносок, залив
Посыета, история развития марикультуры, сетный коллектор, сетной садок, личинки,
марихозяйство, приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856), спам*

Приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856), который обитает у берегов Приморья, о. Сахалина, Курильских о-вов, у северных берегов Кореи и Японии, является ценным промысловым объектом. Промысел приморского гребешка имеет давнюю историю. Промышленная добыча моллюска в южном Приморье велась с 1919 г., но из-за его перелова в 1962 г. был введён запрет на промысел гребешка, и для воспроизводства гребешка началась разработка биологических основ его культивирования в условиях Приморья. История искусственного выращивания человеком различных видов водных биоресурсов (рыб, моллюсков, водорослей и пр.) восходит к глубокой древности: разведением устриц занимались в Римской империи более 2000 лет назад, в Японии – с VIII в. н. э. В той или иной степени, марикультурой занимается большинство прибрежных государств. Первые опыты по сбору личинок приморского гребешка на искусственные субстраты были проведены японцами в 1936 г. на оз. Сарома и в зал. Анива. Они показали принципиальную возможность культивирования гребешка путем сбора личинок; а с 1950-х годов японские рыболовецкие кооперативы начали промышленный сбор и выращивание молоди гребешка [1 ; 2].

История развития аквакультуры в Приморском крае началась с открытия в 1926 г. во Владивостоке Тихоокеанской научно-промышленной станции Дальрыбы, преобразованной в 1930 г. в Тихоокеанский научный институт рыбного хозяйства (ТИРХ). Наиболее перспективным видом для искусственного выращивания был выбран приморский гребешок, который обладает высоким темпом роста, достигая промысловых размеров уже на четвертом году жизни. В 1930 г. А. Я. Базикарова публикует данные о биологии и промысле приморского гребешка, и сю же была впервые высказана мысль о возможности искусственного разведения гребешка в отечественных водах [3]. С 60-х годов в Приморье начинаются работы по изучению биологии гребешка применительно к биотехнике его культивирования [4]. Для исследования был выбран расположенный в ЮЗ части залива Петра Великого залив Посыета, как один из наиболее изученных в биологическом и гидрологическом отношении районов, имеющий защищенные бухты и значительные скопления гребешка. К благоприятным предпосылкам для создания хозяйств марикультуры в регионе относится также высокая концентрация специалистов соответствующего профиля в НИИ и ВУЗах, которые способны обеспечить развитие этого направления. Научным обоснованием создания хозяйства послужили результаты работы в зал.

Посыета в 1962–1966 гг. экспедиции Зоологического института АН СССР и Тихоокеанского ИНРО МРХ СССР (ТИНРО), на основании которых был определён гидробиологический фон района и сформулированы основные предпосылки для проведения работ по искусственному разведению промысловых беспозвоночных [4]. На основании этих рекомендаций Приморрыбпромом совместно с ТИНРО в зал. Посыета в 1970 г. было создано первое в России опытно-промышленное морское хозяйство для полупромышленного культивирования приморского гребешка [5]. Одной из главных задач морского хозяйства являлась отработка биотехники выращивания промысловых беспозвоночных. В 1974 г. хозяйство было передано в Дальтехрыбпром и в дальнейшем получило окончательное название «Экспериментальная морская база Посыет» (ЭМБ «Посыет»).

Культивирование гребешка базируется на использовании естественной способности его пелагической личинки на определенной стадии развития прикрепляться к субстрату и некоторое время рости на нем, поэтому при культивировании необходимо иметь два участка: один для сбора личинок гребешка, другой для выращивания молоди до товарных размеров. Все операции от получения спата до товарной продукции на ЭМБ «Посыет» осуществлялись в естественных условиях в полу-закрытой бух. Минносок на плавучих (одна береговая и три морских) промышленных установках, представляющих собой систему основных и рабочих канатов. Технология культивирования гребешка в Приморском крае носит экстенсивный характер, т.е. разведение осуществляется в естественной среде по следующей схеме: - сбор планктонных личинок на коллекторы в море; - отсадка подросшей молоди с коллекторов в садки для подращивания; - товарное выращивание в садках или на грунте [5]. Использовались две основные биотехнологии культивирования гребешка: донное выращивание, после годичного содержания в садках, и подвесное – садковое, более производительное, но требующее больших трудовых затрат.

При организации мариохозяйства имеющихся гидрологических и гидробиологических исследований в зал. Посыета оказалось недостаточным, поэтому для разработки биотехники культивирования гребешка учёными ТИНРО и других НИИ и ВУЗов совместно с сотрудниками ЭМБ «Посыет» проводились более детальные исследования. Первоочередными задачами были следующие: - выяснение сроков нереста гребешка; - изучение развития и распределения его личинок в планктоне; - поиск районов для установки коллекторов; - уточнение глубины оседания личинок на коллекторы; - испытание материалов и конструкций коллекторов. Были получены многочисленные материалы по динамике численности, смертности, темпам роста личинок в планктоне и спата на коллекторах и в садках, о размерно-возрастной структуре популяций, закономерностях гаметогенеза, разработке биологических основ культивирования приморского гребешка, отработке биотехнологии; сравнивался рост гребешка в природных популяциях и выращиваемого в садках и т.п. На основании этих материалов были разработаны Инструкции по технологии подвесного культивирования приморского гребешка в садках и по технологии донного выращивания приморского гребешка после годичного подращивания в садках, которые были внедрены в производство первого в России мариохозяйства в зал. Посыета.

Одновременно продолжался поиск материалов для коллектора – устройства (субстрат), на которое оседают пелагические личинки. Коллекторы изготавливались из различных материалов (капрона, сизали, створок раковин и др.) [5]. В качестве субстратов с 1971 по 1975 гг. применялись раковинные коллекторы (по японскому образцу), а с 1975 г. – сетные. Были получены данные о степени интенсивности оседания личинок гребешка на коллекторы в различных слоях толщи воды. Для выращивания гребешка подвесным методом было разработано несколько конструкций садков. В середине 80-х гг. площадь подвесных плантаций в б. Минносок достигала 10 га. В 1978 г. расширился район культивирования моллюсков в заливе Петра Великого – при рыбозаводах «Славянка» и «Попов» были созданы экспериментальные участки. Общая площадь гребешковых плантаций этих участков в 1983 г. соответствовала 8 и 13 га.

В гидрологическое и гидробиологическое исследование района, в разработку биотехники культивирования гребешка большой вклад внесли учёными ТИНРО и других НИИ и ВУЗов совместно с сотрудниками ЭМБ «Посыет»: Белогрудов Е. А., Брегман Ю. Э., Бучанов В. П., Викторовская Г. И., Винокурова Т. Т., Скокленева Н. М., Габаев Д. Д., Григорьева Н. И., Золотова Л. А., Дзюба С. М., Жирмунский А. В., Поликарпова Г. В., Касьянов В. Л., Кучерявенко А. В., Найденко Т. Х., Раков В. А.,

Регулёв В. Г. Ряд исследований было посвящено прогнозу сроков начала нереста, начала оседания, плотности спата [6]. К сожалению, в начале 90-х гг. в связи с изменившейся политической ситуацией в стране участки марикультуры, как и научные исследования, пришли в упадок. Но с середины 90-х гг. всё же сотрудники базы возобновили её деятельность уже в качестве ОАО «ТЕМП», и база продолжала функционировать по 2012 г.

Таким образом, в зал. Посьета, зал. Петра Великого в течении почти 40 лет, с 1970 по 2012 гг., в первом в России хозяйстве марикультуры в естественной среде проводились уникальные научные исследования, направленные на отработку биотехники культивирования приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856), и его промышленное выращивание. Эти исследования внесли неоценимый вклад в изучение биологии беспозвоночных.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН, 2024-2026 гг., «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений» № рег. 124022100079-4

Список литературы

1. Ито С. Разведение морского гребешка у охотоморского побережья о. Хоккайдо. Изд. "Нихон Суйсан Сиггэн Кекай": Пер. с яп. №54598. Владивосток, 1966. 48 с.
2. Материалы по искусенному разведению морских гребешков / Нитиро Гиогио Кабусики Кайся. Пер. с яп. Владивосток, 1973. 34 с.
3. Базикалова А. Я. Некоторые данные по биологии и промыслу гребешка *Pecten yessoensis* (Jay) // Социальная реконструкция рыбного хозяйства Дальнего Востока. Владивосток, 1930. № 9-11. С. 63-67.
4. Голиков А. Н., Скарлато О.А. Моллюски зал. Посьет (Японское море) и их экология // Моллюски и их роль в биоценозах и формировании фауны. М. : Наука, 1967. С. 5-154.
5. Белогрудов Е. А. Биология и культивирование приморского гребешка // Культивирование тихоокеанских беспозвоночных и водорослей. М. : Агропромиздат, 1987. С. 66-71.
6. Гайко Л. А. Обзор методов прогноза урожайности спата моллюсков в хозяйствах марикультуры Приморья и возможное направление их совершенствования / Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. 2018. Вып. 22. № 1/2. С. 10-40.

Методика геопространственного анализа аквакультурного потенциала на примере Республики Джибути

Горбунов Р. В., Чесалин М. В., Келип А. А.*

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Methodology for geospatial analysis of aquaculture potential on the example of the Republic of Djibouti

Gorbunov R. V., Chesalin M. V., Kelip A. A.*

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ kelip@ibss-ras.ru

Ключевые слова: аквакультура, геопространственный анализ, базы данных, Джибути

Проблема обеспечения продовольственной безопасности в современном мире становится всё более актуальной в связи с ростом населения Земли, деградацией пахотных земель вследствие антропогенной нагрузки и изменения климата, истощением морских биоресурсов. Особенно остро эта проблема стоит в странах Африки. В настоящее время в производстве продуктов животного происхождения возрастает роль аквакультуры, которая в последние десятилетия очень интенсивно росла (7-10% в год) и достигла 50% в мировом производстве рыбной продукции.

Первый шаг в выработке государственной политики и привлечения инвестиций к развитию аквакультуры – общая оценка аквакультурного потенциала и определение мест, подходящих для создания аквакультурных ферм. Нами была выполнена эта работа и подготовлен «Атлас перспективных мест для организации аквакультурных хозяйств в Республике Джибути». Создание Атласа проводилось в несколько этапов. Первый этап основан на анализе законодательства в области экологии, рыболовства и аквакультуры, литературы по социально-экономическому развитию страны и планов развития аквакультуры, истории развития аквакультуры в Джибути и ее состоянию в соседних странах. Учитывая, что в Джибути отсутствуют постоянные пресные водоемы, основное внимание было уделено развитию морской аквакультуры в прибрежной зоне. На втором этапе проводилось изучение состояния среды и биоты на основе литературных данных. Третий этап – сбор картографической информации и геоинформационных сведений из открытых баз данных (БД). В качестве основных источников информации были выбраны следующие: проект OpenStreetMap (OSM); цифровая модель поверхности Copernicus DEM GLO-30; глобальная БД по глубинам морского дна GEBCO; морские навигационные карты Navionics; глобальная климатическая БД реанализа ERA5 и БД Global Ocean Physics Reanalysis программы Copernicus; БД проекта FAO VaPOR; БД сенсора MODIS спутников NASA Terra и Aqua; БД Центра контроля уровня моря Гавайского университета; карты судоходства marinetraffic.com; глобальная БД особо охраняемых природных территорий WDPA; космические снимки высокого разрешения Google Satellite. Обработка, анализ и визуализация выполнена в программных пакетах QGIS 3.28 и ArcMap 10.8, а также средствами языка программирования R. Четвертый этап исследования заключался в проведении наземных и морских экспедиций для верификации литературных и геоинформационных сведений, сбора данных по ландшафтам и логистической инфраструктуре. В ходе полевых исследований в перспективных локациях были проанализированы гранулометрические характеристики прибрежных почв с целью определения возможности строительства прудов, а также выполнены гидроакустические исследования с помощью эхолота для определения глубин, рельефа дна и типа грунта для установки морских садков.

В Атласе приведены общие сведения о географии Джибути; построены тематические карты: общая топографическая карта; карты административно-территориального деления с указанием прибрежных поселений, дорог и морских границ; климатические карты: температуры воздуха и осадков; океанографические карты: температуры морской воды, солёности, морских течений, концентрации

хлорофилла-а. Особое внимание уделено описанию морских охраняемых территорий, распределению коралловых рифов и мангровых зарослей. Приведены сведения о прибрежном биоразнообразии, включая ценные виды рыб, беспозвоночных, морских черепах, млекопитающих и птиц. Детально описаны перспективные для аквакультуры виды рыб, ракообразных и моллюсков, а также охарактеризованы наиболее эффективные технологии их культивирования в Джибути. Для каждой административной прибрежной провинции (город Джибути, Арта, Таджуре и Обок) дана ландшафтная, метеорологическая, океанографическая и биологическая характеристики. Внутри каждого района приводится характеристика отдельных участков, их детальные тематические и спутниковые карты в едином масштабе, определен аквакультурный потенциал и указаны места для размещения морских ферм.

Специальный раздел посвящен критериям определения перспективных мест для создания фермерских хозяйств при использовании разных объектов и технологий аквакультуры. Эти критерии основывались на подходах, предложенных для развития аквакультуры в Кении [1] и Омане [2]. Общие критерии выбора мест для аквакультуры:

- наличие инфраструктуры (поселений, дорог, причалов, электрических сетей, пресной воды, и технических возможностей для береговой базы, сбора, хранения и переработки продукции);
- наличие трудовых ресурсов и близость к рынкам сбыта;
- отсутствие запретных зон: портов, зон активного судоходства и военных объектов;
- удалённость не менее 500м от границ особо охраняемых природных территорий, туристических зон, мангровых зарослей и коралловых рифов.

В результате исследований в Атласе предложены следующие виды для разведения и технологии аквакультуры для Джибути:

- Интенсивное крупномасштабное коммерческое выращивание ценных пелагических рыб (кубия, тунцы, карангиды) в плавучих или погружных садках от пос. Мулхул до архипелага Семь братьев, в районе Годории и восточнее г. Обок, от г. Таджуре до пос. Сагалло.
- Крупномасштабное коммерческое выращивание креветок и молочной рыбы в искусственных прудах в приливно-отливной зоне вблизи Годории и Оробор, а также между пляжем Дуда и пос. Лояда.
- Мелкомасштабное подращивание до товарного размера моллюсков-клемов в сетках в приливно-отливной зоне севернее Фагала и южнее Годории; возле Дуда и пос. Лояда.
- Содержание и подращивание рыб (кефали, каменные окунь) в загонах в каналах мангровых зарослей в районе Годория, Хор Ангара и Дуды.
- Содержание и подращивание мангрового краба в клетках и загонах в мангровых зарослях в районе Годории и Хор Ангара, на острове Муша и в районе Дуды.
- Интенсивное выращивание мангрового краба в установках замкнутого водооборота.
- Интенсивное выращивание гигантских моллюсков-тридакн в проточных системах водоснабжения.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).

Список литературы

1. Saunders J., Menezes A., Aguilar-Manjarrez J., Matere J. Atlas of aquaculture potential in coastal Kenya. FAO and Kenyan Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries. Rome, Italy, 2017. 60 p.
2. MAFW. Atlas of suitable sites for aquaculture projects in the Sultanate of Oman. Ministry of Agriculture and Fisheries Wealth, Muscat, Sultanate of Oman, 2010. 234 p.

Кратко о принципиальных различиях между товарным выращиванием и искусственным разведением тихоокеанских лососей

Гринберг Е. В.

Государственное автономное учреждение «Региональный ресурсный центр дополнительного образования и воспитания», г. Южно-Сахалинск, Россия

Briefly about the fundamental differences between commercial cultivation and artificial breeding of Pacific salmon

Grinberg E. V.

State Autonomous Institution “Regional Resource Center additional education and upbringing”,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

 ekaterina-grinberg@yandex.ru

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, аквакультура, экологический подход, искусственное воспроизведение, трансформация биопоказателей, промысловый возврат

Представленные тезисы – небольшая часть комплекса исследований, касающихся искусственно-разведения (ИР) тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе и проблемы увеличения эффективности работы лососевых рыболовных заводов (ЛРЗ). Исследования ведутся по широкому спектру направлений, например, активно изучаются генетический статус и популяционные структуры у всех шести представителей рода *Oncorhynchus*; микроэлементный состав на всех этапах жизненного цикла и миграционные пути, места нагула; экологические и биологические особенности лососей; создаются полноценные и сбалансированные корма для искусственного подращивания молоди; изучаются механизмы импринтинга и факторы смолтификации, а также многое другое.

Автор, основываясь на двадцатилетнем практическом опыте работы на нескольких ЛРЗ Сахалинской области, практически во всех своих статьях проводит красной нитью необходимость перевода рыболовства на «экологические рельсы», т. е. внедрение в систему ИР тихоокеанских лососей экологического подхода. Комплексный, экологический подход к рыбоводству предполагает значительное количество исследований, изменений и решений. Самые значимые из них: трансформация биопоказателей в экологически обоснованные бионормативы [1]; изменение системы подготовки и переподготовки, повышения квалификации, кадров для рыбной отрасли; разработка критерии готовности молоди лососей к скату в искусственных условиях; исследования приемной мощности приусыревых зон базовых водотоков.

Также экологический подход предполагает совершенствование биотехники традиционно разводимых видов, разработку биотехники ИР новых видов, внедрение современного рыболовного оборудования и многое другое, исключительно на основе глубочайших знаний биологических основ рыболовства и понимания экологических законов и закономерностей, действующих в естественных водных экосистемах, а также их отличий от искусственных систем – ЛРЗ. В связи с этим важно понимать, что между двумя формами аквакультуры – товарным рыболовством и искусственным воспроизводством существует принципиальная разница. Различия эти качественные и существует достаточно критериев, по которым легко понять разницу между товарным выращиванием лососей и их искусственным разведением.

Прежде чем будут перечислены критерии, по которым товарная аквакультура (рыболовство) коренным образом отличается от искусственного воспроизводства рыб, необходимо разобраться в официальной терминологии. Существует несколько федеральных законов, регламентирующих все, что касается аквакультуры (рыболовства), рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов [2 ; 3]. Согласно им, пастбищное рыболовство это вид/часть товарной аквакультуры (наряду

с индустриальным и прудовым), а искусственное воспроизводство – особая, самостоятельная форма аквакультуры. Словосочетание «искусственное воспроизводство» закреплено в соответствующих федеральных законах, но оно неграмотно и неверно отражает суть того, что мы понимаем под искусственным разведением рыб и их естественным воспроизводством. Поэтому здесь и далее используется словосочетание «искусственное разведение».

И еще одно важное дополнение. При формулировании критерии различия товарного лососеводства и искусственного разведения лососей, автор под товарной аквакультурой понимала искусственные замкнутые системы (прудового или индустриального типа), исключающие выпуск молоди или более старших рыб на нагул в естественные водоемы или водотоки, а под искусственным разведением – систему ЛРЗ Сахалинской области, с которых ежегодно производится выпуск сотен миллионов мальков на нагул в открытые водные системы. Примечательно, что работы по искусственному выращиванию лососей на ЛРЗ Сахалина и Курил, обладая абсолютно одинаковым внутренним наполнением и содержанием, отличаются своим юридическим статусом – одни выполняются в рамках договоров на искусственное воспроизводство лососей, другие в рамках товарной аквакультуры (пастбищного рыбоводства).

Итак, первые два отличия товарного рыбоводства (ТР) и ИР в лососеводстве уже обозначены – это различный юридический статус рыболовной продукции и вообще деятельности по разведению и выращиванию лососей, а также тип экологической системы. В случае с ТР мы имеем дело с искусственной экологической системой или агроценозом, а вот на ЛРЗ, где проходят ранние этапы онтогенеза лососей в рамках ИР, только этот период можно считать искусственным, а большую часть жизни лососи (особенно кета, сима и кижуч) проводят в открытых морских экосистемах. Именно последнее обстоятельство и накладывает на рыболовов в области искусственного разведения или пастбищного лососеводства особую ответственность и требует серьезных экологических знаний и экологического мышления.

Очевидны и такие критерии различия между ТР и ИР как: продолжительность цикла выращивания, то в каких водоемах и за счет чего происходит нагул и увеличение биомассы, а также происхождение производителей. При проведении работ в рамках ИР рыболовный цикл укладывается в формулу «от икринки до малька», нагул молоди и последующий набор биомассы рыбами происходит за счет естественной кормовой базы в морских открытых водах, а период подращивания молоди искусственными кормами перед выпуском несомненно мал по сравнению со временем, которое рыбы проведут в Тихом океане. Напротив, ТР не предусматривает выпуск/выход продукции за пределы хозяйств, здесь рыболовный цикл протекает «от икринки до товарной (столовой) рыбы», а нагул и набор биомассы происходят исключительно за счет организации кормления искусственными кормами.

Что касается происхождения производителей, то в ТР их специально растят и содержат в рамках так называемых ремонтно-маточных стад, проводят племенную работу и применяют другие приемы, увеличивающие качество и количество производителей. При проведении работ по ИР, лососей изымают из естественной среды, они что называется дикие и проблема стресса у производителей при выдергивании в садках до созревания гонад – одна из широко обсуждаемых специалистами.

Далее перечислим еще несколько критериев, по которым ТР и ИР сильно отличаются: объекты разведения, возможность проведения селекции и племенной работы; степень контроля и регулирования условий выращивания до различных стадий развития; выбор участка для строительства предприятия и другие.

Самый же главный критерий, объединяющий все другие, как бы вытекающий из них и позволяющий получать максимальную эффективность производства в каждой из представленных форм аквакультуры (увеличение рыбопродуктивности в ТР и промыслового возврата в ИР) – это стратегия или девиз рыбоводства. В ИР рыболовы должны исповедовать врачебные принципы работы, главный из которых «Не навреди!». Напротив, в области ТР важен олимпийский принцип «Быстрее. Выше. Сильнее».

Понимание специфики ТР, ИР (и пастбищного рыбоводства), их различий, бережный, экологический подход, сочетание и соблюдение в работе законодательных (бюрократических) сторон лососеводства с биологическими, экологическими и практическими – залог успешной работы, бесперебойного и эффективного функционирования не только ЛРЗ Сахалинской области, но и всего рыбохозяйственного комплекса Дальневосточного региона.

Список литературы

1. Гринберг Е. В. О реализации экологического подхода к искусственному разведению тихоокеанских лососей через трансформацию бионормативов // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, 05-09 сентября 2022 г., Севастополь, Российская Федерация. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2022. С. 263-264.
2. Федеральный закон от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».
3. Федеральный закон от 02.07.2013 N 148-ФЗ "Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные Законодательные акты Российской Федерации".

Тяжелые металлы в раковинах некоторых видов моллюсков из Черного моря

Дикарева Ю. Д., Капранова Л. Л., Капранов С. В., Рябушко В. И.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Heavy metals in shells of some mollusc species from the Black Sea

Dikareva J. D., Kapranova L. L., Kapranov S. V., Ryabushko V. I.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ dikareva.julija@rambler.ru

Ключевые слова: моллюски *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Anadara kagoshimensis*, *Flexopecten glaber ponticus*, *Rapana venosa*, тяжёлые металлы, Чёрное море.

Двустворчатые моллюски являются важными объектами морского промысла. Обычно раковины моллюсков после извлечения съедобной части не утилизируют, что вызывает загрязнение акватории тяжелыми металлами (ТМ), т. к. в раковинах моллюсков концентрация ТМ выше, чем в тканях [1–3]. На фоне подкисления Мирового океана, скопление створок моллюсков, загрязненных ТМ, может способствовать локальным изменениям химического состава воды. Створки разлагаются в воде за 10–20 лет, а в подкисленной воде ТМ могут непрерывно поступать в окружающую среду, оказывая негативное влияние на биоразнообразие и качество выращиваемого сырья [4 ; 5].

В настоящее время отсутствуют данные о концентрации Cu, Zn, As, Cd, Hg и Pb в раковинах моллюсков, выращиваемых на марикультурах Чёрного моря. Изучение и сравнение концентраций ТМ в раковинах моллюсков может быть полезно в прикладном аспекте. Для исследований двустворчатых моллюсков собирали в октябре 2022 г. на морской ферме близь г. Севастополя (глубина 2–3 м; 21,4 °C; 18,39 %). Гастроподу *R. venosa* — водолазным способом на глубине 18 м, 19 °C. Элементный анализ проводили с помощью масс–спектрометра с индуктивно–связанной плазмой.

Концентрации ТМ значительно различались у разных видов моллюсков (рис. 1). Из всех ТМ створки рапаны, мидии, гребешка, анадара и устрицы преимущественно накапливают Cu (рис. 1, 2). Потенциальным загрязнителем Cu являются створки рапаны и устрицы, т. к. для них отмечен самый высокий коэффициент накопления этих металлов.

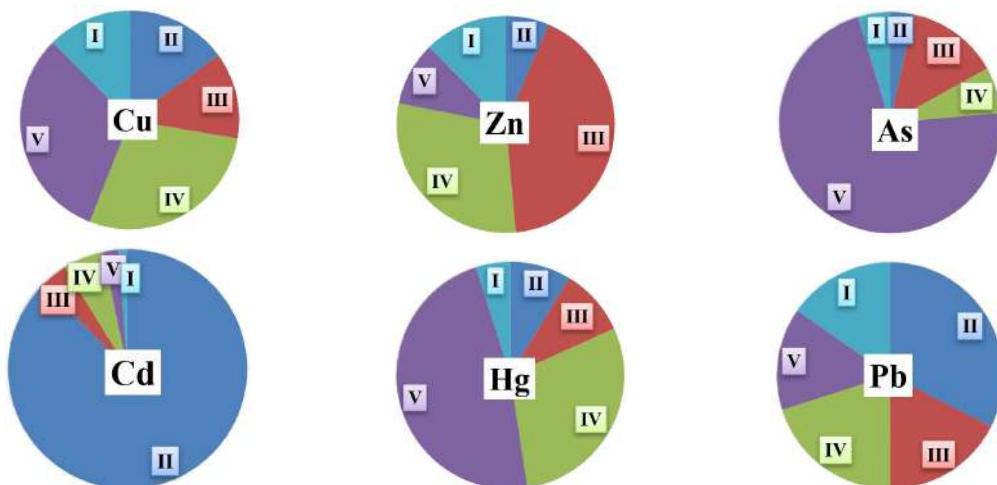


Рис. 1: Концентрации тяжелых металлов в раковинах моллюсков, $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы.

I – анадара, II – морской гребешок, III – мидия, IV – устрица, V – рапана

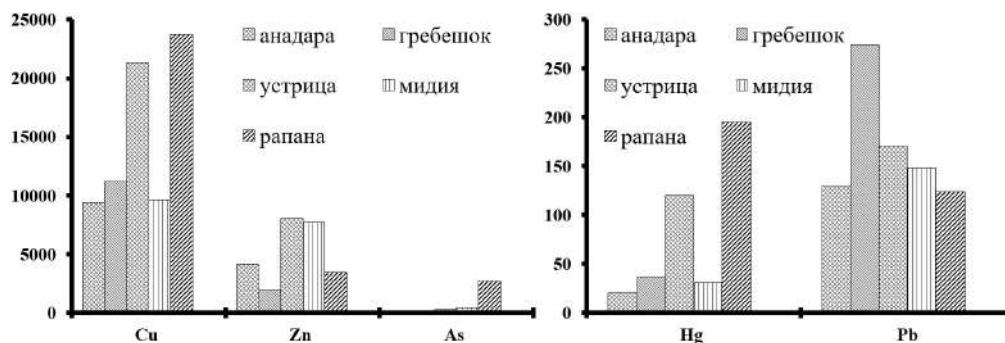


Рис. 2: Коэффициенты накопления тяжелых металлов в раковинах моллюсков

Zn накапливают створки мидий и устриц, а Hg и As — раковины рапаны, в меньшей степени — устрицы, анадары и гребешка (рис. 1, 2). Самый высокий коэффициент накопления Pb отмечен в раковинах гребешка (рис. 2). В рапане отмечено высокое содержание As, а в створках гребешка — Cd (рис. 1). Таким образом, потенциальным загрязнителем Cu, Hg и As являются раковины рапаны, Cd — гребешка. Учитывая вышеизложенное, предприятиям по разведению моллюсков необходимо найти практическое применение раковинам, следуют концепции «Ноль отходов», что актуально в экологическом, биологическом и прикладном аспектах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ №124022400152-1.

Список литературы

- Summa D., Lanzoni M., Castaldelli G., Fano E. A., Tamburini E. Trends and opportunities of bivalve shells' waste valorization in a prospect of circular blue bioeconomy // Resources. 2022. Vol. 11, no. 5. Art. no. 48. <https://doi.org/10.3390/resources11050048>
- Демина Л. Л., Гордеев В. В., Галкин С. В., Кравчишина М. Д., Алексанкина С. П. Биогеохимия некоторых тяжёлых металлов и металлоидов на разрезе эстуарий реки Обь – Карское море // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 771-784.
- Поспелова Н. В., Приймак А. С., Рябушко В. И. Содержание микроэлементов в мягких тканях и раковинах мидии *Mytilus galloprovincialis*, культивируемой на взморье г. Севастополя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 4. С. 67-80. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2021-4-67-80>
- Powell E. N., Kraeuter J. N., Ashton-Alcox K. A. How long does oyster shell last on an oyster reef? // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2006. Vol. 69, no. 3-4. P. 531-542. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.05.014>
- Watson R., Baste I., Larigauderie A., Leadley P., Pascual U., Baptiste B., Mooney H. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services // IPBES Secretariat: Bonn, Germany. 2019. P. 22-47. URL: https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/inline/files/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf (дата обращения: 18.07.2024)

Рыбоводные и физиолого-биохимические показатели радужной форели *Oncorhynchus mykiss*, выращиваемой на кормах с биологически активными добавками

**Канцерова Н. П.^{*}, Суховская И. В., Кузнецова М. В., Паршуков А. Н., Фокина Н. Н.,
Лысенко Л. А.**

ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

Breeding, physiological and biochemical parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared on feed with biologically active additives

Kantserova N. P.^{*}, Sukhovskaya I. V., Kuznetsova M. V., Parshukov A. N., Fokina N. N., Lysenko L. A.

Institute of Biology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

✉ nkantserova@yandex.ru

Ключевые слова: радужная форель, кормовые добавки, дигидрокверцетин, арабиногалактан, неблагоприятные факторы, рост, выживаемость, скелетные мышцы, антиоксидантная система, протеолиз, липиды

Радужная форель, *Oncorhynchus mykiss*, сем. Лососевые, относится к традиционным объектам аквакультуры на Северо-Западе России. В условиях садкового выращивания радужная форель подвергается воздействию неблагоприятных факторов – слабой проточности воды, высокой плотности посадки, летнего подъема температуры воды и ассоциированного с ними кислородного голодаия. Стressоры приводят к снижению темпов роста рыбы, распространению бактериальных инфекций, повышению летальности. Повышение резистентности организма рыб к условиям выращивания может достигаться путем обогащения кормов пищевыми добавками естественного происхождения (антиоксидантами, витаминами, пре- и пробиотиками) с доказанной безопасностью для окружающей среды и человека. В садковых и аквариальных экспериментах с радужной форелью исследовалась эффективность обогащения корма добавками, получаемыми из отходов заготовки лиственницы, флавонола дигидрокверцетина (ДГК), обладающего антиоксидантными свойствами, и полисахарида арабиногалактана (АГ) – пробиотика и иммуностимулятора. В экспериментах рыбы контрольной групп получали стандартный коммерческий корм без добавок, рыбы экспериментальных групп – стандартный корм с изучаемыми добавками, ДГК (25–1000 мг/кг корма) или смесь ДГК и АГ (1 : 2, суммарно 75 мг/кг корма). В ходе экспериментов проводился мониторинг параметров среды (температуры воды, содержания растворенного кислорода, биогенных элементов) и состояния рыбы (скорости линейного и весового прироста, наличия признаков заболеваний, учет летальности). В органах форели оценивались биохимические и молекулярно-генетические показатели, отражающие механизмы мышечного роста, состояние антиоксидантной системы, а также липидный состав.

В своих исследованиях мы установили, что смесь ДГК и АГ в составе корма улучшает выживаемость садковой форели в периоды воздействия неблагоприятных факторов – летнего повышения температуры воды, гипоксии, подледной зимовки, бактериальных и паразитарных заболеваний, антибиотикотерапии. Кормовой коэффициент, отражающий количество корма, затраченное на единицу живой массы рыбы, ниже у рыб из экспериментальной группы. В отсутствие достоверного влияния исследуемых кормовых добавок на темпы массонакопления форели, их наличие положительно сказывается на приросте рыб в периоды негативных воздействий. Интенсивный прирост мышечной массы у рыб в течение выростного сезона сопровождается высокой транскрипционной активностью гена тяжелой цепи миозина, маркера интенсивности синтеза белка в мышцах, а также высокой скоростью обмена белков. При этом, уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина сохраняется стабильно высоким у рыб экспериментальной группы даже в неблагоприятные для роста периоды – во время летнего повышения температуры воды, бактериальной инфекции и антибиотикотерапии.

Накопление и состав липидов скелетных мышц и печени садковой форели зависят от температуры среды и интенсивности роста в разные периоды года. Так, общие липиды и триацилглицерины накапливаются в летне-осенний и расходятся в зимний периоды, а степень ненасыщенности жирных кислот липидов снижается при увеличении температуры воды, а также при развитии инфекционного процесса и антибиотикотерапии. В скелетных мышцах рыб, получающих ДГК и АГ с кормом, уровень ненасыщенности жирных кислот поддерживается на более высоком уровне, что свидетельствует о более высокой их резистентности к внешним воздействиям и заболеваниям. Адаптогенное действие добавки ДГК получило подтверждение и в условиях аквариального эксперимента по моделированию гипертермии, аналогичной летнему повышению температуры воды в водоеме, и сублетальному заражению trematodами рода *Gyrodactylus* (сем. Gyrodactylidae, кл. Monogenea). Как оказалось, гипертермия, с одной стороны, подавляет ростовые процессы и ухудшает состояние холоднолюбивой форели, а, с другой, сдерживает распространение гиродактилеза, при этом гипертермия в сочетании с обогащением рациона ДГК оказывает максимальный антипаразитарный эффект. Помимо более высокой устойчивости к действию внешних факторов и заболеваниям, введение в рацион форели ДГК или его смеси с АГ способствует более высокому потребительскому качеству получаемого филе выращиваемой рыбы за счет увеличения пропорции белков относительно липидов и повышения содержания ненасыщенных жирнокислотных компонентов.

Исследование проведено в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006, а также при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-74-20098).

Бурая водоросль *Agarum clathratum* в прибрежье дальневосточных морей России

Кулепанов В. Н.^{1,2}

¹Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, РФ

²Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, РФ

Distribution and habitat kelp *Agarum clathratum* at the coast of Far Eastern Seas of Russia

Кулепанов В. Н.^{1,2}

¹Pacific branch of the “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography”, Vladivostok, Russia

²Maritime Staty University named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia

✉ kulepanovvn@mail.ru

Ключевые слова: *Agarum clathratum* (= *A. cibrosum*), бурые водоросли, факторы среды

Бурая водоросль *Agarum clathratum* Dumortier (= *A. cibrosum* Bory) (Laminariales, Costariaceae) аркто-тихоокеанско-атлантический арктическо- boreальный вид произрастает во всех дальневосточных морях. Вид не образует чистых зарослей, встречается вместе с другими видами бурых водорослей. Агарум активно концентрирует ряд микроэлементов (Ti, V, Mn и другие) выделяясь среди других ламинариевых [1]. Вид, вместе с другими бурыми водорослями может быть перспективным источником биологически активных веществ [2]. Запасы этого вида в дальневосточных морях оценивается от 100 до 150 тыс. т [3].

Бурые водоросли являются хорошим кормом для многих беспозвоночных. В биотопах, где произрастает агарум, отмечается увеличение гонадного индекса у морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis* [4].

Агарум встречается во всех дальневосточных морях России, у тихоокеанского и атлантического побережья Северной Америки, преобладая во втором и третьем этажах фотофильной растительности [5].

В Анадырском заливе (Берингово море) агарум растет на глубинах от 1 до 10 м, на каменистых грунтах. На малых глубинах обитает в зарослях ламинарии, а на глубине от 6 до 10 м формирует самостоятельный пояс. Средняя биомасса в зарослях 3 кг/м², максимальная – до 10 кг/м² [6 ; 7].

В прибрежных водах Камчатки агарум распространен повсеместно с 3-4 м до глубин 40-80 м. Доминирующим видом становится на глубинах 8-10 м. Максимальная биомасса в чистых зарослях 5,2 кг/м² [8].

В Охотском море встречается на всем побережье, за исключением участка от мыса Лопатка до мыса Божедомова [3]. Вид указывается в работах [9 ; 10], но не приводится некоторыми авторами для севера прибрежья (Охотско-Тауйский район) [11].

Агарум обитает в прибрежной зоне всех Южных Курильских островов на глубинах от 4 до 24 м на всех типах грунтов. Средняя плотность поселений составляла 3,1 экз./м², максимальная достигала значения 32 экз./м². Биомасса изменялась от 0,1 до 8,4 кг/м², в среднем не превышала 1,1 кг/м² [12].

У юго-западного Сахалина (Невельский район) агарум доминант фитоценозов с глубины 8 м до 30 м на каменистых грунтах, биомасса этого года достигает 1,2 кг/м² [13].

Агарум в Японском море встречается у побережья Корейского полуострова, у о. Хоккайдо, в заливе Петра Великого, в северном Приморье и в Татарском проливе [3 ; 14–16] у о. Сахалин [17 ; 18]. На Японских островах агарум произрастает в прибрежных водах о. Хоккайдо, преф. Аомори – п-ов Симокита, У Японских островов встречаются четыре формы агарума [15].

В Татарском проливе (материковое прибрежье) агарум массовый вид, но густых зарослей не образует. Максимальная биомасса до 6 кг/м², средняя – 1,2 кг/м² [16 ; 19].

В Японском море агарум входит в состав глубоководной растительности. Он встречается часто, но в малых количествах до глубины 35 м [20]. В северо-западной части моря в траловых уловах агарум встречался до глубины 470 м, но чаще всего отмечен до глубины 40 м [21].

В заливе Петра Великого агарум произрастает обычно глубже 8-10 м, на песчано-илистом, илисто-песчаном с ракушей и галькой, каменистом и скалистом с камнями грунтах [5].

В 70-е 80-е годы XX века в заливе Восток (залив Петра Великого) агарум был доминирующим видом и встречался круглый год на глубинах от 5 до 25 м во многих участках залива [22]. В 2000-е годы агарум в этом районе не обнаружен ни растущим, ни в штормовых выбросах на берегу [23]. Для бухты Троицы (зал. Петра Великого) агарум приведен как редкий вид [24].

В Приморье от мыса Поворотный до мыса Гиляк агарум произрастает вдоль всего побережья. Максимальное проективное покрытие и биомасса водорослей в прибрежье отмечалось на глубинах до 15 м. Биомасса варьировала от 0,008 до 6,904 кг/м², средняя биомасса 1,012 кг/м². Преобладали станции, где биомасса не превышала 1 кг/м², а проективное покрытие (ПП) агарума – 4 %. Участки, где агарум занимает существенное положение в составе растительности (ПП от 16 до 90%) расположены в районе бухт Киевка, Мелководная, севернее мыса Балюзек и на участке от мыса Бакланый до устья реки Пея.

Агарум в прибрежье Приморья вегетирует в течение всего года, сроки размножения июнь-июль [25]. Считается многолетним видом.

Список литературы

1. Саенко Г. Н. Металлы и галогены в морских организмах. М. : Наука, 1992. 200 с.
2. Аминина Н. М., Вишневская Т. И., Карапуза Е. П., Епур Н. В., Якуш Е. В. Перспективы использования промысловых и потенциально промысловых бурых водорослей дальневосточных морей в качестве источника полифенолов // Биология моря. 2020. Т. 46. № 1. С. 1-8. <https://doi.org/10.31857/S0134347520010027>
3. Суховеева М. В., Подкорытова А. В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2006. 243 с.
4. Архипова Е. А. Влияние особенностей питания *Strongylocentrotus droebachiensis* на изменение гонадных индексов морских ежей Авачинской губы (юго-восточная Камчатка) летом 2000 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2016. Вып. 43. С. 50-54. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2016.43.50-54>
5. Перестенко Л. П. Водоросли залива Петра Великого.– Л. : Наука, 1980. 232 с.
6. Толстикова Н. Е. Макрофитобентос сублиторали Берингова моря в районе бухты Провидения // Труды ВНИРО. 1971. Т. 57. С. 60-77.
7. Толстикова Н. Е. Бентосные макрофиты Анадырского залива Берингова моря. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва : ВНИРО. 1980. 23 с.
8. Ключкова Н. Г., Березовская В. А. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток ; Петропавловск-Камчатский : Дальнаука, 1997. 155 с.
9. Зинова Е. С. Водоросли Охотского моря // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. 1954. Сер. 2, вып. 9. С. 259–310.
10. Галанин Д. А. Прибрежные сообщества беспозвоночных и водорослей- макрофитов Берингова и Охотского морей (на примере Анадырского лимана и Тауйской губы) // Тр. НИЦ «Чукотка». Магадан : СВНИЦ ДВО РАН. 1997. Вып. 6. 91 с.

11. Белый М. Н. Водоросли-макрофиты северной части Охотского моря и их значение как нерестового субстрата сельди. Магадан : Новая полиграфия, 2013. 194 с.
12. Евсеева Н. В. Распределение водорослей порядка Laminariales в прибрежной зоне Южных Курильских островов // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 1. С. 5-22. <https://doi.org/10.1134/S0033994619010047>
13. Штрик В. А. Промысловые альгоресурсы Южного Сахалина // Исследования биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России: Сб. науч. трудов. Москва : Изд-во ВНИРО, 2001. С. 236–244.
14. Sokichi Segawa. Coloured illustrations of the seaweeds of Japan. Hoikusha publishing Co., LTD. 1974. 175 p. (на яп. яз.).
15. Кавашима С. Ламинариевые Японии. Саппоро: Изд. Морского Центра северной Японии, 1993. 206 с. (на яп. яз.).
16. Клочкова Н. Г. Флора водорослей–макрофитов Татарского пролива (Японское море) и особенности ее формирования. Владивосток : Дальнаука., 1996. 292 с.
17. Гайл Г. И. Промысловые водоросли Сахалина и Курильской гряды. Владивосток : [Приморское краевое изд-во]. 1949. 88 с.
18. Tokida J. The marine algae of Southern Saghalien // Reprinted from the Memoirs of the Faculty Fisheries Hokkaido University. 1954. Vol. 2, no. 1. P. 1-264.
19. Дуленин А. А. Распределение видов-доминантов макрофитов по глубине в северо-западной части Татарского пролива // Биология моря. 2019. Т. 45. № 2. С.97-107. <https://doi.org/10.1134/S0134347519020037>
20. Гусарова И. С. Глубоководная растительность у берегов северного Приморья // Известия ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 118-127.
21. Кулепанов В. Н., Дробязин Е. Н. Видовой состав и количественное распределение макрофитов в сублиторали и на материковом склоне в северо-западной части Японского моря // Известия ТИНРО, 2018. Т. 195. С. 151-160. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-195-151-160>
22. Макиенко В. Ф. Водоросли–макрофиты зал. Восток (Японское море) // Биология моря. 1975. № 2. С. 45–57.
23. Коженкова С. И. Ретроспективный анализ морской флоры залива Восток Японского моря // Биология моря. 2008. Т. 34. № 3. С. 159-174.
24. Белоус О. С., Титлянова Т. В., Титлянов Э.А. Инвентаризация бентосной флоры литорали и верхней сублиторали бухты Троицы (залив Петра Великого, Японское море) // Биология моря. 2020. Т. 46. № 6. С. 420-432. <https://doi.org/10.31857/S0134347520060042>
25. Гусарова И. С., Бадыкина И. А. Сроки вегетации и размножения некоторых видов водорослей Приморья // Известия ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 340-346.

Диагностика перкинсоза двустворчатых моллюсков, вызываемого *Perkinsus marinus*

Мальцев В. Н.

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Керчь, Крым, Россия

Diagnostics of perkinsosis of bivalve molluscs caused by *Perkinsus marinus*

Maltsev V. N.

Department “Kerchensky” of Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO”, Kerch, Crimea, Russia

✉ maltsev66@mail.ru

Ключевые слова: перкинсозы, *Perkinsus marinus*, устрицы, моллюски

В настоящее время у российского побережья Черного моря (в Крыму и на Кавказе) функционирует около 20 морских ферм по выращиванию двустворчатых моллюсков - тихоокеанских устриц (*Crassostrea gigas*) и черноморских (средиземноморских) мидий (*Mytilus galloprovincialis*). Мировая практика показывает значительное сдерживающее влияние болезней на мидийно-устричную индустрию; многие паразитарные, а также некоторые инфекционные болезни обнаруживались или подозревались (вибриозы, герпесвирусная инфекция) у культивируемых моллюсков в Черном море. Известны случаи массового заболевания американской (*C. virginica*), тихоокеанской и других устриц перкинсозом, вызываемым *Perkinsus marinus*, спровоцированные стрессовыми факторами внешней среды. Перкинсозы отнесены к основным болезням тихоокеанских устриц при их культивировании [3]. Средиземноморская мидия пока не числится среди восприимчивых к этой болезни более 20-ти видов двустворчатых моллюсков, при этом в Средиземном море у нее обнаружен другой перкинсоз, вызываемый *P. olseni*. Точными данными обо всех хозяевах *P. marinus* наука пока не располагает [1].

Болезнь способна вызывать длительную деградацию устричной индустрии в неблагополучных (зараженных) акваториях. В настоящее время она имеет ограниченное географическое распространение (преимущественно восточное побережье США и Мексики), но демонстрирует тенденцию к проникновению в новые регионы (тихоокеанское побережье Америки, Китай, Корея, Бразилия, Испания и др.) в связи с увеличением объемов международной торговли моллюсками и потеплением климата. Контроль над перкинсозом, вызываемым *P. marinus*, регламентирован международным и отечественным законодательствами, однако ветеринарные инструкции по его диагностике в РФ пока не утверждены. Так, *P. marinus* должен обязательно контролироваться во всех странах ЕС при перевозках и выращивании тихоокеанских устриц. Своевременная и точная диагностика этой болезни в Азово-Черноморском бассейне особенно актуальна в связи с возросшей активностью морских фермеров, сопряженная с рисками заноса и распространения в этом регионе новых опасных болезней моллюсков.

Перкинсоз, вызываемый *P. marinus*, или, по другому, болезнь «Dermo» («Dermocystidium marinum, = *Labryrinthomyxa marina*») – контагиозная инвазионная болезнь двустворчатых моллюсков, сопровождающаяся разрушением их мягких тканей и массовой гибелью. Возбудитель – простейшее, внутриклеточный паразит, относящийся к надтипу Alveolata, типа Perkinszoa, семейства Perkinsidae (по другой классификации – к типу Muzozoa, подцарства Alveolata) [5], который генетически и ультраструктурно напоминает динофлагеллят. Сейчас признаны валидными 7 видов рода *Perkinsus*, из которых наиболее опасными считаются *P. marinus* и *P. olseni*. Разные виды перкинсусов вызывают разные перкинсозы моллюсков со сходными клиническими и патологоанатомическими (гистологическими) признаками. У большинства описанных видов рода, несмотря на существенные эпизоотические различия, отсутствуют значимые отличительные морфологические признаки, которые могли бы использоваться для их видовой (светооптической) диагностики. Основным инструментом для идентификации видов перкинсусов, и, следовательно, для

точной диагностики вызываемых ими болезней, являются молекулярно-генетические методы (ПЦР, гибридизация *in-situ*, секвенирование). Нуклеотидные последовательности ITS-региона рРНК могут различать большинство из них. Межвидовые различия колеблются примерно в пределах 4–14 %, тогда как внутривидовые отличия между штаммами (геногруппами) варьируются от 0 до 3 %.

Предварительный диагноз на перкинсоз, вызываемый *P. marinus*, ставят на основании обнаружения у моллюсков совокупности эпизоотических, клинических и патологоанатомических признаков этой болезни. Кратко, клиническими признаками перкинсоза устриц являются хроническая массовая гибель взрослых моллюсков; при этом у мертвых и умирающих створки приоткрыты; они медленно закрываются при постукивании по раковине; мягкое тело больных моллюсков бледное, истощенное и (или) водянистое. Клинические признаки заражения моллюсков *P. marinus* не являются специфичными для данного заболевания, поэтому требуют дифференциальной и подтверждающей диагностики.

Гистологический метод рекомендован для дифференциальной диагностики перкинсоза от других протозойных, бактериальных и вирусных болезней. Он считается наиболее информативным и не дорогим, больше подходит (лучше работает) для тестирования клинически больных моллюсков, а также пригоден для осуществления программ эпизоотического мониторинга. Положительной его чертой является то, что сразу несколько органов и тканей моллюсков могут быть протестированы; гистология позволяет обнаружить в том числе скрытую (субклиническую) инвазию. Этот метод выявляет тканевое (органное) расположение паразитов, их патогенное воздействие и защитные реакции хозяина [2]. В отношении перкинсоза, вызываемого *P. marinus*, применяют стандартный гистологический метод фиксированных срезов (тканей) моллюсков (окраска гематоксилин-эозином), а также метод окрашенных мазков гемолимфы моллюсков (окраска гематологическим красителем). Оба они имеют низкую специфичность (выявляют паразитов на уровне рода), поэтому используются в основном для предварительной диагностики, и не рекомендованы в качестве подтверждающих тестов [4].

Сущность культурального метода диагностики перкинсозов состоит в создании искусственных условий на специальных средах для роста клеток паразита вне организма хозяина. В настоящее время используются две модификации этого метода, а именно метод Рэя по культивированию на жидкой тиогликолевой среде (RFTM-метод) и метод использования целого тела моллюсков. Оба они имеют низкую специфичность; то есть выделяют не только *P. marinus*, но и других представителей рода *Perkinsus*. Экспериментально подтверждена очень высокая чувствительность обоих методов культивирования; она такова, что позволяет обнаружить одну клетку паразита в теле хозяина. Эти методы рекомендованы для постановки предварительных диагнозов как при тестировании клинически больных, так и клинически здоровых моллюсков, в том числе для эпизоотического мониторинга в популяциях молоди и взрослых моллюсков [4]. Недостатками является то, что в тестируемых пробах может увеличиваться количество гипноспор не только *Perkinsus* spp., но и других близкородственных организмов, таких как *Pseudoperkinsus tapetis* (*Mesomyctozoea*).

Методы традиционной (классической) ПЦР для диагностики перкинсозов основаны на изучении нуклеотидных вариаций ITS-региона, относящегося к генному комплексу рРНК. Разработаны ПЦР для обнаружения представителей рода *Perkinsus* (родовая диагностика; праймеры PerkITS-85 и PerkITS-750) и идентификацию *P. marinus* (видовая диагностика; праймеры PmarITS-70F и PmarITS600R). Рекомендуется последовательное родовое, а затем, при положительном результате, видовое тестирование образцов; это увеличивает надежность получаемых результатов. Видовая ПЦР диагностика *P. marinus*, без родовой, применяется для подтверждения положительных диагнозов, полученных гистологическими и культуральными методами. Методы традиционной ПЦР в отношении перкинсоза устриц обладают высокой специфичностью и чувствительностью, сопоставимой с таковой культурального метода. Они рекомендованы для постановки как предварительных, так и окончательных диагнозов, а также пригодны для осуществления программ эпизоотического мониторинга. Недостатком является то, что такие тесты очень специфичны и позволяют выявлять только те патогены, на которые они нацелены, не обнаруживая в пробах близкородственных патогенов [1]. Их недостатком является также то, что тестируются небольшие участки (объемы) тканей моллюсков, что может приводить к ложно отрицательным результатам при низкой интенсивности инвазии.

Для диагностики перксинсозов методами специфической гибридизации *in-situ* разработаны специфические ДНК-зонды, нацеленные на ген малой субъединицы (SSU), позволяющие идентифицировать представителей рода *Perkinsus* (родовой уровень диагностики; зонд Perksp700DIG), а также нацеленные на ген большой субъединицы (LSU), обнаруживающие *P. marinus* (видовая диагностика; зонд PmarLSU-181DIG). Оба целевых гена входят в комплекс рРНК. Гибридизация (связывание) происходит не только с генами рРНК в ядрах клеток, но и с их многочисленными цитоплазматическими транскриптами. В отношении перксинсозов эти методы обладают очень высокой чувствительностью и специфичностью. Они пригодны для постановки как предварительных, так и окончательных диагнозов; могут применяться для исследований клинически больных, а также здоровых моллюсков при осуществлении программ эпизоотического мониторинга. Их недостатками является повышенная трудоемкость и медленность тестирований. Для лабораторной диагностики перксинсоза, вызываемого *P. marinus*, рекомендуется, как и в случае ПЦР, вначале выполнить тестирование представителей рода *Perkinsus* (родовая диагностика), а затем, в том случае, если получен положительный результат, провести дополнительное тестирование в отношении *P. marinus* (видовая диагностика). Видовая диагностика *P. marinus*, без родовой, применяется для подтверждения предварительных положительных диагнозов, полученных гистологическими и культуральными методами [4].

В диагностической практике секвенирование выделенного участка ITS применяют в качестве подтверждающего метода в исключительных случаях, например, после предварительного обнаружения перксинсозов гистологическим, культуральным и другими неспецифичными методами в новом, ранее благополучном, регионе. Сведения о нуклеотидных и аминокислотных последовательностях различных изолятов *P. marinus* можно найти в GenBank; там же содержится информация о секвенированном геноме *P. marinus* (более 30 последовательностей ITS-региона).

Работы выполнены по заказу Федерального агентства по рыболовству РФ; государственное задание № 076-00001-24-00; «Проведение прикладных научных исследований», тема 31 (2024 г.).

Список литературы

1. Carnegie R. B., Arzul I., Bushek D. Managing marine mollusc diseases in the context of regional and international commerce: policy issues and emerging concerns // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2016. Vol. 371, no. 1689. Art. no. 20150215 (11 p.) <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0215>
2. Dungan C. F., Reece K. S. *Perkinsus* sp. infections of marine molluscs // AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section). FHS Blue Book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens, 2020 edition. Bethesda, Maryland. 25 p.
3. Mercer M., Gennari L., Lovatelli A. Pacific oyster farming – A practical manual. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers. No. 696. FAO, Rome, 2024. 271 p.
4. OIE - Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals (2023). [Electronic resource]. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-manual-online-access/> (дата обращения 15.05.2024).
5. WoRMS – World Register of Marine Species (2024) [Electronic resource]. URL: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=562957> (дата обращения 7.05.2024)

Микроспоридиоз камбал, вызываемый *Glugea stephani*

Мальцев В. Н.

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Керчь, Крым, Россия

Microsporidiosis of flatfishes caused by *Glugea stephani*

Maltsev V. N.

Department “Kerchensky” of Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO”, Kerch, Crimea, Russia

✉ maltsev66@mail.ru

Ключевые слова: микроспоридиозы, *Glugea stephani*, камбалы, глосса, калкан

В настоящее время в Азово-Черноморском регионе России создается промышленная инфраструктура по выращиванию камбалообразных рыб. Делаются попытки внедрения разработанных ранее биотехнологий культивирования камбалы калкан (*Scophthalmus maximus*, =*S. maeoticus*) и глоссы (*Pleuronectes flesus*, =*Platichthys flesus*). В Крыму и в Краснодарском крае, кроме научно-исследовательской базы (НИБ) «Заветное» (отдел Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО»), зарегистрированы 2 бассейновых камбаловых хозяйства, ведется проектирование государственного питомника для морских рыб (кефалей и камбал). По оценкам специалистов, природные условия Крыма и Кубани позволяют увеличить объемы товарной продукции морских рыболоводных хозяйств до 1,5-2,0 тыс. тонн в год.

Потенциальную опасность для разведения камбал в Азово-Черноморском регионе представляют микроспоридиоз, вызываемый *Glugea stephani* (Glugeidae, Microsporidia). До настоящего времени сведения о встречаемости этого заболевания в России отражены лишь в научных публикациях, но не приводятся в ветеринарной отчетности. Это, а также отсутствие ветеринарных инструкций по диагностике, профилактике и лечению этой болезни существенно затрудняет контроль над ней в РФ. Известно, что внутриклеточные паразитические микроспоридии рыб высоко патогенны для своих хозяев. Они способны вызывать снижение темпа роста, ухудшать товарный вид и повышать смертность диких и культивируемых рыб; это может приводить к уменьшению товарной производительности морских рыболоводных хозяйств и сокращению промысловых запасов восприимчивых видов рыб [3 ; 4]. Практическая значимость микроспоридиозов возросла в последнее десятилетие в связи с увеличением объемов товарного выращивания рыб (аквакультуры) в мире [5].

Для *G. stephani* свойственна низкая хищинная специфичность [3 ; 4]. Этот паразит обнаружен более чем у 10 видов морских рыб, преимущественно камбалообразных. Инвазию *G. stephani* обнаруживали у речной (европейской) камбалы (*P. flesus*), морской камбалы (*Pleuronectes platessa*), зимней камбалы (*Pseudopleuronectes americanus*), английского морского языка (*Parophrys vetulus*), лиманды (*Limanda limanda*), желтохвостой лиманды (*L. ferruginea*), звездчатой камбалы (*Platichthys stellatus*), атлантического тюрбо (*Scophthalmus maximus*) и азово-черноморского калдана. Паразит регистрировался у средиземноморского побережья Франции, у побережья Англии, у атлантического и тихоокеанского побережий США, в Северном, Балтийском, Белом, Черном и Азовском морях. Ареалом *G. stephani* считается вся Голарктика [3 ; 4].

Молодь камбал более восприимчива к этой болезни, чем взрослые рыбы; при этом все возрастные группы рыб могут быть заражены. При низкой интенсивности инвазии болезнь протекает хронически, при высокой – остро, приводя к высоким показателям смертности зараженных рыб. Легкие инвазии кажутся безвредными для рыб, но это обманчивое представление. У тяжело пораженных камбал значительно уменьшается вес тела, и они погибают от истощения [1]. При высокой интенсивности инвазии ксеномы (цисты) *G. stephani* полностью замещают собой ткани кишечника, который истончается, теряет эластичность, приобретает зернистую структуру. Эпителий кишечника рыб разрушается, и он перестает усваивать пищу [1]. В некоторых случаях у больных рыб нарушается проходимость кишечника. Больные кишечным микроспоридиозом камбалы становятся вялыми,

их брюшка раздуваются, напоминая асцит (брюшную водянку). У сильно зараженных рыб снижается упитанность тела, уменьшается гемоглобин в крови, задерживается развитие гонад. Экстенсивность инвазии речной камбалы в Европе достигала 50 % и более. У зимней камбалы в США смертность от кишечного микроспоридиоза в течение первого года жизни составляла 40-50 %. Высказывалось мнение, что этот микроспоридиоз способен снижать численность диких и культивируемых популяций речной и морской камбал [2]. Чрезвычайно высокую инвазированность кишечника и других внутренних органов (печени, почек, кожных покровов жаберной крышки) глоссы мы регистрировали в заливе Сиваш (интенсивность инвазии – до нескольких тысяч ксеном; экстенсивность – более 80 %). У азовского калкана, пойманного в разных районах моря, цисты *G. stephani* мы обнаруживали в стенках кишечника и желудка; интенсивность инвазии достигала 200 цист; экстенсивность - до 18,8 %. (1998-2013 гг.). Наши данные указывают на значительное патогенное влияние этой болезни на состояние диких популяций камбал в Азовском море, и показывают, что в Азовском и, по-видимому, в Черном морях существуют природные очаги этого микроспоридиоза, которые могут представлять угрозу для культивируемых рыб. Потепление климата, межрегиональные перевозки камбал для целей рыбоводства, а также увеличение чиленности и расширение ареалов местных камбал (например, азовского калкана в последние годы) могут способствовать ухудшению эпизоотической ситуации по этому заболеванию в азово-черноморском регионе. При этом мы пока не обнаруживали этой болезни при экспериментальном выращивании молоди (сеголеток) черноморского калкана на НИБ «Заветное» (2016-2022 гг.), что может быть обусловлено местными условиями в этом бассейновом хозяйстве.

Промежуточные или паратенические хозяева у *G. stephani* не известны; паразит обладает прямым жизненным циклом, что делает его более опасным в аквакультуре. Источником инвазии служит зараженная рыба, выделяющая споры паразита во внешнюю среду, как во время болезни, так и после гибели. Подозревалась возможность самозаражения рыб [4]. Предполагалось, что веслоногие ракообразные и амфиоподы являются одним из транзитных путей передачи инвазии [2]. Весеннелетнее повышение температуры воды усиливало зараженность зимней камбалы; неоднократно обнаружено, что заболеваемость камбал повышается летом и падает зимой. То же мы наблюдали у камбал в Азовском море. Снижение показателей зараженности камбал в зимний период связывают с гибелю тяжело больных рыб. В последние годы отмечают повышение заболеваемости этим микроспоридиозом европейской камбалы в Балтийском море, спровоцированное прогрессивным загрязнением этого моря.

Предварительный диагноз на кишечный микроспоридиоз, вызываемый *G. stephani*, ставят на основании обнаружения у рыб совокупности эпизоотических, клинических и патологоанатомических признаков этой болезни. При вскрытии больных рыб в стенках их кишечника, а иногда и в полости тела, на печени и в других органах находят множество ксеном, содержащих зрелые споры возбудителя. Окончательный диагноз ставят по результатам лабораторных микроскопических исследований морфологии спор на свежих временных препаратах и (или) на фиксированных окрашенных мазках (увеличение $\times 400$ -1000). Приживенная диагностика болезни возможна при микроскопировании фекалий рыб. Постановка светооптического диагноза на основании строения спор возможна, но затруднительна в связи с высокой их морфологической изменчивостью. В некоторых случаях для более точной диагностики применяют методику фиксированных гистологических срезов (окраска гематоксилин-эозином), позволяющую изучить не только строение спор, но и вегетативные стадии микроспоридий и их патогенность. Трансмиссионная (просвечивающая) электронная микроскопия дает возможность поставить диагноз на основе ультраструктурных признаков спор паразита, его меро- и спорогонии, взаимоотношения паразита с клетками хозяина. Однако, из-за своей сравнительной трудоемкости гистологические и электронно микроскопические тестирования не рекомендованы нами для эпизоотического мониторинга этой болезни. Для этих целей более подходят светооптические и молекулярно-генетические исследования. ПЦР к гену малой рибосомальной субъединицы рРНК применяют для обнаружения генетических материалов *G. stephani* в тканях и органах рыб на ранних (до образования ксеном) и на поздних стадиях развития этой болезни; возможно последующее секвенирование ПЦР продуктов. Использование для ПЦР тестирований сборных проб,

включающих патологические материалы от 5-10 и более рыб, а также возможность автоматизированной их обработки позволяет рекомендовать ПЦР для эпизоотического мониторинга (скрининга) этой болезни.

Результаты наших исследований показали целесообразность диагностического контроля над микроспориозом, вызываемый *G. stephani*, в азово-черноморском регионе. Он позволит точнее прогнозировать состояние промысловых популяций местных камбал, сократить возможные риски и ущербы от этой болезни при их культивировании, повысить производительность камбаловых морских питомников и товарных ферм. Работы выполнены по заказу Федерального агентства по рыболовству РФ; государственное задание «Проведение прикладных научных исследований», тема 13 (2023 г.).

Список литературы

1. Canning E. U., Lom J., Dykova I. The microsporidia of Vertebrates. Academic Press, London–Toronto, 1986. 241 p.
2. Kent M. L., Shaw R. W., Sanders J. L. Microsporidia in fish // Microsporidia: pathogens of opportunity. First Edition / Eds: Weiss L. M., Becnel J. J. John Wiley & Sons, Inc., 2014. P. 493–520.
3. Lom J. A catalogue of described genera and species of microsporidians parasitic in fish // Systematic Parasitology. 2002. Vol. 53, no. 2. P. 81–99. <https://doi.org/10.1023/A:1020422209539>
4. Lom J., Dykova I. Protozoan parasites of fishes // Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1992. Vol. 26. 315 p.
5. Schuster C. J., Sanders J. L., Couch C., Kent M. L. Recent Advances with Fish Microsporidia // Microsporidia: Current Advances in Biology / Eds: Weiss L. M., Reinke A. W. Cham : Springer International Publishing, 2022. P. 285–317. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93306-7_11

Скрининг разнообразия микроводорослей и цианобактерий для разработки кормовых добавок, способствующих подавлению метаногенеза в животноводстве

Мальцев Е. И.*, Кривова З. В., Юрманов А. А., Куликовский М. С.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

Screening microalgae and cyanobacteria diversity to develop feed additives to suppress methanogenesis in livestock

Maltsev Y. I.*, Krivova Z. V., Iurmanov A. A., Kulikovskiy M. S.

K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

✉ maltsev.ye@yandex.ru

Ключевые слова: биотехнология, водоросли, жирные кислоты, коллекция культур

Метан является вторым по распространенности парниковым газом в атмосфере и вносит весомый вклад в изменение климата, при этом потенциал глобального потепления метана в 25 раз выше, чем у углекислого газа [2]. Около 15% всех антропогенных выбросов парниковых газов приходится на животноводство [1]. Поэтому снижение выбросов метана при получении продукции животноводства – актуальная проблема, требующая поиска эффективных решений. В животноводстве метан образуется главным образом в процессе кишечной ферментации за счет деятельности метаногенных микроорганизмов. Одной из наиболее распространенных технологий снижения метаногенеза у крупного рогатого скота является изменение состава корма для модификации биохимических процессов в рубце. В первую очередь добавление липидов в корма служит эффективной стратегией смягчения последствий выброса метана [1]. Результативность добавления липидов зависит от степени насыщенности жирных кислот и длины их углеродных цепей. Насыщенные жирные кислоты со средней длиной цепи, в первую очередь миристиновая и пальмитиновая кислоты, а также полиненасыщенные жирные кислоты являются наиболее эффективными жирными кислотами для снижения выбросов метана благодаря токсичности в отношении метаногенов и простейших [1]. При этом в качестве недорогих источников липидов может использоваться биомасса микроводорослей и цианобактерий. Ценность и конкурентные преимущества такой биомассы обуславливаются широким спектром соединений, которые синтезируют водоросли, быстротой их роста, возможностью повышать синтез целевых биопродуктов изменения условия культивирования [3].

В биомассе микроводорослей и цианобактерий содержится широкий спектр липидов, что может использоваться в различных отраслях биотехнологии – от получения биотоплива до создания кормов для сельскохозяйственных животных, способствующих снижению метаногенеза. Многообразие и функциональные характеристики липидов зачастую определяются спектром жирных кислот, которые входят в их состав. На основании изучения состава жирных кислот штаммов микроводорослей и цианобактерий коллекции AlgaBank ИФР РАН и обобщения более 200 научных публикаций был сформирован список из 135 жирных кислот, отмеченных в разных таксономических группах микроводорослей и представляющих разнотипные местообитания. Согласно таким характеристикам как длина цепи, ее структура и наличие заместителей все жирные кислоты из биомассы микроводорослей можно распределить на такие группы: с четным количеством атомов углерода в цепи – 81 жирная кислота, с короткой цепью из 6–8 атомов углерода – 2, со средней длиной из 10–14 атомов углерода – 14, с длинной цепью из 16–18 атомов углерода – 28, с очень длинной цепью из более 20 атомов углерода – 37, с нечетным количеством атомов углерода – 33, с разветвленной углеводородной цепью и дополнительными функциональными группами – 21 жирная кислота. При этом в спектре жирных кислот водорослей и цианобактерий присутствуют насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты

с разным количеством двойных связей: насыщенных – 19, мононенасыщенных – 26, полиненасыщенных – 68. Ценной характеристикой состава жирных кислот водорослей является присутствие омега-3 и омега-6 жирных кислот, а также незаменимых линолевой и линоленовой, а также условно незаменимых арахидоновой, докозагексаеновой, эйкозапентаеновой кислот.

Следовательно, большое разнообразие в спектре жирных кислот микроводорослей и цианобактерий насыщенных кислот со средней длиной цепи и полиненасыщенных жирных кислот разной длины позволяет использовать их биомассу в качестве сырья при разработке кормов для крупного рогатого скота, содержащего не только ценные нутриенты, но и обладающего эффектом снижения образования метана.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации России 124052200012-7 (номер темы FFES-2024-0001).

Список литературы

1. Beauchemin K. A., Ungerfeld E. M., Abdalla A. L., Alvarez C., Arndt C., Becquet P., Benchaar C., Berndt A., Mauricio R. M., McAllister T. A., Oyhantçabal W., Salami S. A., Shalloo L., Sun Y., Tricarico J., Uwizeye A., De Camillis C., Bernoux M., Robinson T., Ermias Kebreab E. Invited review: Current enteric methane mitigation options // Journal of Dairy Science. 2022. Vol. 105. P. 9297-9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
2. Liu S., Proudman J., Mitloehner F.M. Rethinking methane from animal agriculture // CABI Agriculture and Bioscience. 2021. Vol. 2. Art. no. 22. <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00041-y>
3. Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. Vol. 22. Art. no. 239. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>

Перспективы использования штаммов водорослей из коллекции **AlgaBank** для получения ценных биопродуктов

Мальцева С. Ю.*, Кезля Е. М., Миннуллин Д. Д., Миронов А. В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

**Screening microalgae and cyanobacteria diversity to develop feed additives to suppress
methanogenesis in livestock**

Maltseva S. Y.*, Kezlya E. M., Minnullin D. D., Mironov A. V.

K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

✉ svetadm32@gmail.com

Ключевые слова: биотехнология, водоросли, коллекция культур, цианобактерии,
экологобиохимический паспорт

На сегодняшний день коллекция культур водорослей и цианобактерий AlgaBank Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН является одной из крупнейших не только в России, но и в мире. В ее фондах поддерживается более 3000 штаммов микроводорослей. В коллекции представлены основные группы микроводорослей, а именно зеленые, желтозеленые, эустигматофитовые, диатомовые, хризофитовые и эвгленовые, а также цианобактерии. Фонд AlgaBank представляют штаммы, полученные из пресных, соленых и гиперсоленых водоёмов Вьетнама, Индии, Индонезии, Монголии, России, Чили и Эфиопии, включая штаммы из озера Байкал, Рыбинского водохранилища, Карелии, Алтая и Крыма, а также более 250 почвенных штаммов микроводорослей. Также коллекция AlgaBank уникальна наличием нуклеотидных последовательностей генов 18S rRNA, 28S rRNA, *rbcL*, ITS2 (эукариоты) и 16S rRNA (цианобактерии) для большинства штаммов.

С целью оценки биотехнологической ценности для более чем 500 штаммов проведено комплексное исследование их молекулярно-генетических, морфологических, экологических и биохимических характеристик. Показатели, полученные для каждого исследованного штамма, сведены в экологобиохимический паспорт и технологическую карту. Данный паспорт содержит данные о таксономическом положении штамма, исходном месте обитания, ДНК-баркодинговом участке, условиях культивирования и микрофотографии. В первую очередь экологобиохимический паспорт описывает ключевые физиологические и биохимические параметры биомассы штаммов водорослей и цианобактерий: содержание липидов, состав жирных кислот и соотношение их основных групп (насыщенные, мононенасыщенные, полиненасыщенные, включая омега-3 и омега-6), концентрацию хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, хлорофилла *c*, суммарных каротиноидов, протеина, ретинола, α -токоферола, активность каталазы, сукцинатдегидрогеназы, супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, содержание продуктов пероксидации липидов, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой и величину коэффициента антиоксидантной активности. Технологическая карта представляет информацию о типе культуры, питательной среде, интенсивности и режиме освещения, температуре культивирования и необходимом аппаратном обеспечении. Для каждого технологического режима указаны кинетические закономерности процесса культивирования. Технологические режимы характеризуют основные производственные характеристики штаммов: концентрацию и продуктивность биомассы, количество липидов, протеина, пигментов; содержание витаминов и ТБК-активных продуктов, а также объемную активность ферментов.

На данный момент из фонда коллекции AlgaBank рекомендовано 8 штаммов диатомовых [1], 4 штамма зеленых микроводорослей [2–4 ; 8] и 1 штамм цианобактерий для производства биотоплива [7], 5 штаммов зеленых [2 ; 5 ; 6 ; 8] и 2 штамма эустигматофитовых [9] – для создания сельскохозяйственных кормов и подкормок. В сумме это подчеркивает высокую ценность коллекции культур водорослей и цианобактерий AlgaBank ИФР РАН для поиска штаммов-производителей биопродуктов,

которые будут полезны при переходе к высокопродуктивному и экологически чистому животноводству, получению безопасных и качественных, в том числе функциональных кормов с учетом экологических, экономических и социальных критериев.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации России 124052200012-7 (номер темы FFES-2024-0001).

Список литературы

1. Kezlya E., Maltsev Y., Genkal S., Krivova Z., Kulikovskiy M. Phylogeny and fatty acid profiles of new *Pinnularia* (Bacillariophyta) species from soils of Vietnam // Cells. 2022. Vol. 11, № 15. Art. no. 2446. <https://doi.org/10.3390/cells11152446>
2. Maltsev Y., Krivova Z., Maltseva S., Maltseva K., Gorshkova E., Kulikovskiy M. Lipid accumulation by *Coelastrella multistriata* (Scenedesmaceae, Sphaeropleales) during nitrogen and phosphorus starvation // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. no. 19818. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99376-9>
3. Maltsev Y., Maltseva I., Maltseva S., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. A new species of freshwater algae *Nephrochlamys yushanensis* sp. nov. (Selenastraceae, Sphaeropleales) and its lipid accumulation during nitrogen and phosphorus starvation // Journal of Phycology. 2021. Vol. 57. P. 606-618. <https://doi.org/10.1111/jpy.13116>
4. Maltsev Y., Maltseva I., Maltseva S., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. Fatty acid content and profile of the novel strain of *Coccomyxa elongata* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivated at reduced nitrogen and phosphorus concentrations // Journal of Phycology. 2019. Vol. 55. P. 1154-1165. <https://doi.org/10.1111/jpy.12903>
5. Maltsev Y., Maltseva I., Maltseva S., Kulikovskiy M. Biotechnological potential of a new strain of *Bracteacoccus bullatus* (Sphaeropleales, Chlorophyta) as a promising producer of omega-6 polyunsaturated fatty acids // Russian Journal of Plant Physiology. 2020. Vol. 67, no. 1. P. 185-193. <https://doi.org/10.1134/S1021443720010124>
6. Maltsev Ye., Gusev E., Maltseva I., Kulikovskiy M., Namsaraev Z., Petrushkina M., Filimonova A., Sorokin B., Golubeva A., Butaeva G., Khrushchev A., Kuzmin D. Description of a new species of soil algae, *Parietochloris grandis* sp. nov., and study of its fatty acid profiles under different culturing conditions // Algal Research. 2018. Vol. 33. P. 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.06.008>
7. Maltseva S., Kezlya E., Krivova Z., Gusev E., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Phylogeny and fatty acid profiles of *Aliinostoc vietnamicum* sp. nov. (Cyanobacteria) from soils of Vietnam // Journal of Phycology. 2022. Vol. 58. P. 789-803. <https://doi.org/10.1111/jpy.13283>
8. Maltseva S. Y., Kulikovskiy M. S., Maltsev Y. I. Functional state of *Coelastrella multistriata* (Sphaeropleales, Chlorophyta) in an enrichment culture // Microbiology. 2022. Vol. 91. P. 523-532. <https://doi.org/10.1134/S0026261722601385>
9. Yakoviichuk A., Krivova Z., Maltseva S., Kochubey A., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Antioxidant status and biotechnological potential of new *Vischeria vischeri* (Eustigmatophyceae) soil strains in enrichment cultures // Antioxidants. 2023. Vol. 12, no. 3. Art. no. 654. <https://doi.org/10.3390/antiox12030654>

Рыбные ресурсы отечественного промысла на подводных горах Императорского хребта

Орлов А. М.*, Тупоногов В. Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Domestic fishery resources of the Emperor Seamounts

Orlov A. M.*, Tuponogov V. N.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ orlov.am@ocean.ru

Ключевые слова: талассобатиаль, ихтиофауна, рыбные ресурсы, Императорский подводный хребет

Исследования талассобатиальной ихтиофауны на подводных горах Тихого океана, расположенных вдали от побережий, были всегда так же достаточно редки, как и на больших глубинах из-за сложности их проведения. Однако после обнаружения в 1967 г. на поисковом судне РТМ "Астроном" на Гавайском подводном хребте скоплений кабан-рыбы *Pseudopentaceros wheeleri* были начаты отечественный промысел этого вида и интенсификация отечественных рыбопромысловых исследований на Императорском подводном хребте – более 30 комплексных экспедиций НИС с траловыми и океанологическими, гидробиологическими, геоморфологическими работами в 1968-1986 гг. [1 ; 2], [и др.]. Тем не менее, значительная часть результатов этих исследований не была опубликована.

Цель данной работы – на основе материалов научных съемок и промыслового-статистических данных, анализа всей доступной литературы и исследований самих авторов в 1980-2020 гг. рассмотреть современное состояние рыбных ресурсов Императорского хребта и оценить перспективы их изучения и использования.

По мере снижения уловов кабан-рыбы, через несколько лет после начала ее промысла возрос вылов второй по численности рыбы подводных гор Северной Пацифики – низкотелого берикса *Beryx splendens*, а также менее многочисленных физикулюса *Physiculus cynodon*, аллоцита-лунника *Allocyttus folletti*, зеркального солнечника *Zenopsis nebulosus*, беспузьрного окуня *Helicolenus avius* и эпигонуса *Epigonus denticulatus*. Однако уловы ни одного из этих видов в отдельности, ни всех их в совокупности не достигли таковых кабан-рыбы, т.к. их устойчивых скоплений, подобно тем, какие образовывала кабан-рыба, не наблюдалось.

После более чем 20-летнего перерыва в исследованиях вод Императорского хребта, на научно-исследовательских судах здесь были осуществлены траления в 2010 г. [3] и в 2019 г. [4]. В течение 2001-2009 гг. [5] и 2011-2022 гг. научными наблюдателями были получены новые данные с промысловыми ярусоловов и траулеров. Низкие уловы кабан-рыбы и отсутствие его пополнения, выявленные в результате проведения этих исследований, свидетельствуют о депрессивном состоянии запасов данного вида.

Основу ярусных уловов в водах хребта составляет морской монах *Erilepis zonifer*. По расчетным данным на начало ярусного лова в 2009 г., его биомасса на пяти горах хребта оценена в 250 т. Снижение суточных уловов и уловов на усилие на трёх горах в течение 1.5 месяцев по мере ведения промысла связывалось с сокращением запасов под влиянием добычи [5]. Этот пример, а также проводившийся в 1970-1980-е гг. нерегулируемый отечественный и иностранный донный траловый промысел кабан-рыбы, показали ограниченность промыслового потенциала рыбных ресурсов вод хребта и их уязвимость. По многолетним данным, запасы большинства обитающих здесь промысловых видов при ведении масштабного и неконтролируемого промысла не способны обеспечивать стабильные и высокие уловы в течение многих лет.

Высокой численности в рассматриваемом районе достигают от 8-10 до 15-17 видов рыб. Видовой состав рыб и доминирующие виды на разных горах могут существенно различаться. На северных горах преобладают бореальные придонные виды - 4 вида макруров рода *Coryphaenoides*, 1-2 вида сем. Moridae, 1-3 вида морских окуней сем. Sebastidae. В ярусных уловах доминируют морской монах, морские окунь, макруры. Доля по массе видов прилова (солнечник, аллоцит-лунник, до 7 видов акул разных семейств, до 6 видов морских окуней и др.) при их высокой встречаемости в уловах чаще минимальна. В южной части хребта основу биомассы составляют 2 вида бериксов (*B. splendens*, *B. decadactylus*), 2 вида кабан-рыб (*P. wheeleri*, *Pentaceros japonicus*), эпигонус, солнечник, морские окунь.

Более чем 50-летний опыт научно-исследовательских работ тралового и ярусного промысла на Императорском хребте (с 1968 по 2020-е гг.) показывает, что все имеющиеся данные пока не позволяют объективно оценить ресурсы обитающих здесь рыб. Ориентировочно общие рыбные ресурсы составляют здесь несколько сотен тысяч тонн (в межгодовом плане они значительно меняются, состояние ресурсов региона зависит от системы течения Курносо, и все связи пока не выявлены), из которых интерес для промысла представляют чуть более половины.

Как указывает ряд исследователей [3 ; 4], остающееся достаточно напряженным состояние запасов некоторых массовых донных рыб в водах хребта по результатам многолетних исследований и промысла не позволяет в настоящее время рекомендовать здесь крупномасштабный экспедиционную добычу объектов, составлявших основу уловов в предыдущие десятилетия.

Запасы кабан-рыбы и низкотелого берикса находятся на низком уровне. И хотя прослеживается тенденция к их увеличению [3], это может быть связано с межгодовыми колебаниями численности. Восстановление запасов возможно только при условии введения ограничительных мер на текущий промысел и обеспечения естественного выхода популяции из депрессивного состояния при наличии значительного пополнения.

Стратегия восстановления ресурсов основных объектов промысла подразумевает внедрение предосторожного подхода к их эксплуатации, что должно обеспечить ограниченный промысел, который необходимо строго регламентировать и обязательно сопровождать регулярным мониторингом и проведением системы рыбоохраных мероприятий всеми странами, ведущими лов.

Для координации использования ресурсов открытых вод Северной Пацифики (включая воды Императорского хребта) и более рационального рыболовства в этом регионе рядом стран (Канада, ЕС, Россия, Китай, Япония, Тайвань, США и Вануату) в 2012 г. была подписана Конвенция о сохранении и управлении рыбными ресурсами в открытых водах Северной Пацифики, а в 2015 г. на ее основе создана Комиссия по рыболовству в северной части Тихого океана. В список приоритетных видов Комиссии включены кабан-рыба и низкотелый берикс, а среди основных ее задач - соблюдение условий ведения промысла в конвенционном районе, обмен информацией о вылове странами-участниками Конвенции, обязательное участие в промысловых рейсах наблюдателей, выполняющих научную программу.

Для возможного возобновления промысла в рассматриваемом районе, несомненно, необходимо комплексное использование его ресурсов, как донных и придонных, так и пелагических с использованием различных орудий лова (трав, ярусов, удебных снастей, ловушек). Чтобы минимизировать ущерб репродуктивному потенциалу промысловых видов, вести лов следует не ежегодно и лишь непродолжительное время в крайне ограниченном объеме при ограничении количества добывающих судов и промысловых усилий. Из-за сложного рельефа большинства гор и низкой численности основных объектов он не может быть высокорентабельным и требует знания особенностей рельефа и океанологических условий, соответствующего технического оснащения судов и наличия опыта ведения лова на подводных горах.

Список литературы

1. Борец Л. А. Итоги исследований биологии кабан-рыбы (*Pentaceros richardsoni* Smith) // Исследования по биологии рыб и промысловой океанографии. Владивосток : ТИНРО, 1975. Вып. 6. С. 82-90.

2. Куликов М. Ю., Кодолов Л. С. Об ихтиофауне подводных поднятий // Биологические ресурсы талассобатиальной зоны Мирового океана. М. : ВНИРО, 1991. С. 168-177.
3. Байталюк А. А., Карякин К. А., Орлов А. М. Ресурсы талассобатиали Императорского подводного хребта: освоение, состояние запасов и возможность экспедиционного промысла // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11, № 4 (44). С.801-816.
4. Сомов А. А., Канзепарова А. Н., Важова А. С., Хлебородов А. С., Зуев М. А., Слабинский А. М., Орлова С. Ю., Курносов Д. С., Беляев В. А., Орлов А. М. Некоторые предварительные результаты исследований на Императорском хребте в апреле 2019 г. // Труды ВНИРО. 2019. Т. 175. С. 208–219.
5. Золотов О. Г., Спирин И. Ю. О промысле и численности эрилеписа (*Erilepis zonifer*) в районе подводного Императорского хребта (Северо-западная часть Тихого океана). // Известия ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 79-88.

Влияние водного экстракта фикобилипротеинов (С-фикацианин, В-фикаэритрин) на функциональные показатели гемоцитов гигантской устрицы (*Magallana gigas*) (эксперимент *in vitro*)

Парфёнов В. В.^{1,2*}, Ткачук А. А.¹, Боровков А. Б.¹, Андреева А. Ю.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

Effect of aqueous extract of phycobiliproteins (C-phycocyanin, B-phycoerythrin) on functional parameters of hemocytes of the giant oyster (*Magallana gigas*) (*in vitro* experiment)

Parfenov V. V.^{1,2*}, Tkachuk A. A.¹, Borovkov A. B.¹, Andreeva A. Yu.¹

¹A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

✉ vitaliy.par@ibss-ras.ru

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, гигантская устрица, аквакультура, экстракт фикобилипротеинов, гемоциты, иммунитет

Современный мировой рынок двустворчатых моллюсков представлен преимущественно видами, обитающими в солёной или солоноватой воде, и составляет более 15 миллионов тонн в год [1]. Устрицы — наиболее массовые культивируемые двустворчатые моллюски [2]. Известно, что заболевания и паразитарные инвазии снижают продуктивность и выживаемость двустворчатых моллюсков, что приводит к значительным финансовым потерям на фермах. В связи с неспецифичностью иммунитета и отсутствием иммунной памяти у двустворчатых моллюсков активно исследуются способы укрепления их защитных механизмов в аквакультуре. Кормовые добавки на основе производных микроводорослей являются перспективной альтернативой антибактериальным и противогрибковым препаратам на устричных фермах и питомниках. Фикобилипротеины, содержащиеся в экстрактах микроводорослей, обладают широким спектром антиоксидантной, противовоспалительной и противораковой активности [3]. В связи с этим, они представляют интерес для использования в качестве кормовых стимуляторов неспецифического иммунитета и повышения общего уровня здоровья устриц в питомниках. Целью данной работы является исследование (в условиях *in vitro*) влияния различных концентраций водного экстракта фикобилипротеинов на уровень смертности, интенсивность клеточного дыхания и продукцию активных форм кислорода в гемоцитах гигантской устрицы *Magallana gigas*.

Гигантские устрицы *Magallana gigas* (размер: $134,7 \pm 1,5$ мм, вес: $71,2 \pm 2,8$ г, $n = 10$) были получены на марикультурной ферме в районе г. Севастополя (ООО «Марикультура»). Моллюски были размещены в аквариумах емкостью 50-70 л с системой аэрации и фильтрации воды на 1 неделю для адаптации к лабораторным условиям (концентрация кислорода $7\text{--}8 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$, $\text{pH} = 8,2$, $t^\circ = 18\text{--}20^\circ\text{C}$). Далее, используя стерильный шприц, из сердечного синуса устрицы отбиралась гемолимфа ($1,5\text{--}2,0$ мл). Клетки гемолимфы трижды отмывались отфильтрованной стерильной морской водой в рефрижераторной центрифуге Eppendorf 5430R (5 мин, 500 об/мин). Затем гемоциты рессуспендировали в отфильтрованной стерильной морской воде (концентрация клеток $2\text{--}4 \cdot 10^6 \text{ кл}\cdot\text{мл}^{-1}$).

Гемоциты были инкубированы с водным экстрактом фикобилипротеинов (С-фикацианин, В-фикаэритрин) в концентрации 2, 20 и $200 \text{ мкг}\cdot\text{мл}^{-1}$ в течение 1 часа при комнатной температуре в темноте, а затем отмывались от экстракта в стерильной морской воде в центрифуге (5 мин, 500 об/мин). Далее были измерены функциональные показатели клеток с использованием проточной цитометрии на приборе MACSQuant Analyzer 10.

С помощью красителя Rhodamine 123 (Rh123, Sigma) была проведена оценка влияния фикобилипротеинов на мембранный потенциал митохондрий гемоцитов устриц. Для оценки способности

гемоцитов к спонтанной продукции активных форм кислорода (АФК) применялся флуоресцентный зонд 2,7-диацетат дихлорофлуоресцина (DCF-DA). 1 мл суспензии клеток инкубировали с 10 мкл красителя (финальная концентрация в пробе 10 мкл·мл⁻¹) в течение 30 минут в темноте, а затем проводился анализ флуоресценции красителя на канале FL1 (488 нм) проточного цитометра. Доля мертвых гемоцитов в суспензии определялась окраской клеток красителем йодистый пропидий (Propidium iodide, PI) в течение 30 мин в темноте. Измерение флуоресценции клеток проводили в канале FL3 проточного цитометра. Полученные данные анализировались методом однофакторной дисперсии (one-way ANOVA) с последующим применением критерия Даннета для оценки различий внутри групп.

Согласно полученным данным, доля мертвых гемоцитов в контрольных пробах не превышала 4%, что соответствует норме для двустворчатых моллюсков. Инкубация гемоцитов с водным экстрактом фикобилипротеинов не приводила к их гибели. Статистических различий в доле мертвых гемоцитов между контрольной и опытными группами не выявлено. Установлено, что водный экстракт фикобилипротеинов не влияет на уровень внутриклеточной продукции гемоцитами АФК, а также не приводит к изменению интенсивности клеточного дыхания на период экспериментального воздействия. Отмечена тенденция к росту интенсивности флуоресценции клеток, окрашенных красителем Rh123, однако, различия с контролем недостоверны.

Таким образом результаты настоящей работы свидетельствуют о низкой цитотоксичности водного экстракта фикобилипротеинов в отношении гемоцитов устриц в диапазоне концентраций 2–200 мкг·мл⁻¹, что свидетельствует о его безопасности и возможности применения в качестве иммуномодулятора и стимулятора антиоксидантной активности на марикультурных фермах.

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 24-16-00245 (<https://rscf.ru/project/24-16-00245/>).

Список литературы

1. Wijsman J. W. M. , Troost K., Fang J., and Roncarati A. Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges // Goods and Services of Marine Bivalves / Eds. Smaal A., Ferreira J., Grant J., Petersen J., Strand Ø. Springer Cham. 2019. P. 7-26. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9_2
2. Жигин А. В., Юдин Н. К., Кленьшин С. А., Кожаева Д. К. Содержание тихоокеанских устриц и их линейно-массовые характеристики // Вестник АПК Верхневолжья. 2023. № 1 (61). С. 32-41. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.61.1.004>
3. Береговая Н. М., Геворгиз Р. Г., Нехорошев М. В. Получение фикобилипротеинов методом горячей экстракции из биомассы спирулины // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона : материалы VIII Международной конференции, Керчь, 26–27 июня 2013 г. Керчь : ЮГНИРО, 2013. С. 195-197.

Воздействие сверлящей губки *Pione vastifica* на морфофункциональные характеристики жабр тихоокеанской устрицы *Magallana gigas*

**Подольская М. С.^{*}, Гаврюсева Т. В., Челебиева Э. С., Лавриченко Д. С., Кладченко Е. С.,
Андреева А. Ю.**

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Effect of the boring sponge *Pione vastifica* on the histological structure of the gills of the Pacific oyster *Magallana gigas*

Podolskaya M. S.^{*}, Gavryuseva T. V., Chelebieva E. S., Lavrichenko D. S., Kladchenko E. S., Andreeva A. Yu.
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ podolskaya_m99@bk.ru

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, иммунитет, сверлящие губки, жабры, инвазия,
микроструктура ткани

Двустворчатые моллюски, в том числе тихоокеанские устрицы *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), являются массовыми представителями бентоса и ценным источником пищи для человека. Тихоокеанская устрица подвержена поражению сверлящей губкой *Pione vastifica*, что приводит к негативным последствиям для организма и экономическим потерям на фермах [1]. Так как жабры являются высокочувствительным органом, который отвечает за дыхание и фильтрацию, их выбирают в качестве индикаторного органа для оценки состояния здоровья моллюска [2]. Таким образом, данная работа направлена на исследование гистологических изменений в жабрах устриц, зараженных сверлящей губкой.

Взрослые устрицы *M. gigas* (массой $80,4 \pm 6,2$ г, длиной раковины $13,4 \pm 2,5$ см, $n = 40$) были отобраны в прибрежной акватории Севастопольской бухты, при температуре воды 20°C , солености 17–18 ‰, содержании кислорода $7,2\text{--}8,5$ мг/л. Моллюски были отсортированы и поделены на две группы здоровые ($n = 10$) и зараженные сверлящей губкой ($n = 30$) (устрицы с видимым повреждением раковины и красными вкраплениями). Устриц акклиматизировали к лабораторным условиям, соответствующим сезону года, в течение 14 дней. В зависимости от площади поражения раковины, устрицы были разделены на 5 стадий:

- 0 стадия – здоровый моллюск, без видимых признаков поражения,
- 1 стадия - появление первых признаков заражения, красные вкрапления у замка, поражение раковины составляет от 1 до 25 %,
- 2 стадия - губка распространяется от замка к верхней части раковины, поражение от 26 до 50%,
- 3 стадия - губка заметно перфорировала раковину, поражение раковины составляет от 51 до 75%,
- 4 стадия – поражение раковины составляет от 76 до 100%

Перед началом отбора проб каждой особи был присвоен номер, после чего раковины моллюсков были сфотографированы с обеих сторон, для подсчета площади поражения раковины и определения стадии заражения моллюска. Площадь поражения оценивали с помощью программного обеспечения ImageJ. После чего, у устриц отделяли верхнюю створку раковины, ткани фиксировали в растворе Дэвидсона, затем обезвоживали, заливали парафином и получали срезы толщиной 5 мкм, после чего окрашивали гематоксилин-эозином [3]. Окрашенные предметные стекла исследовали с помощью светового микроскопа (Olympus CX43, Япония), оснащенного цифровой камерой (Olympus DP28).

Препараты жаберной ткани зараженных устриц были ранжированы по стадиям поражения раковины для того, чтобы отследить зависимость между степенью повреждения раковины и изменениями на тканевом уровне [4].

Структурные изменения жаберной ткани, вызванные сверлящей губкой, оценивали в программе ImageJ. Были измерены длина жаберной нити (GFL), ширина жаберной нити (GFW) и толщина жабр (GT) *M. gigas* [5].

Различия между группами анализировали проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного обеспечения RStudio. Различия считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

В контрольной группе (стадия 0) гистологическое строение жаберной пластиинки у отдельных устриц не различалось, а жаберные нити соответствовали стандартному строению жаберных пластиинок здоровых устриц. Отдельные гистопатологические изменения выявлялись на 2–4 стадиях инфекции. В жабрах устриц, отнесенных ко 2-й стадии заражения, обнаружено увеличение отдельных жаберных пластиинок и увеличение водных каналов по сравнению с нормальным строением. Для 3-й и 4-й стадий характерно локализованное слипание жаберных пластиинок. GFL, GFW и GT практически не изменились с увеличением площади поражения. При первой стадии заражения размерные показатели были меньше, по сравнению с контрольной группой, а затем увеличивались, достигая максимальных значений во второй стадии заражения. Дальнейшее расширение площади поражения было связано со снижением всех показателей. В данном исследовании не было обнаружено существенных нарушений структуры жаберной ткани устриц, пораженных сверлящей губкой. На 2, 3 и 4 стадиях инфекции присутствовали исключительно локальные гистологические нарушения. Ранее было показано, что интенсивность морфологических изменений в жабрах зависит от степени воздействия токсиканта или стрессора на двустворчатых моллюсков и рыб.

Таким образом, результаты настоящей работы свидетельствуют о том, что поражение сверлящей губкой раковин тихоокеанских устриц не влияет на морфометрические показатели в жаберной ткани, что может быть связано с высокой степенью устойчивости этой ткани как одного из барьеров между окружающей средой и организмом моллюска.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-26-00019 (<https://rscf.ru/project/23-26-00019/>) «Сверлящая губка Черного моря: влияние на иммунную систему устриц и оценка эффективности метода гипоосмотического шока для борьбы с ее распространением на марикультурной ферме».

Список литературы

1. Dieudonne J., Carroll J. M. The impacts of boring sponges on oyster health across multiple sites and tidal heights // Estuaries and Coasts. 2022. Vol. 45, iss. 1. P. 213-224. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00942-1>
2. Farcy É. et al. Transcriptional expression levels of cell stress marker genes in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* exposed to acute thermal stress // Cell Stress and Chaperones. 2009. Vol. 14, iss. 4. P. 371-380. <https://doi.org/10.1007/s12192-008-0091-8>
3. Bancroft J. D., Layton, C. The hematoxylins and eosin // Theory & Practice of Histological Techniques, 7th Edition / Eds. Suvarna, S. K., Layton C., Bancroft J. D. Churchill Livingstone, Philadelphia, 2013. Ch. 10. P. 172-214. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4226-3.00010-X>
4. Daume S. et al. Quantifying sponge erosions in Western Australian pearl oyster shells // Aquaculture Research. 2010. Vol. 41, iss. 9. P. e260-e267. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02518.x>
5. Cao W. et al. Effects of high salinity stress on the survival, gill tissue, enzyme activity and free amino acid content in razor clam *Sinonovacula constricta* // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. Art. no. 839614. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.839614>

Стратегия выживания и распространения вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани лососевых рыб в природном очаге и аквакультуре

Рудакова С. Л.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

**Strategy for the survival and spread of the virus of infectious necrosis of hematopoietic tissue
of salmon fish in a natural outbreak and aquaculture**

Rudakova S. L.

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

✉ rudakova@vniro.ru

*Ключевые слова: вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани, природный очаг инфекции,
лососи, вирусные болезни рыб*

Вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHNV) относится к сем. Rabdoviridae, является возбудителем инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHN) — заболевания, наносящего большой экономический ущерб в аквакультуре. Международным эпизоотическим бюро IHN включен в Перечень болезней, которые необходимо контролировать на государственном уровне [1]. Аквакультура - это искусственно созданная среда обитания рыб с высокими плотностями посадки и интенсификацией производства за счет искусственного кормления, что создает благоприятные условия для развития эпизоотий. Между тем результаты многолетних вирусологических тестирований половозрелой нерки и молоди в оз. Курильское (Камчатка) указывают на длительную циркуляцию IHNV в системе патоген–хозяин, в которой поддерживается гомеостаз [2]. Таким образом, хозяин и патоген в естественной среде обитания на протяжении длительного периода существования выработали взаимную адаптацию. На заре развития форелеводства в США вирус попал из его естественной среды обитания (Аляска) и от природного хозяина (нерки) в новые условия и столкнулся с новым чувствительным хозяином – радужной форелью [3]. С новым хозяином вирус распространился практически по всему миру, за счет перевозки зараженной икры или молоди радужной форели [1]. В настоящее время вирусы все также заносятся в популяции рыб (предприятия аквакультуры), которые ранее не имели опыта такого взаимодействия. Вспышки IHN поэтому носят острый характер и приводят к гибели большого количества рыб, особенно сеголеток радужной форели и атлантического лосося в товарной аквакультуре или нерки при искусственном воспроизводстве [4]. Понимание стратегии выживания вируса позволит усовершенствовать механизмы борьбы с ним и/или снизить потери в аквакультуре.

Цель данной работы показать стратегию выживания и механизмы взаимодействия вируса IHNV и хозяина в природном очаге и в аквакультуре.

Чтобы понять стратегии выживания и распространения IHNV в природном очаге и аквакультуре рассмотрим организацию этой паразитарной системы вирус-хозяин. Вирусы — облигатные паразиты, которые способны размножаться только в клетках хозяина, они пассивны и не могут сами передвигаться и искать хозяина. Тихоокеанские лососи (естественные хозяева вируса) после размножения на нерестилище погибают, таким образом, для дальнейшего сохранения IHNV как вида ему необходима смена хозяина. Выход вирусных частиц происходит с овариальной и семенной жидкостью во время нереста, а также из трупов погибших рыб, что обеспечивает выживание популяции вируса за счет его дальнейшей передачи через воду чувствительным рыбам [4]. Кроме того, вирус способен накапливаться в органике донных отложений и быть источником заражения рыб [5].

В инфекционном процессе присутствует фаза циркуляции патогена и фаза резервации. Фаза циркуляции IHNV (эпизоотия) подробно описана в ряде работ [4 ; 5]. За ней следует фаза сезонной

резервации, когда для размножения вируса нет подходящих условий, и он выработал способ сохранить свой генетический материал для будущего размножения. Многие ученые [4 ; 5] считают, что для IHNV характерен процесс персистенции возбудителя в организме хозяина в неинфекционной форме. Вероятно, фаза резервации IHNV начинается после выживания сеголеток после эпизоотии, когда вирус перестает размножаться в организме хозяина и у него появляется приобретенный иммунитет.

В 2022-2024 гг. в ФГБНУ «ВНИРО» проводили вирусологическое тестирование радужной форели, выращиваемой в рыбоводных хозяйствах России. В ряде хозяйств диагностировали IHN. Течение эпизоотий и внешние признаки болезни напоминали таковые, описанные нами ранее у молоди нерки на ЛРЗ Камчатки [6]. Рыбоводы, занимающиеся товарным выращиванием радужной форели, не спешат уничтожать заболевшую вирусом рыбу, т.к. это связано с большими потерями, поэтому большое количество вирусных частиц попадает в водоем и часто заражает рыбу в садках находящихся ниже по течению, а часть вирусов накапливается в донных осадках. Некоторое количество рыбы выживает после эпизоотии IHN, и эти рыбы становятся устойчивыми к повторному заражению, поскольку у них формируется приобретенный иммунитет [4]. Однако, эта рыба также является источником патогенного вируса, поскольку для IHNV характерна фаза персистирования в переболевшем хозяине. Если переболевшую рыбу отправили на переработку после созревания, то она может быть источником вируса для рыб, младшей возрастной группы на хозяйстве, поскольку с половыми продуктами испускает вирусы в воду. Естественный водоем, используемый для аквакультуры, может стать источником IHNV и на хозяйствах, расположенных здесь, вспышки вирусной болезни могут повторяться регулярно из года в год. Для развития заболевания кроме патогена и хозяина нужны еще благоприятные условия среды. Для IHNV это в основном температура воды, вирус вызывает эпизоотии при 8–15°C, хотя может и при более низких температурах [4 ; 5]. При температуре выше 18°C вспышки болезни в аквакультуре затухают и переходят в хроническое течение.

В случае развития эпизоотии определить источник вируса поможет ретроспективный анализ и филогенетические исследования изолятов вируса. А соблюдение мер профилактики и контроля поможет избежать заноса вирусов на хозяйства аквакультуры, что намного дешевле и гуманнее по отношению к рыбам.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по теме: «Создание системы охраны здоровья объектов аквакультуры на основе оценки рисков распространения заболеваний, разработки и испытания средств их диагностики, профилактики и лечения» (№ реестровой записи государственной работы: 720000Ф.99.1.БН62АБ62000).

Список литературы

1. Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. 2022. World Organisation for Animal Health (OIE). [Electronic resource]: URL: <https://www.oie.int/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-manual-online-access> (дата обращения 08.06.2024 г.)
2. Рудакова С. Л., Бочкова Е. В., Дубынин В. А., Мюге Н. С., Батс Б., Брейта Р. Б., Кюраф Г. Особенности циркуляции вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани в популяции нерки оз. Курильского (Камчатка) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2021. № 63. С. 89-101. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2021.63.89-101>
3. McDaniel T .R. Alaska sockeye salmon culture manual / T. R. McDaniel, K. M. Pratt, T. R. Meyers, T. D. Ellison, J. E. Follett, J. A. Burke // Special fisheries report number 6. Alaska Department of Fish and Game. Div. Commer. Fish., Manag. Develop. Alaska. 1994. 40 p.
4. Dixon P., Paley R., Alegria-Moran R. et al. Epidemiological characteristics of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV): a review // Veterinary Research logo Veterinary Research. 2016. Vol. 47. Art. no. 63. <https://doi.org/10.1186/s13567-016-0341-1>

5. Bootland L. M., Leong J. C. Infectious hematopoietic necrosis virus // Woo P.T.K., Bruno D.W. (eds.). Fish diseases and disorders. V. 3. Viral, bacterial and fungal infectious. U.K. Wallingford: CAB Int. 1999. P. 57–112.
6. Рудакова С. Л. Анализ развития эпизоотий, вызванной вирусом инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHNV) у мальков нерки *Oncorhynchus nerka* при искусственном выращивании (Камчатка) // Вопросы рыболовства. 2004. Т. 5, № 2 (18). С. 362-374.
7. Whipple M. J., Rohovec J. S. The effect of heat and low pH on selected viral and bacterial fish pathogens // Aquaculture. 1994. Vol. 123. P. 179-189. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90056-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90056-6)

Суточный бюджет времени как показатель для оценки пищевых потребностей тюленей Белого моря

Светочева О. Н., Светочев В. Н.*

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

Daily time budget as index for feeding assessing of White Sea seals

Svetocheva O. N., Svetochev V. N.*

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

✉ svol1961@yandex.ru

Ключевые слова: формы суточной активности, энергетические потребности, гренландский тюлень, морской заяц, нерпа, Белое море

Оценка суточного потребления животным энергии может опираться на экспериментально полученные величины показателей основного обмена, обмена покоя и т.д. Чтобы оценить энергетические потребности тюленей, используют разные подходы и способы расчетов: через весовое среднесуточное потребление корма или суточные потребности в пище в процентном отношении от массы тела [1]. Другой путь – создание моделей, поскольку моделирование является одним из перспективных подходов в изучении биологии и экологии морских млекопитающих. Показатели потребления моделируются в рамках конкретной ситуации, их значения основываются на определяемых самими исследователями характеристиках: это могут быть формы суточной активности тюленя (суточный бюджет времени, СБВ), средняя скорость движения, глубина ныряния и другие [2]. Например, моделирование по Øritsland и Markussen коэффициентов форм суточной активности, суточного бюджета времени (СБВ) для гренландского тюленя беломорской популяции (*Phoca groenlandica*) позволило рассчитать в дальнейшем энергетический бюджет для молодых тюленей [3] (Табл. 1).

Таблица 1: Формы суточной активности и СБВ тюленей летом

Формы суточной активности	Морской заяц	Нерпа	Гренландский тюлень	CBB, %
				CBB, %
Отдых	42	42	25	
Медленное плавание	46	46	60	
Активное плавание, ныряние	8	4	6	
Быстрые перемещения, миграция	4	8	9	

Расчеты форм активности для нерпы (*Pusa hispida*) и морского зайца (*Erignathus barbatus*) были выполнены в период 2004–2015 гг. методом сплошных натурных наблюдений и фотoreгистраций тюленей на летних залежках в Белом море [4 ; 5] (см. табл. 1). Для нерпы и морского зайца впервые были количественно определены следующие формы активности в нагульный период: отдых на твердом субстрате (каменистые или песчаные отмели), медленное плавание (и питание), активное плавание (и питание) на литорали и в пелагиали, быстрые перемещения на большие расстояния (кочевки, миграции).

Для гренландского тюленя ранее были предложены следующие коэффициенты форм активности (i): 1 – отдых, 1,8 – медленное плавание (со скоростью 3,5 км/ч), 4,2 – быстрое плавание (со скоростью 7 км/ч), 8,4 – ныряние. Для морского зайца и нерпы использовали коэффициенты по Crag и Butler: 2,2 – отдых, 1,4 – медленно плавает, 2,0 – ныряет, 4–6 – быстро плавает и ныряет [4]. Эти коэффициенты более адаптированы для тюленей, которые регулярно отдыхают на твердом субстрате.

В дальнейшем через СБВ можно выразить суточный бюджет энергии (СБЭ), используя известное уравнение Kleiber:

$$\text{СБЭ, кДж/сут} = \text{СБВ} \cdot \text{ВМ, где} = \sum [(\mathbf{K}_i \cdot t_i) / 100],$$

где t_i – i -ая форма суточной активности, \mathbf{K}_i – коэффициент энергетических затрат i -ой формы суточной активности [3].

Как известно, расчеты общего количества потребляемой пищи в весовом выражении для организмов, обитающих в дикой природе, всегда представляют большой практический и теоретический интерес, но, вместе с тем, и большую трудность. Использование суточного бюджета времени для оценки энергетического бюджета питания позволяет осуществлять такие расчеты корректно и получать надежные показатели.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН по теме «Териофауна арктических морей: физиология, экология и этология» (№ гос. регистрации 124013000720-4).

Список литературы

1. Баранов Е. А., Петров Е. А., Шошенко К. А. Оценка энергетических затрат и пищевой потребности байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm) // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологических наук. 1988. Вып. 2. № 14 (464). С. 59–66.
2. Гурова Л. А., Пастухов В. Д. Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 186 с. (Труды лимнологического института ; Т. 24 (44)).
3. Светочева О. Н., Светочев В. Н. Энергетические потребности детенышей гренландского тюленя беломорской популяции (*Phoca groenlandica* Erxleben, 1777) на разных стадиях развития // Морские млекопитающие Голарктики : сборник научных трудов по материалам 8-й международной конференции, Санкт-Петербург, 22–27 сентября 2024 г. Москва : РОО «Совет по морским млекопитающим», 2015. Т. 2. С. 147–153.
4. Светочева О. Н., Светочев В. Н. Нерпа Белого моря: численность, распределение, питание. Апартиты : Изд-во КНЦ РАН, 2010. 241 с.
5. Светочева О. Н., Светочев В. Н., Кавцевич Н. Н. Суточная активность и бюджет энергии морского зайца (*Erignathus barbatus*) в Белом море // Евразийское Научное Объединение. 2017. Т. 1. № 3 (25). С. 53–56.

Филогенетический анализ изолятов вируса ИНГТ, выделенных впервые от кеты и чавычи на Камчатке

Тарасов В. Е.^{1*}, Бочкива Е. В.¹, Рудакова С. Л.²

¹Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии («КамчатНИРО»), Петропавловск-Камчатский, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»),
Москва, Россия

**Phylogenetic analysis of IHNV isolates, isolated for the first time from chum and chinook salmon
from Kamchatka**

Tarasov V. E.^{1*}, Bochkova E. V.¹, Rudakova S. L.²

¹Kamchatka branch of Federal Research Institute of Oceanography and Fisheries (“KamchatNIRO”),
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

²Federal Research Institute of Oceanography and Fisheries (“VNIRO”), Moscow, Russia

✉ v.tarasov@kamniro.vniro.ru

Ключевые слова: вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани, ИНГТ, *Novirhabdovirus salmonid*, тихоокеанские лососи, филогенетический анализ, лососевые рыболовные заводы

Вирусные заболевания рыб — одна из главных причин, сдерживающих рост и распространение аквакультуры в России и в мире. Инфекционный некроз гемопоэтической ткани лососевых (ИНГТ) — высококонтагиозное заболевание, вызываемое (-)РНК-вирусом *Novirhabdovirus salmonid* семейства Rhabdoviridae [1]. Это заболевание в России отнесено к карантинным и особо опасным, а также входит в список контролируемых патогенов Всемирной организации по охране здоровья животных.

На Камчатке вирус впервые был выделен в 2001 году от половозрелой нерки (*Oncorhynchus nerka*), отловленной для закладки икры на лососевых рыболовных заводах (ЛРЗ), расположенных в бассейне р. Большая. Ранее проведенный филогенетический анализ выделенных здесь изолятов вируса показал их близкое родство с североамериканскими изолятами U-геногруппы, выделенными на Аляске (США) и в Британской Колумбии (Канада) [2]. С 2001 г. вирус ИНГТ регулярно выделяли у половозрелой нерки в бассейне реки Большая, на ЛРЗ отмечено три эпизоотии у молоди нерки со смертностью от 30 до 70%. На основании многолетних данных выдвинута гипотеза о функционировании стабильного природного очага ИНГТ у нерки в бассейне р. Большая [3].

Помимо нерки на ЛРЗ «Малкинский» (МЛРЗ) занимаются воспроизводством чавычи (*O. tshawytscha*), а на ЛРЗ «Озерки» (ОЛРЗ) – кеты (*O. keta*). С 2001 г. при ежегодном вирусологическом тестировании вирус у этих видов рыб не выделяли, однако в 2015–2017 гг., вирус ИНГТ идентифицировали у производителей кеты на ОЛРЗ, а в 2022 г. — у чавычи на МЛРЗ. Поскольку для этих видов на Камчатке носительство вируса ИНГТ ранее было не характерно, мы предприняли попытку прояснить филогенетическое происхождение этих изолятов вируса для того, чтобы понять пути передачи вируса к нехарактерным прежде хозяевам среди лососевых рыб Камчатки.

Теоретически, к вирусу ИНГТ восприимчивы практически все виды камчатских лососевых рыб, воспроизводством которых заняты камчатские ЛРЗ — это нерка, кета и чавыча [1]. Круг хозяев и географическое распространение у вируса ИНГТ во многом определяется геногруппой, к которой принадлежит изолят — так, существуют геногруппы-специалисты с одним предпочтительным хозяином (UP, MD, L, J геногруппы) и геногруппы-генералисты с несколькими (UC геногруппа) [4 ; 5].

Результаты филогенетического анализа, проведенного нами методом байесовского коалесцентного филогенетического анализа в программе BEAST 2 (v.2.7.6) на основе консервативного midG-участка (303 п.н.) гена гликопротеина вируса ИНГТ выявила 2 устойчивые клады камчатских изолятов ИНГТ — «чавыча-нерка 2022 года отбора», «кета-нерка 2015-2017 года отбора + нерка

2022 года отбора». Последняя клада вполне ожидаемо попала в UP-геногруппу, которая специализируется на нерке, однако клада «чавыча-нерка 2022 года отбора» оказалась новым ответвлением внутри U-геногруппы. При этом расхождение нуклеотидных последовательностей изолятов было крайне низким ($\leq 0,08$), что подтверждает данные как о низком генетическом разнообразии внутри U-геногруппы, так и о консервативном характере циркуляции вируса ИНГТ в популяциях камчатской нерки [1 ; 2].

Проведенный нами анализ также показал, что ответвление клады «чавыча-нерка 2022 года отбора» произошло около 1991 года (стоит отметить, что это датирование в широкой окрестности, 95% HPD интервал — 1973-2009 гг.). По всей видимости, здесь мы имеем дело со скрытым до сегодняшнего дня разнообразием вируса ИНГТ. Анализ инфекционной активности изолятов, выделенных у нерки и чавычи в 2022 году, показал, что вирус нерки представлен двумя вариантами — либо изоляты с высоким титром ($\sim 1 \times 10^{8.6}$ ТЦД₅₀), либо изоляты с умеренным титром, примерно равным титру изолятов от чавычи ($\sim 1 \times 10^{6.4}$ ТЦД₅₀), что сходится с общим представлением о снижении инфекционного титра при переходе к генералистской экологической стратегии [5].

Таким образом, с одной стороны, мы имеем подтверждения того, что природный очаг вируса ИНГТ в популяциях камчатской нерки р. Большая не является генетически монолитным и включает до сих пор не учтенное генетическое разнообразие с неопределенным кругом хозяев, а с другой стороны, наиболее специализированная его часть, принадлежащая к UP-геногруппе, все равно способна вызывать инфекцию у других видов тихоокеанских лососей, в частности у кеты.

Результаты нашего исследования подчеркивают необходимость тщательного ихтиовирусологического мониторинга тихоокеанских лососей, используемых на ЛРЗ для закладки икры с целью профилактики эпизоотий ИНГТ на этих заводах. Существование природного очага ИНГТ на Камчатке следует учитывать в рыбоводном процессе уже функционирующих рыбоводных заводов, при планировании новых и/или расширении видового состава подращиваемых лососей как на Камчатке, так и во всем Дальневосточном федеральном округе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Разработка общероссийской системы региональных центров по охране здоровья объектов аквакультуры с учетом специфики технологий их выращивания» (№ гос. регистрации 076-00007-22ПР).

Список литературы

1. Dixon P., Paley R., Alegria-Moran R., Oidtmann B. Epidemiological characteristics of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV): a review // Veterinary Research. 2016. Vol. 47, no. 63. P. 128–145. <https://doi.org/10.1186/s13567-016-0341-1>
2. Rudakova S. L., Kurath G., Bochkova E. V. Occurrence and genetic typing of infectious hematopoietic necrosis virus in Kamchatka, Russia // Diseases of Aquatic Organisms. 2007. Vol. 75, no. 1. P. 1–11. <https://doi.org/10.3354/dao075001>
3. Рудакова, С. Л. Влияние вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани на популяцию нерки *Oncorhynchus nerka* (Salmoniformes, Salmonidae) озера Начикинское // Вопросы ихтиологии. 2010. Т. 50, № 3. С. 411–416. EDN: MSQOHR.
4. Black A., Breyta R., Bedford T., Kurath G. Geography and host species shape the evolutionary dynamics of U genogroup infectious hematopoietic necrosis virus // Virus Evolution. 2016. Vol. 2, iss. 2. Art. no. vew034. <https://doi.org/10.1093/ve/vew034>
5. Páez D. J., LaDeau S. L., Breyta R., Kurath G., Naish K. A., Ferguson P. F. B. Infectious hematopoietic necrosis virus specialization in a multihost salmonid system // Evolutionary Applications. 2020. Vol. 13, iss. 8. P. 1841–1853. <https://doi.org/10.1111/eva.12931>

Сравнительный анализ клеток гемолимфы морских и пресноводных бивальвий

Токмакова А. С.^{1*}, Уппе В. А.², Водясова Е. А.², Левакин И. А.³, Серебрякова М. К.¹

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

² Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

³ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

Comparative analysis of hemolymph cells of marine and freshwater bivalvies

Tokmakova A. S.^{1*}, Uppe V. A.², Vodiasova E. A.², Levakin I. A.³, Serebriakova M. K.¹

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

²A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

³Zoological Institute of RAS, St. Petersburg, Russia

✉ arina.tokmakova@gmail.com

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, гемоциты, клеточные популяции, проточная цитофлуориметрия

В настоящее время заметно увеличился интерес к защитным реакциям беспозвоночных. Одними из наиболее изучаемых среди них являются моллюски. Однако наши знания об иммунитете последних в основном базируются на результатах изучения гастропод, что объясняется их ролью промежуточных хозяев в жизненных циклах trematod. Иммунные реакции бивальвий также привлекают исследователей, но работы в основном проводятся на морских видах.

Главным показателем, характеризующим общий иммунный статус моллюсков, а также их зараженность, является соотношение разных типов циркулирующих клеток в гемолимфе животных. С использованием методов проточной цитофлуориметрии и микроскопии нами выполнен сравнительный анализ клеток гемолимфы морских (*Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*) и пресноводных (*Anodonta anatina*, *Unio pictorum*) двустворчатых моллюсков.

Цитометрический анализ позволяет выделить в гемолимфе перловиц рода *Unio* четыре основные клеточные популяции на основании параметров прямого и бокового светорассеяния. Клетки наименьшего размера с простой структурой цитоплазматического компартмента были отнесены к популяции А, доля которых в общем пуле гемоцитов составила 11,58 (9,68;13,54)%. Клетки с относительно большими параметрами светорассеяния составляли 51,39 (43,83;53,54)% от общего числа циркулирующих клеток и были обозначены как популяция АВ. Максимальные параметры светорассеяния, свидетельствующие о крупных размерах и сложной организации клеток, демонстрировали 27,23 (23,60;30,95)% гемоцитов, обозначенные как популяция В. Отдельно была выделена популяция С (доля 11,13(6,88;13,73)%), объединяющая гемоциты, характеризующиеся низкими показателями прямого светорассеяния в совокупности с высокими, лежащими в широком диапазоне, показателями бокового светорассеяния. Такие особенности характерны для погибающих клеток. Однако, при микроскопическом анализе в гемолимфе перловиц удалось выделить только два типа гемоцитов, отличающихся по размерам, форме и способности образовывать псевдоподии и распластываться на субстрате.

У беззубок рода *Anodonta* в гемолимфе на основании цитометрического анализа также выделено четыре популяции клеток, соотношение которых представлено следующим образом: А – 22,01% (20,81;24,36), АВ – 42,67% (37,92;44,85), В – 30,64% (25,18;33,90) и С – 7,34% (3,83;8,09). Микроскопическое изучение позволило выявить три основные популяции живых клеток.

В гемолимфе мидий *Mytilus edulis* доля клеток популяции А составляет 14,30% (11,01;19,03)%, АВ – 54,08% (43,73;63,05), В – 24,15% (16,60;32,44) и С – 1,74% (1,18;2,56).

Общий пул гемоцитов *M. galloprovincialis* по результатам цитометрического и микроскопического изучения представлен тремя основными популяциями (A, AB и B), схожими по характеристикам с аналогичными у других бивальвий, в соотношении 40,73 (27,70;48,77)%, 41,20 (30,22;46,72)% и 22,26 (16,93;24,82)%, соответственно. При этом, популяция C у *M. galloprovincialis* отдельно не выделялась.

История глубоководных исследований дальневосточных морей (период 1979–2020-х гг.)

Тупоногов В. Н.*, Орлов А. М.¹

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

History of deep-sea research in the Far Eastern seas (period of 1979–2020s)

Tuponogov V. N.*, Orlov A. M.¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ t057@yandex.ru

Ключевые слова: глубоководные исследования, дальневосточные моря, лаборатория изучения сырьевых ресурсов больших глубин, необходимость регулярных съемок

Начало периода интенсификации глубоководных рыбохозяйственных исследований на Дальнем Востоке с 1960-1970-х гг. связывается с руководством этими работами Г.У. Линдбергом, П.А. Моисеевым, А.Г. Кагановским, Н.П. Новиковым, Л.С. Кодоловым. История этого периода кратко рассматривалась в ряде публикаций [1–4, и др.]. Однако многие работы созданной для изучения больших глубин лаборатории Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ныне Тихоокеанский филиал ВНИРО - ТИНРО) в печати ранее не приводились. Это и определило цель предлагаемого сообщения, в котором, кроме того, указываются также основные работы по этой теме других институтов.

С 1970 г. с созданием на Дальнем Востоке ТУРНИФ и пополнением его флота мощными, вооруженными для глубоководных исследований и промысла крупнотоннажными судами (БМРТ, особенно, РТМ типа «Атлантик», РТМС, БАТМ) в регионе начался самый результативный период изучения, и освоения новых объектов и районов глубоководного промысла.

Введение 200-мильных экономических зон во второй половине 1970-х гг. заставило отечественную рыбохозяйственную науку переключить внимание на поиск резервов сырьевой базы в своих собственных водах, в том числе и на материковом склоне азиатского побережья. Для этого в 1979 г. в ТИНРО была создана первая и единственная в стране (в то время – и в мире) лаборатория изучения сырьевых ресурсов больших глубин, занимавшаяся промысловыми видами глубоководных рыб. С этого времени до 1989-1991 гг. в десятках комплексных экспедиций на крупнотоннажных научно-поисковых судах (НПС) на материковом склоне и подводных горах северной части Тихого океана планирование и руководство исследований, проведение съемок и поиск скоплений, сбор и обработка материалов, их анализ и обобщение осуществлялись сотрудниками данной лаборатории. Главными результатами этой работы были оценка запасов и прогнозирование объемов вылова палтусов, лемонемы, макрурусов, морских окуней, угольной рыбы, скатов и др. При обнаружении скоплений и выявлении новых районов промысла они рекомендовались рыбодобывающему флоту, при осуществлении глубоководного промысла рыбакам оказывалось научное сопровождение в море и с берега.

Выполнялись мечение рыб, сборы проб для изучения возраста, репродуктивной биологии, питания и трофических отношений, выявления популяционной структуры и др. Для исследования распределения икры и ранних стадий развития глубоководных рыб и их переноса течениями была проведена ихтиопланктонная съемка до 1000 м в тихоокеанских водах Курильских и частично Японских островов. Для стандартизации глубоководных исследований были адаптированы существующие и разработаны новые методики. По результатам работ и промысла составлялись рыбопромысловые карты-схемы и планшеты распределения скоплений, промысловые пособия с описанием объектов лова и районов добычи. Делались попытки выявления механизмов влияния различных факторов среды (рельефа дна, водных масс, течений, вертикальной турбулентности и вихрей, кормовой

базы) на распределение и структуру глубоководных ихтиоценов, тенденции изменения запасов отдельных видов и функционирование сообществ глубоководных рыб.

Важной частью исследований были совместные работы лаборатории с учёными ВНИРО, ИО и ЗИН АН СССР, ИБМ ДВО АН СССР, СахНИРО, КамчатНИРО, МагаданНИРО. В 1982 г. для настройки ГА и облова скоплений глубоководных рыб были приглашены специалисты НПО Промрыболовства (г. Калининград). Для изучения скоплений глубоководных рыб в 1984 г. привлекались два специализированных судна Севастопольского экспериментально-конструкторского бюро подводных исследований (СЭКБП): ГА НИС «Хронометр» и НИС «Одиссей» с ПА «Север 2». С учеными институтов США и Канады проводились совместные работы и обмен данными съёмок, пробами при исследовании распределения, миграций (с мечением палтусов, угольной рыбы), популяционной структуры (с передачей проб палтусов, морских окуней).

С конца 1980-х гг. до настоящего времени при увеличении количества публикаций и обобщений по глубоководным исследованиям и отдельным видам результативность рыбопромысловых глубоководных исследований значительно и резко снизилась. Одной из основных определяющих причин такого положения стала замена при глубоководных исследованиях крупнотоннажных мощных траулеров типа РТМ, РТМС, БАТМ на НИС типа «Профессор Марти» проекта «Атлантик 833», созданных на базе СТМ. Последние по техническим возможностям даже первоначально полноценно могли тралить только до верхних отделов материкового склона и были не способны получать крупные уловы даже на минимальных изобатах формирования концентраций, например, макруров у Курильских островов (900-1000 м), в то время как промыслом уже давно были освоены их скопления до глубин 1800-2000 м.

С начала 1990-х гг. количество рейсов и финансирование исследований сократились. С 1991 г. лаборатория изучения сырьевых ресурсов больших глубин была упразднена. Её задачи возложили на лабораторию сырьевых ресурсов ДВ морей (в настоящее время лаборатория биологических ресурсов ДВ и арктических морей ТФ ВНИРО - ТИНРО).

Одним из решений проблемы снижения объемов экспедиционных исследований и оценки запасов в 1990-х гг. было проведение съёмок на промысловых траулерах по договорам с Японией и Южной Кореей.

С 1992 по 2002 гг. специалисты ВНИРО с участием представителей других институтов проводили на японских судах комплексные исследования по глубоководным объектам у северных Курильских островов, юго-восточной Камчатки и в западной части Берингова моря. Благодаря им в те годы поступали так необходимые для прогнозов сведения по современному состоянию ресурсов верхнего отдела материкового склона, качественному и количественному составу, пространственно-временной динамике, структуре и элементам функционирования ихтиоценов, биологии видов и основным трофическим связям в рыбных сообществах.

Для интеркалибровки результатов съемок, проводимых на отечественных и японских траулерах разными тралами, сначала была выполнена серия совместных тралений в западно-беринговоморском, а позднее - в северокурильском районе [5].

В 2000-е гг. с ростом в дальневосточных морях доли донного ярусного и сетного лова большее внимание учеными стало уделяться исследованиям особенностей этих видов лова. Проводились работы по интеркалибровке ярусных, сетных и траловых уловов, сравнительному анализу размерных структур облавливаемых скоплений.

В течение 1980-2020-х гг. данные по видовому составу обобщались в определителях по районам и видам лова для всех дальневосточных морей. Публиковались статьи по описанию новых и расширению ареалов известных видов. В 2010-2020-х гг. были подготовлены полевой определитель промысловых и массовых рыб и пять атласов, включавших подавляющее большинство видов рыб, встречающихся в дальневосточных морях России.

Для определения тенденций изменения структуры и численности популяций, разработки более точных прогнозов вылова глубоководных рыб одним из важнейших методических требований к научным исследованиям и мониторингу водных биологических ресурсов является необходимость их непрерывного проведения. Между тем, в большинстве районов сбор материалов по сырьевой базе

глубоководных рыб в последние годы проводится преимущественно наблюдателями на промысловых судах. Эти работы могут дать только часть необходимой информации. Определяющее значение для получения представительных результатов глубоководных исследований, достоверной оценки запасов и их современного состояния, прогнозирования возможного вылова, а также осуществления мониторинга ресурсов имеет проведение полноценных специализированных глубоководных донных траловых съемок. А для этого необходимо наличие технически подготовленных для подобных работ мощных траулеров (с двигателями и траловыми лебедками, позволяющими осуществлять траления до глубин, в зависимости от района, 1300-2000 м). Сейчас это могут быть не только крупнотоннажные суда, но и современные среднетоннажные траулеры. Однако пока продолжается выполнение редких комплексных исследований материкового склона путем донных траловых съемок на 1-2 НИС типа «Профессор Марти».

На отечественные глубоководные исследования и их развитие оказывали влияние аналогичные исследования, проводившиеся другими странами в различных районах Мирового океана. Однако немалая часть подобных работ ТИНРО, ВНИРО, ИО РАН в дальневосточных морях проводилась впервые, что определило основные направления будущих исследований. В них были получены практические результаты, важные для промысла, а также разработаны методики проведения глубоководных исследований, внедрившиеся в рыбохозяйственную практику. Кроме того, проведенные исследования оказали влияние на стратегию развития рыбной промышленности и рыбохозяйственной науки не только в нашей стране, но и в других ведущих рыбодобывающих странах.

Список литературы

1. Шунтов В. П. Изучение рыбных ресурсов дальневосточных морей в послевоенный период // История региональных исследований биологических ресурсов гидросфера и их использование. М.: Наука, 1982. С. 80-110.
2. Кодолов Л. С. Из истории исследований биологических сырьевых ресурсов материкового склона и подводных поднятий // ТИНРО - 75 лет (от ТОНС до ТИНРО-центра). Владивосток : Изд-во ТИНРО-центра, 2000. С. 253-257.
3. Орлов А. М. К истории рыбохозяйственных исследований в водах Курильских островов // Рыбное хозяйство. 2000. № 6. С. 37-38.
4. Снытко В. А., Тупоногов В. Н., Колпаков Н. В. Вклад ученых ТИНРО-центра в изучение донных и придонных рыб // Известия ТИНРО. 2005. Т. 141. С. 173-208.
5. Тупоногов В. Н., Орлов А. М., Мухаметов И. Н. Сравнительный анализ результатов донных траловых съемок разными судами на островном склоне северных Курил (методические аспекты интеркалибровочных работ) // Труды ВНИРО. 2006. Т. 146. С. 181-190.

Выделение водорода микроводорослями и регуляция фотосистемы 2

Цыганков А. А., Гречаник В. И.

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, обособленное подразделение ФИЦ ПНИЦБИ РАН,
Пущино, Московская область, Россия

Microalgal hydrogen photoproduction and PSII regulation

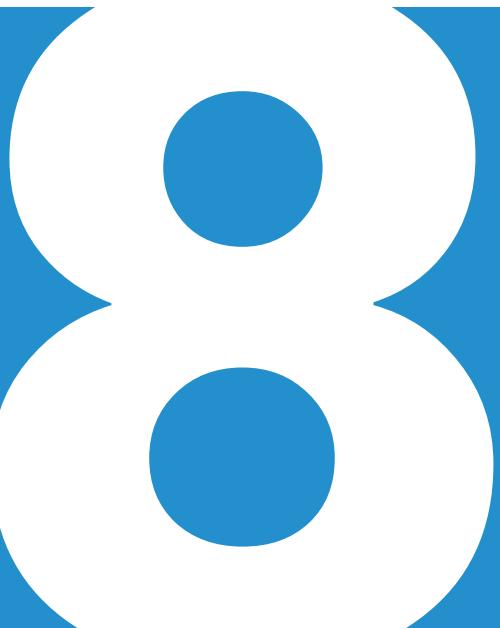
Tsygankov A. A., Grechanik V. I.

Institute of Basic Biological Problems, Federal Research Center “Pushchino Scientific Center for Biological Research
of Russian Academy of Sciences” (FRC PSCBR RAS), Pushchino, Moscow Region, Russia

Ключевые слова: *Chlamydomonas reinhardtii*, фотовыделение водорода, серное голодание, азотное
голодание, углеродное голодание, ЛР-тест, фотосистема 2

Отдельные группы микроводорослей способны после периода анаэробной адаптации к светозависимому выделению водорода. Однако процесс ингибируется кислородом и поэтому краткосочен. После освещения накапливающийся кислород инактивирует гидрогеназу, и выделение водорода прекращается. Разработан подход продления выделения водорода. Для этого культуры помещают в условия недостатка серы, азота, фосфора или углерода. Через некоторое время адаптации культуры к недостатку элемента питания происходит снижение активности фотосистемы 2, скорость дыхания становится выше скорости фотосинтеза, и культуры переходят в анаэробные условия, в которых и синтезируется гидрогеназа. После ее синтеза начинается выделение водорода, которое длится несколько дней. В литературе имеются сообщения, что в снижении активности фотосистемы 2 могут участвовать несколько регуляторных механизмов: накопление Qb невосстанавливющих центров, перевосстановление пула пластохинонов, накопление закрытых реакционных центров, появление стабильно восстановленной формы QA, state transitions, ксантофиловый цикл, деградация D1 белка, фотоингибирование (окислительный стресс), накопление аскорбата с последующим использованием аскорбата в качестве донора электронов вместо воды. При этом разные авторы указывают один-два механизма ингибирования фотосистемы 2. Удивительно, что практически все работы сделаны на зеленой микроводоросли *Chlamydomonas reinhardtii*, помещенной в условия серного голодания. Мы предположили, что разные механизмы ингибирования ФС2, описанные разными авторами на одном виде микроводорослей является результатом разных условий, в которых проходило голодание. Согласно нашим исследованиям, указанные механизмы не работают одновременно, а реализация конкретного механизма ингибирования фотосистемы 2 определяется не только типом голодания, а другими факторами внешней среды, прежде всего светом. В работе показано, что в зависимости от интенсивности света фотоавтотрофные культуры *C. reinhardtii* при недостатке элементов питания могут реализовывать различные механизмы ингибирования активности фотосистемы 2.

Работа поддержана грантом РНФ 19-14-00255 (<https://rscf.ru/project/19-14-00255/>).



Устойчивое развитие прибрежных зон

Sustainable coastal development

Сравнительный анализ концентраций диоксида серы (SO_2) в атмосфере над ООПТ и населенными пунктами в пределах Крымского полуострова

Дрыгваль А. В.^{1,2*}, Дрыгваль П. В.^{1,2,3}

¹Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ,
Феодосия, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального
медицинско-биологического агентства (ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России), Москва, Россия

Comparative analysis of sulphur dioxide (SO_2) concentrations in the atmosphere over protected areas and urbanized territories within the Crimean Peninsula

Drygval A. V.^{1,2*}, Drygval P. V.^{1,2,3}

¹Karadag Research Station named after T. I. Vyazemsky- Natural Reserve of RAS - A. O. Kovalevsky Institute
of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosiya, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

³Federal State Unitary Enterprise Scientific and Technical Center for Radiation and Chemical Safety and Hygiene
of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

✉ drygval95@mail.ru

Ключевые слова: диоксид серы (SO_2), ООПТ, населенные пункты, ДДЗ, Крымский полуостров,
спутниковые снимки

Диоксид серы (SO_2) попадает в атмосферный воздух как в результате естественных, так и антропогенных процессов. Он участвует в химических реакциях в атмосфере и играет роль на локальном, региональном и глобальном уровнях, а его воздействие варьируется от кратковременного загрязнения до глобального влияния на климат.

Данные для анализа концентраций диоксида серы (SO_2) в атмосфере были получены с использованием космических снимков из набора данных Sentinel-5P OFFL SO2: Offline Sulfur Dioxide [2] через облачную платформу для геопространственного анализа данных Google Earth Engine [3] по шагам, описанным в статье [4]. Концентрация газа в этом наборе измеряется в моль/ m^2 .

Для проведения сравнительного анализа концентраций диоксида серы (SO_2) в атмосфере над Крымским полуостровом над особо охраняемыми природными территориями (далее – ООПТ) и населенными пунктами для каждого ландшафтного уровня (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова [1]) были выбраны отдельные ООПТ, находящиеся в пределах этих ландшафтных уровней: природный парк «Калиновский» (гидроморфный ландшафтный уровень); Карадагский природный заповедник (низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона); природный парк «Тарханкутский» (плакорный ландшафтный уровень); Крымский природный заповедник (среднегорный ландшафтный уровень). В пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона нет подходящих для анализа ООПТ, поэтому был выбран участок ковыльно-типчаковой степи, который находится на достаточном удалении от населенных пунктов. Этот участок является частью 39 контура ландшафтной карты Г.Е. Гришанкова [1], характеризующийся денудационно-останцовыми и аккумулятивными равнинами с ковыльно-типчаковыми степями.

Для проведения сравнительного анализа были выбраны следующие населенные пункты: г. Джанкой (гидроморфный ландшафтный уровень); г. Ялта (низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона); г. Симферополь (низкогорный ландшафтный уровень северного макросклона); пос. Новоселовское (плакорный ландшафтный уровень); с. Перевальное (среднегорный ландшафтный уровень).

На основе среднегодовых значений концентраций диоксида серы (SO_2) в атмосфере за 5 лет (2019–2023 гг.) проведен сравнительный анализ. Среднегодовые значения концентраций диоксида серы (SO_2) имеют неравномерное распределение за выбранный временной период.

Динамика концентраций этого газа различна как в пределах разных ландшафтных уровней, так и над ООПТ и населенными пунктами.

В 2019 году наибольшая концентрация диоксида серы (SO_2) отмечается в пределах с. Перевальное и г. Джанкой, а если говорить об ООПТ – в пределах природных парков «Калиновский» и «Тарханкутский».

В 2020 году лидерами по концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосферном воздухе из рассматриваемых населенных пунктов являются пос. Новоселовское и с. Перевальное, из рассматриваемых ООПТ – Крымский природный заповедник и природный парк «Калиновский».

В 2021 году отмечается общее уменьшение концентрации диоксида серы (SO_2) над Крымским полуостровом. Однако наибольшая концентрация рассматриваемого газа отмечается в г. Ялта и над участком ковыльно-типчаковой степи.

В 2022 году общая концентрация диоксида серы (SO_2) увеличивается над всем Крымским полуостровом, в основном над г. Ялта и г. Джанкой, а также в пределах природного парка «Калиновский» и Крымского природного заповедника.

Самые низкие концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосфере отмечаются в 2023 году. Наибольшее количество диоксида серы (SO_2) отмечается в г. Симферополь и пос. Новоселовское, а также над участком ковыльно-типчаковой степи, Крымским природным заповедником и природным парком «Калиновский».

Общие среднегодовые концентрации диоксида серы (SO_2) за рассматриваемый промежуток времени в населенных пунктах варьировались от $0,85$ до $2,85 \text{ моль}/\text{м}^2 \cdot 10^{-4}$, а в ООПТ — от $0,89$ до $2,48 \text{ моль}/\text{м}^2 \cdot 10^{-4}$. За период 2019–2023 гг. не выявлено основных закономерностей распределения концентраций диоксида серы (SO_2) в пределах ландшафтных уровней, а также между ООПТ и населенными пунктами. Однако можно отметить, что только в пределах низкогорного ландшафтного уровня южного макросклона концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосфере над ООПТ (Карадагский природный заповедник) не превышают значений концентраций над населенным пунктом (г. Ялта) за весь рассматриваемый период, в отличие от остальных ООПТ и населенных пунктов на других рассматриваемых ландшафтных уровнях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала ФИЦ ИнБЮМ по теме «Мониторинг климатически активных веществ в наземных экосистемах Республики Крым в условиях изменения климата и антропогенного воздействия с применением дистанционных методов исследований» (№ гос. регистрации 124052000057-0).

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Список литературы

1. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь : Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
2. Earth Engine Data Catalog. Режим доступа: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p> (дата обращения: 30.09.2023)
3. Google Earth Engine. Режим доступа: <https://earthengine.google.com/platform/> (дата обращения: 27.10.2023)
4. Tabunschik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Unveiling Air Pollution in Crimean Mountain Rivers: Analysis of Sentinel-5 Satellite Images Using Google Earth Engine (GEE) // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, iss. 13. Art. no. 3364 (25 p.). <https://doi.org/10.3390/rs15133364>

Закономерности распределения тяжелых металлов в почве хребта Магнитный (Карадагский природный заповедник)

Дрыгваль П. В.^{1,2,3*}, Дрыгваль А. В.^{1,2}

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИНБЮМ,
Феодосия, Россия

³ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального
медицинско-биологического агентства (ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России), Москва, Россия

Distribution patterns of heavy metals in soil of Magnitny Ridge (Karadagsky Nature Reserve)

Drygval P. V.^{1,2,3*}, Drygval A. V.^{1,2}

¹RUDN University, Moscow, Russia

²Karadag Research Station named after T.I. Vyazemsky- Natural Reserve of RAS - A.O. Kovalevsky Institute
of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosiya, Russia

³Federal State Unitary Enterprise Scientific and Technical Center for Radiation and Chemical Safety and Hygiene
of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

✉ any-poly@mail.ru

*Ключевые слова: тяжелые металлы, горные почвы, Карадагский заповедник, Крымский
полуостров*

Множество научных исследований посвящены анализу горных почв, охватывая как всестороннее изучение самих почв, так и изучение различных факторов, способствующих их становлению и эволюции [1]. Основной целью данной работы является выявление основных закономерностей распределения и передвижения некоторых тяжёлых металлов в почве в пределах Магнитного хребта в Карадагском заповеднике. Изучаемая территория располагается в границах Карадагского горного массива, который состоит из различных вулканических и осадочных пород. Этот район покрыт лесами, редколесьями и степной растительностью, сопровождаемой выходами на дневную поверхность горных пород. Такая пестрота экологических условий и процессов формирования почвы способствует образованию значительного разнообразия типов почв в заповеднике.

В пределах территории исследования на хребте Магнитный была заложена почвенная катена. Она представлена тремя точками (почвенными разрезами), заложенными на вершине хребта (точка 2), а также на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций (точки 1 и 3 соответственно). Валовые и подвижные формы элементов в почве были определены с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite на базе научно-образовательного центра кол-лективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИНБЮМ.

Геологические условия данной территории способствуют обогащению её почвы элементами, такими как алюминий и железо, в концентрациях до 29547,2 и 7479,3 мг/кг соответственно. Отложения, образованные разрушением горных пород, активно перемещаются вниз по склонам, накапливаясь и становясь источником элементов для процесса почвообразования.

Отмечается миграция элементов из почв, формирующихся в автоморфных условиях на водораздельном участке хребта Магнитный (точка 2) и их накопление в почвах соподчинённых лесных ландшафтах на склонах (точка 1 и 3). Это характерно для всех рассматриваемых элементов. Происходит частичная аккумуляция валовых форм исследуемых элементов и последующий их смыв на прилегающие склоны (точка 1 и точка 3) посредством поверхностного стока. Концентрация всех рассматриваемых элементов (Al, Fe, Mn, Sr, Zn, Cu, Pb) в верхних горизонтах почвы выше на склонах, которые связаны с транс-аккумулятивными условиями развития почв, чем на водораздельной поверхности, находящаяся в автоморфных условиях развития почвы.

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Список литературы

1. Иванов В. Н. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симф. : КРЫМИЗДАТ, 1958. 184 с.

Ассоциированные с искусственными рифами инновационные технологии как средство эффективного повышения биопродуктивности и оздоровления прибрежных экосистем

Селюков А. Г.^{1,2*}, Елькин В. П.³, Самсонов А. Н.³

¹ Кафедра зоологии и эволюционной экологии животных,
Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

² Лаборатория AquaBioSafe, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

³ ООО «Позитив Техно-синтез», Тюмень, Россия

Innovative technologies associated with artificial reefs as a means of effectively increasing biological productivity and improving coastal ecosystems

Selyukov A. G. ^{1,2*}, Elkin V. P.³, Samsonov A. N.³

¹ Department of zoology and evolutionary ecology of animals, Tyumen State University, Tyumen, Russia

² AquaBioSafe Laboratory, Tyumen State University, Tyumen, Russia

³ LLC “Positive Techno-synthesis”, Tyumen, Russia

✉ ags-bios@yandex.ru

*Ключевые слова: искусственные рифы, реабилитация, продуктивность морских экосистем,
инновационные технологии «Телос»*

Прибрежные акватории boreальных морей России (Черное, Балтийское, Охотское, Японское) охватывая сотни тысяч квадратных километров, загрязняются в наибольшей степени. В их водах нерестятся и проходят раннее развитие большинство видов рыб. При этом сохранение биоразнообразия сводится, в основном, к регулированию промысла.

Отсутствие эффективных способов обустройства прибрежных акваторий ограничивает реконструкцию среды обитания рыб. Разработка новых технологических подходов в направлении повышения биопродуктивности и видового разнообразия и проведение исследований их эффективности в условиях высоких техногенных рисков становятся все более актуальными. В нашей стране, начиная с 1970-х годов, в прибрежных зонах морей устанавливались искусственные «рифы» для защиты и регенерации морской среды и повышения рыбопродуктивности [1]. Однако с 1990-х годов эти работы прекратились, и появление интереса к использованию подобных конструкций возобновилось в 2000-е. В прибрежных водах Крыма и Кавказа в 2005–2018 гг. создавали искусственные рифы («риф-боллы»), которые обеспечивают повышение биоразнообразия, но полноценных научных исследований производственных возможностей таких конструкций не проводилось.

Между тем, зарубежные исследователи еще с 1950-х годов активно разрабатывали всевозможные меры повышения биопродуктивности прибрежных морских экосистем и их реабилитации [2 ; 3]. Было показано, что на искусственных рифах рыбы отличались более быстрым ростом, чем на естественных, и искусственные сооружения оказывают благотворное влияние на целый ряд морских гидробионтов, обеспечивая убежище и/или увеличивая запасы пищи [3]. Искусственные рифы в целом успешно имитируют экологические функции естественных рифов [4] и служат подходящими субстратами для расселения асцидий, актиний, кораллов и других прикрепленных гидробионтов. В обобщающем обзоре [5] сообщается, что после устранения факторов стресса восстановление прибрежных местообитаний обычно происходит в те же сроки, что и восстановление рыбных запасов: менее десяти лет. В целом, многим морским видам и местообитаниям необходимо от одного до трех десятилетий, чтобы приблизиться к нетронутым или эталонным значениям численности и биомассы рыбных запасов, которые обеспечивают максимально устойчивый вылов рыбы после устранения причин его сокращения; при этом для некоторых медленно растущих групп требуется более длительное восстановление. Эти авторы предлагают три десятилетия (до 2050 г.) в качестве

целевого срока для 50-90% восстановления большинства компонентов морской флоры и фауны, допуская, что на реабилитацию медленно растущих, сильно истощенных видов и местообитаний, находящихся под угрозой исчезновения, может уйти больше времени.

Очевидно, что приведенные обобщения предполагают естественную цикличность реабилитации морских экосистем. Однако, можно с определенной уверенностью утверждать, что активация репарационных механизмов гидробионтов применением инновационных технологических подходов позволит существенно сократить сроки естественного восстановления морских экосистем. Рядом авторов [6] предлагается набор технологий с применением маркированных и отслеживаемых плиток Maritechture, что повышает масштабируемость, эффективность и результативность восстановления коралловых рифов.

С целью повышения резистентности и стабильного функционирования формируемого на искусственных рифах сообщества морских гидробионтов, нами предлагается рассмотреть возможности инновационной технологии «Телос», базирующейся на использовании сверхслабых импульсных магнитных полей (ССИМП). Данная технология была разработана [7] для медико-биологических целей и апробирована в работах по реабилитации живых систем, малая часть которых приведена в [8]. Полученные данные позволяют считать, что применение данной инновационной технологии позволит придать восстанавливаемым экосистемам определенный потенциал резистентности в случае рецидива негативных ситуаций. Повышение выживаемости, темпа роста и репродукционных показателей молоди ценных видов рыб в норме и при интоксикации были получены (2022–23 гг.) на чире и муксуне при проведении компенсационных мероприятий.

Исследование было проведено при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

Список литературы

1. Зайцев Ю. П. Искусственные рифы – инструмент управления экологическими процессами в прибрежной зоне моря // Искусственные рифы для рыбного хозяйства : тез. докл. Всесоюzn. конф. М., 1987. С. 3-5.
2. Layman C. A., Allgeier J. E. An ecosystem ecology perspective on artificial reef production // Journal of Applied Ecology. 2020. Vol. 57, iss. 11. P. 2139–2148. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13748>
3. Fujii T., Pondella D. J., Todd V. L. G., Guerin A. J. Editorial: Seafloor heterogeneity: Artificial structures and marine ecosystem dynamics – recent advances // Frontiers in Marine Science. 2003. Vol. 10. Art. no. 1181568. <https://doi.org/10.3389/fmars.2003.1181568>
4. Paxton A. B., Steward D. N., Harrison Z. H., Taylor J. C. Fitting ecological principles of artificial reefs into the ocean planning puzzle // Ecosphere. 2022. Vol. 13, iss. 2. Art. no. e3924. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3924>
5. Duarte C., Agusti S., Barbier E., Britten G., Castilla J. C. et al. Rebuilding marine life // Nature. 2020. Vol. 580, P. 39–51. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>
6. Schmidt-Roach S., Klaus R., Al-Swailem A. M., Prieto A. R. et al. Novel infrastructure for coral gardening and reefscaping // Frontiers in Marine Science. 2023. Vol. 10. Art. no. 1110830. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1110830>
7. Патент №2155081 Российская Федерация, МПК A61N 2/00 (2000.08), C02F 1/48 (2000.08), Способ обработки вещества магнитным полем и устройство для его осуществления: № 99124504/14: заявл. 25.11.1999: опубл. 27.08.2000 / Солодилов А.И.; заявитель Солодилов А.И. - ил. – Текст: непосредственный.
8. Селюков А. Г., Солодилов А. И., Елькин В. П. Слабые взаимодействия и регомеостаз живых систем (прикладной аспект). Монография. Тюмень: ТюмГУ, 2008. 192 с.

Причины деградации коралловых рифов и возможные пути их восстановления

Селюков А. Г.^{1,2*}, Самсонов А. Н.³, Елькин В. П.³

¹ Кафедра зоологии и эволюционной экологии животных,
Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

² Лаборатория AquaBioSafe, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

³ ООО «Позитив Техно-синтез», Тюмень, Россия

Causes of coral reef degradation and possible ways to restore them

Selyukov A. G.^{1,2*}, Samsonov A. N.³, Elkin V. P.³

¹ Department of zoology and evolutionary ecology of animals, Tyumen State University, Tyumen, Russia

² AquaBioSafe Laboratory, Tyumen State University, Tyumen, Russia

³ LLC «Positive Techno-synthesis», Tyumen, Russia

✉ ags-bios@yandex.ru

*Ключевые слова: коралловые рифы, загрязнение, обесцвечивание, ослабление иммунитета,
сверхслабые импульсные магнитные поля*

В связи с продолжающейся деградацией коралловых рифов по причине потепления океана и контаминации среды, устойчивыми темпами происходит сокращение биоразнообразия гидробионтов и снижение развития прибрежных районов, зависящих от морских биоресурсов. Показано [1], что с 1957 по 2007 гг. в Мировом океане произошло примерно 50%-е сокращение коралловых рифов, а связанное с ними биоразнообразие снизилось на 63%. По некоторым оценкам, при сохраняющейся тенденции к 2050 году более 90% коралловых рифов исчезнут.

Известно, что коралловые полипы – стенотермные организмы, предпочитающие чистые морские воды (pH-8). Возрастание содержания в воде или осадках органических соединений антропогенного или природного происхождения ведет к интенсивному развитию бактериальной микробиоты. На эти процессы в микропространстве коралла расходуется кислород, взамен выделяются органические кислоты, начинается омертвение тканей и выделение сероводорода. На мертвых тканях сразу разрастаются сульфатредуцирующие бактерии, что усиливает выделение сероводорода и ускоряет сбрасывание или гибель фотосинтетических симбионтов. [2]. Обесцвеченные полипы без водорослей-симбионтов слабеют и погибают. Гибель возрастает при повышении температуры, когда некоторые бактерии увеличивают свою патогенность. Однако в нормальных условиях в стабильном бактериальном окружении природные антибиотики кораллового полипа подавляют рост сульфатредуцирующих бактерий, и сероводородного отравления самих тканей и симбионтов не происходит. Если в результате негативных процессов часть клеток симбионтов разрушаются, полип запускает иммунный ответ [3]. В результате такой реакции коралл избавляется от всех своих эндосимбионтов. Возможно, в условиях стресса полип теряет способность различать поврежденные и здоровые клетки симбионтов. Поэтому реакция иммунной системы кораллового полипа на стрессовые воздействия (чрезмерно высокая температура воды, органические загрязнения) может вызывать гибель клеток эндосимбионтов, что ведет к обесцвечиванию.

Одновременно с описанным глобальным бедствием в некоторых регионах появилась и усилилась т.н. «болезнь потери ткани каменных кораллов» (SCTLD) – вызывающее потерю ткани высоковирулентное заболевание, которое поражает склерактиновые кораллы и может привести к полной гибели колонии в течение нескольких месяцев. С момента первоначального наблюдения (2014 г.) SCTLD распространился на рифы как минимум в 28 странах и территориях Карибского бассейна [4]. Считается, что воздействию SCTLD подвержены по меньшей мере 22 вида склерактиновых кораллов, что составляет примерно половину от общего числа видов в Западной Атлантике и Карибском бассейне. SCTLD вызывает нарушение и изменение кораллового микробиома: динофлагеллят (семейство Symbiodiniaceae), бактерий, архей, грибов и вирусов. А популяции Symbiodiniaceae отвечают

за обеспечение до 90% потребности кораллов в питательных веществах в виде транслоцированного фиксированного углерода [4].

Таким образом, на фоне возрастания температуры и изменения химического состава вод Мирового океана, значительного ухудшения их санитарного состояния снижение иммунорезистентности коралловых рифов приводит к недостаточной способности к самовосстановлению. Как следствие – к снижению биоразнообразия, устойчивости и продуктивности морских экосистем.

Хорошо известен метод реабилитации коралловых сообществ после сильных воздействий (загрязнения, болезни, разрушения) – электротерапия Biorock [5], несколько десятилетий используемая для восстановления коралловых рифов в 45 странах, от Ямайки до Индонезии [6]. Суть метода заключается в применении постоянного электрического тока в безопасном диапазоне чрезвычайно низкого напряжения. Однако, отмечается высокая зависимость от источника питания. Так, обилие молоди рифовых рыб вокруг рифов Biorock уменьшается при отключении электрического тока и увеличивается при его включении.

Для целей активизации естественных аутореабилитационных механизмов коралловых экосистем можно предложить другой подход. Поскольку коралловые холобионты могут существовать лишь при условии полноценного функционирования самих полипов-хозяев, основное внимание в разрешении проблемы восстановления кораллов следует направить на введение полипов в состояние неспецифически повышенной сопротивляемости к повреждающим факторам, выражющееся, в частности, в их высокой термо-, иммуно – и токсикорезистентности. Для этого возможно применение разработанного аппаратного дистанционно-программируемого комплекса (АДПК), генерирующего сверхслабые импульсные магнитные поля (ССИМП) нанотеслового уровня (0,03 нТл) в частотном диапазоне 0,1-2,0 МГц. Поставленная задача может выполняться 2-мя путями: 1) установление АДПК с излучателями непосредственно на коралловом рифе и его работа в пролонгированном режиме; 2) на коралловой ферме активизация АДПК отрожденных планул перед их переносом на субстрат с последующим расселением на выбранных участках прибрежных морских акваторий. Возможно также совмещение этих вариантов, при которых вначале проводится обработка планул, получение молодых кораллов и их закрепление на субстрате; затем выводится на акваторию (риф), где проводится их кратковременная дообработка.

Детализация подхода и теоретическое обоснование механизмов действия ССИМП обсуждаются в докладе.

Исследование было проведено при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

Список литературы

1. Eddy T. D., Lam V. W. Y., Reygondeau G. et al. Global decline in capacity of coral reefs to provide ecosystem services // One Earth. 2021. Vol. 4, iss. 9. P. 1278–1285. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.016>
2. Weber M., de Beera D., Lotta C. et al. Mechanisms of damage to corals exposed to sedimentation // Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). 2012. Vol. 109, iss. 24. P. E1558-E1567. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100715109>
3. Palmer C. V. Immunity and the coral crisis // Communications Biology. 2018. Vol. 1. Art. no. 91. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0097-4>
4. Papke E., Carreiro A., Dennison C. et al. Stony coral tissue loss disease: a review of emergence, impacts, etiology, diagnostics, and intervention // Frontiers in Marine Science. 2024. Vol. 10. Art. no. 1321271. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1321271>
5. Goreau T. J., Hilbertz W. Marine Ecosystem Restoration: Costs and Benefits for Coral Reefs // World Resource Review. 2005. V.17. P. 375–409.
6. Goreau T. J. F. Coral Reef Electrotherapy: Field Observations // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. Art. no. 805113. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.805113>

A Fuzzy Multi Criteria Decision Framework for Environment Planning

**Krykhtine F. P.^{1*}, Cosenza C. A. N.¹, Olanrewaju O. A.², Rafael Lima de Carvalho³,
Mora-Camino F.^{2,4}**

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Brazil

²Durban University of Technology, Durban, South Africa

³Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brazil

⁴Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brazil

✉ krykhtine@poli.ufr.br

Keywords: environmental planning, portfolio selection and scheduling, multi criteria, fuzzy assessment, decision making

Introduction

Environmental planning in a given space, is the process of identifying, assessing and designing sustainable solutions to its environmental issues [1] with the objective of improving its quality and safety, as well as the health and welfare of the people interacting with this space in a given horizon of time. Sustainability can be defined as the "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs" [2]. Sustainable solutions promoted by public organizations are the result of complex portfolio composed of interrelated projects which have been approved at different levels by the population.

In this communication a set of projects with different candidate variants is considered and a portfolio selection process is developed to provide sustainable solutions to environmental planning situations. With this objective, feasible solutions must satisfy along the planning horizon different types of constraints: precedence constraints between projects or variants, time constraints (release and due times) and resource constraints. The impacts of each candidate variant are assessed according to several types of criteria by adopting a fuzzy representation to take into account uncertainties and diversity of perception [3]. A process is designed to generate all the feasible portfolios composed of variants of the considered projects as well as their schedule. Then, each feasible solution is assessed according to the different adopted criteria. This allows to identify the set of fuzzy non inferior feasible solutions to which can be applied a selection process according to the preferences of the decision makers [4].

The paper is composed of the following sections: first a general introduction, second, the adopted assumptions about the candidate projects and variants, third, the representation and quantification of the different impacts of the considered variants over the planning horizon, fourth, the generation of all the feasible portfolio with their imbedded schedules, fifth, the identification of non-inferior solutions and the proposal of a selection method, six, an illustration of the proposed approach and then a final discussion about the practicability and efficiency of the proposed framework.

The multi project planning problem

Here is considered a decision problem composed of a set P of environment projects to be realized in the public sphere over a time period T . This means that local, regional or national public financial resources will be used to build and operate new infrastructures which are expected to have different positive impacts on the local, regional or national environment.

When considering the void project 0, $N = |P| + 1$ are considered to be candidates for implementation during the time period composed of T stages. The following assumptions are adopted:

- The duration of the realization of project i is θ_i stages and its operation starts immediately after.
- Each project i has a release time RT_i and a due completion time CT_i , with the conditions:

$$RT_i + \theta_i \leq CT_i, \quad CT_i \leq T, \quad i = 1 \text{ to } |P| \quad (1)$$

- Each project i presents K_i variants with different costs, impacts and benefits. Let T_{ik} be the lifetime of variant k of project i , it is supposed that:

$$T_{ik} \geq CT_i - RT_i \quad k = 1 \text{ to } K_i, i = 1 \text{ to } |P| \quad (2)$$

- The completion of variants of some projects depend on the earlier completion of variants of others. Then to each variant k of project i is associated the set of its immediate antecedent projects written Γ_i^{-1} . When a project i has no antecedent, $\Gamma_i^{-1} = \emptyset$. It is supposed here that the graph $[P \cup \{0\}, \Gamma^{-1}]$ is a directed acyclic graph (DAG).
- The simultaneous implementation of certain projects may be technically unfeasible or prohibited, considering environmental regulations or social issues.
- It is supposed that each variant k of a project i is realized by a different team with its own workforce and resources which represents a cost L_{ki} per period of realization. Then each variant k of a project i has an expected cost $R_{ik} = L_{ik} \cdot \theta_i$.
- A cost restriction is considered in this study to take into account limited financial resource per period LF_t , as well as a limited capacity of realization of projects per period.
- The benefits retrieved from the completion of variant k of project i are evaluated according to a set of C different criteria B_{ik}^c , $c = 1$ to C . Here, considering the uncertainty in assessing the impacts of the different variants of the different projects, each benefit is described by a fuzzy dual number [5] presenting a mean value and a symmetrical triangular membership function.
- To each project i and stage t is attached a weight representing the importance for the decisors of completing the considered project at time t : p_i^t with $t \geq RT_i + \theta_i$.

The objective of the problem is to decide which and when the variants of these projects have to be realized, so that an overall satisfaction of the different stakeholders is achieved. The stakeholders are composed of a the public decision makers and the impacted stakeholders: the concerned population and the environment of the related geographical area.

Mathematical formulation of the problem

Here is proposed a general mathematical formulation of the problem to be solved by the public decision makers. Here is considered a multicriteria decision problem with the decision variables x_{ik}^t , $i = 1$ to N , $k = 1$ to K_i , $t = 1$ to T , where $x_{ik}^t = 1$ when variant k of project i is planned to be realized starting at $\tau_i = t$, $x_{ik}^t = 0$ otherwise.

- Criteria:

$$\max_{x_{ik}^t} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \tilde{B}_{ik}^c \cdot p_i^t \cdot x_{ik}^t \quad c = 1 \text{ to } C \quad (3)$$

- Decision variables:

$$x_{ik}^t \in \{0, 1\} \quad t \in \{RT_i, \dots, CT_i\}, i \in \{1, \dots, N\}, \quad k = 1 \text{ to } K_i \quad (4.1)$$

$$x_{ik}^t = 0 \quad \forall t \in \{0, \dots, RT_i - 1\} \cup \{CT_i + 1, \dots, T\}, i \in \{1, \dots, N\}, k = 1 \text{ to } K_i \quad (4.2)$$

$$\sum_{t=RT_i}^{CT_i} \sum_{k=1}^{K_i} x_{ik}^t \leq 1 \quad i = 1 \text{ to } N \quad k = 1 \text{ to } K_i \quad (5)$$

- Precedence constraints:

$$\sum_{\tau=1}^t x_{jk}^{\tau} \geq \sum_{\tau=1}^t x_{ih}^{\tau} \quad \forall (j, k) \in \Gamma_{ih}^{-1} i \in \{1, \dots, N\}, t \in \{1, \dots, T\} \quad (6)$$

- Resource constraints where it is supposed that financial resource not consumed at period t remains available in the following periods:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{\tau=t-\theta_i}^t L_{ik} \cdot x_{ik}^{\tau} \leq LF_t \quad t = 1, \dots, T \quad (7)$$

- Some projects cannot be realized simultaneously for technical reasons:

$$x_{ik}^t \cdot x_{jh}^t = 0, \quad (i, j) \in TR \subset \{1, \dots, N\}^2, t \in \{1, \dots, T\} \quad (8)$$

Discussing the Optimality Criteria

The realization of a project in the public domain has consequences of different nature on the local population and local environment, for instance: economical, environmental, securital. It has political consequences for the public decision makers. For the local population and the environment, these effects persist over time and it is difficult to quantify their impact over long periods. In this context, carrying out an assessment of its

consequences over a finite period of time would amount to denying the permanence of these effects. Certainly the period during which decisions are made is limited within the political framework of this planning study, but its effects go well beyond its horizon. One way of accounting for the different effects over time is to apply depreciation rates on their future impacts similar to what can be done in the context of present value of future monetary flows.

Considering the difficulty of providing accurate estimations of impacts, it is assumed that their quantification is given by fuzzy dual numbers. Let assume also that there is a constant periodic impact of variant k of project i according to criteria c represented by a fuzzy dual number \tilde{b}_{ik}^c given by:

$$\tilde{b}_{ik}^c = \beta_{ik}^c + \varepsilon \cdot \gamma_{ik}^c \quad \text{with } \beta_{ik}^c \in \mathbf{R}^+ \text{ and } \gamma_{ik}^c \in \mathbf{R}^+ \quad (9)$$

where β_{ik}^c is the mean value of b_{ik}^c and γ_{ik}^c is the half uncertainty range. The value at time zero of the planning period, of the effects of the realization starting at time τ_i of variant k of project i will be such as:

$$\tilde{B}_{ik}^c(\tau_i) = \tilde{b}_{ik}^c \cdot \varphi(\tau_i) \quad (10)$$

where $\varphi(\tau_i)$ is a given function depending of the actualization process over time. For example if the current value of an effect c is exponentially deflated from its nominal value by a rate ρ_c with $\rho_c > 0$, we have:

$$\tilde{B}_{ik}^c(\tau_i) = \sum_{t=\tau_i+\theta_{ik}}^{\tau_i+\theta_{ik}+T_{ik}} \tilde{b}_{ik}^c \cdot e^{-\rho_c \cdot t} = \tilde{b}_{ik}^c \cdot \frac{e^{-\rho_c(\theta_{ik}+\tau_i)} (1 - e^{-T_{ik}})}{1 - e^{-\rho_c}} \quad (11)$$

In the case in which the periodic impacts of the project vary with time, we have:

$$\tilde{B}_{ik}^c(\tau_i) = \sum_{t=\tau_i+\theta_{ik}}^{\tau_i+\theta_{ik}+T_{ik}} \tilde{b}_{ikt}^c \cdot e^{-\rho_c \cdot t} \quad (12)$$

where \tilde{b}_{ikt}^c is the effect of variant k of project i according to criteria c at period t .

At time t , the performance of the different criteria is given by:

$$\tilde{P}_c = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{\tau=RT_i}^{CT_i-\theta_{ik}} \tilde{B}_{ik}^c(\tau) \cdot p_i^\tau \cdot x_{ik}^\tau \quad c = 1 \text{ to } C \quad (13)$$

$$\text{If } \exists k_i \in \{1, \dots, K_i\}, \exists \tau_i \in \{1, \dots, t\} : x_{ik_i}^{\tau_i} = 1,$$

$$\text{then } \sum_{\theta=1}^t \tilde{B}_{ik_i}^c(\theta) \cdot p_i^\theta \cdot x_{ik_i}^\theta = \tilde{B}_{ik_i}^c(\tau_i) \cdot p_i^{\tau_i} \quad (14)$$

$$\text{else: } \forall k \in \{1, \dots, K_i\} \quad \sum_{\theta=1}^t \tilde{B}_{ik}^c(\theta) \cdot p_i^\theta \cdot x_{ik}^\theta = 0$$

Generation of feasible solutions

A natural way to generate these states is to proceed along the DAG (Directed Acyclic Graph) describing the succession/precedence constraints. In a DAG, a depth can be computed for each vertex and the vertices representing the different projects can be organized according to an increasing depth. Let the roots of the process be the subset of projects that have no predecessors, there are successors of the void project, and their depth is 1. For other vertices of the DAG, their depth is equal to the maximum number of arcs of a direct path linking the void project to it. Let $d(i)$ be the depth of project i in the DAG. At each stage the process can be in different states $(s_0, s_1, s_2, \dots, s_k)$ characterized by the set of k projects already achieved. Then a necessary condition for a state (s_1, s_2, \dots, s_k) to be feasible according to the precedence constraints is that:

$$\forall s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_k\} : \Gamma_i^{-1} \subset \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad (15)$$

If the states are ordered such as $d(j') \leq d(j'')$ when $j' < j''$ this condition reduces to:

$$\forall s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_k\} : \Gamma_i^{-1} \subset \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_{i-1}\} \quad (16)$$

Among the 2^N configurations of the N projects many are unfeasible since not complying with the precedence constraints.

Let the DAG of a N -projects dependencies have a total depth equal to m where the void project is associated with its routh at depth 0. Let w_k be the width project at depth k (the number of vertices at depth k) with $L_0 = 1$.

Here the states of the N -projects are represented by column vectors of $N + 1$ binary values $\bar{S} = (S_0, S_1, \dots, S_N)'$ with always $S_0 = 1$ and for $i = 1$ to N , $S_i = 1$ if project i is in the state (it has been already realized) and $S_i = 0$ otherwise. Here the components of the states are organized by increasing depth so that:

$$i \in \left\{ \sum_{l=0}^{d(i)-1} w_l + 1, \sum_{l=0}^{d(i)} w_l \right\} \text{ for } i = 1 \text{ to } N \quad (17)$$

Let now consider the resulting ordered incidence matrix A attached to the DAG. It is such that:

$A(i, j) = 1$ if project j is a direct predecessor of project i , $A(i, j) = 0$ otherwise. When all the predecessors of project i have been realized, set Γ_i^{-1} , two decisions are possible: either the opportunity of performing project i is taken or not. Let us introduce the binary decision vector $\bar{v} \in \{0, 1\}^N$ with the components v_i such as:

$v_i = 1$ when $S_j = 1 \forall j \in \Gamma_i^{-1}$ and when decision of performing project i is taken, $v_i = 0$ if the decision is postponed.

Let us define now the generator matrix G of dimensions $N + 1$ by $N + 1$ and composed with the binary decisions variables g_{ij} such that when all the decisions are taken, G is such as:

$$G = I + A \quad (18)$$

Then G is composed of a unit diagonal and a sequence of submatrices M_k such as for $k = 1$ to m , M_k is of dimension w_k by w_{k-1} . There, the r^{th} line corresponds to the component of the i^{th} state component given by:

$$i = \sum_{h=0}^{k-1} w_h + r \quad (19)$$

and the s^{th} column corresponds to the component of the j^{th} state component given by:

$$j = \sum_{h=0}^{k-2} w_h + s \quad (20)$$

Then, the (r, s) component of M_k will be equal to $g_{ij} = v_i$ if $d(j) = k - 1$ and $i \in \Gamma_j$, $g_{ij} = 0$ otherwise.

A symbolic operation between G and \bar{S} is introduced to define logical conditions for a state to be feasible considering precedence constraints:

$$\bar{S}' = G(\bar{v}) * \bar{S} \quad \text{with } s'_i = s_i \wedge \bigcup_{j \in \Gamma_i^{-1}} (g_{ij}(\bar{v}) \wedge s_j) \quad i = 1 \text{ to } N, s'_0 = 1 \quad (21)$$

The reachable states at depth k are given by:

$$\bar{S}(v_i, d(i) \leq k) = G(\bar{v})^k * \bar{S}_0 \quad \text{with } \bar{S}_0 = (1, 0, 0, \dots, 0)' \quad (22)$$

Each reachable state can cover different sequences of projects and variants, depending of the order in which projects of same depth in the DAG are considered to be realized. For a sequence of a given reachable state, variants will be scheduled as soon as possible while they respect the budget constraints (7).

Identification of fuzzy candidate solutions and final selection

Given the solutions $x_{ik}^t, i = 1 \text{ to } N, k = 1 \text{ to } K_i, t = 1 \text{ to } T$ satisfying constraints (4.1, 4.2) to (7), and their corresponding performances $\tilde{P}_c = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{\tau=R_{T_i}}^{CT_i-\theta_{ik}} \tilde{B}_{ik}^c(\tau) \cdot p_i^\tau \cdot x_{ik}^\tau \quad c = 1 \text{ to } C$. Let FS be the set of feasible solutions and let the performance of the n^{th} solution be given by:

$$\tilde{P}_{nc} = r_{nc} + \varepsilon \cdot \pi_{nc} \quad c = 1 \text{ to } C, n = 1 \text{ to } |FS| \quad (23)$$

The c^{th} performance of the n^{th} solution will be superior to the c^{th} performance of the n^{th} solution if:

$$r_{nc} - \pi_{nc} > r_{n'c} + \pi_{n'c} \quad (24)$$

The c^{th} performances of the n^{th} and n^{th} solutions are rather equal if:

$$|r_{nc} - r_{n'c}| < \min \{\pi_{nc}, \pi_{n'c}\} \quad (25)$$

Then the c^{th} performance of the n^{th} solution will be non-inferior with respect to the c^{th} performance of the n^{th} solution if either it is superior or rather equal to it:

A solution will be considered non-inferior with respect to all the other feasible solutions if no other feasible solution can be non-inferior with respect to it, according to all the C criteria. Let NIS , be the set of non-inferior solutions among which the final decision plan must be chosen.

Many techniques are available today to produce a decision in a multicriteria context and even in a multidecisor context [6]. A popular and straightforward method is the Analytical Hierarchical Process (AHP) [7] which allows to select a solution in a balanced mode through a limited calculation. Several variants of AHP have already been proposed, some including an explicit treatment of fuzzy performance assessment. Here, the developed solution approach considers that with a possible large number of non inferior solutions, only a reduced set of non inferior solutions must be selected to be submitted to the AHP. According to the AHP approach, to produce a decision for the multicriteria decision problem, a matrix M of dimensions $C \times C$ must be provided by the decision maker to inform about the relative importance of each criteria in the fulfillment of its objectives. Let $M_{cc'}$, with $M_{c'c} = 1/M_{cc'}$, be the relative importance of criteria c with respect to criteria c' with values chosen according to the fundamental scale of AHP which appears well adapted to higher level decision makers.

At this stage, the information about the expected performance of the non-inferior solutions will be reduced to their mean values for each criteria: r_{nc} , $n \in NIS$, $c \in \{1, \dots, C\}$. Then when there are more than two criteria, for each criteria c with $c \in \{1, \dots, C\}$, the following local optimisation problem is solved:

$$n_c^* = \underset{n \in NIS}{\operatorname{argmax}} \sum_{c'=1}^C M_{cc'} \cdot r_{nc} \quad (26)$$

and let the candidate set of solutions CS be defined as:

$$CS = \{n_1^*, \dots, n_C^*\} \text{ with } |CS| \leq C \quad (27)$$

Here, when the set CS has more than one element, the classical AHP method is applied to this set of solutions using the relative weight matrix M , leading to a final solution for the planning problem.

Illustration of the method

Here we display first a small solution generation process and then the selection method to apply the AHP method.

Solution generation:

Figure 1 displays the DAG associated with a planning problem composed of seven interconnected projects with two variants each.

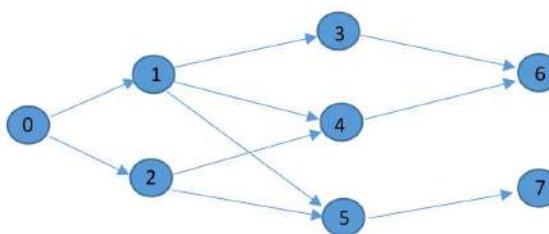


Figure 1: Example of DAG

The incidence matrix associated to this DAG is given by:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

It appears from figure 1 that, for example to realize project 3, project 1 must have been previously realized while to realize project 4, both projects 1 and 2 must have been previously realized. The generation matrix is given by:

$$G = \left[\begin{array}{ccccccc|cc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ v_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & v_3 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_4 & v_4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_5 & v_5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & v_6 & v_6 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & v_7 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (29)$$

In the considered case we get the successive symbolic states given in Table 1:

Depth	0	1	2	3
State	1	1	1	1
	0	v_1	v_1	v_1
	0	v_2	v_2	v_2
	0	0	$v_1 \cdot v_3$	$v_1 \cdot v_3$
	0	0	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_4$	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_4$
	0	0	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_5$	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_5$
	0	0	0	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot v_4 \cdot v_6$
	0	0	0	$v_1 \cdot v_2 \cdot v_5 \cdot v_7$

Table 1: Possible states according to the depth

In the above example, the number of different possible states considering precedence constraints is $n_s = 16$ as given in Table 2: one state at depth 0, 3 states at depth 1, 7 states at depth 2 and 5 states at depth 3.

Selection process

Here we consider three criteria with the following relative importance matrix:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 1/3 & 1 & 5 \\ 1/6 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Table 2: Possible states for DAG of Figure 1

Solutions:	1	2	3	4	5	6	7	8
$c = 1$	10	5	8	8	6	15	8	3
$c = 2$	9	5	10	11	10	5	2	15
$c = 3$	10	11	5	4	10	4	11	5

Table 3: Performances of the non-inferior solutions

and the performances of a set of eight non inferior solutions given in table 3:

The solutions of the three problems (26) provide the candidate set $CS = \{1, 5, 7\}$ with $n_1^* = 5, n_2^* = 7$ and $n_3^* = 1$. Then, the AHP method applied to these three candidate solution provide the final solution: $n^* = 1$.

Conclusion

The present paper has proposed a global framework to cope with the planning problem of a set of interdependant projects over a given period of time with impacts on the longer term. The prevision of impacts in the case of environment related projects present in general 'significative uncertainties. This has led to adopt for their assessment a particular fuzzy representation which has allowed to define, despite these uncertainties, a set of non inferior solutions. Then, beyond the intrinsic evaluation of the contribution of each project, the decision maker has two strategic class of parameters to orientate the final decision process:

- the weight parameters p_i^t of the projects, set in general to meet specific requests from impacted populations within a favorable timetable;
- the relative importance weights of the criteria which characterize the long term preferences of the decision maker.

References

1. Yigitcanlar T., Dizdaroglu D. Ecological approaches in planning for sustainable cities, A review of the literature // Global Journal of Environment Science and Management. 2015. Vol. 1, iss. 2. P. 159-188. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.02.008>
2. Mebratu D. Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review // Environmental Impact Assessment Review. 1998. Vol. 18, iss. 6. P. 493-520. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00019-5)
3. Yager R. R. Fuzzy sets as a tool for modeling // Computer Science Today. Lecture Notes in Computer Science – Volume 1000 / Ed. van Leeuwen J. Springer, Berlin, Heidelberg, 1995. P. 536-548. <https://doi.org/10.1007/BFb0015265>

4. Mogbojuri A. O., Olanrewaju O. A., Using the deterministic approach model for project portfolio selection problem (PPSP) solutions // *Heliyon*. 2023. Vol. 9. Art. no. e19129. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19129>
5. Mora-Camino F., Cosenza C. A. N. *Fuzzy-Dual Numbers: Theory and Applications*. Springer International Publishing AG, 2018. 62 p. (Ser.:Studies in Fuzziness and Soft Computing) <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65418-8>
6. Taherdoost H., Madanchian M. *Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts* // Encyclopedia. 2023. Vol 3, iss. 1. P. 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
7. Saaty T. L., Vargas L. G. *Models, Methods, Concept & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. 2nd ed. Springer Science+Business Media, New York, 2012. 346 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>

Proposal for Integration of Drainage Solutions in the Urban Open Spaces System. Case Study: Bambu River Watershed, Maricá/Brazil

**Magalhães P. M. C. de^{1*}, Amback B. C.¹, Gomes M. V. R.¹, Velez L. T.¹, Neto H. M.¹, Thomaz F. R.¹,
Guimarães L. F.², Battemarco B. P.², Rezende O. M.¹, Sousa M. M.¹, Veról A. P.¹, Mattos R. R. de¹,**
Magalhães P. C. de¹, Miguez M. G.¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

 paulamoraiscanedo@gmail.com

Keywords: drainage solutions, urban open spaces system, flood mitigation

Cities face increasing challenges due to rapid and unplanned urbanization, which often leads to significant land use changes that reduce green spaces, increase impervious surfaces, and intensify urban density [1–3]. These changes contribute to hydrological disruptions [4], poorer ecosystem services [2], and more frequent urban flooding. Effective city planning must navigate through environmental constraints to balance human activities with hydrological cycle demands, aiming to mitigate the social and economic impacts of floods. Recognizing land as a valuable resource and leveraging open spaces for multifunctional use could help to preserve environmental features and improve territorial organization [5].

Natural blue and green elements are being increasingly recognized in literature for their capacity to support biodiversity conservation [2] and to perform ecological and societal functions in cities, including the accommodation of stormwater flows. This type of sustainable approach aim to attenuate urbanization impacts on flooding and restore natural water cycle patterns, promoting ecological and societal benefits amid by urban challenges.

In this way, this work proposes a set of interventions for a watershed, grouped into different packs, and evaluates them to determine the most efficient alternative for flood reduction. These interventions were conceived considering some important demands in flooding mitigation such as: protection of the natural environment; integration of urban and natural needs; damping discharges to avoid overflows; increase discharge capacity outflows.

The area chosen to apply the method was the Bambu Watershed, in the municipality of Maricá, at the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. This municipality, and particularly this watershed, is experiencing a rapid urban growth, especially due to social programs and oil royalties, with expectations for continued expansion in the coming decades. Concerns arise over future urban sprawl favoring the occupation of flood-prone riverine plains. Preserving open green spaces is crucial to mitigate flood risks, given existing flooding in the neighborhoods, including the city center. The proposed approach integrates flood mitigation into landscape design, aiming to enhance blue and green spaces for improved quality of life and urban flood resilience.

The design alternatives include 4 parks, and the dredging of the downstream reaches of the main river. The first park is dedicated to flood damping, including formal dams; two others have multifunctional characteristics, integrating flood mitigation properties, using excavated reservoirs, with leisure spaces and encouraging environmental awareness, and the fourth is a waterfront park for a restored lagoon.

The park proposed for flood attenuation, called Inoá Norte, is located in the upper reach of the watershed, close to the rural area, and is composed by 2 reservoirs built to dampen flood peaks flowing in the main watercourse. On the other hand, the 2 multifunctional parks, called Inoá and Marighella, are located in the mid-watershed, in the urban area. They are composed of green areas, squares, bike paths, and walkways, in addition to reservoirs arranged at different lowered levels, allowing gradual flooding of the open space, while ensuring a permanent water depth at its lowest level. Finally, the waterfront park is combined with the environmental restoration of Lagoa Brava, a degraded water body that is responsible for currently retaining the Bambu River flows, and the dredging of the downstream Bambu River stretch in the vicinity of its outflow in Maricá Lagoon.

All these interventions were grouped into 6 packs. It is important to emphasize that all packs include the proposed dredging, since it is considered essential to restore river discharges capacity – the river outfall is suffering with a significant siltation process. Certain interventions, such as the Inoã Norte Park, the Marighella Park and Lagoa Brava, can stand alone in simpler packs, only being associated with dredging, although then can potentially work better in combination. The other intervention, Inoã Park, require coordination across upstream, midstream, and downstream areas of the watershed to maximize effectiveness and integration. To simulate and obtain the flooding levels of each set of interventions a hydrodynamic model, called MODCEL, was used. MODCEL is a quasi-2D model, capable of mapping floods in urban areas, representing complex flow networks in the watershed. The watershed was divided into small homogeneous compartments, called cells. The cells connect with each other through hydraulic links representing the different possible flows inside an urban watershed.

In the end, the configuration of each pack, as well as its results in terms of flood reduction and estimated implementation costs can be seen in Table 1. The main objective of these combinations is to drive the stakeholder decision, considering flood mitigation results and investment capacity.

Intervention Pack	Description	Flood reduction	Cost	Cost/m ² of flooded area reduction
Pack 1	Dredging + Marighella	18%	\$ 2,679,827.86	\$ 1.37
Pack 2	Dredging + Inoã Norte	7%	\$ 15,291,628.23	\$ 19.26
Pack 3	Dredging + Inoã Norte + Inoã	13%	\$ 17,744,887.82	\$ 13.05
Pack 4	Dredging + Inoã Norte + Inoã + Marighella	23%	\$ 20,198,147.42	\$ 8.18
Pack 5	Dredging + Inoã Norte + Inoã + Marighella + Lagoa Brava	23%	\$ 20,832,833.76	\$ 8.53
Pack 6	Dredging + Lagoa Brava	3%	\$ 861,254.61	\$ 3.19

Table 1: Obtained results for each pack in terms of flood reduction

The simulations used a rainfall event of 25-year return period, which is the standard reference for Brazilian macro drainage projects. All areas with water depths greater than 30 centimeters were mapped, both for the current scenario and after each Pack, allowing an assessment of the effect of each intervention on flood control. A cost estimate for each intervention was also carried out.

The model results showed that Packs 4 and 5 are very similar in terms of flood control. However, Package 5 includes an additional environmental restoration intervention (Lagoa Brava) that brings other benefits to the municipality, and its additional cost does not exceed 5% of the estimated cost for Package 4.

Pack 1 also has interesting results, offering the best ratio between flood control and cost. With this pack, it is possible to achieve an 18% reduction in flooding at a cost six times lower than Pack 4 and 5, indicating that this Pack 1 has the potential to be the first to be implemented.

Although each individual intervention has a favorable impact in reducing water depth in the streets, their benefits are powered when combined, working in different sections of the watershed. Multiple solutions can coexist and generate social, hydraulic and environmental benefits.

The work was carried out with support from CODEMAR, the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [167721/2023-2; 152887/2024-5; 303862/2020-3], and the PIBIC-UFRJ/CNPq. We also acknowledge the UNESCO Chair for Urban Drainage in Regions of Coastal Lowlands from the Federal University of Rio de Janeiro, to which this research is linked.

References

- Barbaro G. et al. Innovations in best practices: Approaches to managing urban areas and reducing flood risk in reggio calabria (Italy) // Sustainability. 2021. Vol. 13, no. 6. Art. no. 3463. <https://doi.org/10.3390/su13063463>

2. Kabisch N., Frantzeskaki N., Pauleit S. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action // *Ecology and Society*. 2016. Vol. 21, no. 2. Art. no. 39. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08373-210239>
3. Veról A. P. et al. River Restoration Integrated with Sustainable Urban Water Management for Resilient Cities // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Art. no. 4677. <https://doi.org/10.3390/su12114677>
4. McGrane S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review // *Hydrological Sciences Journal*. 2016. Vol. 61, no. 13. P. 2295–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>
5. Lourenço I. B., Guimarães L. F., Alves M. B., Miguez M. G. Land as a sustainable resource in city planning: The use of open spaces and drainage systems to structure environmental and urban needs // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 276. Art. no. 123096. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123096>

Flood Risk Mapping in Maricá, Brazil

**Rezende O. M.^{1*}, Battemarco B. P.^{1,2}, Guimarães L. G.^{1,2}, Soares B. B.¹, Amback B. C.¹,
Neto H. M.¹, Velez L. T.¹, Magalhães P. M. C.¹, Thomaz F. R.¹, Magalhães P. C.¹, Miguez M. G.¹**

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

 omrezende@poli.ufrj.br

Keywords: flood risk, thematic maps, urban planning, susceptibility

Urban flooding continues to grow as a global challenge as urban development expands toward water bodies and flood-prone areas, having increased from 1,389 recorded events between 1980 and 1999 to 3,254 events in the first two decades of the 21st century [1]. Analyzing and understanding the risk of floods is a complex task of great utility to society, with risk management being an integral part of efficient urban stormwater management [5]. Flood risk mapping involves territorial analysis using multiple layers of information by applying a multicriteria approach. The main goal is to spatially analyse the various aspects influencing the risk by combining data into indicators and indices. This mapping has multiple applications in urban environments [2], being essential for planning rescue operations in emergency situations [4]. The results can be incorporated into the Urban Master Plan to align future developments with the population's safety regarding urban flood events. Additionally, registering residences in areas at risk of fluvial floods is crucial for structuring an effective urban drainage intervention plan. In design scenarios, risk mapping assists in evaluating the efficiency of flood mitigation alternatives, thereby increasing the protection of the population in the studied region.

In this research, flood risk mapping is presented through a thematic map collection to assist urban planning in considering the different faces of risk generated by flood events. Risk assessment starts from the Simplified Flood Risk Index (SFRI), which consists of two components: the hazard indicator (I_h) and the exposure indicator (I_e). The hazard indicator, represented by the maximum flood depth during a flood event, is obtained from the results of hydrological-hydrodynamic modelling using, in this case, MODCEL [5]. On the other hand, the exposure indicator, represented by household density, is derived from the 2022 Brazilian Census [3]. The SFRI is calculated through a weighted product between the hazard (I_h) and exposure (I_e) indicators, classifying areas into the classes of *very low*, *low*, *medium*, *high*, and *very high* flood risk.

The SFRI disregards the socioeconomic vulnerability of the population, which could be used to identify areas with less recovery capacity. Therefore, in a complementary way, the Socioeconomic Risk was proposed by overlapping the SFRI with the socioeconomic vulnerability, determined according to the population's income. In Socioeconomic Flood Risk, areas classified with a *very high*, *high* and *medium* flood risk and vulnerability are highlighted. The *medium* classes are overlapped only with *very high* classes.

Flood impacts are not limited to households (analysed using the Simplified Risk Index and the Socioeconomic Risk), but also affect other infrastructure and services. The Urban Mobility Risk indicates the risk of total or partial interruption of traffic by overlapping the maximum flood depths with the location of existing highways and arterial roads. It is considered that there is an impact on urban mobility when the maximum flood depth is above 30cm.

Besides traffic, floods may also impact the functioning of community facilities, such as hospitals and schools. Therefore, the Risk of Community Facilities indicates that services are partially affected by flooding depths ranging from 15cm to 30cm, and affected when the maximum flood depth is above 30cm. In this assessment, it is proposed to overlay the maximum flood depths with the location of hospitals and schools.

The thematic map collection was developed for the municipality of Maricá, located in Rio de Janeiro, Brazil. Maricá occupies an area of 361,572 km² and covers one of the largest lagoon complexes in the state, called Maricá-Guarapina. Maricá is undergoing rapid urban growth which is expected to continue in the coming years due to social programs and oil royalties.

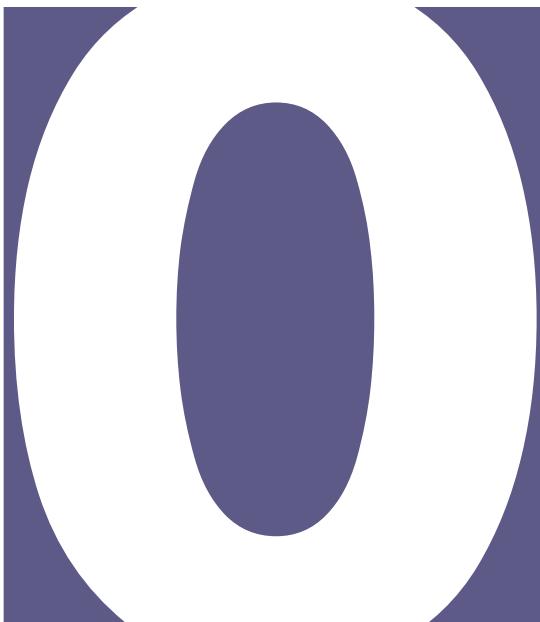
The SFRI results indicate that 2.04 km² of Maricá territory is classified as “very high” risk, 3.13km² as “high” risk, and 6.32km² as “medium” risk. These areas deserve attention from urban planners and managers when proposing flood mitigation measures. The assessment of Socioeconomic Risk highlighted the most vulnerable regions potentially affected by floods, with 0.04km² being classified as “critical”, 1.11km² as “very high”, and 4.48km² as “high”. Besides, the Urban Mobility Risk analysis points to affected segments of the RJ-106 highway (5,38 km), representing a “critical” risk. It is also observed that road extensions are classified as “very high” risk (8,95km) in main arterials, and as “high” risk (13,97km) in secondary arterials. Finally, in Maricá, 146 community facilities have been identified, comprising 115 schools and 31 healthcare units. Of these, 18 are partially affected by flooding depths ranging from 15cm to 30cm, while 37 are impacted by inundation depths exceeding 30cm. Among the affected community facilities, 25 are schools and 12 are healthcare units.

This study highlights the need to mapping flood risk, considering the potential impact on different city components, including households, infrastructure and facilities. It also provides insights about how to perform this type of assessment. Besides, managers can use the thematic map collection as a supporting tool for urban planning regarding flood risk mitigation.

The work was carried out with support from CODEMAR, the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [167721/2023-2; 152887/2024-5; 303862/2020-3], and the PIBIC-UFRJ/CNPq. We also acknowledge the UNESCO Chair for Urban Drainage in Regions of Coastal Lowlands from the Federal University of Rio de Janeiro, to which this research is linked.

References

1. CRED; UNDRR. Human cost of disasters. An Overview of the Last 20 years, 2000-2019. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) and Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 2020. 17 p.
2. Fan Y. et al. A Coupled 1D-2D Hydrodynamic Model for Urban Flood Inundation // Advances in Meteorology. 2017. Vol. 2017. Art. no. 2819308. <https://doi.org/10.1155/2017/2819308>
3. IBGE. Censo Demográfico, 2022. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>
4. Mahmoud S. H., Gan T. Y. Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 636. P. 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.282>
5. Miguez M. G., Battemarco B. P., Sousa M. M., Rezende O. M., Veról A. P., Gusmaroli G. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model// Water (Switzerland), 2017. Vol. 9, no. 6. Art. no. 445. <https://doi.org/10.3390/w9060445>



Метановая дегазация в водных экосистемах: потоки, средообразующая роль, генезис, участие в геологических и экологических процессах

Methane degassing in aquatic eco-systems: flows, environment-forming role, genesis, participation in geological and environmental processes

Струйная разгрузка метана на аноксических глубинах Черного моря

Артёмов Ю. Г.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Bubble stream discharge of methane at anoxic depths of the Black Sea

Artemov Yu. G.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ yu.g.artemov@ibss-ras.ru

Начало работ по метановой теме в Институте биологии южных морей им. А.О. Ковалевского связано с открытием феномена метановых газовыделений в сероводородной зоне Черного моря в 1989 г. коллективом авторов под руководством Г. Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Дальнейшие исследования, выполненные с использованием дистанционного акустического метода в более чем 16 научных рейсах НИС «Профессор Водяницкий», в том числе 12 международных, подтвердили значительный масштаб распространения этого явления в различных районах Черного моря. В созданном на основе данных многолетних акустических наблюдений банке струйных газовыделений содержится информация о локализации, интенсивности и вертикальной протяженности 5197-ти газовых факелов в диапазоне глубин от 14 до 2100 м, по которым однозначно идентифицирована 4381-я площадка газовой разгрузки дна в Черном море, в том числе у 2955-и географические координаты определены с точностью до метров. Исследования показали, что струйная газовая разгрузка в Черном море проявляется в районах с различными геоморфологическими характеристиками: в палео-руслах рек Дунай, Днепр-Каланчак, Дон-Кубань, конусе выноса закавказских рек, западном континентальном склоне с прилегающим шельфом, северо-западном шельфе. Подавляющее количество обследованных метановых сипов относят к холодным сипам, т.е. имеющим биогенное происхождение (Егоров, 2011). Свыше 98% газовыделений располагались выше фазовой границы стабильности метановых гидратов (725 м для Черного моря), что свидетельствует о барьерном эффекте газогидратов в донных осадках. В глубоководной части Черного моря струйные газовыделения встречаются в районах активного развития грязевого вулканизма и диапиризма на глубинах, достигающих 2000 – 2100 м.

На основе многолетних исследований в ИнБЮМ РАН был выполнен прямой подсчет скорости и объема поступления струйного метана в аноксическую толщу вод Черного моря в уже исследованных и перспективных районах активных метанопроявлений от 3-х типов существующих в Черном море метановых струйных газовыделений, а именно: а) метановые сипы на аноксических глубинах до 725 м, б) индуцированные вертикальным тепловым потоком газовыделения в зоне стабильности газогидратов, в) грязевые вулканы. Было установлено, что среди рассмотренных источников поступления струйного метана наибольший вклад в воды Черного моря вносят метановые сипы первого типа, вклад других источников на порядки меньше. При этом, полученная оценка общей эмиссии струйного метана в масштабах всего Черного моря (0.9 Тг год^{-1}) меньше, по крайней мере, в 2,5 раз, чем соответствующие оценки, определенные биогеохимическими методами. Более того, не менее 2.8% выделившегося из морского дна на аноксических глубинах струйного (пузырькового) метана может пересекать границу между аэробными и аэробными водами и достигать поверхности моря, выбрасывая свободный метан непосредственно в атмосферу.

Проведенные исследования позволяют уточнить баланс метана в Черном море и оценить региональный вклад в глобальный парниковый эффект. Данные по локализации очагов газовой разгрузки и потоку метана дают представление о явлении струйных газовыделений как экологическом и ресурсном факторе, а также могут использоваться как компонент системы поиска углеводородных месторождений.

Вариации пузырькового потока метана в бухте Ласпи по данным пассивной акустики

Будников А. А.^{1*}, Малахова Т. В.², Краснова Е. А.¹, Иванова И. Н.¹, Хурчак А. И.²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Temporal variability in methane bubble emissions in Laspi Bay from passive acoustic data

Budnikov A. A.^{1*}, Malakhova T. V.², Krasnova E. A.¹, Ivanova I. N.¹, Khurchak A. I.²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ aa.budnikov@physics.msu.ru

Ключевые слова: метановые сипы, пассивный акустический мониторинг, пузырьковые газовыделения, углеводородный состав, изотопный состав, растворенный кислород

Мелководная площадка сипов в бухте Ласпи (Черное море) известна с 2004 года. По данным компонентного и изотопного анализа выделяющийся газ отвечает условиям термокаталитического преобразования органического вещества с незначительным вкладом бактериального изотопнолегкого газа. Данный факт свидетельствует об уникальности Ласпинского сипа в сравнении с другими мелководными сипами южного берега Крыма, имеющими в основном биогенное происхождение [1]. При этом, исследования интенсивности газовой разгрузки в бухте Ласпи и оценки ее изменчивости проводились достаточно редко [2]. В 2023 г. на данной площадке авторами впервые были проведены межсезонные и круглогодичные исследования интенсивности пузырьковых газовыделений, сопровождаемые непрерывным измерением гидрологических параметров в непосредственной близости от точки выхода газа и на удалении от источника.

Мониторинг пузырькового потока проводился пассивным акустическим методом. Для регистрации акустических сигналов, генерируемых пузырьковым потоком, использовался широкополосный гидрофон АБТМ-23 (частота дискретизации 48 кГц, разрядность 16 бит, формат WAV) в комплексе с приборами, непрерывно измеряющими температуру, электропроводность, мутность, концентрацию растворенного кислорода, скорость и направление движения воды, гидростатическое давление (многопараметрические измерители RCM 9 LW и RDCP 600 (AANDERAA INSTRUMENTS, Норвегия), скоростной логгер давления и температуры RBR-duet (Канада)). Для визуального контроля использовалась подводная видеокамера GoPro 9 с разрешением 4К.

Проведенные работы показали наличие периодического выхода газа в виде пузырьковых струек на площадке сипов во все месяцы наблюдений 2023 года (с февраля по ноябрь), что отмечалось и в предыдущие годы. Непостоянство выхода газа из подобного рода источников отмечается и другими авторами [3]. Для наблюдений и последующего сопоставления данных был выбран источник пузырькового газа из отверстия в каменистом основании, имеющим характерный рельеф, что позволило выполнять все измерения в одной и той же точке на протяжении всего периода экспедиционных исследований. Для всех сезонов продолжительность активной фазы газовыделения (пузырькового кластера) превышала продолжительность пауз. Продолжительность активной фазы в основном составляла от 2 секунд до нескольких минут. Изредка наблюдались и более продолжительные выходы газа. В то же время, продолжительность пауз не превышала трех минут. Статистический анализ продолжительности кластеров и пауз показал, что наибольшие по продолжительности кластеры и паузы наблюдались в июне. Максимальная продолжительность кластера за период наблюдений составила около 2 часов, в то время как максимальная зарегистрированная продолжительность паузы составила 8 минут 23 секунды.

С использованием частотных характеристик записанных акустических сигналов [2] был рассчитан примерный размер выделяющихся пузырьков, который составил 6 мм, что хорошо соотносится

с подводными видеозаписями. На основании данных по периодичности газовыделений и размеров пузырьков рассчитан объем выделившегося газа для каждой отдельной серии измерений. Получено, что объем выделяющегося газа варьирует от 26 до 38 л/сутки.

С использованием данных комплекса гидрологических приборов получены временные ряды значений температуры, электропроводности, гидростатического давления, содержания растворенного в воде кислорода, мутности и горизонтальной составляющей скорости потока морской воды в придонном слое над точкой газовыделений. В полученных рядах отмечаются как синхронные, так и асинхронные изменения температуры и содержания растворенного кислорода над сипом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00379, <https://rscf.ru/project/23-27-00379>.

Список литературы

1. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Чёрном море: средообразующая и экологическая роль / под ред. Г. Г. Поликарпова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 405 с. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7684>
2. Будников А. А., Малахова Т. В., Иванова И. Н., Линченко Е. В. Применение пассивного акустического метода для детектирования и оценки потоков мелководных пузырьковых газовыделений // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2019. №. 6. С. 107-113.
3. Leifer I. A synthesis review of emissions and fates for the Coal Oil Point marine hydrocarbon seep field and California marine seepage // Geofluids. 2019. Art. no. 4724587. <https://doi.org/10.1155/2019/4724587>

Разгрузка подземных вод в пределах водосборного бассейна озера Баскунчак как источник парниковых газов

Гарькуша Д. Н.^{1*}, Фёдоров Ю. А.¹, Ковалев Е. А.¹, Талпа Б. В.¹, Тамбиева Н. С.²,
Андреев Ю. А.²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия

Discharge of groundwater within the Baskunchak Lake catchment area as a source of greenhouse gases

Garkusha D. N.^{1*}, Fedorov Yu. A.¹, Kovalev E. A.¹, Talpa B. V.¹, Tambieva N. S.², Andreev Yu. A.²

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

✉ gardim1@yandex.ru

Ключевые слова: рапа, донные отложения, грифоны, метан, диоксид углерода, изотопный состав, распределение, эмиссия

Озеро Баскунчак – это крупное бессточное самосадочное соленое озеро, расположенное в пределах Боткульско-Баскунчакской депрессии, входящей в состав Прикаспийской низменности. Соленость оз. Баскунчак составляет около 300 г/л, что связано как с поступлением в озеро высокоминерализованных вод ручьев, так и с жарким летним климатом, обуславливающим высокую испаряемость воды. Особенно крупные ручьи формируются за счет мощных восходящих подземных источников, связанных с сильно закарстованными гипсами кунгурского яруса (нижний отдел пермской системы), и разгружающихся на северо-западном, северном и восточном побережьях озера, в виде грифонов, а также сосредоточенными струями различной мощности как из трещиноватых гипсов, так и на дне карстовых воронок, а также в заиленных днищах балочных долин [1 ; 2].

В подготовительный период авторами по космоснимкам (*Google Earth*) и опубликованным данным определено предполагаемое местоположение действующих источников, выводящих подземные воды на поверхность в пределах оз. Баскунчак и его водосборного бассейна. В ходе исследований в весенний, летний и осенний периоды 2023 г. было подтверждено местоположение большинства дешифрированных по космоснимкам источников подземных вод, а также выявлены новые источники, которые не просматривались на космоснимках. Всего выявлено около 500 источников подземных вод различного дебита, при этом отдельные источники сильно дегазировали. Проведено подробное описание выявленных дегазирующих источников, измерены их первичные морфометрические и морфологические характеристики, дебит. Выполнен отбор проб воды и донных отложений из дегазирующих источников, а также в озере Баскунчак и его притоках вне выходов подземных вод и газов [2 ; 3]. Помимо измерения потоков CH₄ и CO₂ камерным методом, в различных горизонтах донных отложений определены концентрации CH₄, сульфидной серы, органического вещества, значения Eh и pH, гранулометрический состав. В воде определены соленость, значения pH, температуры, концентрации CH₄ и растворенного O₂, основных ионов, валовых Fe и Mn. В 4-х источниках для определения изотопного значения углерода CH₄ и CO₂ отобраны пробы поднимавшихся со дна пузырьков газа.

Обобщение данных по всем трем периодам наблюдения показывает, что уровень воды в источниках, расположенных в карстовых воронках, и их дебит заметно уменьшается от весны к осени, при этом многие источники прекращают свою активность, а неглубокие карстовые воронки пересыхают уже к лету. Малодебитные высачивания и небольшие струи многочисленных источников подземных вод из песчано-алевритовых отложений прибрежной зоны западного побережья озера Баскунчак, а также поймы ручья Горькая речка также характеризуются наибольшим дебитом весной. К середине

лета – осени от таких малодебитных высачиваний подземных вод остаются следы потоков и нередко хорошо видное выводное отверстие. В целом в осенний период оставались активными 20 источников с дебитом от 0.02 до 4 л/с, что в 2–5 раз меньше их дебита, фиксируемого в весенний и летний периоды. Большинство действующих источников недалеко от точки выхода вод содержали невысокие концентрации растворенного O_2 от 0.306 до 2.2 мг/л (2.4–20.4% насыщения). Недействующие источники содержали O_2 в пределах от 3.12 до 10.8 мг/л (до 90% насыщения).

Весной, наряду с более мощной разгрузкой вод фиксировалась и более интенсивная дегазация, которая в летний период или полностью прекращалась, или значительно уменьшалась вместе с дебитом воды. Интенсивная дегазация во все периоды наблюдений отмечалась в Северной группе источников, расположенных в балке Северная, а также в источниках, разгружающихся в русле ручья Горькая речка. Во всех этих источниках в воде зафиксированы аномально высокие концентрации метана (311.6–8895.0 мкл/л) и его удельных потоков (12.628–200.496 мг $CH_4/(m^2 \text{ час})$). В то же время концентрации метана в рапе озера Баскунчак и его удельные потоки с обводненной поверхности озера вне выходов подземных вод и газов составляли соответственно 0.47–2.66 мкл/л и 0.112–0.123 мг $CH_4/(m^2 \text{ час})$.

Удельный поток CO_2 характеризовался значительной изменчивостью не только его величины, но и направленности. Так, для станций, где наблюдалась разгрузка подземных вод установлено выделение CO_2 в атмосферу со скоростью 15.84–226.97 мг/ $(m^2 \text{ час})$ (в среднем 107.13 мг/ $(m^2 \text{ час})$). При этом максимальные потоки CO_2 (226.97 мг/ $(m^2 \text{ час})$) установлены для вод дебитного поля восходящих источников, стекающих в устье ручья Улан-Благ и ручья Горькая речка (186.17 мг/ $(m^2 \text{ час})$). Летом, для устья ручья Улан-Благ, а также ряда заполненных водой карстовых воронок, в которых разгрузка вод и дегазация отсутствовали (недействующие источники), поток CO_2 был либо нулевым, либо фиксировался сток CO_2 со скоростью 10.09–27.83 мг/ $(m^2 \text{ час})$ (в среднем 21.31 мг/ $(m^2 \text{ час})$).

В целом максимальные скорости потоков CH_4 и CO_2 , с поверхности активно дегазирующих подземных источников, разгружающихся в балках притоков озера Баскунчак и его прибрежной зоне, сопоставимы с его потоками с иловых чеков очистных сооружений и болотных массивов. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$) CH_4 и CO_2 , измеренный в газовых пузырьках, поднимавшихся со дна исследованных восходящих источников, указывает на современный биохимический генезис данных парниковых газов [3].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00330 (<https://rscf.ru/project/23-27-00330/>), в Южном федеральном университете.

Список литературы

1. Кучерук Т. А., Амельченко В. Н. Подземные трещинно-карстовые воды кунгурского яруса // Геология, география и глобальная энергия. 2008. № 4 (31). С. 73–75.
2. Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Трубник Р. Г., Талпа Б. В., Ковалев Е. А. Концентрация и эмиссия метана и сероводорода в озере Баскунчак, ручье балки Улан-Благ и дегазирующих источниках подземных вод в весенний период // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 80–92. <http://dx.doi.org/10.18522/1026-2237-2023-3-80-92>
3. Гарькуша Д. Н., Фёдоров Ю. А., Ковалев Е. А., Талпа Б. В., Андреев Ю. А., Тамбиева Н. С., Краснова Е. А. Подземные источники балки Пещерная озера Баскунчак: гидрохимические особенности и эмиссия парниковых газов // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 63–75. <http://dx.doi.org/10.18522/1026-2237-2024-1-63-75>

Сезонные изменения содержания и удельного потока метана в Иваньковском водохранилище

Гречушникова М. Г.^{1,3*}, Ломов В. А.¹, Ломова Д. В.², Кременецкая Е. Р.², Федорова Л. П.^{2,3},
Трошина И. Л.^{2,3}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²Конаковская НИС «Институт водных проблем РАН», Конаково, Россия

³Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

Seasonal change of methane concentration and flux in Ivankovo Reservoir

Grechushnikova M. G.^{1,3*}, Lomov V. A.¹, Lomova D. V.², Kremeneckaya E. R.²,
Fedorova L. P.^{2,3}, Troshina I. L.^{2,3}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Branch of WPI RAS “Ivankovskaya Research Station”, Konakovo, Russia

³A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ allavis@mail.ru

Ключевые слова: метан, Иваньковское водохранилище, растворенный кислород, температура воды

Актуальность работ связана с малой изученностью режима метана (его содержания и эмиссии) в искусственных водоемах. Имеющиеся глобальные оценки эмиссии [6] имеют в основе данные преимущественно экспедиционных наблюдений. Сравнение определенных характерных значений удельного потока метана с наблюденными [3] показывают значительные отличия из-за большой пространственно-временной изменчивости УП на водохранилищах из-за их асимметричной формы, особенностей строения (различная доля мелководий), антропогенного вклада при загрязнении воды и донных отложений, уровненного режима, а также погодных условий и притока воды.

Объект исследований – Иваньковское водохранилище (1937) сезонного регулирования (Кв 10.3 год⁻¹ [1]). Водохранилище мелководно: акватория глубиной менее 2 м составляет около половины от всей водной поверхности водоема при наполнении до НПУ (124 м). Вода водохранилища используется для охлаждения систем Конаковской ГРЭС, что сказывается на тепловом режиме Мошковичского залива, куда производится сброс теплых вод, и водоема ниже по течению. Водохранилище относится к долинному типу и имеет сложную морфологическую структуру, определяющую эколого-биологические различия плесов [2]. Донные отложения (ДО) представлены первичными трансформированными и вторичными грунтами: песок – 13% площади дна (с содержанием органического вещества (ОВ) в песках 1.4 – 2.8%), песок илистый — 26% (3.5 – 9.8%), ил песчанистый – 46% (10.2 – 20%), ил торфянистый и отложения

Съемки водохранилища были проведены 13-14.03.2023, 15-16.05.2023, 4-5.08.2023, 17-18.03.2024. Выполнялись следующие измерения: вертикальное распределение температуры воды, растворенного кислорода, электропроводности (зонды YSI ProOdo и Pro30), прозрачность воды по диску Секки. Отбор проб воды производился из поверхностного и придонного горизонта на фарватере, а на третьей съемке дополнительно над поймой. Пробы донных отложений отбирали на станциях в русловой ложбине дночерпателем Экмана-Бэрджа. Содержание метана в отобранных пробах воды определялось на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором Хроматэк-Кристалл 5000.2. Определение концентрации метана в пробах воды производился методом «headspace» [5]. На станциях проводилось измерение удельного потока метана в атмосферу методом «плавучих камер» [4].

Полученные результаты демонстрируют значительные сезонные изменения содержания и УП метана (табл. 1, 2). Прежде всего выявлены различия содержания метана в конце зимнего периода. В 2024 г. содержание метана существенно больше, несмотря на большее содержание O₂ в придонном слое (7,2-11,9 мг/л против 2,4-10,8 мг/л). Авторы связывают это обстоятельство с различиями

уровненного режима и притока воды в водоем в течение предшествующего периода. В 2024 г. произошла более глубокая предполоводная сработка при том, что приток в водоем на примере р. Волги был меньше, чем зимой 2023 г. Т.е. весенний выброс при ставлении льда в разные годы для водохранилища может быть различен. А содержание метана в зимний период может превышать летние концентрации, когда придонные горизонты прогреты и метаногенез теоретически идет более активно. По-видимому, в формировании баланса метана в водоеме большую роль играет его поступление с притоками с заболоченного водосбора.

Таблица 1: Содержание метана в поверхностном/придонном слое воды (в скобках указана глубина станции, прочерк – нет данных)

Станция	13-14.03.2023 над руслом	15-16.05.2023 над руслом	3-4.08.2023 над руслом	3-4.08.2023 над поймой	17-18.03.2024 над руслом
Городня	11.8/12.6	10.4/14	6/3.5 (10.5)	-	25/24,7
Шош. плёс	-	1.5/10	3.2/73.9 (5)	-	954/846
Плоски	-	6.7/27	11.4/130 (13.2)	14.5/24.1 (3.8)	103/115
Конаково	-	6.3/25	11.9/80.1 (11)	17.8/27.4 (4.5)	162/133
Корчева	3.7/2.3	3.9/14.3	10/30.1 (14)	10.3/15.1 (5.2)	107/53,7
Дубна	1/0.8	1.5/6.2	4/25.3 (15)	3.8/6.7 (6)	3,4/7,6
Ниж. бьеф	1,9	53,7		14,7	19,3

Таблица 2: Удельный поток CH₄ на границе ДО – вода и вода – атмосфера, мгC/m²

Станция	Удельный поток CH ₄ из воды, мгC/m ² сут			Удельный поток CH ₄ из ДО, мгC/m ² сут (камера)	
	15-16.05.2023 над руслом	3-4.08.2023 над руслом	3-4.08.2023 над поймой	3-4.08.2023 над руслом	3-4.08.2023 над поймой
Городня	4,4	5,6	-	6	-
Шош. плёс	4,0	65,5-73,4	-	-	-
Плоски	3,9	289,4	4	596	88
Конаково	2,0	96	2,5	119	81
Корчева	1,9	141,6	20,1	40	21
Дубна	0,3	2,9	3,6	12	-

Измерения УП метана производили только в период открытой воды. Выявлены значительные отличия его величины в мае и августе из-за различий содержания в толще воды, активизации пузырькового потока из донных отложений и наличия кислородной стратификации. Измерения над русловой ложбиной и над поймой в августе выявили пространственные изменения УП, которые необходимо учитывать при расчете эмиссии со всего водоема. В августе были дополнительно произведены экспериментальные измерения с установкой камеры на дно. Полученные результаты показали, что на пойменных станциях (опесчаненный ил) поток метана из ДО меньше, чем на русловых (тонкодисперсные илы).

Сравнение полученных значений УП метана с данными [6], которые использованы для расчета глобальной эмиссии показали, что измеренные потоки значительно ниже тех, что приведены в работе: для мая 0,3-4,7 против 135 мгC/m² сут, а для августа 4-289 против 240 мгC/m² сут. Поэтому вопрос о параметризацией значений УП остается открытым и требует как продолжения ряда наблюдений

при различных гидрологических и синоптических условиях, так и применения математического моделирования для численных экспериментов.

Работа выполнена в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" (Соглашения № ВИП ГЗ/24-7.1 от 5 марта 2023 г.). Гидрологические съемки 2020-2023 проведены в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Иваньковское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны. Москва : Наука, 2000. 344 с.
2. Никаноров Ю. И. Иваньковское водохранилище // Известия ГосНИОРХ. 1975. Т. 102. С. 5-25.
3. Репина И. А., Терский П. Н., Горин С. Л. и др. Натурные измерения эмиссии метана на крупнейших водохранилищах России в 2021 г. Начало масштабных исследований // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 6. С. 713-718 <https://doi.org/10.31857/S0321059622060141>
4. Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L. Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate // Global Biochemical Cycles. 2004. Vol. 18., iss. 4. Art. no. GB4009. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GB002238>
5. Bastviken D., Santoro A. L., Marotta H., Pinho L. Q., Calheiros D. F., Crill P., Enrich-Prast A. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling // Environmental Science and Technology. 2010. Vol. 44 (14). P. 5450-5455. <https://doi.org/10.1021/es1005048>
6. Johnson M. S., Matthews E., Bastviken D., Deemer B., Du J., Genovese V. Spatiotemporal methane emission from global reservoirs. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. Vol. 126. Art. no. e2021JG006305. <https://doi.org/10.1029/2021JG006305>

Изотопные характеристики метановых сипов континентальной окраины Юго-Западного Крыма, бухта Ласпи

Краснова Е. А.^{1,2}, Будников А. А.³, Иванова И. Н.³, Хурчак А. И.⁴, Грязнова А. С.²,
Крылов О. В.¹, Малахова Т. В.⁴

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, Москва, Россия

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра физики моря и вод суши, Москва, Россия

⁴Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Isotope Characteristics of Methane Seeps in the Continental Margin of Southwestern Crimea, Laspi Bay

Krasnova E. A.^{1,2}, Budnikov A. A.³, Ivanova I. N.³, Khurchak A. I.⁴, Gryaznova A. S.², Krylov O. V.¹,
Malakhova T. V.⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology,

Department of Geology and Geochemistry of Fossil Fuels, Moscow Russia

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences, Moscow Russia

³Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics,

Department of Physics of Sea and Inland Waters, Moscow Russia

⁴A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

*Ключевые слова: изотопный состав углерода, пузырьковые газовыделения, метановые сипы,
углеводородные газы, Черное море*

Изучение механизмов пузырьковой дегазации из морского дна имеет ключевое значение для понимания геологической истории Черноморского бассейна и потенциала экологических рисков, связанных с выделением углеводородных газов.

В 2023 году в ходе экспедиционных работ в прибрежной области бухты Ласпи (юго-западное побережье Крыма) были проведены комплексные исследования мелководных метановых газовыделений. Исследования включали определение компонентного и изотопного состава пузырькового газа, измерение концентрации метана в районе газовыделения, оценку величины пузырьковых потоков, а также измерение гидрофизических параметров над площадкой сипов. Полученные результаты изотопного состава углерода метана и этана изученных образцов пузырькового газа ($\delta^{13}\text{C}$ средн = $-36.0 \pm 0.8\text{\textperthousand}$, $\delta^{13}\text{C}$ средн = $-37.5 \pm 0.2\text{\textperthousand}$, соответственно) указывают на миграцию термокатализического метана по разломным системам. Полученные данные демонстрируют признаки вторичного преобразования, приведшего к смещению изотопного состава углерода в метане до $+10\text{\textperthousand}$, исходный состав которого мог отвечать интервалу значений от $-43\text{\textperthousand}$ до $-38\text{\textperthousand}$.

Наблюдаемые в изученном образце карбонатных корок из точки газовыделений в бухте Ласпи изотопные характеристики углерода характеризуются трендом от морских карбонатов (образец 1 $\delta^{13}\text{C} = -2.5\text{\textperthousand}$) к обогащенным изотопно-легкой углекислотой (образец 2 и 3: $\delta^{13}\text{C} = -7.0$ и $-17.0\text{\textperthousand}$, соответственно). Подобный разброс в значениях изотопного состава углерода может говорить о вариации условий окружающей среды либо о длительности взаимодействия карбонатных корок с обедненными C^{13} углекислотой в местах разгрузки метановых сипов. Так как нами не было обнаружено значительных сезонных колебаний изотопных характеристик газа, предположительно, подобные вариации $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатных отложениях могут говорить о степени переуравновешивания с изотопно легким углеродом органического вещества и длительности экспозиции карбонатного материала на морском дне.

Было получено, что метановые сипы Крымского побережья сравнительно малодебитные, удельный поток составлял от 5 до 10 м³ год⁻¹ с отдельного сипа. Представленная временная динамика концентрации растворенного CH₄ над сипом и изменение изотопного соотношения δ¹³C-CH₄ пузырькового газа свидетельствует о постоянстве процесса во времени и отсутствии связи с внешними гидрологическими изменениями в акватории. Полученные соотношения изотопного состава углерода метана и этана демонстрируют, что, скорее всего, газовая смесь генерировалась исходным органическим веществом морского генезиса и одним из основных источников углеводородных флюидов являются верхнеэоценовые и олигоценовые отложения в Западно-Черноморском бассейне.

Материалы подготовлены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-27-00379 (<https://rscf.ru/project/23-27-00379/>).

Икаиты и их связь с разгрузкой метана

Логвина Е. А.^{1*}, Крылов А. А.^{1,2}, Гусев Е. А.¹, Семенов П. Б.¹

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

²Институт наук о Земле, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Ikaites and their connection with methane discharge

Logvina E. A.^{1*}, Krylov A. A.^{1,2}, Gusev E. A.¹, Semenov P. B.¹

¹VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

²Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

✉ e.logvina@vniio.ru

Ключевые слова: икаит, изотопы углерода, аутигенные карбонаты, метан, дельта Енисея, Карское море

Аутигенные карбонаты с аномально-низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ как правило связывают с фокусированной разгрузкой метана. Одной из разновидностей карбонатов являются их нестабильные разности. В работе рассматриваются гексагидраты карбоната кальция или икаиты ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): нестабильные формы, при нормальных условиях разлагающиеся на кальцит и воду. В природе икаиты встречаются в различных геохимических обстановках. В море Лаптевых [1–3], в Чукотском [2 ; 4] и Охотском [4 ; 5] икаиты приурочены к очагам разгрузки метана. В отложениях Карского моря икаиты встречаются в различных обстановках [6–10].

В работе представлены результаты комплексных исследований образцов икаитов из дельты Енисея (Карское море) и данные газогеохимической съемки. Проведена оценка взаимосвязи икаитов и метана на основании данных изотопного состава углерода.

Икаиты были обнаружены в отложениях трех шельфовых станций в 2015 году. Друзы кристаллов медово-желтого цвета диаметром 4–5 см наблюдались на поддонной глубине 70 см (ст. 76Т). Шаровидные сростки крупных кристаллов в интервале 65–70 см ниже поверхности дна (см нпд; ст. 170Т). И отдельные крупные кристаллы на глубине 90 см нпд (ст. 196Т).

Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ икаита определялся на масс-спектрометре Finnigan Delta plus XP со стандартом NBS-18. Ошибка измерений 0,1–0,2‰ VPDB. Измеренные значения $\delta^{13}\text{C}$ икаитов расположены в пределах от -57,3 (ст. 170Т) до -20, 5‰ (ст. 76Т).

Извлечение газа из осадка проводилось на борту с помощью дегазационной установки СУОК-ДГ (Патент (19) RU (11) 2348931 (13) C1). Помимо собственных данных, были собраны опубликованные материалы газогеохимической съемки в районе исследований. Проанализировано распределение концентраций метана в осадках в интервале 0 – 10 см нпд и на поддонных глубинах, соответствующих обнаружению икаитов: 50 – 100 см. При отсутствии измерений в икаит-содержащих станциях, данные интерполировались из ближайших.

В интервале 0 – 10 см нпд (по данным измерений на 241 ст.), значения варьируют в пределах от 0,00002 до 0,12263 mM/l. В интервале 50 – 100 см – от 0,000001 до 0,01259 mM/l. Видно, что содержания метана в приповерхностных отложениях на порядок превышают величины, измеренные в отложениях вплоть до 100 см нпд. По всей вероятности, здесь располагается подошва зоны анаэробного окисления метана, так как в осадках, отобранных глубже 250 см нпд содержание метана возрастает до 1,84 mM/l. Аномально-высокие значения в отложениях отдельных станций свидетельствуют как об активном процессе метаногенерации, так и о фокусированной миграции метана из нижележащих отложений.

На основании собственных и опубликованных данных об изотопном составе углерода и уравнения масс-баланса [2] были определены доли углеродных компонентов, участвующих в формировании икаитов. Доля углерода микробного метана (со значениями $\delta^{13}\text{C} = -94,2\text{\textperthousand}$ [9]) составляет 50% (ст. 170Т). Образцы икаита станций 169Т и 76Т сформированы с преобладающей долей углерода ОВ.

Таким образом, выявлено что образование самого крупного сростка кристаллов икаита происходило в период фокусированной разгрузки метана.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-27-00457 (<https://rscf.ru/project/23-27-00457/>).

Список литературы

1. Schubert C. J., Nurnberg D., Scheele N., Pauer F., Kriewa M. ^{13}C isotope depletion in ikaite crystal: evidence for methane release from the Siberian shelves? // Geo-Marine Letters. 1997. Vol. 17. P. 169-174. <https://doi.org/10.1007/s003670050023>
2. Крылов А. А., Логвина Е. А., Матвеева Т. В., Прасолов Э. М., Сапега В. Ф., Демидова А. Л., Радченко М.С. Икаит ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в донных отложениях моря Лаптевых и роль анаэробного окисления метана в процессе его формирования // Записки РМО. 2015. Вып. 4. С. 61-75.
3. Logvina E., Krylov A., Taldenkova E., Blinova V., Sapega V., Novikhin A., Kassens H., Bauch H. A. Mechanisms of Late Pleistocene authigenic Fe–Mn-carbonate formation at the Laptev Sea continental slope (Siberian Arctic) // Arktos. 2018. Vol. 4. P. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s41063-018-0036-0>
4. Крылов А. А., Логвина Е. А., Семёнов П. Б., Бочкарёв А. В., Киль А. О., Шатрова Е. В., Горемыкин Ю. В., Криницкий П. И., Новихина Е. С., Смирнов Ю. Ю., Чазов А. О., Зыков Е. А., Урванцев Д. М. Необычные аутигенные карбонаты (Mg-кальцит и икаит) в газогидратоносной структуре «ВНИИОкеангеология» (котловина Дерюгина, Охотское море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Вып. 10. С. 405-414. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-405-414>
5. Greinert J., Derkachev A. Glendonites and methane-derived Mg-calcites in the Sea of Okhotsk, Eastern Siberia: implications of a venting-related ikaite/glendonite formation // Marine Geology. 2004. Vol. 204, iss. 1–2. P. 129-144. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(03\)00354-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00354-2)
6. Леин А. Ю., Миллер Ю. М., Намсараев Б. Б., Павлова Г. А., Пименов Н. В., Рusanov И. И., Савичев А. С., Иванов М. В. Биогеохимические процессы цикла серы на ранних стадиях диагенеза осадков на профиле река Енисей – Карское море // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 681-692.
7. Гусев Е. А., Матюшев А. П., Рудой А. С., Усов А. Н. Четвертичные отложения центральной части Карского моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике / под ред. А. П. Лисицына, М. Е. Виноградова, Е. А. Романкевича. М. : Научный мир. 2001. С. 553-558.
8. Kodina L. A., Tokarev V. G., Vlasova L. N., Korobeinik G. S. Contribution of biogenic methane to ikaite formation in the Kara Sea: Evidence from the stable carbon isotope geochemistry // Siberian River Run-off in the Kara Sea: Characterisation, Quantification, Variability and Environmental Significance / Eds. R. Stein, K. Fahl, D. K. Fueterer, E. M. Galimov, O. V. Stepanets. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier, 2003. P. 349-374. (Proceedings in Marine Science ; vol. 6). [https://doi.org/10.1016/S1568-2692\(03\)80045-1](https://doi.org/10.1016/S1568-2692(03)80045-1)
9. Galimov È.M., Kodina L.A., Stepanets O.V., & Korobeinik G.S. Biogeochemistry of the Russian Arctic. Kara Sea: Research results under the SIRRO project, 1995–2003 // Geochemistry International. 2006. Vol. 44. P. 1053-1104. <https://doi.org/10.1134/S0016702906110012>
10. Логвина Е. А., Крылов А. А., Гусев Е. А., Зыков Е. А., Урванцев Д. М., Семенов П. Б., Яржембовский Я. Д., Малышев С. А. Икаит в отложениях Карского моря: находки в рейсе НИС «Фридель Нансен» / Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. № 10. С. 181-191.

Газогидратообразование в аномальных гидрохимических разрезах Черного моря

Логвина Е. А.^{*}, Матвеева Т. В.

ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

Gas hydrate formation in anomalous hydrochemical sections of the Black Sea

Logvina E. A.^{*}, Matveeva T. V.

VNIIOKeangeologia, St. Petersburg, Russia

✉ e.logvina@vniiio.ru

Ключевые слова: газовые гидраты, гидрогеохимия, аномалии хлор-иона, поровые воды, грязевые вулканы, разгрузка метана, Черное море

Одной из важнейших геохимических характеристик присутствия газовых гидратов в отложениях является аномальное содержание хлор-иона в поровых водах. Оно определяется по результатам анализа воды, отжатой из влажных образцов поднятого на поверхность керна или полученной с помощью специальных пробоотборников непосредственно в скважине. Обнаруживаемая при этом пониженная хлорность может отражать действительный характер гидрогеохимической обстановки и свидетельствовать о специфических гидрологических и геохимических процессах. Либо представлять собой гидрогеохимический артефакт, когда опреснение обуславливается исключительно изменением температурных и барических условий в результате пробоотбора и отсутствует *in situ*. Именно наблюдение артефакта опреснения является показателем присутствия газовых гидратов в осадках. Поскольку газовые гидраты имеют структуру характерную для льда, так же, как и при льдообразовании, при гидратообразовании в их структуру вовлекается преимущественно пресная вода. Пониженные относительно фоновых значений содержания общей солёности, и в первую очередь ионов хлора в поровых водах, свидетельствуют о присутствии газовых гидратов в отложениях.

Черное море является уникальным полигоном для изучения закономерностей формирования и особенностей распространения придонных скоплений газовых гидратов, обусловленных сосредоточенной миграцией углеводородных флюидов и их разгрузкой на дне. Именно здесь впервые в мире было обнаружено и описано субмаринное газогидратопроявление [1]. К настоящему времени накоплен обширный материал по газогидратопроявлениям в акватории моря, связанным, главным образом, с очагами разгрузки флюидов, такими как грязевые вулканы, глиняные диапирсы, трещины излияния, фокусированные очаги разгрузки газа и покмарки [2–6][и др.]. Данные по концентрациям хлор-иона в поровых водах по разрезу собраны из 89 станций и содержат 747 измерений.

В результате анализа гидрогеохимической зональности поровых и придонных вод Черноморской акватории выделены следующие закономерности. В северо-западном секторе Чёрного моря снижение содержаний хлор-иона наблюдается на поддонных глубинах более 3 м от 189 до 87 mM. Такая аномалия может являться следствием присутствия в отложениях газовых гидратов, но для подтверждения этого необходимо собрать больше данных по этому району. Гидрогеохимические данные по содержанию хлор-иона в поровых водах осадков из глубоководной Центральной части Черного моря, района прогиба Сорокина, прибрежья Турции и Туапсинского прогиба (районы развития грязевого вулканизма) проанализированы статистическими методами. Содержания Cl- значительно в этих районах выше, чем в северо-западном секторе акватории. Максимальные, минимальные и средние значения Cl- составили 680 mM, 169 mM и 323 mM соответственно. Стандартное отклонение выражено величиной 70,8. Степень разброса данных по квартилям Q1 : Q2 : Q3 : Q4 определена как 296 mM : 328 mM : 343 mM : 680 mM. Фоновые значения хлор-иона составили 343 mM. А аномально-низкие значения для этого района, определяющие вероятность присутствия в отложениях газовых гидратов, охарактеризованы величинами < 296 mM. Распределение хлор-иона с глубиной соответствует полиному 3 степени, что отражает воздействие на переменную нескольких

процессов. Таковыми могут быть процессы диффузии иона хлора в осадках с глубиной, процессы восходящей фильтрации поровых вод снизу-вверх и, присутствие в отложениях газовых гидратов.

На фоне отрицательного тренда хлорности поровой воды с увеличением поддонной глубины отмечаются отдельные отрицательные аномалии в содержании ионов хлора, очевидно, вызванные разложением газовых гидратов в кернах. В некоторых кернах было зафиксировано увеличение содержания хлор-иона с глубиной, что, по всей вероятности, связано с концентрированием солей в поровой воде интервалов, смежных с гидратосодержащими. Такие гидрохимические эффекты являются результатом образования гидратов, при котором лишь пресная вода вовлекается в их кристаллическую структуру, сходную со структурой льда [7]. Повышение концентраций ионов хлора в интервалах, смежных с гидратосодержащими, является свидетельством сегрегационного механизма гидратообразования и показателем того, что гидратообразование происходит в настоящее время.

Список литературы

1. Ефремова А. Г., Жижченко Б. П. Обнаружение кристаллогидратов газов в осадках современных акваторий // Докл. АН СССР. 1974. Т. 214. № 5. С 1179-1181.
2. Гинзбург Г. Д., Соловьев В. А. Субмаринные газовые гидраты / СПб. : ВНИИОкеангеология. 1994. 199 с.
3. Ivanov M. K., Limonov A. F., Woodside J. M. Extensive deep fluid flux through the sea floor on the Crimean continental margin (Black Sea) // Gas Hydrates / Eds: Henriet J.-P., Mienert, J. Geological Society Special Publication, 137. The Geological Society: London, 1998. P. 195-213.
4. Матвеева Т. В., Логвина Е. А., Блинова В. Н. Многообразие гидратообразующих грязевулканических флюидов Черного моря // Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина (Санкт-Петербург, 25-29 сентября 2012 г.). Санкт-Петербург : СПбГУ, 2012. Т. 2. С. 258-259
5. Shnyukov E. F., Yanko-Hombach V. Mud Volcanoes of the Black Sea Region and their Environmental Significance. Bern, Switzerland : Springer. 2020. 491 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40316-4>
6. Bialas J., Haeckel M. Gas Hydrate Accumulations in the Black Sea // World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins / Eds: Mienert J., Berndt C., Tréhu A. M., Camerlenghi A., Liu C.-S. Springer Nature Switzerland AG, 2022. P. 451-461. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81186-0_38
7. Soloviev V. A., Ginsburg G. D. Water segregation in the course of gas hydrate formation and accumulation in submarine gas-seepage fields // Marine Geology. 1997. Vol. 137, iss. 1-2. P. 59-68. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00079-5)

Своеобразие флюидов холодных сипов и бактериальных построек в прибрежной части бухты Ласпи (Крым)

Лысенко В. И.¹, Шик Н. В.²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, филиал в Севастополе, Севастополь, Россия

²ГБОУ ДО «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий», Севастополь, Россия

The peculiarity of cold seep fluids and bacterial structures in the coastal part of Laspi Bay (Crimea)

Lysenko V. I.¹, Chic N. V.²

¹Lomonosov Moscow State University, Sevastopol Branch, Sevastopol, Russia

²Sevastopol Center for Tourism, Local History, Sports and Excursions, Sevastopol, Russia

✉ niagara_sev@mail.ru

Ключевые слова: метан, этан, азот, сероводород, гелей, карбонатсульфид, сероуглерод, водные растворы, hydrocarbon seep-carbonate, изотопный состав

В наши дни большое внимание уделяется исследованию процессов углеводородной дегазации на дне морей и океанов, а также карбонатным образованием около них. В прибрежной зоне Крыма известно более 15 площадок с пузырьковыми выходами газов, у которых пузырьки доходят до поверхности. Газ из них поступает сразу в атмосферу. Исследования этих процессов являются актуальными для познания влияния дегазации на формирование атмосферы и парникового эффекта в ней. Наиболее интересными объектами являются выходы газа в бухте Ласпи. Из-за незначительных глубин имеется возможность исследовать их динамику, состав флюидов и образование карбонатного материала.

Выходы газа приурочены к зоне пересечения Ласпинского и Берегового разломов. Сипы с пузырьками газа находятся на трех пляжных бактериальных постройках, которые имеют много общего с карбонатами углеводородного просачивания на дне морей и океанов.

Для исследований из центрального сипа было отобрано 16 проб газа. Их анализ осуществлялся в лаборатории МГУ на стационарных газовых хроматографах «Хроматэк-Кристалл 5000», оснащенных пламенно-ионизационными (ПИД) детекторами и детектором по теплопроводности (ДТП).

По результатам анализов установлено, что не постоянные объемы выбросов флюидов во времени сопровождаются изменчивым газовым составом. Флюиды холодных сипов в своем составе имеют большой букет углеводородных и не углеводородных газов. Углеводородные газы представлены в основном CH_4 , содержание которого составляет от 47.46 до 60.45 %. Кроме этого в незначительном количестве присутствуют C_2H_8 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_3H_6 , C_4H_{10} , iC_4H_{10} , nC_5H_{12} и iC_5H_{12} . Во флюидах содержатся N_2 (16.8 – 40.14%), O_2 (0.15 – 13.56 %), CO_2 (0.099 – 0.375%) и He (0.018 – 1.189 %). Кроме этого в составе выбросов газа в малых концентрациях присутствуют сернистые газы: CS_2 (0.162 – 0.463 %); COS (0.042 – 0.081 ppm) и H_2S (0.01 – 0.03 ppm). Содержания газов во флюиде контролируют соотношением их молекулярных весов. Чем он выше, тем ниже содержания этого газа в растворе.

По данным гидрохимической съемки дна бухты Ласпи было установлено, что средняя соленость морской воды в ней изменяется в интервале от 18.5 до 18.8‰. В двадцати пробах воды, взятой из устьев сипов во время выбросов газа, соленость изменялась от 9.5 до 14.7‰. Хаотическое распределение в них содержаний солей, возможно, связано с периодическим поступлением водных растворов из недр. При многочисленных визуальных наблюдениях не было замечено изменения прозрачности воды или облачных муаров в моменты выходов пузырьков газа. Объемы выбросов водных растворов незначительные, что делает их обнаружение затруднительным. По объемам выбросов и минерализации растворы из сипов бухты Ласпи имеют много общего с сопочными водами грязевых вулканов. Анализы проб воды из сипов были проанализированы в лаборатории

ФИЦ ИнБЮМ имени А. О. Ковалевского РАН масс-спектральным методом с индуктивно связанный плазмой (ICP-MS). В результате установлено, что для водных растворов характерен ряд содержаний: Ca > Na > Mg > Sr > Br > B > K > Si > J > Li > Fe > Mn > As > Se > Ni > Rb > Sc > Zn > Ti > Cu > Ba > Ge > Mo > Cr > Pb > Sn > U > Th. Он отличается от морской воды. В водном растворе флюидов содержания геохимических элементов Ca, Sr, Br, B, Si, J, Li, Mn, As, Se, Rb, Sc, Ti, Ba, Ge, Pb, U, Th выше, чем в морской воде. По содержанию солей и геохимических элементов водный раствор флюидов значительно отличается от морской воды в бухте Ласпи.

На глубинный генезис формирования флюидов указывают следующие признаки: приуроченность их выходов к зоне пересечения разломов; непостоянство объёмов выбросов и состава газов; присутствие CH₄, C₂H₈, C₂H₆, C₃H₈, C₃H₆, C₄H₁₀, iC₄H₁₀, nC₅H₁₂ и iC₅H₁₂, N₂, O₂, CO₂, He, CS₂, COS и H₂S; наличие водных растворов, с высокими содержаниями геохимических элементов; изотопный состав углерода.

Интересными и уникальными объектами в бухте Ласпи являются гряды пляжных бактериальных построек. Они имеют довольно оригинальную форму, чем отличаются от трубовидных или плоских построек Черного моря. Обрастания метанотрофных прокариот и архей на постройках имели коричнево-черную, коричневато-оранжевую, розовато-оранжевую и оранжевую окраску. Сообщества микроорганизмов создают из метана и сероводорода не только органическое вещество, но производят карбонатный материал и сульфиды. Наличие органики и сульфидов хорошо видно на поверхности свежих сколов образцов построек. Дополнительным доказательством жизнедеятельности сообществ архей и бактерий являются данные замеров щелочности среды около выходов пузырьков газа (рН от 7.1 до 7.4). Об образовании цемента кальцита сообщества прокариот и архей свидетельствуют результаты $\delta^{13}\text{C}$ (-20.93 и -20.83 ‰). Карбонат построек Ласпи характеризуется более тяжелым изотопным составом углерода, чем аутигенные карбонаты плит и трубчатых строений Черного моря. Это связано с метаном разного генезиса, который использовался для переработки. В то же время изотопная разница между $\delta^{13}\text{C}$ карбоната и метана составляет – 12.4 и – 14.3‰, что примерно соответствует результатам такого расчета по постройкам Черного моря.

Результаты исследований подтвердили, что создание пляжных бактериальных построек связано с деятельностью бактерий и архей по переработке метана. На их участие в создании цемента указывают следующие признаки: повышенные содержания в карбонате фосфора и стронция; наличие черного органического вещества; сферолитовые образования карбонатов; микроточки сульфидов; присутствие метанотрофных бактерий и архей; изотопный состав аутигенных карбонатов и существование рядом биоценоза крупной фауны. По этим признакам пляжные бактериальные постройки бухты Ласпи не отличаются от современных и древних hydrocarbon seeps carbonates образований на дне морей и океанов.

Особенностью флюидов бухты Ласпи является их многокомпонентный газовый состав с присутствием водных растворов. По всем признакам они имеют глубинную природу образования.

Пляжные бактериальные постройки бухты Ласпи являются уникальными геологобиологическими объектами в зоне соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Различие внешнего вида карбонатных строений бухты Ласпи с другими постройками морей и океанов связано с физико-географическими условиями их формирования. Цемент пляжных построек сформирован археями и бактериями, поэтому они относятся к микробиолитам. Образование карбоната шло за счет переработки метана, что позволяет пляжные постройки Ласпи называть метанолитами голоцен.

Струйные газовыделения шельфа Черного моря у берегов Крыма: итоги экспедиций 2022 и 2024 гг.

**Малахова Т. В.^{1*}, Макаров М. М.², Сырбу Н. С.³, Стецюк А. П.¹, Будников А. А.⁴,
Хурчак А. И.¹, Кучер К. М.²**

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

³Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, Россия

⁴Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Shallow gas seeps offshore Crimea (Black Sea): results from marine expeditions in 2022 and 2024

Malakhova T. V.^{1*}, Makarov M. M.², Syrbu N. S.³, Stetsyuk A. P.¹, Budnikov A. A.⁴, Khurchak A. I.¹, Kucher K. M.²
¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

³V. I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia

⁴Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia

✉ t.malakhova@ibss-ras.ru

Ключевые слова: метановые сипы, ртуть, шельф, южный берег Крыма, Черное море

Струйные метановые газовыделения (сипы) — широко распространённый феномен в Мировом океане, исследования которого насчитывают уже более полу века. Одна из основных причин научного интереса к метановым сипам заключается в том, что метан является парниковым газом, создающим положительную обратную связь при потеплении климата. Другая связана с тем, что в глубоководных районах Мирового океана метановая разгрузка создает условия для развития уникальных хемотрофных и синтрофных биоценозов.

С момента открытия сипов в Черном море в 1989 году [1] их исследования были сконцентрированы на палеоруслах крупных рек, таких как Днепр, Дунай и Дон. Впервые системные газовые исследования шельфа у Южного берега Крыма (ЮБК) были проведены в ноябре 2022 г. в 125 рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Для подробной гидроакустической съемки было выбрано 14 площадок от бухты Ласпи до Феодосийского залива, которые захватывали глубины от 30 до 80 метров. Общая протяженность гидроакустических галсов составила более 1000 километров, что соответствует площади обследованного дна более 7 км². Обнаружено и закартировано более 200 гидроакустических аномалий в толще воды (факелов). Показано, что сипы непостоянны во времени и имеют пульсирующий характер.

Показано, что состав газового флюида был представлен метаном, этаном, пропаном, водородом, гелием и сероводородом. На восходящий глубинный флюид могут указывать аномалии гелия, обнаруженные в связанных с газовыделениями районах. Сероводород в осадках был обнаружен во всех исследованных образцах (0.12 - 0.65 ppm), максимальная концентрация CH₄ достигала 698 мкмоль/дм³. Также показано, что в донных осадках районов газовыделений концентрация ртути была в 2 и более раз выше по сравнению с условными фоновыми районами. Максимум концентрации достигал 170 нг/г в осадках бухты Ласпи.

Исследования метановых сипов на шельфе у ЮБК были продолжены в 132 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (июль-август 2024 г.). При аналогичном объеме гидроакустических работ (730 миль пути и 6,8 км² просканированного дна) было нанесено на карту 412 отдельных точек газовой пузырьковой разгрузки и получены эхограммы для оценки газовых потоков. Некоторые точки,

зарегистрированные ранее в ноябре 2022 г., подтвердились также и в летнем рейсе 2024 г.. Это свидетельствует о постоянстве газовыделений в исследованном районе и непрерывном потоке метана в атмосферу. Был выполнен вдольбереговой геологический разрез по линии локализации пузырьковой разгрузки для оценки газогеохимической обстановки. Дальнейший анализ полученных в разные гидрологические сезоны данных позволит оценить влияние внешних гидролого-гидрофизических факторов на активность газовыделений.

Проведенные нами исследования ставят ряд научных вопросов: 1) почему глубина регистрируемых сипов на шельфе у ЮБК ограничена изобатой 35-40 м; 2) оценка вклада термогенного и биогенного газа; 3) оценка влияния сипов на местный биоценоз и протекающие биогеохимические процессы.

Список литературы

1. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / Под ред. Г.Г. Поликарпова. Севастополь : НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 405 с. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7684>

Первые оценки газовых потоков от метановых сипов, расположенных на шельфе у южного побережья Крыма

Макаров М. М.¹, Кучер К. М.¹, Малахова Т. В.^{2*}

¹Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

²ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

First estimate of gas fluxes from methane seepages located on the shelf off the southern coast of Crimea

Makarov M. M.¹, Kucher K. M.¹, Malakhova T. V.^{2*}

¹Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ t.malakhova@ibss-ras.ru

Ключевые слова: метановые сипы, гидроакустика, газовые потоки, шельф Черного моря, южное побережье Крыма

Исследование феномена струйных метановых газовыделений требует комплексного анализа, сочетающего методические подходы и различные области науки. При этом первым и необходимым шагом являются океанографические изыскания, которые позволяют определить места и интенсивность выхода газа из морского дна. История изучения метановых сипов Черного моря, которая насчитывает 35 лет, также начиналась с поисковых гидроакустических исследований [1].

Шельф у южного побережья Крыма является одним из наименее изученных в Чёрном море в отношении распределения мест выхода пузырькового метана, а также газо- и флюидонасыщенности донных отложений. В рамках 125 рейса НИС «Профессор Водяницкий» решались задачи локализации, определения активности и оценки газовых потоков прибрежных сипов. Для подробной гидроакустической съемки было выбрано 14 площадок от бухты Ласпи до Феодосийского залива, которые захватывали глубины от 10 до 80 метров. Общая протяженность гидроакустических галсов составила более 1000 километров, что соответствует площади обследованного дна 7,1 км². Гидроакустическая съемка велась одновременно двумя эхолотами (Simrad EK-500 и Furuno FCV-1100), что позволило идентифицировать обнаруженные гидроакустические аномалии как выходы газа (более 200 отдельных факелов). В ходе съемки обнаружены новые районы газовой разгрузки на полигонах Мартыян, у мыса Плака, у мыса Башенный и у мыса Ай-Тодор. Выходы газа зарегистрированы преимущественно вдоль изобаты с глубиной 30-50 м.

По данным акустической съемки были получены оценки расхода газа для «чистых» факелов, без акустических помех от различных гидробионтов, согласно [2 ; 3]. Всего было обработано 26 зарегистрированных газовых факелов. Для оценки скорости газового потока выбиралось максимальное значение акустического обратного рассеяния в придонном слое воды толщиной около 14 см, что соответствует длине акустической посылки. Как правило, в импульсном объеме находилось несколько газовых пузырьков (1-3), всплывающих со скоростью 20-24 см/с. Такое характерное количество газовых пузырьков подтверждается подводной видеосъемкой мелководных газовых сипов в бухте Ласпи.

Оценка газового расхода от отдельных сипов находились в диапазоне от 4,07 (0,04) до 88,6 (0,101) л/сут (т/год), а средний дебит газа для обработанных газовых факелов составил 38 (0,04) л/сут (т/год). С учетом количества зарегистрированных сипов, величины среднего потока и площади гидроакустически обследованной области получен удельный поток пузырькового газа, который составил 1070 л/сут км². Таким образом расчетный суммарный поток газа с шельфа южного берега Крыма, площадь которого составляет около 10000 км², равен $10,7 \cdot 10^3$ м³ газа в сутки. Важно отметить, что это значение значительно меньше, чем оценки, сделанные для палеодельты Днепра, Дуная и Дона, где средний поток составлял $2,8 \cdot 10^6$ м³ газа в сутки [4].

Анализ данных, полученных в ходе множественных гидроакустических зондирований одного и того же полигона, позволил оценить временную изменчивость активности факелов на интервале от нескольких часов до нескольких дней. Так на полигоне Мартыян 14 ноября было зафиксировано 11 отдельных факелов, а 23 ноября их количество увеличилось до 59. Таким образом, большинство факелов на полигоне Мартыян непостоянны во времени и имеют пульсирующий характер. Это может быть связано, в том числе, с изменением состояния водной среды, которое регистрировалось мультипарметрическим зондом AANDERAA RCM 9.

С целью изучения структуры и морфологии дна, а также биологического разнообразия в районах струйных газовыделений проведены работы при помощи телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) Ровбильдер РБ 300 (Россия). Общая продолжительность погружений составила около 30 часов. Во время погружения ТНПА на участке "Ласпи" были обнаружены плотные белые микробные маты в виде округлых и удлиненных пятен и другие морфоструктуры, которые могут свидетельствовать о газонасыщенности донных осадков. Однако за все время подводных работ ТНПА не удалось зафиксировать пузырьковые газовыделения, что также подтверждает спорадичность и невысокую плотность газопоявлений в этом районе в выбранный гидрологический сезон.

Экспедиционные работы проведены в ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Госзадания ФИЦ ИнБЮМ 124030100127-7.

Список литературы

1. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / Под ред. Г.Г. Поликарпова. Севастополь : НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 405 с. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7684>
2. Muyakshin S. I., Sauter E. The hydroacoustic method for the quantification of the gas flux from a submersed bubble plume // Oceanology. 2010. Vol. 50, iss. 6. P. 995-1001. <https://doi.org/10.1134/S0001437010060202>
3. Veloso M., Greinert J., Mienert J., De Batist M. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders: Examples from the Arctic offshore NW-Svalbard // Limnology and Oceanography: methods. 2015. Vol. 13, iss. 6. P. 267-287. <https://doi.org/10.1002/lom3.10024>
4. Артёмов Ю. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б. Поступление струйного метана в аноксические воды черноморской впадины // Океанология. 2019. Vol. 59, iss. 6. P. 952-963. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574596952-963>

Влияние разгрузки метан-содержащих флюидов на соотношение форм нахождения химических элементов в донных осадках на шельфе моря Лаптевых

Оберемок И. А.* , Пургина Д. В., Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В.

Научно-технологический университет «Сириус», Сириус, Россия

The influence of methane cold seepage on the elemental speciation ratio in surface sediments of the Laptev Sea shelf

Oberemok I. A.* , Purgina D. V., Moiseeva Y. A., Gershelis E. V.

Sirius University of Science and Technology, Sirius, Russia

✉ oberemok.ia@talantiuspeh.ru

Ключевые слова: разгрузка метан-содержащих флюидов, метановые сипы, море Лаптевых, шельф, аутигенное карбонатообразование, аутигенное сульфидообразование, селективное выщелачивание, BCR

В условиях изменения климата Арктике уделяется повышенное внимание из-за повышенного роста средней температуры, опережающее среднепланетарное в 2-4 раза [2]. Особенно ярко на климатические изменения реагирует шельф морей Восточной Арктики – самый мелководный и обширный шельф, в пределах которого находится около 80% всей подводной мерзлоты Мирового океана, которая в последние 30 лет деградирует с удвоенной скоростью по сравнению со скоростями предшествующих десятилетий. Только на шельфе моря Лаптевых задокументировано более 700 мест разгрузки метан-содержащих флюидов (“cold seeps”) [5]. Столь массированная эмиссия метана, безусловно, отражается на геохимическом облике донных осадков моря Лаптевых, что требует комплексных геохимических исследований. Валовый химический состав дает ограниченное представление о процессах захоронения/миграции химических элементов в донных осадках. Именно поэтому для понимания комплексной геохимической картины необходимы знания о формах нахождения химических элементов (“elemental speciation”).

Исследования форм нахождения элементов в донных отложениях морей Восточной Арктики слабо распространены и в основном фокусировались на изучении механизма переноса элементов от континента к океану в Восточно-Сибирском море. Более того, применение метода селективного выщелачивания для оценки влияния разгрузки флюидов на поведение химических элементов, а также на трассирование процессов аутигенного карбонато- и сульфидообразования в донных осадках проводится впервые.

Для выявления особенностей поведения химических элементов в донных осадках шельфа моря Лаптевых в ответ на сиповую активизацию в рамках данного исследования были отобраны парные керны отложений из «сиповых» и «фоновых» станций с целью определения форм нахождения химических элементов по методике последовательного выщелачивания BCR. Было проанализировано 15 образцов донных осадков, отобранных в ходе рейса АМК-82 на борту НИС «Академик М. Келдыш» осенью 2020 года с 3 горизонтов, соответствующих верхнему окисленному, промежуточно смешанному и нижележащему восстановленному слоям (0-1 см; 6-8,5 см; 12-17,5 см) на трех фоновых и двух «сиповых» станциях с задокументированным массированным потоком метана по гидроакустическим аномалиям в прибрежной зоне близ дельты р. Лена ($0,11 \mu\text{M/l CH}_4$) и на внешнем шельфе ($44,1 \mu\text{M/l CH}_4$) моря Лаптевых.

Последовательная экстракция по методике BCR [3] направлена на селективное разрушение конкретных ионных связей с целью разделения элементов на четыре геохимические фракции:

- I – обменная, водо- и кислоторастворимая фракция (связанная с растворимыми веществами, карбонатами и обменными катионами, косвенно отождествляемая с процессами аутигенного карбонатообразования);

- II – восстанавливаемая (связанная с окислами/гидроокислами Fe и Mn);
- III – окисляемая (связанная с органическим веществом и сульфидами, косвенно отождествляемая с процессами аутигенного сульфиообразования);
- IV – остаточная (остаточные, не связанные с силикатами, инертные в гипергенном процессе).

Полученные фракции анализировались методом ИСП-МС (ICP-MS, NexIon 300D, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). В данной работе рассматриваются 22 элемента, выбранных из учета как редоксчувствительности, так и яркого отклика на разгрузку метан-содержащих флюидов по валовому составу, отмеченного в других исследованиях [1].

Установлено, что в условиях разгрузки происходит изменение в соотношении форм нахождения химических элементов в донных осадках, вызванных миграцией метан-содержащих флюидов [1]. Также были выявлены различия в реакции системы на разгрузку метана в прибрежной части моря и на внешнем шельфе, обусловленные, предположительно, величиной разгрузки метан-содержащих флюидов.

Для метановых сипов характерно тандемное протекание процессов аутигенного карбонато- и сульфиообразования ввиду их парагенетичности. Процесс аутигенного карбонатообразования фиксировался по увеличению I фракции на сиповых станциях относительно соответствующих фоновых. В свою очередь, аутигенное сульфиообразование предполагалось по росту окисляемой фракции.

В изученных образцах выявлен рост доли I фракции для основных строителей аутигенных карбонатов – Ca, Mg, Sr, Mn на уровне от 10 до 16 отн.%, что свидетельствует о протекании аутигенного карбонатообразования. Также на двух сиповых станциях наблюдалось истощение «карбонатной» фракции для Sb. По увеличению доли I фракции на уровне 5 – 10 отн.% для таких элементов как Co, Ni, Zn, U, можно предполагать их примесное участие при аутигенном карбонатообразовании.

В сиповых донных осадках моря Лаптевых наблюдается увеличение III фракции для Mn (+14 отн. %), Fe (+11,8 отн. %) и Cu (+24,7 отн. %) с вероятно примесным включением P, Cr, As (+5 – 10 отн. %).

В целом, была зафиксирована тенденция увеличения вклада подвижных фракций (сумма I+II+III) на сиповой станции внешнего шельфа, что говорит о влиянии разгрузки метан-содержащего флюида на рост подвижности элементов и, как следствие, на активизацию их миграции и истощение донных отложений. При анализе «метановых» донных осадков прибрежной зоны моря Лаптевых обнаружено преимущественное перераспределение подвижных фракций между собой.

По нашему мнению, формы нахождения элементов информативны для оценки задокументированных в сиповых областях процессов аутигенного синтеза карбонатов и сульфидов, протекающих в сульфат-метановой транзитной зоне (СМТЗ) и являющихся косвенным проявлением силы СМТЗ в роли нивелирующего барьера для эмиссионного потока метана [4]. Более того, в ходе исследования была обнаружена различная реакция системы на интенсивность разгрузки, что требует дополнительных научных изысканий.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 24-17-20030 (<https://rscf.ru/project/24-17-20030/>) «Характерные особенности геохимии системы вода-осадок в зонах активных газопроявлений Черного моря и арктических морей».

Список литературы

1. Оберемок И. А. и др. Семилетов Формы нахождения химических элементов в донных осадках в зонах разгрузки метан-содержащих флюидов на шельфе моря Лаптевых // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 3. С. 108–123. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/3/4511>
2. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. R.K. Pachauri, L.A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

3. Rauret G., Lopez-Sanchez J. F., Sahuquillo A. Improvement of the BCR three-step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials // Journal of Environmental Monitoring. 1999. Iss. 1. P. 57–61.
4. Savvichev A. S., Kadnikov V. V., Kravchishina M. D. Methane as an Organic Matter Source and the Trophic Basis of a Laptev Sea Cold Seep Microbial Community [Text] // Geomicrobiology Journal. 2018. Vol. 35, iss. 5. P. 411–423. <https://doi.org/10.1080/01490451.2017.1382612>
5. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. 2017. Vol. 8. Art. no. 15872. <https://doi.org/10.1038/ncomms15872>

Изменение соотношения форм нахождения химических элементов в донных осадках в ответ на разгрузку метан-содержащих флюидов на шельфе Восточно-Сибирского моря

Оберемок И. А.*, Пургина Д. В., Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В.

Научно-технологический университет «Сириус», Сириус, Россия

Elemental speciation ratio changes under methane cold seepage in bottom sediments of the East Siberian Sea shelf

Oberemok I. A.* , Purgina D. V., Moiseeva Y. A., Gershelis E. V.

Sirius University of Science and Technology, Sirius, Russia

✉ oberemok.ia@talantiuspeh.ru

Ключевые слова: разгрузка метан-содержащих флюидов, метановые сипы, Восточно-Сибирское море, шельф, пузырьковый перенос, аутигенное карбонатообразование, аутигенное сульфидообразование, селективное выщелачивание, BCR

В арктических широтах рост средней температуры в 2-4 раза превышает общемировые тенденции [3], что провоцирует комплекс положительных обратных связей, одной из которых является приближение подводной мерзлоты и газогидратных скоплений к критическому состоянию [2]. За последние десятилетия на шельфе морей Восточной Арктики (МВА) – самом обширном и мелководном шельфе Мирового океана, в пределах которого находится более 80% всей подводной мерзлоты – обнаружено более 2000 очагов разгрузки метан-содержащих флюидов [6]. Интегральная оценка потоков метана в атмосферу с шельфа МВА варьируется от 2 до 17 Тг/год [5]. Безусловно, данные процессы влияют на локальные геохимические особенности среди осадконакопления и требуют комплексного изучения. Анализ валового химического состава дает только ограниченное представление о поведении и миграции элементов, в отличии от форм нахождения, дающих представление о геохимических связях.

Для выявления особенностей поведения химических элементов в донных осадках среднего шельфа Восточно-Сибирского моря в ответ на сиповую активизацию в рамках данного исследования были отобраны парные керны отложений из «сиповой» и «фоновой» станций с целью определения форм нахождения химических элементов по методике последовательного выщелачивания BCR [4]. Было проанализировано 6 образцов донных осадков, отобранных в ходе рейса АМК-82 на борту НИС «Академик М. Келдыш» осенью 2020 года с 3 горизонтов (0-1 см; 6-8,5 см; 12-17,5 см) на фоновой и «сиповой» станции (пузырьковый тип разгрузки) с задокументированным массивным потоком метана, выявленным по гидроакустическим аномалиям.

Последовательная экстракция по методике BCR [4] направлена на селективное разрушение конкретных ионных связей с целью разделения элементов на четыре геохимические фракции:

- I – обменная, водо- и кислоторастворимая фракция (связанная с растворимыми веществами, карбонатами и обменными катионами, косвенно отождествляемая с процессами аутигенного карбонатообразования);
- II – восстановливаемая (связанная с окислами/гидроокислами Fe и Mn);
- III – окисляемая (связанная с органическим веществом и сульфидами, косвенно отождествляемая с процессами аутигенного сульфидообразования);
- IV – остаточная (остаточные, не связанные с силикатами, инертные в гипергенном процессе).

Полученные фракции анализировались методом ИСП-МС (ICP-MS, NexIon 300D, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). В данной работе рассматриваются 22 элемента, выбранных из учета как редоксчувствительности, так и яркого отклика на разгрузку метан-содержащих флюидов по валовому составу, отмеченного в других исследованиях [1].

Для донных осадков Восточно-Сибирского моря отмечается преимущественное обеднение «метановых» станций элементами, что может быть объяснено уменьшением содержания химических элементов при латеральном переносе от прибрежной зоны к зоне внешнего шельфа, за исключением обогащением сиповых донных осадков Mn, Mo и Sn.

При сопоставлении усредненных значений сиповой и фоновой станции выявлен существенный рост (> 10 отн. %) I фракции для Mn, III фракции – для Mg, Ca, Cr, Mo, Ba и U, сокращение II фракции для Ca и U и IV фракции для Ba. Рост окисляемой фракции для Ba и U на «метановой» станции Восточно-Сибирского моря может быть обусловлен образованием органо-минеральных комплексов, о чем свидетельствует значимая микроассоциация S₂ – S₁ – Ba – U – Cu, выявленная по данным кластерного анализа.

Также при сопоставлении инертной (IV) и подвижных (I+II+III) фракций между собой выявлено, что для Co, Ba, As, Mo и Mg «метановой» станции Восточно-Сибирского моря характерны максимальный величина трансформации инертной составляющей в подвижные формы. Незначительный рост инертной составляющей наблюдается для Sb, U, Cu. При сопоставлении выявленных трансформаций, вызванных разгрузкой метан-содержащих флюидов, с сипами моря Лаптевых с преимущественно диффузионным типом переноса [1], выявлены минимальные отличия сиповых донных осадков Восточно-Сибирского моря от фоновых.

В ходе данного исследования было подтверждено, что пузырьковый тип разгрузки метана незначительно смещает геохимические условия среды осадконакопления в сравнении с диффузионным типом разгрузки. Более того, по данным анализа изменения соотношения форм нахождения химических элементов в донных осадках в ответ на пузырьковую разгрузку метана, было обнаружено, что процессы аутогенного минералообразования проявляются незначительно.

Работа поддержана грантом ФТ Сириус №GEO-BFT-2410 «Изучение состояния экосистем в характерных районах Черноморского региона России в условиях изменения климата».

Список литературы

1. Оберемок И. А. и др. Семилетов Формы нахождения химических элементов в донных осадках в зонах разгрузки метан-содержащих флюидов на шельфе моря Лаптевых // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 3. С. 108–123. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/3/4511>
2. Andrews T., Gregory J. M., Webb M. J., Taylor K. E. Forcing, feedbacks and climate sensitivity in CMIP5 coupled atmosphere-ocean climate models // Geophysical Research Letters. 2015. Vol. 39, iss. 9. Art. no. L09712. <https://doi.org/10.1029/2012GL051607>
3. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. R. K. Pachauri, L. A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
4. Rauret G., Lopez-Sanchez J. F., Sahuquillo A. Improvement of the BCR three-step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials // Journal of Environmental Monitoring. 1999. Iss. 1. P. 57–61.
5. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. 2017. Vol. 8. Art. no. 15872. <https://doi.org/10.1038/ncomms15872>
6. Shakhova N. E., Semiletov I. P., Sergienko V. et al. The East Siberian Arctic Shelf: Towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2015. Vol. 373, iss. 2052. Art. no. 20140451. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0451>

Гидрохимические особенности метановой эмиссии в зоне смешения реки Лена – моря Лаптевых

Пургина Д. В.*, Моисеева Ю. А., Гершелис Е. В.

Научно-технологический университет «Сириус», ФТ Сириус, Россия

Hydrochemical features of methane emission in Lena River – Laptev Sea mixing zone

Purgina D. V.*, Moiseeva J. A., Gershelis E. V.

Sirius University

✉ purgina.dv@talantiuspeh.ru

Ключевые слова: метановый сип, море Лаптевых, дельта реки Лена, биогенные элементы, анаэробное окисление метана (АОМ)

Разгрузка реки Лена в акваторию моря Лаптевых приводит к формированию особых условий в придонных и поровых водах донных отложений шельфа. Поровые воды донных отложений в зоне смешения речных и морских вод характеризуются сниженной соленостью, богатством органического вещества [1]. В свою очередь, активное разложение органического вещества формирует анаэробные условия в донных отложениях и обогащает поровые воды биогенными элементами, в частности элементами азотистой группы [2]. Придонные воды, ввиду мелководности морского бассейна моря Лаптевых, характеризуются аэробными и субаэробными условиями, что отражается на микробиологических процессах в приустьевой зоне реки Лена [3].

В зоне холодного просачивания метана в придельтовой области реки Лена ведущим процессом, поставляющим акцепторы электронов для окисления метана, считается сульфатредукция. В данной работе предпринята попытка проанализировать влияние основных анаэробных окислителей ($\text{N}^{3+,5+}$, Fe^{3+} , Mn^{4+} , S^{6+}) на метан [4]. Также авторами было оценено поведение комплекса биогенных компонентов и определены геохимические условия характерные для области исследования.

Концентрации всех биогенных компонентов в поровых водах значительно превышают их концентрации в придонной воде, так, например, содержание Si в поровых водах на порядок выше нежели в придонных, а содержание NH_4^+ до 3-х порядков. Такие высокие значения способствуют более активному протеканию микробных процессов в донных отложениях, что ярко отражается на составе вод.

На фоне латеральной изменчивости большинства биогенных соединений, на эмиссию метана реагируют преимущественно азотистые соединения. Выявлена корреляционная зависимость поведения NH_4^+ и NO_3^- от CH_4 , при ее отсутствии с другими исследуемыми окислителями в поровых и придонных водах. Это позволяет представить новую схему АОМ в придельтовой области реки Лена зависимую от денитрификации, что важно для дальнейшего понимания совместного действия глобального цикла углерода и азота в районах эмиссии метана.

Одним из следствий минерализации органического вещества в донных отложениях является обогащение поровых и придонных вод ионами аммония. В зависимости от окислительно-восстановительных условий идет протекание различных процессов с участием азотистых соединений. В аэробных и субаэробных условиях, характерных для придонных вод моря Лаптевых, идет процесс нитрификации, где аммоний окисляется через цепь NO_x , к конечному продукту – N_2 , часть продуктов нитрификации диффундируют (поступают) в поровые воды. В поровых водах донных отложений мелководного шельфа в районе дельты реки Лена протекают процессы денитрификации и анаммохса, первый восстанавливает последовательно нитрат до нитрит-иона и молекулы азота, во втором аммоний NH_4^+ служит донором электронов, реагируя с NO_2^- в качестве акцептора с образованием N_2 и NO_3^- . Источником NO_2 служит денитрификация, что связывает два процесса в единый фоновый, характерный для донных отложений мелководного шельфа приустьевой зоны реки Лена – анаэробное окисление аммония с денитрификацией (DAnammox).

Особенностью исследуемого района является наличие зоны с эмиссией метана. Эмиссия метана, приводит к трансформации микробиологических процессов в поровых и придонных водах приусьевой области реки Лена в море Лаптевых. Метан проходя через поровые воды донных отложений и придонные воды окисляется, при этом в качестве внешнего донора электронов выступает метан с привлечением акцепторов – нитрита (NO_2^-) и нитрата (NO_3^-) [5 ; 6]. Денитрификация, как и в фоновых условиях, служит источником окислителей создавая процесс, характерный для донных отложений зон эмиссии метана в приусьевой части реки Лена в море Лаптевых - анаэробное окисление метана с денитрификацией (DAMO).

Таким образом изучение поведения биогенных элементов с акцентом на азотистые позволяет судить о процессах, протекающих в придонных и поровых водах, а также выявлять предположительные участки метановых сипов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20030, <https://rscf.ru/project/24-17-20030/>.

Список литературы

1. Zhang S. M. et al. Export of nutrients and suspended solids from major Arctic rivers and their response to permafrost degradation // Advances in Climate Change Research. 2021. Vol. 12, iss. 4. P. 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.06.002>
2. Grinko, A. A. et al. Characterization of organic matter of the laptev sea eroded coastal sediments: A case study from the cape muostakh, Bykovsky // Peninsula. Geosci. 2021. Vol. 11. Art. no. 83. <https://doi.org/10.3390/geosciences11020083>
3. Savvichev A. S. et al. Biogeochemical Activity of Methane-Related Microbial Communities in Bottom Sediments of Cold Seeps of the Laptev Sea // Microorganisms. 2023. Vol. 11. Art. no. 250. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020250>
4. Miller C. M. et al. Pore water geochemistry along continental slopes north of the East Siberian Sea: Inference of low methane concentrations // Biogeosciences. 2017. Vol. 14, iss. 12. P. 2929–2953. <https://doi.org/10.5194/bg-14-2929-2017>
5. Ettwig K.F. et al. Nitrite-driven anaerobic methane oxidation by oxygenic bacteria // Nature. 2010. Vol. 464. P. 543–548. <https://doi.org/10.1038/nature08883>
6. Haroon M. F. et al. Anaerobic oxidation of methane coupled to nitrate reduction in a novel archaeal lineage // Nature. 2013. Vol. 500. P. 567–570. <https://doi.org/10.1038/nature12375>

Болота – источник метана, выделяющегося из сипов в поймах рек и ручьев Среднего Приобья (Западная Сибирь)

Сабреков А. Ф.^{1*}, Терентьева И. Е.², Глаголев М. В.^{1,3}, Литти Ю. В.⁴

¹Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

²University of Calgary, Calgary, Canada

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии РАН», Москва, Россия

Raised bogs is a main source of methane, emitting from seeps in the river and stream floodplains of Middle Priobye (West Siberia)

Sabrekov A. F.^{1*}, Terentieva I. E.², Glagolev M. V.^{1,3}, Litti Y. V.⁴

¹Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

²University of Calgary, Calgary, Canada

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia

✉ sabrekovaf@gmail.com

Ключевые слова: метановые сипы, стабильные изотопы метана, верховые болота

Изучение цикла метана, второго по значимости антропогенного парникового газа, необходимо для прогнозирования глобальных изменений климата и планирования мер по ограничению его эмиссии. В начале 2000-ых в центре Западной Сибири близ слияния Оби и Иртыша в поймах рек и ручьёв были обнаружены не описанные ранее элементы этого цикла – локальные выходы (сипы) с удельными потоками, превышающими $1000 \text{ мгCH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ час}^{-1}$. Целями нашего исследования было определение происхождения этого метана и площади распространения сипов в регионе, необходимых для дальнейшего определения региональной эмиссии из них.

Для объяснения происхождения и путей миграции этого метана были выдвинуты три гипотезы: 1) подъём по трещинам и разрывам в земной коре из нефтегазоносных пластов на глубинах 1-2 км, по-всеместно распространённых в регионе, 2) происходящая в регионе на глубинах 100-400 м деградация реликтовой вечной мерзлоты с высвобождением метана или органики, потенциально трансформируемой микробами в метан, 3) латеральный транспорт с током подземных вод из верховых болот, где микробы активно продуцируют метан. Для проверки этих гипотез мы использовали несколько биогеохимических индикаторов: состав лёгких углеводородов, состав стабильных изотопов в метане, углекислом газе и воде, а также содержание радиоуглерода в метане [1]. Значения индикаторов были измерены в образцах воды и газа, отобранных в 50 участках в Среднем Приобье на территории площадью 120000 км². Дополнительно мы отбрали пробы воды и газа из болот и подземных вод для анализа механизмов миграции метана и сопутствующих биогеохимических процессов. Мы оценили площадь распространения локальных выходов метана по материалам космической съёмки Sentinel-2, проанализированным с помощью свёрточной нейронной сети ResU-Net [2].

Полученные результаты однозначно свидетельствовали в пользу «болотной» гипотезы происхождения метана [1]. Газ, выходящий из сипов, состоял из метана и азота с примесями CO₂, этана и пропана. Метан составлял более 99.9 % всех углеводородов в пробах газа из сипов, что типично для газа биогенного происхождения, то есть произведённого микроорганизмами. Максимальная обнаруженная концентрация метана в сипах (67.2 %) практически совпадала с максимальной концентрацией метана в болотах (68.4 %). Состав стабильных изотопов углерода и водорода в метане также указывал на его биогенное происхождение, причём при сравнительно высоких концентрациях он был синтезирован метаногенами по гидрогенотрофному пути и совпадал по изотопному составу с метаном в болотах, а при сравнительно низких – по ацетотрофному пути и имел более лёгкий изотопный состав по сравнению с болотным метаном. Возраст метана (от 4200 до 8000 лет) не превышал возраст донных слоёв торфа болот в регионе. Значимые различия в pH, концентрации CO₂

и $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ между водой в болотах и сипах объясняются тем, что, кислая вода с метаном, мигрируя из болот в подземные воды, взаимодействует с карбонатами в подстилающих болото отложениях. Эта гипотеза подтверждается тем, что уравнение фракционирования Рэлея успешно предсказывает $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ в воде из сипов по $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ в болотных водах и концентрации CO_2 в этих средах.

Скорость этой миграции метана из болот в сипы зависит от скоростей его транспорта через донные слои торфа, подстилающий болото водоупорный горизонт и водоносный горизонт, разгружающийся в сипах. Возраст метана в сипах и меньшие значения $\delta^{13}\text{C}$ в метане из сипов по сравнению с болотным метаном исключают сравнительно быструю миграцию через болото и водоупор под ним. Активность трития в воде из сипов выше 1 Т.У. предполагает, что осадки, выпавшие после 1953 года, достигают водоносных горизонтов, разгружающихся в сипах. Таким образом, можно методом исключения предположить, что диффузия метана через глубинные слои торфа и нижележащий водоупор – наиболее медленная стадия транспорта метана из болот в сипы и именно она вносит наибольший вклад в возраст метана в сипах.

Облегчение состава стабильных изотопов С и Н в метане по мере снижения концентрации метана в газе из сипов показывает, что миграция из болот в поймы через подземные воды протекает без существенного его окисления, иначе изотопный состав, наоборот, становился бы тяжелее. По-видимому, это связано с низкими концентрациями кислорода и альтернативных акцепторов электронов (сульфатов, нитратов и т.д.) в подземных водах. Диффузия также не может объяснить облегчение состава стабильных изотопов, поскольку в этом случае угол наклона линейной зависимости $\delta^{13}\text{C}$ от δD должен быть равен 1, а не 0.29 ± 0.02 , как это наблюдалось в метане из сипов [1]. Объяснить эту линейную зависимость можно смешением метана, произведённого в двух разных геохимических обстановках – собственно болотах, где метан синтезируется по гидрогенотрофному пути и где имеет наиболее высокую концентрацию, и в подземных водах, где он синтезируется по ацетотрофному пути и достигает сравнительно меньших концентраций. Однако при ацетотрофном метаногенезе должен продуцироваться метан, более тяжёлый по $\delta^{13}\text{C}$, а не лёгкий, как это наблюдалось. Возможным объяснением этого противоречия может быть протекающий в подземных водах хемолитотрофный ацетогенез, в ходе которого синтезируется ацетат, потребляемый ацетотрофными метаногенами. Рассчитанный $\delta^{13}\text{C}$ в метане, синтезированном по такой двухступенчатой схеме, совпадает с наблюдавшимся в сипах с низкой концентрацией CH_4 .

Площадь полей сипов была оценена в 2885 km^2 или в 1.5 % от площади исследуемого региона; среди них 412 km^2 или 0.2 % общей площади было занято полями сипов высокой вероятности. Более 70 % полей сипов высокой вероятности оказались сосредоточены в пойме Оби, еще 20 % находились в поймах Иртыша и Конды – двух других реках региона с наиболее глубоко врезанными долинами. Поля сипов также широко распространены в низовьях многочисленных притоков Оби, но при отдалении от глубоко врезанных участков пойм на десятки километров эти поля сипов практически исчезают [2].

Таким образом, миграция метана из болот в поймы через подземные воды может быть важным звеном цикла метана, обеспечивающим его попадание в атмосферу, в регионах, где широко распространены верховые болота.

Работа выполнена при поддержке важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов...» (рег. № 123030300031-6).

Список литературы

1. Sabrekov A. F., Terentieva I. E., McDermid G. J., Litti Y. V., Prokushkin A. S., Glagolev M. V., Petrozhitskiy A. V., Kalinkin P. N., Kuleshov D. V., Parkhomchuk E. V. Methane in West Siberia terrestrial seeps: Origin, transport, and metabolic pathways of production // Global Change Biology. 2023. Vol. 29, no. 18. P. 5334-5351. <https://doi.org/10.1111/gcb.16863>
2. Terentieva I., Filippov I., Sabrekov A., Glagolev M. Mapping onshore CH_4 seeps in Western Siberian floodplains using convolutional neural network // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, no. 11. Art. no. 2661. <https://doi.org/10.3390/rs14112661>

Эмиссия метана из затопленных песчаных карьеров таежной зоны Западной Сибири

**Устинов Н. Б.^{1*}, Казанцев В. С.¹, Кривенок Л. А.¹, Свирида Н. М.¹, Ломов В. А.¹,
Репина И. А.^{1,2}**

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Научно-исследовательский вычислительный центр Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Methane emission from flooded sand quarries of Western Siberia taiga zone

Ustinov N. B.^{1*}, Kazantsev V. S.¹, Krivenok L. A.¹, Svirida N. M.¹, Lomov V. A.¹, Repina I. A.^{1,2}

¹A. M. Obukhov Institute of the Atmospheric Physics of RAS, Moscow, Russia

²Research Computing Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉ NikUstinov@yandex.ru

Ключевые слова: песчаные карьеры, парниковые газы, эмиссия метана, метод статических камер

Метан (CH_4) относится к малым газовым составляющим атмосферы и является вторым по значимости углеродсодержащим парниковым газом (ПГ) после диоксида углерода (CO_2). Несмотря на низкое содержание в атмосфере по сравнению с CO_2 , он в 28–34 раза более эффективно удерживает тепло в ней, обуславливая до 23% общего вклада ПГ в потепление климата [1]. Ускоряющийся рост атмосферной концентрации CH_4 объясняется увеличивающейся активностью его природных и антропогенных источников. В природе подавляющая часть CH_4 выделяется из водных экосистем, определяющих около 50% его глобальных эмиссий [2].

Добыча песка для инфраструктурных нужд сопровождается образованием карьерных выемок, которые могут оставаться сухими либо самопроизвольно затопляться водами из нарушенных водоносных горизонтов. Также практикуется преднамеренное обводнение сухих карьеров в рамках рекультивационных мероприятий. Искусственные водоемы, образующиеся в карьерных выемках, до сих пор не рассматривались как источники ПГ, в том числе CH_4 .

Исследования затопленных песчаных карьеров проводились с 27 июня по 3 июля 2020 г. на территории Ханты-Мансийского автономного округа (подзона средней тайги). Ключевой участок располагался к северо-западу от Ханты-Мансийска в пределах Кондинской низменности. Удельные потоки метана (УПМ) измерялись на трех карьерах: активно разрабатываемом (23 УПМ, N 61.50°, E 67.34°), заброшенном менее одного года назад (33 УПМ, N 61.49°, E 67.33°), заброшенном более 19 лет назад (34 УПМ, N 61.04°, E 67.94°), а также на естественном озере со схожей морфометрией (36 УПМ, N 61.49°, E 67.32°). Для каждого водоема измерения УПМ проводились на трех точках вдоль трансекты от берега к центру.

Данные для расчёта УПМ получены методом плавающих камер [3]. В течение 30 минут из камеры через равные промежутки времени отбирались 4 пробы воздуха в герметичные стеклянные флаконы, заполненные насыщенным раствором NaCl . Камерные измерения на каждой точке сопровождались определением: 1) скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления (портативная метеостанция Skywatch GEOS N11, JDC Electronic SA, Швейцария); 2) глубины водной толщи; 3) температуры, электропроводности и водородного показателя (pH) воды у дна и у поверхности водоема, а также в середине водной толщи (анализатор Hanna HI 98129, Hanna Instruments, Румыния).

Концентрации CH_4 в отобранных пробах определялись на газовом хроматографе «Кристалл 5000.2» (ЗАО «Хроматэк», г. Йошкар-Ола) с пламенно-ионизационным детектором. Значения УПМ рассчитывались линейно-регрессионным методом. После отбраковки отрицательных значений ниже предела поглощения CH_4 водной толщей [4] рассчитывались статистические характеристики УПМ из каждого водоема и с каждой точки. Статистически значимые различия между средними значениями УПМ из разных водоемов и с разных точек в пределах каждого водоема оценивались с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и апостериорного теста Тьюки с поправкой

Бонферрони, если соблюдалась нормальность сравниваемых выборок; при отклонениях от нормальности применялся непараметрический тест Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis) и апостериорный тест Данна с поправкой Бонферрони.

Рассчитанные значения УПМ (I квартиль/медиана/III квартиль) составили: $0.01/0.03/0.20 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для активного карьера; $0.81/1.07/1.31$ и $0.06/0.07/0.09 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для недавно и давно заброшенного карьера соответственно; $0.08/0.10/0.14 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для естественного озера. Статистически значимые различия выявлены только при попарном сравнении оценок УПМ из недавно заброшенного карьера и остальных водоемов (Kruskal-Wallis, $p_{\text{adj}} = 4.61 \cdot 10^{-10}$, $1.24 \cdot 10^{-14}$ и $3.26 \cdot 10^{-8}$ при сравнении с активным карьером, давно заброшенным карьером и естественным озером соответственно).

Медианные оценки УПМ из прибрежной, срединной и центральной частей активного карьера составили 0.17 , 0.01 и $0.08 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно; недавно заброшенного карьера – 1.10 , 0.96 и $1.30 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно; давно заброшенного карьера – 0.07 , 0.05 и $0.10 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно; естественного озера – 0.16 , 0.08 и $0.10 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно. Статистически значимые различия выявлены только при сравнении оценок УПМ из середины и центра давно заброшенного карьера (ANOVA, $p_{\text{adj}} = 1.44 \cdot 10^{-3}$), прибрежной зоны и середины естественного озера (ANOVA, $p_{\text{adj}} = 8.62 \cdot 10^{-6}$), а также прибрежной зоны и центра озера (ANOVA, $p_{\text{adj}} = 1.70 \cdot 10^{-4}$). Медианные оценки УПМ со всех точек, кроме находящихся в недавно заброшенном карьере, линейно коррелируют с глубинами водной толщи на этих точках ($n = 9$; $R^2 = 0.50$; $p < 0.05$).

Результаты измерений и статистического анализа УПМ указывают на возможную общность гидробиологического режима активного карьера, давно заброшенного карьера и естественного озера. Гораздо более интенсивная эмиссия CH_4 из мелководного (3.1 м в центральной части) недавно заброшенного карьера свидетельствует о замедленном образовании CH_4 в трех более глубоких (6.1–11.0 м в центральной части) водоемах и/или его отсроченном высвобождении из них. В давно заброшенном карьере и естественном озере это может происходить из-за их температурной стратифицированности. Искусственное нарушение стратификации в активном карьере из-за продолжающейся разработки не приводит к более интенсивному выделению CH_4 из этого водоема, поскольку носит локальный характер и/или сопровождается изъятием донных отложений вместе с добываемым песком. Проведенное исследование показывает, что эмиссия CH_4 из песчаных карьеров определяется не столько степенью их разработанности и сроками заброшенности, сколько глубиной и зависящим от нее термическим режимом.

Полевые работы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-05-60126 «Диагноз и численное моделирование динамики пограничного слоя атмосферы и состояния наземных экосистем Арктики в условиях антропогенной нагрузки». Обработка и анализ данных осуществлялись в рамках работ по госзаданию 1022030400001-9 «Мониторинг и анализ динамики эмиссии парниковых газов из наземных и пресноводных экосистем арктической зоны России».

Список литературы

1. Saunois M. et al. The Global Methane Budget 2000–2017 // Earth System Science Data. 2020. Vol. 12, iss. 3. P. 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
2. Rosentreter J. A. et al. Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources // Nature Geoscience. 2021. Vol. 14, iss. 4. P. 225–230. <https://www.nature.com/articles/s41561-021-00715-2>
3. Bastviken D. et al. Methane Emissions from Pantanal, South America, during the Low Water Season: Toward More Comprehensive Sampling // Environmental Science and Technology. 2010. Vol. 44, iss 14. P. 5450–5455. <https://doi.org/10.1021/es1005048>
4. Kazantsev V. S. et al. Methane Emission from Lakes in the North of Western Siberia // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2023. Vol. 59, iss 3. P. 264–274. <https://doi.org/10.1134/s0001433823030052>

О генерации метана и сульфидов в донных отложениях двух горных озер Западного Кавказа

Фёдоров Ю. А.*, Гарькуша Д. Н., Михайленко А. В., Доценко Н. В., Талпа Б. В.,

Савицкий В. А., Дмитрик Л. Ю., Попов Ю. В., Доценко И. В.

Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, Ростов-на-Дону, Россия

On the generation of methane and sulfides in the bottom sediments of two mountain lakes of the Western Caucasus

Fedorov Yu. A.*, Garkusha D. N., Mikhailenko A. V., Dotsenko N. V., Talpa B. V., Savitsky V. A., Dmitrik L. Yu.,
Popov Yu. V., Dotsenko I. V.

Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don, Russia

✉ fedorov@sfedu.ru

Ключевые слова: донные отложения, озера, образование, метан, сульфиды

Донные отложения – это квазиоткрытая экосистема, обширная поверхность раздела которой с водой отделяет гидросферу от верхнего тонкого слоя литосферы. Они являются хранителями как абиотических, так и биотических (грибы, бактерии, растительность, гидробионты, остатки продуктов жизнедеятельности деятельности человека и других организменных сообществ) веществ. Наряду с третьей (дискретной) границей раздела "вода – взвешенное вещество – биота донные отложения имеют колоссальное значение в процессах переноса вещества и энергии [1]. Донные отложения — это неотъемлемый компонент аквального ландшафта, который особенно активно участвует в круговороте вещества и энергии в мелководных объектах. Обладая высокой емкостью аккумуляции взвешенные дисперсные частицы веществ способны к захвату поллютантов и выводу их из воды в процессе седиментации. По мере образования новых слоев осадков происходит сопряженное депонирование в них дисперсных частиц и поллютантов [1]. Как правило, синхронно с осадконакоплением, в них происходит образование восстановленных газов. Аккумулируя загрязняющие вещества, поступающие с водосборов в течение длительного промежутка времени, донные осадки служат индикатором экологического состояния территории, своеобразным интегральным показателем уровня загрязненности. Донные отложения при смене физико-химической и гидродинамической обстановки могут выступать вторичным источником загрязнения водной толщи, а также эмиссии одного из парниковых газов-метана.

На примере аквальных ландшафтов озер Малый Лиман и Абрау и одноименной реке была исследована вода и донные отложения. Обсуждались гидрохимические показатели по сведениям [2], содержание метана и суммарного сероводорода в воде и донных отложениях как компонентов аквальных ландшафтов. Отбор, подготовка проб и определение их содержания массовой доли CH_4 выполнялось по методике Росгидромета [РД 52.24.511-2013], а массовой доли сульфидной серы — [РД 52.24.525-2011.]. Определялось общее содержание сульфидов, в которое входит как растворенные в иловой воде молекулярный сероводород и сульфиды щелочных металлов, так и сульфиды, содержащиеся в твердой фракции, которые представляют собой сульфиды железа и тяжелых металлов, нерастворимые в воде, но растворимые в кислоте. При этом отметим, что определение массовой доли сульфидной серы основано на переводе сульфидов донных отложений в сероводород под действием соляной кислоты. Таким образом, под массовой долей сульфидной серы, определяемой по методике [РД 52.24.525-2011.] ,подразумевается аддитивное содержание кислоторастворимых сульфидов (S_{avs}) и ионов HS^- , H_2S и S^{2-} , которое для сокращения изображается нами символом $\Sigma\text{H}_2\text{S}$. Произведена статистическая обработка полученных результатов и построены регрессионные зависимости между содержанием CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

Эти два озера представляют собой единую природно-техногенную систему [3]. Экспедиция была проведена в осенний сезон в условиях чрезвычайно низкого стояния уровня в озерах. Во время

отбора проб наблюдалось зарастание оз. Абрау и одноименной реки сине-зелеными водорослями. При этом визуально было видно загрязнение устья р. Абрау хозяйственно-бытовым и строительным мусором. По ретроспективным и современным данным по содержанию метана в воде и донных отложениях водоемов и водотока они однозначно были отнесены к эвтрофным, в то время как, например, оз. Байкал по этому показателю – к олиготрофному [3–5]. На основании сравнения данных по содержанию сульфатов в воде и сульфидов в донных отложениях оз. Малый Лиман и р. Абрау и оз. Байкал высказано предположение о косвенном влиянии количества сульфатных ионов на генерацию сульфидов. В 2023 г. исследованы сопряженные циклы метана и сероводорода в пробах донных отложений, которые были отнесены нами к переходному – редокс слою, где происходит постоянная смена окислительных условий на восстановительные и обратно, о чем свидетельствуют значения Eh, которые изменяются от -61,2 до +53,8 мВ. С помощью электронной микроскопии установлено присутствие в донных отложениях полых сфер, что указывает на их газонасыщенность. Ранее [4] а органолептически в донных отложениях озер Малый Лиман и Абрау, был обнаружен запах сероводорода, который свойственен свободному H₂S и гидротроилиту. В экспедиции 2023 г. в отобранном керне донных отложений запах сероводорода идентифицирован не был. В то же время нами под электронным микроскопом были найдены микровключения биогенного дисульфида железа (FeS₂), который мог образоваться вследствие перекристаллизации моносульфида железа (FeS * nH₂O- гидротроилита) и не имеет какого-либо запаха. Коэффициент метанизации варьировался от 0,5 до 7,2 % (в среднем 3,2%). Это свидетельствует о том, что в изученных донных отложениях пресноводных объектов с относительно низким содержанием в воде сульфатных ионов протекает процесс генерации сульфидов, который существенно превалирует над образованием метана. Были построены регрессионные зависимости между содержанием CH₄ и $\sum H_2S$ в донных отложениях оз. Малый Лиман и р. Абрау для всего массива данных. Оказалось, что между этими показателями имеет место значимая связь, которая свидетельствует о том, что CH₄ и $\sum H_2S$ имеют генетическое сродство и, по-видимому, тесно связаны с содержанием органического вещества, как, например, это имело место в донных осадках оз. Байкал [4].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00038 (<https://rscf.ru/project/24-17-00038/>).

Список литературы

1. Fedorov Yu. A., Mikhailenko A. V., Dotsenko I. V., Kovalev E. A., Chepurnaya V. I., Dotsenko N. V., Gavrilova I. Yu., Bellinger O. Yu. Granulometric, elemental and isotopic composition of bottom sediments of lakes of mountainous areas as a reflection of transformations in their watersheds // E3S Web of Conferences. 2003. Vol. 407. Art. no. 02009 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340702009>
2. Лукьянченко А. Д., Предеина Л. М. Динамика солевого состава в озерах Абраусский Лиманчик и Абрау // Экологические проблемы. Взгляд в будущее : сборник трудов III-й научно-практической конференции. Ростов н/Д., 2006. С. 131–133.
3. Федоров Ю. А., Кузнецов А. Н., Савицкий В. А., Талпа Б. В., Головков И. В., Доценко Н. В., Станиславский К. С., Габова В. Н. Особенности образования и функционирования озера Малый Лиман как природно-техногенной системы// Инженерный вестник Дона. 2022. № 5. <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7604>
4. Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Летучая Ю. С., Назаренко Д. С. Первые данные об уровне содержания метана в воде и донных отложениях озер Абрау, Лиманчик и Малый Утриш // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Сборник трудов VI научно-практической конференции с международным участием, 5–8 сентября 2010 г., СОЛ «Лиманчик». Ростов н/Д : Ростиздат, 2010. С. 76–79.
5. Гарькуша Д. Н., Фёдоров Ю.А., Андреев Ю. А., Тамбиева Н. С., Михайлена О. А. Метан и сульфидная сера в донных отложениях озера Байкал // Геохимия. 2019. Т. 64, № 4. С. 427-439. <https://doi.org/10.31857/S0016-7525644427-439>

Распределение метана и его потоки в пределах акватории внешнего шельфа залива Петра Великого (Японское море)

Яцук А. В.^{1,2*}, Бовсун М. А.^{1,2}, Швалов Д. А.¹, Нестерова О. В.²

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный Федеральный Университет, ДВФУ, Владивосток, Россия

Distribution of methane and its fluxes within the outer shelf waters of Peter the Great Bay (Sea of Japan)

Yatsuk A. V.^{1,2*}, Bovsun M. A.^{1,2}, Shvalov D. A.¹, Nesterova O. V.²

¹I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, POI FEB RAS,
Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, FEFU, Vladivostok, Russia

✉ yatsuk@poi.dvo.ru

Ключевые слова: газогеохимия, метан, потоки, залив Петра Великого, Японское море

В настоящее время имеются серьезные неопределенности в оценке вклада природных и антропогенных источников парниковых газов. Метан является одним из основных климатообразующим газо-вым компонентом, привлекающим внимание многих мировых исследователей. Прямые измерения, выполненные в морских экспедициях, позволяют получить уникальную информацию о фактическом содержании климатически активных газов в приповерхностной морской атмосфере и поверхностной толще воды, необходимые для детального исследования процессов на границе вода-атмосфера.

Различными исследованиями признается, что акватория Мирового океана представляют собой важный источник поступления метана в атмосферу, а его глобальная морская эмиссия может достигать 25 млн т/год [1]. Шельфовые районы являются более интенсивным источником метана в атмосферу по сравнению с открытым океаном и на них приходится около 75 % глобального морского потока метана [2].

Объектом наших детальных экспериментальных работ являлась внешняя акватория залива Петра Великого (ЗПВ) – одного из крупнейших заливов Японского моря, расположенного на юге Приморского края, РФ. Методология морских работ, выполненных в осенне-зимний сезон 2022 года в рейсе № 83 НИС «Профессор Гагаринский» подробно изложена в работе [4]. Классификация интенсивности потока метана, в моль/(км² сут), проводилась согласно работе [5], основанной на широкой выборке натурных измерений.

По данным прошлых лет фоновые концентрации растворенного метана для акватории ЗПВ не превышали 80–120 нл/л (3,5–5,3 нМ/л) [2 ; 3]. В результате исследований 2012–2014 годов установлено, что большая часть площади ЗПВ была с фоновыми концентрациями метана (80–100 нл/л – 3,5–4,7 нМ/л) в поверхностном слое воды. Высокие концентрации метана установлены (200–600 нл/л – 8,9–26,7 нМ/л) только в прибрежных эстuarных зонах и закрытых мелководных бухтах залива [3].

В целом, несмотря на достаточно долгое исследование акватории ЗПВ площадных морских съемок затрагивающих процессы газообмена в системе вода-атмосфера для всей акватории в последние 10 лет не проводилось, особенно это касалось переходного осенне-зимнего сезона года. Измеренные по нерегулярной сетке и со слабой дискретностью (2009–2010) потоки метана на границе вода-атмосфера в заливе Петра Великого варьировали от -1 (слабый сток) до 83 (эмиссия аномальной интенсивности) моль/км² сут.

Проведенные в 2022 году исследования показали гораздо больший разброс концентраций и потоков метана с учетом повышения детальности измерений. Так концентрации метана в поверхностном слое ЗПВ изменялись от 2,9 до 72 нМ/л (в среднем 7,6 нМ/л, медиана 6,2 нМ/л). Поток

метана на границе вода-атмосфера в диапазоне скоростей ветра 0,3–15,9 м/с изменялся от -1,3 до 338,80 моль/км² сут (в среднем 8,3; медиана 2,3 моль/км² сут). Таким образом, современные потоки метана в ЗПВ для осенне-зимнего сезона года варьируют от слабого стока до эмиссии ураганной интенсивности и выше зафиксированных ранее значений. Акватория ЗПВ характеризуется в основном как источник поступления метана в атмосферу.

Для уточнения суточных закономерностей вариаций потоков метана в системе вода-атмосфера была впервые реализована экспериментальная многосуточная постановка станции морского мониторинга на платформе НИС «Профессор Гагаринский». Измерение параметров газообмена на многосуточной станции возле МЭС «м. Шульца» проводилось на якорной стоянке с 24.11 по 29.11.2022. Измеренная скорость ветра в приводном слое атмосферы изменялась от 0,9 до 22,0 м/с. Поток метана на границе вода-атмосфера зафиксирован в диапазоне от 0,05 до 154,6 моль/км² сут, в среднем 14,8; медиана 4,1 моль/км² сут. Максимальные значения потока метана зафиксированы в моменты прохождения 2 циклонов (114–154 моль/км² сут) с неблагоприятными погодными условиями. Анализ суточной интенсивности эмиссии метана с гидрометеорологическими параметрами выявил пульсационный характер газообмена в системе вода-атмосфера. Конец ноября 2022 характеризовался сложной гидрометеорологической обстановкой, резкими перепадами температур и перестройкой гидрологического режима акватории. Высокие концентрации метана в поверхностном слое воды и высокие показатели эмиссии метана в атмосферу как правило коррелируют между собой и с локальными повышениями ветровых показателей. Повышенная ветровая нагрузка приводит к нарушению стратификации водной толщи и интенсивной эмиссии метана в атмосферу, при этом возникающее волнение моря перемешивает водную толщу и выравнивает содержание метана. После улучшения погодных условий концентрация метана в воде падает и начинается новый цикл накопления метана в толще воды и при прохождении следующего циклона пульсационный механизм газообмена повторяется снова.

Таким образом, экспериментальными работами был уточнен современный газогеохимических уровень метана в морской акватории ЗПВ а также установлен пульсационный механизм эмиссии метана в системе вода-атмосфера, формирующийся за счёт влияния различных процессов в системе вода-атмосфера. Интенсивность данного процесса очень изменчива и многофакторна. Моделирование баланса потоков метана с большой площади акватории требует первичных высокодискретных прямых измерений, а также подбора адекватной площадной ячейки для получения интегральных значений потока метана в системе вода-атмосфера.

Морские экспедиционные исследования проведены при поддержке проекта ВИП-ГЗ ТОИ ДВО РАН. Газоаналитические работы выполнены в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН (FWMM-2024-0029, № гос. регистрации 124022100076-3) и ДВФУ (FZNS-2023-0019, № гос. регистрации 123121200072-5).

Список литературы

1. Saunois M., Stavert A. R., Poulter B. et al. The Global Methane Budget 2000–2017 // Earth System Science Data. 2020. Vol. 12, iss. 3. P. 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
2. Мишукова Г. И., Обжиров А. И., Мишуков В. Ф. Метан в пресных и морских водах и его потоки на границе вода-атмосфера в Дальневосточном регионе. Владивосток : Дальнаука, 2007. 159 с.
3. Окулов А. К., Обжиров А. И., Щербаков В. А., Мишукова Г. И., Окулов Ал. К. Геологические условия газоносности прибрежно-шельфовой зоны Залива Петра Великого (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38, № 2. С. 56–62.
4. Dolgikh G., Bovsun M., Dolgikh S. et al. Hard- and Software Controlled Complex for Gas-Strain Monitoring of Transition Zones // Sensors. 2024. Vol. 24, Art. no. 2602. <https://doi.org/10.3390/s24082602>
5. Mishukova G. I., Yatsuk A. V., Shakirov R. B. Distribution of methane fluxes on the water-atmosphere interface in different regions of the World Ocean // Geosystems of Transition Zones. 2021. Vol. 5, iss. 3. P. 240–254. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.3.240-247.247-254>

**Семинар «Морские радиохемоэкологические
исследования: история и современность»,
посвященный 95-летию со дня рождения
выдающегося учёного, основателя морской
радиоэкологии, доктора биологических наук,
профессора, академика Г. Г. Поликарпова**

Seminar “Marine radioecological research: history and modernity”
dedicated to the 95th anniversary of the famous scientist, founder
of marine radioecology, Doctor of Biological Sciences, Professor
and Academician G. G. Polikarpov

Поликарпов Геннадий Григорьевич



Доктор биологических наук, профессор, академик Академии наук УССР Г. Г. Поликарпов – советский и украинский учёный в области радиобиологии и гидробиологии моря, один из основателей морской радиоэкологии.

На Севастопольской биологической станции начал работать в 1956 г.; организовал первую в бассейне Чёрного и Средиземного морей лабораторию морской радиобиологии. С 1963 до 1991 г. возглавлял отдел радиобиологии (с 1979 г. отдел радиационной и химической биологии). Был заместителем директора института по научной работе (1968-1972) и главным научным сотрудником (1991-2012).

Г. Г. Поликарпов широко известен как пионер морской радиоэкологии, разработавший принципы радиационной и химической экологии и морской молисмологии, а также концептуальную модель влияния ядерных и неядерных загрязнений на морские экосистемы.

Автор большого количества статей и монографий. Заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники.



Поликарпов Геннадий Григорьевич : библиографический указатель / сост.: Г. Е. Лазоренко, Ю. Г. Марченко, Г. Ф. Гусева. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 146 с.

Сезонная динамика химико-микробиологических характеристик донных отложений морского устья малой реки севастопольского региона (на примере р. Черной, Крым)

Бурдиян Н. В.* , Тихонова Е. А., Дорошенко Ю. В., Соловьёва О. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Seasonal dynamics of chemical and microbiological characteristics

of bottom sediments of the sea mouth of the small river of the Sevastopol region

(using the example of the Chernaya River, Crimea)

Burdyan N. V.* , Tikhonova E. A., Doroshenko Yu. V., Soloveva O. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ burdiyan_nv@ibss-ras.ru

*Ключевые слова: эстуарии, донные отложения, нефтяные углеводороды, гетеротрофные,
углеводородокисляющие бактерии, хлороформ-экстрагируемые вещества, р. Чёрная, Чёрное море*

Зоны смешения речных и морских вод являются зонами транспорта химических загрязняющих веществ и природного материала из наземных экосистем в открытый океан [1]. Важная роль таких зон в функционировании морских экосистем связана с тем, что они являются областью действия маргинальных фильтров [2]. Антропогенная составляющая органического вещества в данных зонах зачастую представлена нефтяными углеводородами. Процессы образования и разложения органического вещества в донных отложениях занимают важное место в функционировании эстуариев. Накопление органических веществ в донных осадках, в итоге, способствует эвтрофикации малых эстуариев. Микробиологические сообщества являются важными компонентами эстuarных экосистем. Состояние активных и разнообразных микробных сообществ в эстuarных экосистемах имеет большое экономическое и экологическое значение [3]. Река Чёрная по протяжённости и водности является наиболее значимой из рек Севастопольского региона. В настоящее время, устье р. Чёрной отнесено к нетиповым, антропогенно-изменённым [4].

Целью настоящего исследования явилось проведение сравнительной химико-микробиологической характеристики донных отложений зоны смешения «река-море» на основе анализа годовой динамики содержания хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов и численности углеводородокисляющей и гетеротрофной групп бактерий.

Материал для исследования отбирали ежемесячно в течение 2019-2020 гг. Исследуемая зона смешения «река-море» условно была разделена на три участка по градиенту солёности: морской участок (ст. 1), находящийся непосредственно в акватории бухты Севастопольской, «переходный» (ст. 2), расположенный вблизи автомобильного моста (учитывался, как фактор антропогенного поступления загрязняющих веществ со смывом с автодороги) и речной участок (ст. 3.), где отбирались подвижные береговые наносы. На ст. 1 и 2 пробы донных отложений отбирали дночерпателем Петерсона с площадью захвата 0,038 м², по течению впадающей реки, подвижные береговые наносы на ст. 3 отбирали ручным пробоотборником. В каждой пробе определяли количества хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), нефтяных углеводородов (НУ) [5], численность гетеротрофных (ГБ) и углеводородокисляющих (УОБ) групп бактерий [6].

Температура воды в течение годового периода изменялась в следующем диапазоне: морская вода – от 8,5 до 26⁰ С, речная – от 3 до 21⁰ С. Донные осадки и прибрежные речные наносы исследуемых станций отличались по основным физико-химическим характеристикам и гранулометрическому составу. Проведенный анализ пространственной изменчивости исследованных микробиологических показателей показал, что численность гетеротрофных бактерий в донных отложениях морского участка в течение года варьировала от 7,5·10³ до 2,5·10⁶ кл./г, соответственно, речного - от 9,5·10³ кл./г

до $9,5 \cdot 10^8$ кл./г. Сезонная изменчивость количественных показателей ГБ на обоих участках не отмечена, по всей видимости, численность ГБ зависела, в первую очередь, от содержания органического вещества. Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между численностью ГБ и содержанием ХЭВ на станциях отбора проб (в речной зоне: $r = -0,5$; в морской зоне $r = -0,21 \alpha < 0,05$). Бактерии, окисляющие нефтяные углеводороды, высеяны в 100% проб донных отложений и прибрежных наносов обозначенных акваторий. Количественные показатели УОБ в морской зоне за исследуемый период варьировали от 25 до $2,5 \cdot 10^4$ кл./г, в речной зоне - от 25 до $4,5 \cdot 10^3$ кл./г. В осадках речной зоны максимальные показатели численности УОБ отмечены в паводковый период (февраль-апрель). В апрельских пробах на обеих станциях зафиксирована наибольшая доля углеводородокисляющих бактерий от общей численности гетеротрофного бактериобентоса, составляющая в морской зоне - 13%, в речной - 10%. В остальные месяцы процент УОБ от общего числе ГБ был незначительным (1-4 %). Результаты годового наблюдения за динамикой содержания ХЭВ и НУ в донных отложениях исследуемых акваторий показали, что максимальное количество ХЭВ отмечено в морской акватории ($450 \pm 17,5$ мг/100 г), минимальное – в речной части ($127,6 \pm 10,9$ мг/100 г). В зоне смешения речных и морских вод данный показатель составлял $370 \pm 37,9$ мг/100 г. Полученные средние показатели соответствуют III уровню загрязнения (100-500 мг/100 г) из пяти описанных. Данные уровни содержания органических веществ указывают на интенсивное их накопление в морской зоне, являющейся зоной хронического органического загрязнения и зоне смешения, где поступление загрязняющих веществ происходит как с морскими, так и речными водами. Средние концентрации НУ исследуемой акватории распределены аналогично концентрациям ХЭВ: максимальные величины ($127,5 \pm 10,9$ мг/100 г) выявлены в морских грунтах, в осадках зоны смешения – несколько ниже ($103,1 \pm 9,4$ мг/100 г) и минимальные значения ($54,8 \pm 23,9$ мг/100 г) в речных наносах. По сравнению с нормативами «Голландских листов» (50 мг/100 г) средние показатели НУ в донных отложениях бухты и зоны смешения «рекаморе» превышали норматив в 2,5 и 2 раза соответственно, тогда как в речных наносах оставались в его пределах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы

1. Telesh I., Schubert H., Skarlato S. Life in the salinity gradient: Discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2013. Vol. 135. P. 317-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.10.013>
2. Лисицын А. П. Маргинальные фильтры и биофильтры Мирового океана // Океанология на старте XXI века. М. : Наука, 2008. С. 159-224.
3. Grizzetti B., Liquete C., Pistocchi A., Vigiak O., Zulian G., Bouraoui F., De Roo A., Cardoso A. C. Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 671. P. 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155>
4. Миньковская Р. Я., Демидов А. Н. Эволюция морского устья реки Чёрной (Севастопольский регион) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 1. С. 81-88.
5. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. г. Орадовского. Л. : Гидрометеоиздат, 1977. С.118-131.
6. Практикум по микробиологии / Под ред. А. И. Нетрусова. М. : Академия. 2005. 608 с.

Распределение тяжелых металлов в морской воде прибрежных акваторий Крыма

Вахрушев М. О. *, Мирзоева Н. Ю., Проскурин В. Ю., Параксив А. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Distribution of heavy metals in sea water of coastal areas of Crimea

Vakhrushev M. O. *, Mirzoeva N. Yu., Proskurnin V. Yu., Paraskiv A. A.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ m.vakhrushev@ibss-ras.ru

*Ключевые слова: тяжелые металлы, бухты района города Севастополя, прибрежные районы
Крыма, предельно допустимые концентрации, «Голландские листы»*

Урбанизация, развитие промышленности и сельского хозяйства оказывают негативное влияние на окружающую природную среду ввиду выбросов в нее различных химических элементов [1]. Одними из таких химических элементов являются тяжелые металлы (ТМ). Попадая в водную среду, многие из них имеют свойство накапливаться в различных гидробионтах, а при употреблении в пищу человеком загрязненных морепродуктов – и в организме человека [2]. ТМ – это опасные токсические вещества, которые в избыточных концентрациях могут вызывать в живых организмах, включая человека, различные заболевания, изменять структуру ДНК их клеток и т.д. Поэтому изучение особенностей поступления, распределения и миграции ТМ по компонентам экосистем водных объектов является актуальным.

Цель данной работы была: оценить уровни содержания и особенности распределения ТМ в морской воде прибрежных акваториях Крыма.

Отбор проб морской воды производился в бухтах района города Севастополя (б. Казачья, б. Круглая, б. Стрелецкая, б. Песочная, б. Южная) и прибрежных районах Крыма (пляж пгт Береговое (Кастрополь), м. Фиолент, пляж пгт Кача) в период с октября 2023 г. по февраль 2024 г.

Извлечение элементов из проб воды проводилась путем экстракционного отделения и концентрирования при помощи комплексообразователя диэтилдитиокарбамата натрия и четырёххлористого углерода в соответствии с РД 52.10.243-92. Были определены концентрации 15 элементов (Be, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl, Pb) для каждой из исследуемых проб воды. Определение содержания вышеперечисленных элементов проводилось в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena, Германия).

Оценка качества вод проводилась в соответствии с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для морской воды, приводимыми в Приказе от 13 декабря 2016 года № 552 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» и ПДК иностранного документа – «Голландские листы» [4].

Согласно Приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 все исследуемые элементы не превышают ПДК на всех станциях отбора проб.

Однако «Голландские листы», помимо величины ПДК (МРС), также предусматривают и предел безопасной концентрации (ПБК). Согласно предложенному способу оценки [3] концентрации, находящиеся в диапазоне между ПБК и ПДК, можно считать потенциально критическими элементами, а превышающими ПДК – критическими.

К потенциально-критическим элементам (согласно «Голландским листам») в исследуемых районах является свинец (максимальное значение – $1,21 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ в воде Южной бухты), а критическими –

меди цинк и кадмий, максимальные концентрации которых в морской воде составляли $3,59 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ (Южная бухта), $35,1 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ (Стрелецкая бухта), $8,97 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ (Южная бухта), соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме: «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы

1. Mohod C. V. , Dhote J. Review of heavy metals in drinking water and their effect on human health // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 2, iss. 7. P. 2992-2996.
2. Sankhla M. S. , Kumari M. , Nandan M., Kumar R., Agrawal P. Heavy Metals Contamination in Water and their Hazardous Effect on Human Health-A Review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2016. Vol. 5, iss. 10, P. 759-766. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.510.082>
3. Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Chuzhikova-Proskurnina v, Nguyen Trong Hiep. Dissolved and particulate metals and metalloids in the eastern Mekong Delta, Vietnam // Marine Pollution Bulletin. 2024. Vol. 206, Art. no. 116679. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116679>
4. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001, RIZA report 2002.009. Lelystad, 2002. 77 p.

Полоний-210 в экосистеме Северо-Крымского канала (2022–2024)

Коротков А. А.*, Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н., Иванова А. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Polonium-210 in the ecosystem of the North Crimean Canal (2022–2024)

Korotkov A. A.* , Mirzoeva N. Yu., Moseichenko I. N., Ivanova A. I.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ ankor@ibss-ras.ru

Ключевые слова: полоний-210 (^{210}Po), экосистема, Северо-Крымский канал, вода, гидробионты, донные отложения, доза

Полоний-210 (^{210}Po) является природным радиоактивным изотопом, завершающим цепь распада ряда ^{238}U – ^{226}Ra . ^{210}Po характеризуется наибольшим периодом полураспада (около 138 дней) среди семи природных изотопов полония. Изучение поведения ^{210}Po в различных экосистемах является актуальной задачей, в первую очередь, ввиду его высокой радиологической значимости. Установлено, что в силу своих физико-химических особенностей ^{210}Po вносит основной вклад (до 60% и более) в формирование дозовой нагрузки на гидробионты, причем последние отличаются более высокой аккумулирующей способностью в отношении полония, по сравнению с наземными организмами [1]. Как известно, концентрации ^{210}Po в речных (и других проточных) водных системах определяются условиями в районе их водосбора и зависят как от природных, так и антропогенных источников его поступления [1].

Удельную активность ($A_{уд.}$) ^{210}Po определяли в пробах воды (взвешенной и растворенной фазах), донных отложениях, почвах, а также отдельных гидробионтах. Для анализа образцов использовали радиохимические методы и альфа-спектрометрия [2]. Для расчетов доз использовали подходы, изложенные в работах [3 ; 4].

Было определено, что уровни $A_{уд.}$ ^{210}Po во взвешенном веществе СКК в период 2022–23 годов варьировали в пределах порядка величин. Минимальная и максимальная величины $A_{уд.}$ ^{210}Po во взвеси составили $11,0 \pm 1,6$ и $145,5 \pm 10,8$ Бк/кг сухой массы соответственно. При этом данный показатель активности ^{210}Po в растворенной фазе оставались относительно стабильными: $0,6 \pm 0,1$ – $0,9 \pm 0,2$ мБк/л. $A_{уд.}$ ^{210}Po во взвешенном веществе прибрежного участка Каркинитского залива (месте сброса воды с рисовых чеков) была ниже и варьировала в меньшем диапазоне. Коэффициенты распределения (K_d) ^{210}Po в воде СКК достигали 10^5 , тогда как для Каркинитского з-ва этот показатель составлял $n \cdot 10^4$. Такие особенности распределения полония в воде связаны с высокой аккумулирующей способностью взвешенного органического вещества в отношении последнего. В то же время, содержание «растворенного» ^{210}Po были относительно стабильным, т.к. существенных изменений гидрохимических показателей (в первую очередь – окислительно-восстановительного потенциала) не наблюдалось.

Анализ данных показал, что чуть более 50% активности «растворенного» ^{210}Po , поступившей на территорию Крыма с водой СКК, перераспределяется между компонентами водной экосистемы СКК и почвенными экосистемами орощаемых участков. Оставшаяся часть активности ^{210}Po в составе сточных вод (в основном, сельскохозяйственных) сбрасывается в Черное море. Установлено, что $A_{уд.}$ ^{210}Po в растворенной фазе снижалась на 35% вследствие различных процессов, причем 28% поступило в почвы при поливе и лишь 7% оставалось в воде СКК, перераспределяясь между компонентами его экосистемы вследствие биогеохимических процессов.

С началом подачи днепровской воды, в течение 2022-2023 годов, на входе Северо-Крымского канала в Крым (участок Армянск-Красноперекопск) был отмечен рост $A_{\text{уд.}}^{210}\text{Po}$ во взвешенной фазе более чем на порядок. Скорее всего, это стало следствием увеличения поступления ^{210}Po в водную среду в Каховском водохранилище и на херсонском участке СКК в этот период. На это также указывает и быстрое, почти двукратное снижение $A_{\text{уд.}}^{210}\text{Po}$ во взвеси после прекращения подачи воды в канал 8 июня 2023 года.

Сравнение полученных данных с контрольными величинами показало, что $A_{\text{уд.}}^{210}\text{Po}$ в воде СКК было значительно ниже уровня вмешательства (УВ) для питьевой воды, равного 0.11 Бк/кг воды [5].

Среди изученных гидробионтов, наиболее высокие удельные активности, ожидаемо, были отмечены в телях беззубки (*Anodonta cygnea*, *Bivalvia*). Данный моллюск-фильтратор показал наибольшие уровни накопления ^{210}Po . Среди изученных рыб, наиболее высокий показатель $A_{\text{уд.}}^{210}\text{Po}$ (для целой особи) отмечен для инвазивного вида Амурский чебачок (*Pseudorasbora parva*), что более чем в 10 раз превышает этот показатель для красноперки и в 20 раз – для окуня. Как известно, уровень аккумулирования полония зависит от места обитания, рациона, пищевого поведения гидробиона, а также отражает его положение в пищевой цепи [1].

На основании полученных результатов, были рассчитаны годовые мощности доз внутреннего облучения изученных гидробионтов альфа-частицами ^{210}Po . Наиболее высокие значения были получены для двустворчатых моллюсков и амурского чебачка. Сравнение рассчитанных мощностей доз, с контрольными уровнями показало, что максимальные, из полученных нами значений, существенно ниже рекомендованных дозовых пределов [1].

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-26-00128 «Роль оросительной системы Северо-Крымского канала (СКК) в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводородов с днепровской водой на поливные сельхозугодия Крыма».

Список литературы

1. IAEA. The Environmental Behaviour of Polonium / International Atomic Energy Agency. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2017. 255 p. (Technical reports series ; no. 484).
2. Chen Q., Dahlgaard H., Nielsen S. P., Aarkrog A. Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in Mussel, Fish, Sediment, Petroleum / Department of Nuclear Safety Research and Facilities, Risø National Laboratory. Roskilde, Denmark, 1998. 10 p.
3. Carvalho F. P. ^{210}Po in marine organisms: a wide range of natural radiation dose domain. Radiat. Prot. Dosim. 1988. Vol. 24, iss 1-4. P. 113-117. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a080253>
4. Blaylock B. G., Frank M. I., O’Neal B. R. Methodology for Estimating Radiation Dose Rates to Freshwater Biota Exposed to Radionuclides in the Environment // Report ES/ER/TM-78: Prepared for the U.S. DOE, Contract DE-AC05-84OR21400. Oak Ridge, TN, USA : Oak Ridge National Laboratory, 1993. 40 p.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009) : Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

95 лет Поликарпову Геннадию Григорьевичу

Мирзоева Н. Ю.*, Егоров В. Н., Терещенко Н. Н.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

To the 95th anniversary of Gennady Polikarpov

Mirzoeva N. Yu.*, Egorov V. N., Tereschenko N. N.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ natmirz@mail.ru

Ключевые слова: академик Поликарпов Г. Г., радиохемоэкология, экологическая эквидозиметрия, «зоны Поликарпова»

16 августа 2024 года исполняется 95 лет со дня рождения выдающегося учёного, создателя Отдела радиационной и химической биологии Института биологии южных морей и научной школы по радиохемоэкологии, заслуженного деятеля науки и техники Украины, лауреата Государственной премии Украины в области науки и техники, почётного члена International Union of Radioecologists (IUR), вице-президента International Union of Eco-ethics (IUEE), доктора биологических наук, профессора, академика Национальной академии наук Украины Геннадия Григорьевича Поликарпова.

Г.Г. Поликарпов родился 16 августа 1929 г. в селе Большая Глушица Самарской области. В 1952 г. он закончил биолого-почвенный факультет Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского по специальности «Зоология». В 1957 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Радиобиология». В 1957–58 гг. работал на биостанции Института экологии растений и животных УФАН СССР «Большое Миассово» в Челябинской области, руководимой профессором Н.В. Тимофеевым-Ресовским и Е.А. Тимофеевой-Ресовской. Одновременно им было начато формирование научного коллектива морских радиоэкологов и создание лаборатории биофизики-радиобиологии на Севастопольской биологической станции им. А.О. Ковалевского АН СССР, реорганизованной в 1963 г. в отдел радиобиологии Института биологии южных морей АН УССР, а в 1973 г. в отдел радиационной и химической биологии. В 1964 г. в возрасте 35 лет Г.Г. Поликарпов становится доктором биологических наук, защитив диссертацию на тему «Проблемы морской радиоэкологии» по специальности «Радиобиология». В 1967 г. Г.Г. Поликарпов избран членом – корреспондентом, а в 1990 г. Действительным членом Академии Наук Украинской ССР по специальности «Радиобиология».

Г.Г. Поликарпов по праву считается одним из ведущих учёных в области морской радиоэкологии, имеющий мировое признание. Он обогатил различные разделы учения о миграции радионуклидов в Мировом океане и о действии ионизирующих излучений на гидробионты, в 1964 г. создал новую научную дисциплину – морскую радиоэкологию, а на ее базе – морскую радиохемоэкологию, молисмологию и экологическую эквидозиметрию. Он внёс весомый вклад в охрану гидросфера от радиоактивных и химических загрязнений. Предоставил в 1950–60-х радиоэкологическую аргументацию против предложений мирового сообщества использовать глубины Чёрного моря для захоронения отходов ядерной промышленности, принимал участие в 1950–60-х гг. в мониторинге глобальных радиоактивных выпадений от ядерных взрывов – в разработке основы для Московского договора о запрете ядерных испытаний в открытых средах. Сформулировал в 1977 г. концепцию зональности хронического действия всех существующих и возможных мощностей доз ионизирующих излучений на все уровни организации жизни. На Генеральной ассамблее IUR (2008 г., Берген, Норвегия) предложенные им зоны по действию ионизирующих излучений на экосистемном уровне было принято называть «зонами Поликарпова», а сама концепция нашла отражение в новой редакции рекомендаций International Commission on Radiological Protection (ICRP) по радиационной защите человека и биосфера. В 2008 г. на Генеральной Ассамблее IUR академику Г.Г. Поликарпову была

вручена высшая награда МСР: диплом В.И. Вернадского «В признание выдающегося вклада в развитие Радиоэкологии» и Золотая медаль В.И. Вернадского «За крупный вклад в радиоэкологию».

В 1984 г. Г.Г. Поликарпов обнаружил питательные свойства сероводородной глубинной толщи Черного моря. В 1973, 1984–85 гг. Геннадий Григорьевич оказывал содействие, как эксперт International Maritime Organization (IMO) и International Agency on Atomic Energy (IAEA) в работе над Лондонской Конвенцией, принятию в 1985 г. моратория на удаление твердых радиоактивных отходов в океаны.

Поликарпов Г.Г. принимал активное участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, был членом государственной комиссии по предотвращению последствий Чернобыльской ядерной аварии, возглавил исследования отдела радиационной и химической биологии по изучению радиоэкологического отклика Черного моря на Чернобыльскую ядерную катастрофу. За активное участие в ликвидации и изучении последствий аварии на ЧАЭС Г.Г. Поликарпов награжден орденом «За заслуги» III степени и памятным знаком Национальной Комиссии по Радиационной Защите Населения Украины.

В 2007–2008 гг. Г.Г. Поликарпов вместе с академиком НАНУ Ю.П. Зайцевым инициировал изучение биосферной роли неизвестного прежде явления в бассейне Черного моря (наличия живых спор морских и пресноводных водорослей). В 2009 г. он предложил использовать сероводородные условия глубин Черного моря, как аноксичный аналог экологических условий на других космических телах, в качестве полигона для изучения экзобиологии.

Г.Г. Поликарпов всегда уделял большое внимание развитию международных связей. В 1965 г., он организовал отдел радиоэкологии в Институте океанологии АН Кубы, с 1975 по 1979 гг. руководил секцией «Исследования окружающей среды» в Международной лаборатории морской радиоактивности IAEA в Монако и состоял в Секретариате IAEA. В 1973 и 1984–1985 гг. он – эксперт IMO и IAEA по Конвенции о сбросах радиоактивных отходов. Благодаря его влиянию, в работе Генеральной ассамблеи IUR в Люксембурге в 1988 г. приняло участие более 50 учёных из СССР. Именно с тех пор начался резкий подъём общего уровня радиоэкологических исследований в СССР/СНГ, вырос вклад отечественных учёных в международных организациях, получили развитие работы по совместным проектам. Он был вице-президентом IUR IUOE, с 1989 по 1995 гг. являлся также вице-президентом Advisory Committee of Protection of Seas (ACOPS, Лондон). Г.Г. Поликарпов опубликовал более 900 научных работ.

Под руководством Г.Г. Поликарпова было защищено 29 кандидатских диссертаций и три его ученика и последователя стали докторами наук, один из них В.Н. Егоров академик РАН. Его ученики работают сегодня в разных уголках мира, а отдел радиационной и химической биологии, созданный Г.Г. Поликарповым, остается и на современном этапе одним из ведущих коллективов мировой науки в области морской радиохемоэкологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Распределение ^{137}Cs в водной экосистеме Северо-Крымского канала и прилегающих сельскохозяйственных угодьях в период 2023–2024 гг.

Мирошниченко О. Н. *, Мирзоева Н. Ю., Сидоров И. Г., Мосейченко И. Н.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ

Distribution of ^{137}Cs in the aquatic ecosystem of the North Crimean Canal and adjacent agricultural lands in the period 2023–2024

Miroshnichenko O. N. *, Mirzoeva N. Yu., Sidorov I. G., Moseichenko I. N.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ o.miroshnichenko@ibss-ras.ru

Ключевые слова: Северо-Крымский канал, днепровская вода, ^{137}Cs

Техногенный радионуклид ^{137}Cs является одним из основных продуктов аварии на Чернобыльской АЭС, вторичное поступление которого на территорию Крыма происходило с днепровскими водами по руслу Северо-Крымского канала (СКК) [2]. Режим функционирования СКК был восстановлен в 2022 г., тогда наблюдались повышенные уровни концентрации ^{137}Cs на взвешенном веществе и в донных отложениях экосистемы СКК [3], а в орошаемых водой СКК почвах значения концентрации ^{137}Cs были на уровне 1992–1995 гг. [2]. Исследования, проведенные в период 2022–2023 гг. показали, что днепровская вода остается важным фактором поступления постчернобыльских радионуклидов в экосистемы Крыма [1 ; 3]. В связи с этим, несмотря на прекращение поступления днепровской воды в русло СКК в июне 2023 г., радиоэкологическое изучение закономерностей распределения и миграции ^{137}Cs в экосистеме СКК и орошаемых почвах остается актуальной задачей. Цель настоящих исследований – радиоэкологический мониторинг водной экосистемы СКК и орошаемых сельскохозяйственных угодий в отношении искусственного радионуклида ^{137}Cs в период после прекращения подачи днепровской воды в СКК. Объектами исследования были биотические и абиотические компоненты водной экосистемы СКК, а также орошаемые территории, используемые для выращивания сельскохозяйственных культур. Отбор проб осуществлялся в период осень 2023 — весна 2024 гг. на различных станциях вдоль магистрального русла СКК. Активность ^{137}Cs в пробах определяли с помощью гамма-спектрометрического оборудования, относительная погрешность полученных результатов не превышала 20% [4].

Получено, что концентрация ^{137}Cs в воде СКК осенью 2023 года на станции у с. Победное и на насосной станции № 3 (район Зеленоярского водохранилища) составила $1.6 \pm 0.7 \text{ Бк}/\text{м}^3$, в Керченском водохранилище – $0.15 \pm 0.06 \text{ Бк}/\text{м}^3$. В апреле 2024 года концентрация ^{137}Cs в воде магистрального русла СКК (г. Красноперекопск) составила $0.12 \pm 0.03 \text{ Бк}/\text{м}^3$, в Джанкойском районе – $0.15 \pm 0.03 \text{ Бк}/\text{м}^3$, в Нижнегорском районе – $1.5 \pm 0.3 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Концентрация ^{137}Cs в воде р. Биюк-Карасу, впадающей в русло СКК в Нижнегорском районе Крыма, составила $0.7 \pm 0.2 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Таким образом, максимальные уровни концентрации ^{137}Cs в воде СКК в исследуемый период достигали уровней концентрации ^{137}Cs по данным 2022 г., когда днепровская вода начала поступать в русло СКК [3].

Концентрация ^{137}Cs в гидробионтах СКК составила 1.1 ± 0.1 - $4.6 \pm 0.5 \text{ Бк}/\text{кг}$ сырой массы, коэффициенты накопления ^{137}Cs водными растениями (рдест пронзеннолистный, рдест курчавый) составили – $n \cdot 10^3$ - $n \cdot 10^4$, водорослями (кладофора) – $n \cdot 10^4$.

Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях (ил) магистрального русла СКК по данным 2024 г. была от $2.8 \pm 0.3 \text{ Бк}/\text{кг}$ сухой массы (Джанкойский район) до $50 \pm 5 \text{ Бк}/\text{кг}$ сухой массы (Ленинский район). В донных отложениях уровни концентрации ^{137}Cs снизились на 1-2 порядка, по сравнению с максимальными уровнями, наблюдаемыми в 2022-2023 гг. [3]. Коэффициент распределения ^{137}Cs в донных отложениях составил $n \cdot 10^4$ [2], что характерно для пресноводных водоемов.

Концентрация ^{137}Cs в почвах с орошаемых водой СКК полей по данным 2024 г. находилась в диапазоне от 4.6 ± 0.5 до 7.6 ± 0.8 Бк/кг сухой массы и оставалась на уровне значений 2023 г. Концентрация ^{137}Cs в ростках посевных культур (пшеница озимая, рапс) составила 0.8–1.5 Бк/кг сырой массы.

Радиоэкологические исследования, проведенные в период после прекращения поступления днепровской воды в СКК показали, что происходит перераспределение и миграция поступившего в 2022 г. ^{137}Cs между биотическими и абиотическими компонентами водной экосистемы СКК. В воде СКК уровни концентрации ^{137}Cs остаются минимальными и значительно ниже установленных законодательством Российской Федерации норм, предъявляемых для питьевой воды. В гидробионтах и донных отложениях, исходя из показателей коэффициентов накопления и коэффициентов распределения, происходит накопление радионуклида. Закономерности распределения ^{137}Cs в водной экосистеме СКК характерны для пресноводных водоемов.

В почвах, орошаемых водой СКК, также определено наличие ^{137}Cs на уровнях, сопоставимых с 2023 г., когда происходила подача днепровской воды в СКК.

Таким образом, исследования 2024 г. показали, что продолжаются процессы перераспределения и миграции радионуклида ^{137}Cs , идентичные 2023 г., в связи с этим представляет интерес дальнейшие радиоэкологические исследования изучаемых объектов.

Работа подготовлена в рамках гранта РНФ № 23-26-00128 «Роль оросительной системы Северо-Крымского канала в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводородов с днепровской водой на поливные сельхозугодья Крыма», номер госрегистрации: 123022100021-4.

Список литературы

1. Мирзоева Н. Ю., Архипова С. И., Мосейченко И. Н., Гулина Л. В. ^{90}Sr в водной экосистеме Северо-Крымского канала и поливных землях вдоль него в период 2022–2023 гг. // Актуальные вопросы водных и прибрежных экосистем : сб. материалов Всерос. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. д. б. н., проф. О. Г. Миронова, Севастополь, 2–5 октября 2023 г. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2023. С. 23–24.
2. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / под ред. г. г. Поликарпова и В. Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. 667 с.
3. Сидоров И. Г., Мирошниченко О. Н., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н., Вахрушев М. О. ^{137}Cs в водной экосистеме Северо-Крымского канала по результатам экспедиционных исследований 2022–2023 гг. // Актуальные вопросы водных и прибрежных экосистем: сборник материалов всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения д. б. н., проф. О. Г. Миронова, Севастополь, 2–5 октября 2023 г. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2023. С. 33–34.
4. Miroshnichenko O. N., Mirzoeva N. Yu., Sidorov I. G. ^{137}Cs in abiotic components of ecosystems of the Crimean salt lakes: sources of inflow, features of distribution and elimination // Fundamental and Applied Limnology. 2022. Vol. 195, no. 4. P. 275–295. <https://doi.org/10.1127/fal/2022/1418>

Перспективы использования буровой водоросли *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry для радиоэкологического мониторинга прибрежных акваторий Черного моря

Мосейченко И. Н., Мильчакова Н. А.* , Мирзоева Н. Ю., Коротков А. А., Рябогина В. Г.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Prospects for the use of brown algae *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry for radioecological monitoring of the coastal waters of the Black Sea

Moseichenko I. N., Milchakova N. A.* , Mirzoeva N. Yu., Korotkov A. A., Ryabogina V. G.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ milchakova@gmail.com

Ключевые слова: макроводоросли, концентрирование, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, природопользование, прибрежные акватории, Крымский п-ов

После аварии на Чернобыльской АЭС многие виды гидробионтов Черного моря стали использоваться в качестве индикаторов накопления различных загрязнителей, в том числе радионуклидов, и как тест-объекты для ведения радиоэкологического мониторинга [1]. Таким объектом является массивный вид макрофитобентоса прибрежной зоны Крыма и Кавказа – многолетняя бурая водоросль *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry, максимальный возраст которой может достигать 25–30 лет. Учитывая, что к настоящему времени в популяции эрикарии отсутствуют растения, начало жизненного цикла которых приходилось на период аварии, цель работы заключалась в оценке вторичного загрязнения пост-аварийными радионуклидами прибрежных акваторий г. Севастополя, характеризующихся разными экологическими условиями, и выявлении особенностей накопления *E. crinita* искусственного (¹³⁷Cs) и природного (⁴⁰K) гамма-излучающих радионуклидов. Экологическое и природоохранное значение таких исследований связано с выявлением долговременных последствий аварии на ЧАЭС и тенденций вторичного поступления гамма-излучающих техногенных радионуклидов, в том числе с водами Северо-Крымского канала в 2022–2023 г. [2].

Для изучения особенностей накопления радионуклидов *E. crinita* отбор растений проводили на 7 участках прибрежной зоны от м. Лукулл до м. Сарыч: в четырех особо охраняемых природных территориях (ООПТ), у пляжа парка Победа и м. Херсонес, вблизи стока городского коллектора в б. Голубая. Акватории исследуемых районов отличались по гидрохимическим показателям и степени загрязненности, что обусловлено разными типами природопользования. Для гамма-спектрометрических измерений на каждом участке на глубине от 0,5 до 1 м отбирали до 1 кг сырой массы эрикарии в летний период 2023 г. Накопление радионуклидов определяли отдельно для стволов (возраст от 3 до 5 лет) и крупных боковых и адвентивных ветвей (возраст от 3 до 8 месяцев). Пробы водорослей обрабатывали по стандартной методике [1], измерения проводили на базе ЦКП ФИЦ ИнБЮМ с использованием полупроводникового детектора на основе особо чистого германия и программного обеспечения ASW (НТЦ «РАДЭК», Санкт-Петербург, РФ), относительная погрешность результатов не превышала 20%. Оценку мощности поглощенной дозы облучения *E. crinita*, формируемой ¹³⁷Cs и ⁴⁰K, проводили по общепринятым методам [3 ; 5].

Установлено, что величина удельной активности ⁴⁰K в разных частях талломов *E. crinita* слабо варьирует независимо от района произрастания, тогда как у ¹³⁷Cs она существенно различается для стволов и ветвей для исследуемых акваторий. Наиболее высокие значения удельной активности ¹³⁷Cs выявлены в стволах и ветвях эрикарии (от 15±1,6 до 18±2 и от 31±3 до 44±3,9 Бк/кг сырой массы, соответственно) из прибрежной зоны природного заказника «Мыс Айя» (урочище Батилиман) и памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у Херсонеса Таврического» (вблизи пляжа б. Песочная). В других районах этот показатель был меньше в 2,1–4,5 раза и в 1,2–11 раз в стволах

и ветвях *E. crinita* соответственно. Минимальное значение удельной активности ^{137}Cs зафиксировано в растениях, отобранных вблизи пляжа парка Победа.

Впервые выполненный анализ удельной активности ^{137}Cs для разновозрастных частей талломов *E. crinita* показал, что ее величина у ветвей в 2,5–5 раз выше, чем в стволах на всех участках, независимо качества среды и типа природопользования. При этом значения удельной активности ^{137}Cs в талломах эрикарии достигали уровней, отмеченных после аварии на ЧАЭС с июля по ноябрь 1986 г. [1]. Выявленная закономерность более интенсивного накопления ^{137}Cs ветвями *E. crinita* связана, очевидно, с активными метаболическими процессами и может отражать онтогенетическую специфичность вида. С учетом задержки реакции эрикарии на радиоактивное загрязнение водной среды в течение одного года, полученные результаты свидетельствуют также о вторичном поступлении ^{137}Cs с водами р. Днепр в прибрежные акватории Черного моря после открытия Северо-Крымского канала в 2022 г. [2]. Рассчитанные мощности поглощенных доз, формируемые ^{137}Cs , варьировали в пределах $1,7 \cdot 10^{-5} – 1,3 \cdot 10^{-4}$ Гр/год и находились в «Зоне неопределенности» и «Зоне радиационного благополучия» по шкале Зон хронического действия ионизирующего излучения, предложенной Г. Г. Поликарповым [5].

Показано, что особенности накопления искусственного радионуклида ^{137}Cs разновозрастными частями талломов буровой водоросли *E. crinita* позволяют оценить вторичное загрязнение пост-аварийными радионуклидами прибрежных акваторий г. Севастополя с различным типом природопользования. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать *E. crinita* в качестве тест-объекта для ведения радиоэкологического мониторинга в других регионах Черного моря, где этот вид составляет основу макрофитобентоса прибрежной зоны.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации: 124030100127-7; 124022400148-4).

Список литературы

1. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б. и др. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
2. Mirzoeva N., Tereshchenko N., Korotkov A. Artificial radionuclides in the system: water, irrigated soils, and agricultural plants of the Crimea Region // Land. 2022. Vol. 11, iss. 9. Art. no. 1539 (22 p.). <https://doi.org/10.3390/land11091539>
3. US DOE. United States Department of Energy. DOE Standard. A Graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota // No. ENVR–0011: Third Printing, 2001. 347 p.
4. ICRP. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation // ICRP Publication 136. Ann. ICRP 46(2). 2017. 92 p.
5. Polikarpov G. G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionizing radiation in the environment // Radiation Protection Dosimetry. 1998. Vol. 75, iss. 1–4. P. 181–185. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a032225>

Определение скорости осадконакопления с помощью радиоизотопов плутония в прибрежных морских акваториях

Параксив А. А.* , Терещенко Н. Н., Прокурнин В. Ю., Чужикова О. Д., Вахрушев М. О.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Determination of sedimentation rate using plutonium radioisotopes in coastal marine areas

Paraskiv A. A.* , Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Chuzhikova O. D., Vakhruhev M. O.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ paraskiv@ibss-ras.ru

*Ключевые слова: радиоизотопы плутония, скорость осадконакопления, Севастопольская бухта,
Черное море*

На сегодняшний день радионуклиды антропогенного происхождения широко используются в качестве трассеров различных природных процессов, включая процессы осадконакопления [1]. При этом изучают вертикальное распределение радионуклидов в кернах донных отложений и, как правило, определяют максимумы удельной активности и соотносят их с годом поступления рассматриваемого радионуклида в экосистему. Однако в прибрежных акваториях данный подход не всегда может быть применим ввиду возможного периодического перемешивания поверхностного слоя донных осадков в результате штормов, биотурбации, якорных стоянок судов. Это приводит к тому, что профили вертикального распределения радионуклидов могут иметь несколько пиков, что существенно затрудняет датировку осадков. Для того чтобы более достоверно провести датировку донных отложений, используют различные изотопные отношения [1].

Среди антропогенных радиоизотопов, поступивших в Черное море, особое место занимают ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu [2]. Основными источниками их поступления в акваторию Черного моря являются глобальные радиоактивные выпадения после испытаний ядерного оружия в открытых средах и авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС). При этом данные источники характеризуются различной изотопной композицией плутония, отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в них отличается на порядок величин [2]. Ранее геохронологическую датировку донных отложений и определение скорости осадконакопления с использованием радиоизотопов плутония проводили в глубоководной части Черного моря [3], в прибрежных акваториях такие работы не выполняли. Целью данной работы было определение скорости осадконакопления с применением радиоизотопов плутония в прибрежной акватории на примере Севастопольской бухты (Черное море).

Исследования проводили в 2016–2020 гг. на пяти станциях в Севастопольской бухте и акватории ее внешнего рейда. Керны донных отложений глубиной до 42 см отбирали с маломерного судна с использованием акриловой трубы, оснащенной вакуумным затвором. В лаборатории керны нарезали на слои по 2 см, каждую пробу осадков подвергали стандартной радиохимической обработке, измерения проводили на альфа-спектрометре «ORTEC» [4].

В результате проведенных исследований получили профили вертикального распределения ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$, а также отношения $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в пяти кернах донных отложений. Слои осадка, в которых отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ на порядок величин превышало таковое в других слоях, датировали 1986 г., т.е. относили к выпадениям после аварии на ЧАЭС. Слой с максимальными значениями удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ датировали 1962 г., когда наблюдали самые интенсивные глобальные выпадения радиоизотопов плутония вследствие испытания ядерного оружия в открытых средах. Зная три реперные даты – 1962 г., 1986 г. и год отбора керна – рассчитывали скорость осадконакопления.

Установлено, что в акватории внешнего рейда Севастопольской бухты скорость осадконакопления в период 1962–1986 гг. составляла 4,8 мм/год, а в период 1986–2019 гг. – 5,0 мм/год, т.е. оставалась неизменной в рамках погрешности метода (10%). В устьевой части бухты скорость осадконакопления увеличилась в современный период: с 2,5 мм/год в период 1962–1986 гг. до 5,3 мм/год в период

1986–2016 гг. При этом для верховья бухты было определено уменьшение скорости осадконакопления с 7,5 до 3,7 мм/год в изученные периоды времени. Уменьшение скорости осадконакопления также было показано для центральной части бухты, но в меньшей степени, чем в ее верховье: с 6,4 мм/год в период 1962–1986 гг. до 4,2 мм/год в период 1986–2019 гг. Для бухты Южная, являющейся относительно изолированной акваторией в рамках Севастопольской бухты, скорость осадконакопления в период 1986–2020 гг. составляла 5,9 мм/год. Определение скорости осадконакопления для дочернобыльского периода в бухте Южная выполнить не удалось вследствие недостаточной глубины исследованного керна (21 см).

Полученные результаты об изменении скорости осадконакопления в некоторых районах Севастопольской бухты, по всей видимости, связаны со строительством гидротехнических сооружений как в акватории бухты, так и в ее водосборном бассейне. Так, в 1985 г. было завершено строительство моловых заграждений на входе в бухту, что вероятно повлекло за собой увеличение количества осадочного вещества в устьевой части бухты и, как следствие, привело к увеличению скорости осадконакопления. В период 1977–1984 гг. была увеличена высота дамбы Чернореченского водохранилища, что привело к увеличению его площади с 2,5 до 6 км². Вероятно, это привело к уменьшению стока реки Черной, впадающей в верховье Севастопольской бухты, и, следовательно, к уменьшению поступления с речным стоком взвешенного вещества и снижению скорости осадконакопления в верховье бухты.

Таким образом, в результате проведенных исследований на примере Севастопольской бухты показана возможность использования техногенных радиоизотопов плутония для определения скорости осадконакопления на полувековом масштабе в прибрежных морских акваториях.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ по научному гранту Аспиранты № 20-35-900041 и в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 124030100127-7.

Список литературы

1. Lindahl P., Lee S.-H., Worsfold P., Keith-Roach M. Plutonium isotopes as tracers for Ocean processes: a review // Marine Environmental Research. 2010. Vol. 69, iss. 2. P. 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.08.002>
2. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на Чернобыльскую аварию / под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
3. Проскурнин В. Ю., Терещенко Н. Н., Чужикова-Проскурнина О. Д., Гулин С. Б. Геохронологическая реконструкция депонирования плутония в глубоководных донных отложениях Чёрного моря // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58, № 6. С. 664–670. <https://doi.org/10.1134/S0869803118060097>
4. Методика измерений активности плутония-239,240,238 в пробах окружающей среды с радиохимическим концентрированием в ФГБУ «НПО «Тайфун». № в Реестре методик радиационного контроля МВИ 1.4.7-15. 2015. 25 с.

Тяжелые металлы в компонентах экосистем Северо-Крымского канала и связанных с ним сельхозугодий Крыма

Проскурин В. Ю.*, Мирзоева Н. Ю., Вахрушев М. О., Бердникова Т. П.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Heavy metals in ecosystems of the North Crimean Canal and related farmlands of Crimea

Proskurnin V. Yu.*, Mirzoeva N. Yu., Vakhrushev M. O., Berdnikova T. P.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ v_proskurnin@ibss-ras.ru

В период 2022–2024 гг. режим функционирования Северо-Крымского канала (СКК) постоянно изменялся, при этом канал периодически использовался для транспортирования воды р. Днепр и/или внутренних вод Крымского полуострова для обеспечения пресной водой отдельных населенных пунктов и сельскохозяйственных (с.-х.) угодий. Одним из важнейших показателей качества используемой воды является содержание в ней тяжелых металлов (ТМ). Также этот показатель подлежит обязательному мониторингу, как в пахотных почвах, так и в получаемых на них с.-х. культурах.

Цель настоящей работы состояла в оценке содержания ТМ в воде СКК, гидробионтах, донных отложениях и поливных почвах вдоль канала, а также выращиваемых на них с.-х. культурах. В цели работы входило также сопоставление полученных результатов с установленными в РФ санитарными нормами в отношении содержания ТМ в изучаемых объектах, определение количественных характеристик распределения этих элементов между водой, гидробионтами, почвами и с.-х. культурами.

Пробы воды, гидробионтов, донных отложений, почв орошаемых полей и выращиваемых на них с.-х. культур отбирались на севере и северо-востоке Крыма в период с мая 2023 г. по май 2024 г. Во всех пробах определяли 15 микроэлементов (Be, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl, Pb). Из воды извлечение определяемых элементов проводили путем их экстракционного концентрирования в виде диэтилдитиокарбаматов с помощью четыреххлористого углерода, из твердых образцов элементы извлекали путем их кислотной минерализации с использованием азотной кислоты и перекиси водорода. Определение содержания всех изучаемых элементов в кислотных концентратах и минерализатах проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре Plasma Quant MS Elite (AnalytikJena, Германия) в соответствии с ГОСТР 56219-2014 в НО ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Для оценки качества вод полученные значения концентраций элементов сравнивали с ПДК, установленными СанПиН 1.2.3.3685-21 для хозяйствственно-питьевого использования (ПДК_{хоз-пит}), применяемые к водам, используемым для орошения. За весь период исследования концентрации растворенных форм ТМ в воде не превышали ПДК_{хоз-пит}. Поскольку местное население вылавливает и употребляет в пищу рыбу, обитающую в канале, то полученные величины сравнивали также с ПДК, рекомендуемыми приказом N 552 Минсельхоза РФ от 13.12.2016 г. для вод водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{р-хоз}). В отношении ПДК_{р-хоз} однократно наблюдалось превышение впо цинку (на 40% ПДК_{р-хоз}) в июне 2023 г. в районе Красноперекопска, а также превышение содержания ванадия (на 13% ПДК_{р-хоз}) и меди (23% ПДК_{р-хоз}) в октябре 2023 г. в Керченском водохранилище, наполняемом посредством СКК. Эпизодические превышения ПДК_{р-хоз} в воде СКК по отдельным ТМ объясняются, по-видимому, низким уровнем воды в канале и концентрированием этих элементов за счет испарения.

Среди гидробионтов, обитающих в СКК анализировали содержание ТМ в представителях водной флоры (кладофора, рдест курчавый, уруть мутовчатая). На основании полученных концентраций ТМ в воде и растениях рассчитывали коэффициенты накопления (K_h) изучаемых элементов гидробионтами. K_h каждого из определяемых элементов для различных биологических видов, как правило, варьировались в пределах 1 порядка величин. Средние K_h для всех проанализированных представителей флоры убывали в ряду: Fe > Co > Se > Be > As > V > Tl > Zn > Pb > Ni > Cu > Ag > Sb > Mo > Cd.

Такое распределение K_n гидробионтами в отношении определявшихся элементов свидетельствует об их роли в извлечении различных элементов из воды (и таким образом самоочищения водной экосистемы). Наибольшее значение K_n было отмечено для Fe ($K_n = n \cdot 10^5$), для трех элементов Co, Se и Be K_n был на порядок ниже ($n \cdot 10^4$), еще на порядок меньше было значение K_n в отношении As, V, Tl, Zn, Pb, Ni, Cu и Ag ($n \cdot 10^3$), и наименьшие значения наблюдались для Sb, Mo и Cd ($n \cdot 10^2$).

Величины концентраций ТМ, определенные в почвах, сравнивали с ПДК, установленными для почв сельхозугодий (ПДК_п/ОДК_п) СанПиН 1.2.3685-21, учитывая также, что для земледелия в Крыму используются, прежде всего, каштановые почвы ($pH > 5.5$). Поэтому, в случаях, когда это применимо, использовали величины ПДК_п для глинистых и суглинистых почв с $pH > 5.5$. Во всех изученных районах почвы удовлетворяли требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по содержанию регламентируемых ТМ: V, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Pb.

Оценка качества с.-х. культур производилась по временным максимально допустимым уровням (МДУ) в зерне и зернофураже для с.-х. животных (утв. 07.08.87 г.) и ПДК_{прод} для круп, как продукта питания человека (утв. 31.03.86 г.). Из с.-х. культур, выращиваемых на полях Крыма, проанализированы пшеница яровая из с. Советское, пшеница озимая из с. Крепкое, рапс из пгт. Азовское, ростки гороха из с. Останино, а также крупы гороха, пшеницы и ячменя из с. Зорькино. В пшенице из с. Советское были превышены ПДК_{прод} по Cd (на 195%) и по Pb (на 40%), а также концентрации Zn достигли величины ПДК_{прод}. В горохе из с. Зорькино концентрации Cd превысили ПДК_{прод} на 276%. В отношении МДУ наблюдалось превышение по Fe (от 60 до 158%) в озимой пшенице, рапсе и горохе, по Ni в рапсе (на 79%) и бобах гороха (на 180%), практически во всех исследованных культурах отмечалось превышение МДУ по Se (от 127% до 680%), МДУ по Cd было превышено в стеблях пшеницы яровой из с. Советское (на 250%) и в бобах гороха с. Зорькино (на 25%). В зерне пшеницы яровой из с. Зорькино также был достигнут МДУ по Zn и на 24% превышен МДУ по Mo.

Для круп гороха, пшеницы и ячменя из с. Зорькино были рассчитаны коэффициенты перехода (K_n) определявшихся ТМ из почв в зерна и бобы. Для всех круп максимальные K_n наблюдались в отношении Mo, причем зерна пшеницы накапливали Mo в концентрациях до двух раз выше наблюдавшихся в почвах, а для гороха и ячменя K_n составили 0,85. В целом для гороха значимые ($n \cdot 10^{-2}$ и более) K_n ТМ уменьшались в ряду Mo > Zn > Cd > Se > Cu > Ni » As, для пшеницы в ряду Mo > Se > Zn > Cu » Cd > Ni > As, для ячменя ряд уменьшения K_n имел вид: Mo > Zn > Cu > Cd ≈ Tl » Se > As.

Таким образом, результаты исследования показали, что в 2023-2024 гг. вода, транспортируемая для хозяйственных нужд посредством СКК, соответствовала нормам, установленным в РФ в отношении содержания ТМ в воде хозяйствственно-питьевого пользования и орошения. Рассчитанные K_n водными растениями из СКК показывают, что механизм самоочищения вод канала от ТМ за счет накопления их растениями наиболее эффективен в отношении Fe, Co, Se и Be, а наименее эффективен в отношении Sb, Mo и Cd. Обнаружены превышения ПДК_{прод} и МДУ некоторых ТМ в с.-х. культурах, однако содержание этих ТМ в почвах в период наблюдений соответствовало нормам, установленным в РФ. Очевидно, что такая ситуация требует дополнительных мониторинговых исследований.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-26-00128 (<https://rscf.ru/project/23-26-00128/>) «Роль оросительной системы Северо-Крымского канала (СКК) в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводородов с днепровской водой на поливные сельхозугодия Крыма».

Техногенный радионуклид ^{137}Cs в дельте Меконга по результатам экспедиционных исследований в ноябре – декабре 2022 г.

**Сидоров И. Г.^{1*}, Терещенко Н. Н.¹, Мирзоева Н. Ю.¹, Нгуен Чонг Хиеп², Ву Тхи Минь Чау²,
Проскурнин В. Ю.¹**

¹Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Россия

²Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского
и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

**Man-made radionuclide ^{137}Cs in the Mekong Delta based on the results of expeditionary research
in November–December 2022**

Sidorov I. G.^{1*}, Tereshchenko N. N.¹, Mirzoeva N. Yu.¹, Nguyen Trong Hiep², Vu Thi Minh Chau², Proskurnin V. Yu.¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Southern Branch of Joint Russia-Vietnam Tropical Science and Technology Research Center,
Ho Chi Minh City, Vietnam

✉ sidorov@ibss-ras.ru

Ключевые слова: дельта Меконга, Восточное море, Южно-Китайское море, ^{137}Cs , вода, донные
отложения, взвешенное вещество

Одним из основных источников техногенного радиоактивного загрязнения водных экосистем в современный период является долгоживущий радионуклид ^{137}Cs с периодом полураспада 30,17 лет. В случае Восточного (Южно-Китайского) моря поступление ^{137}Cs происходило за счет глобальных радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия в открытых средах в 50-60-ые годы XX века, а также, в меньшей степени, вероятно, аварии на АЭС Фукусима [1 ; 2]. Дельта Меконга, реки которой впадают в Восточное море, является объектом интенсивной хозяйственной деятельности, важным источником минеральных и биологических ресурсов, крупнейшим сельскохозяйственным регионом Вьетнама [3]. Строительство гидроэлектростанций, добыча песка в Меконге, а также глобальное изменение климата приводят к нарушению гидрологического цикла и сокращению поступления речного осадочного материала в дельту и, как следствие – подъёму уровня морских вод и засолению почв и речных вод. С водами Восточного моря в дельту Меконга поступает в том числе и ^{137}Cs . Учитывая значение и современное экологическое состояние дельты, изучение особенностей радиоэкологии ^{137}Cs в этом регионе может представлять не только научный, но и практический интерес. Несмотря на это сведения по содержанию ^{137}Cs в воде, взвеси, донных отложениях дельты Меконга отсутствуют. Отбор проб воды, взвешенного вещества и 0–5 см слоя донных отложений проводили в руслах рек в нижней части дельты р. Меконг в ее восточном районе – р. Тиен и разветвлениях р. Тиен: пр. Хамлуонг, Митхо, Кыатиу и Кыадай в ноябре–декабре 2022 г. Активность ^{137}Cs в пробах определяли с помощью сцинтилляционного NaI(Tl) гамма-спектрометра НТЦ «Радэк».

Из 12 проб воды объемная активность растворенной формы ^{137}Cs была зафиксирована только на двух приморских станциях и составила $0,44 \pm 0,06$ и $1,09 \pm 0,24$ Бк/м³, с уровнем солености 4,8 и 9,0 ПЕС. На станциях, где активность ^{137}Cs была ниже предела детектирования ($<0,06$ Бк/м³), уровень солености не превышал 1,4 ПЕС. Это говорит о том, что источником поступления ^{137}Cs в дельту Меконга являются воды Восточного моря, где объемная активность растворенной формы ^{137}Cs в поверхностном слое воды у берегов Вьетнама составляла около 1,25–1,58 Бк/м³ [4]. При этом период ноября–декабрь относится к окончанию сезона дождей (май–октябрь) и началу сухого сезона (ноябрь–апрель), когда уровень воды в дельте всё ещё достаточно высок и проникновение морских вод, а значит и растворенной формы ^{137}Cs , незначительно и ограничивается приморскими районами. В сухой сезон морская вода проникает в дельту, и изогалина 4 ПЕС может наблюдаться на расстоянии

40–50 км от побережья, в засушливые годы – ещё на 20–25 км выше [5]. При смешении соленых морских и пресных речных вод происходит переход растворенного в морской воде ^{137}Cs на взвешенное вещество и, затем, – в донные отложения реки. Значения удельной активности ^{137}Cs на взвешенном веществе на большинстве станций, были сопоставимы между собой по порядку величины и находилась в диапазоне от ниже предела детектирования ($\sim 0,1$ Бк/кг) до 10,40 Бк/кг. На двух из трех реках, непосредственно впадающих в Восточное море, – Кыатиуеу и Кыадай, по мере продвижения вверх по течению, удельная активность взвешенной формы ^{137}Cs в целом снижалась. Для третьей реки – Хамлуонг, такой закономерности не наблюдалось, при этом на одной станции удельная активность ^{137}Cs была на порядок выше, чем на остальных станциях и составляла 124,4 Бк/кг.

В поверхностном слое донных отложений (0–5 см) удельная активность ^{137}Cs находилась в диапазоне величин от 5,72 до 25,26 Бк/кг. Для рек Кыатиуеу и Хамлуонг, которые непосредственно впадают в Восточное море, наибольшая активность ^{137}Cs наблюдалась на приморских станциях, с последующим снижением по мере удаления от побережья. В случае реки Кыадай такой закономерности не наблюдалось. Также на самых удаленных от побережья станциях на р. Тиен и в районе ответвления р. Митхо, активность составляла 20,75 и 21,32 Бк/кг, что сопоставимо с наибольшим значением, полученным нами на приморской станции р. Хамлуонг – 25,26 Бк/кг.

Работа подготовлена в рамках темы НИР Российско-Вьетнамского Тропического центра Эколан Э-3.4 «Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенно-го воздействия» и темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосисте-мами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» номер гос. регистрации 124030100127-7.

Список литературы

1. Aarkrog A. Input of anthropogenic radionuclides into the World Ocean // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2003. Vol. 50, № 17-21. P. 2597–2606. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00137-1)
2. Miroshnichenko O. N., Paraskiv A. A., Gulin S. B. Cesium-137 concentration in the surface waters of Eurasian seas: Evidence from the expedition research of 2017 // Geochemistry International. 2019. Vol. 57. P. 1349–1354. <https://doi.org/10.1134/S0016702919120073>
3. Statistical Yearbook of Vietnam 2012. Hanoi: Statistical Publishing House, 2013. 880 p.
4. Ngo N. T. et al. Acrylic fibers coated with copper hexacyanoferrate to determine ^{137}Cs activity in coastal seawater of Vietnam // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2020. Vol. 326, № 2. P. 919–924. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07374-4>
5. Binh D. V. et al. Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2020. Vol. 32. Art. no. 100742. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100742>

Радиоизотопы плутония $^{239+240}\text{Pu}$ в Черном море: долговременные тренды и распределение

Терещенко Н. Н.*, Прокурин В. Ю., Параксив А. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Radioisotopes of plutonium $^{239+240}\text{Pu}$ in the Black Sea: long-term trends and distribution

Tereshchenko N. N.*, Proskurnin V. Yu., Paraskiv A. A.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

✉ ntereshchenko@yandex.ru

Ключевые слова: радиоизотопы плутония $^{239+240}\text{Pu}$, Чёрное море, вода, гидробионты, донные отложения, накопление, распределение, самоочищающая способность водных масс

В современной радиоэкологической ситуации в Чёрном море радиоизотопы плутония ($^{239+240}\text{Pu}$) входят в состав основных альфа-излучающих дозообразующих техногенных радионуклидов, но уровни их удельной активности в компонентах черноморских экосистем низкие и они не влияют негативно на их функционирование. Кроме задач радиоэкологического мониторинга изучение присутствия $^{239+240}\text{Pu}$ в экосистеме моря позволило исследовать долговременные тренды их поведения: распределение, миграцию, накопление в компонентах морской экосистемы, элиминацию из водных масс, что важно с точки зрения познания фундаментальных закономерностей поведения радиоизотопов в природных экосистемах, а также с практической точки зрения для радиационной защиты живых организмов в условиях использования обществом ядерной энергии и планового или аварийного поступления радиоизотопов плутония в окружающую среду.

В результате проведенных исследований определены современные уровни содержания $^{239+240}\text{Pu}$ в компонентах экосистемы и их аккумуляционная способность – рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) $^{239+240}\text{Pu}$, (Кн составляли $n \times 10^2$ – $n \times 10^6$), с самыми высокими Кн у донных отложений ($n \times 10^5$ – $n \times 10^6$). Величина Кн определила ведущую роль иловых донных отложений в депонировании $^{239+240}\text{Pu}$ в экосистеме моря и донные отложения как критический биотоп, количественно охарактеризовала педотропный тип биогеохимического поведения плутония в Чёрном море. Анализ полученных данных позволил выявить особенности радиоэкологических закономерностей и биогеохимического поведения плутония в Чёрном море. Определены количественные параметры радиоэкологических и биогеохимических процессов миграции и перераспределения плутония и тенденции их изменения во времени. Рассчитан эффективный период полууменьшения $^{239+240}\text{Pu}$ и его увеличение во времени после аварии на ЧАЭС и резидентное время пребывания их в поверхностных черноморских водах и его увеличение во времени по мере уменьшения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностной воде.

Особенности перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ в море связаны как с условиями, сформировавшимися в Чёрном море. В частности, наличием глубинной сероводородной толщи вод, обильного речного стока, включая твердый сток, мезотрофным статусом вод, особенностями осадкообразования в разных районах моря, преимущественным распространением в море иловых донных отложений, так и со свойствами плутония, как поливалентного сорбционно активного элемента. Педотропный тип биогеохимического поведения плутония определил повышенную способность черноморских поверхностных вод к самоочищению, по сравнению с другими морями, в частности, со Средиземным морем, и барьерную функцию Чёрного моря в миграции плутония с водосборного бассейна Чёрного моря в другие моря средиземноморского бассейна.

Показано наличие в постчернобыльский период вторичного поступления плутония с повышенным отношением активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в донные отложения глубоководной зоны Чёрного моря. Отмечено, что в восточной части котловины моря это поступление пришло на первую половину

первого десятилетия XXI века и в меньшем количестве на начало второго десятилетия XXI века, а в западной части достоверного поступления плутония с измененной изотопной композицией в постчернобыльский период до 2013 г. не наблюдалось. Но в более поздний период оно было отмечено и в западной части моря как повышение удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностных водах акваторий, имеющих гидрологическую связь с северо-западной частью моря, в частности с Каркинитским заливом, куда поступали воды реки Днепр.

Установлено, что в современный период времени (первые десятилетия XXI века) продолжается поступление значимых количеств плутония в акваторию Чёрного моря с поверхностным стоком, при этом прибрежные акватории играют барьерную роль в отношении распространения этого плутония в глубоководные районы моря вследствие более интенсивных процессов осадкообразования и, следовательно, более интенсивного процесса самоочищения водных масс от радиоизотопов плутония в прибрежных районах.

В результате повышенной интенсивности депонирования плутония в донные отложения в прибрежных акваториях установлена различная роль прибрежных, шельфовых и глубоководных районов Чёрного моря в миграции плутония в экосистеме. Выявлены барьерная функция прибрежных акваторий в отношении миграции плутония по отношению к глубоководным районам моря, что выразилось в наличии потенциально критических зон в прибрежных черноморских акваториях в отношении $^{239+240}\text{Pu}$. Это нашло свое отражение в более высоких значениях потоков седиментационного депонирования $^{239+240}\text{Pu}$ в прибрежных районах по сравнению с глубоководной котловиной моря: от 2 до 14 раз выше в западной части и от 4 до 25 раз выше в восточной части моря. Выполнена оценка запасов $^{239+240}\text{Pu}$ в прибрежных акваториях и в западной и восточной части глубоководной котловины Чёрного моря и показано, что в прибрежных акваториях она может превышать таковую в глубоководных районах почти до 7 раз. Проведено количественное определение самоочищающей способности вод от $^{239+240}\text{Pu}$ путём оценки радиоёмкости кислородсодержащих и сероводородсодержащих водных масс моря, а также их ассимиляционной ёмкости.

Таким образом, изученные закономерности и количественные параметры перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ в Чёрном море позволили охарактеризовать основные тенденции перераспределения плутония в черноморской экосистеме в разных пространственных и временных масштабах. Выполнить оценку и прогноз радиоэкологического состояния акваторий при разной радиационной ситуации в черноморских акваториях в отношении $^{239+240}\text{Pu}$, а также охарактеризовать роль Чёрного моря в процессе миграции плутония в морях средиземноморского бассейна.

Работа выполнена по теме гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7)

Содержание микроэлементов в воде рек Кача, Бельбек и Чёрная (окрестности города Севастополя) во время паводкового и засушливого периодов

Чужикова О. Д.*, Проскурин В. Ю., Мирзоева Н. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

**The content of trace elements in the water of the Kacha, Belbek and Chernaya rivers (the environs
of the city of Sevastopol) during flood and drought periods**

Chuzhikova O. D.*, Proskurnin V. Yu., Mirzoeva N. Yu.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia

✉ chuzhikova@ibss-ras.ru

*Ключевые слова: микроэлементы (металлы и металлоиды), качество вод, река Кача, река Бельбек,
река Чёрная, город Севастополь*

Реки Кача, Бельбек и Чёрная относятся к основным рекам Крыма и Севастополя, каждая из которых имеет годовой объём стока порядка 50-75 млн. м³ пресной воды. Ввиду дефицита воды на полуострове сток рек зарегулирован созданием водохранилищ, прудов и водозаборов как для орошения, так и для водоснабжения населенных пунктов. В засушливый период (июль–сентябрь) уровень воды в реках резко падает. Периоды паводков и половодья характеризуются подъёмом воды до уровня одного метра и более, иногда достигая 2-6 метров [1].

Цель работы: определить влияние изменения режима стока рек Кача, Бельбек и Чёрная (окрестности города Севастополя) на содержание в воде микроэлементов (металлов и металлоидов), а также оценить безопасность использования речной воды для хозяйственных нужд в отношении содержания в ней этих элементов.

Пробы воды в реках Кача, Бельбек и Чёрная отбирали в марте и июле 2024 года, что соответствовало периодам высокого и низко уровня воды соответственно (разница в уровнях воды на всех реках составила около полуметра). В воде определяли концентрацию растворенных лабильных форм пятнадцати микроэлементов (Be, Se, Sb, Tl, V, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Mo, Co, Fe As, Ag) в соответствии с РД 52.10.243-92, а также – концентрацию этих элементов, связанных со взвешенным веществом, в соответствии с ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Измерения проводили в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 на масс-спектрометре с индуктивно связанный плазмой (ИСП-МС) Plasma Quant MS Elite (Analytik Jena AG) в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для оценки экологического состояния вод в реках проводилось сравнение полученных концентраций микроэлементов с нормативными значениями концентраций по «Голландским листам» (ПДК_{гл}) [2], а также с ПДК веществ в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_{хп}) (СанПиН 1.2.3685-21) и ПДК в воде водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) [3].

Согласно полученным данным наблюдаемые концентрации микроэлементов в речной воде не превышали ПДК_{хп} для всех нормируемых элементов. Сравнение результатов с нормативными значениями концентраций в воде водных объектов рыбохозяйственного значения показало, что обнаружены превышения ПДК_{рх} меди (1.06-1.83 мкг/л, ПДК_{рх} Cu = 1 мкг/л) (во всех реках в оба сезона, кроме летнего отбора проб в реке Чёрной) и цинка (21.84-66.36 мкг/л, ПДК_{рх} Zn = 10 мкг/л) (во всех реках во время весеннего пробоотбора и летом в реке Кача).

В отличие от отечественных нормативных документов в «Голландских листах» нормируются не только растворённые формы микроэлементов в воде, но и их общее содержание, включающее также элементы, связанные со взвешенным веществом [4]. Это особенно актуально в паводковый

период, когда мутность воды в реках резко возрастает, а концентрация общего взвешенного вещества увеличивается более чем в 100 раз, достигая значений до 500 мг/л (в реках Кача и Бельбек) при средних значениях в сухой сезон 2–4 мг/л.

Общее содержание микроэлементов в воде рек Кача и Бельбек в паводковый период превысило ПДК_{гл} никеля (12.79 и 9.27 мкг/л, ПДК_{гл} Ni_{общ} = 6.3 мкг/л), меди (9.45 и 6.88 мкг/л, ПДК_{гл} Cu_{общ} = 1.5 мкг/л), цинка (47.93 и 44.44 мкг/л, ПДК_{гл} Zn_{общ} = 40 мкг/л) и ванадия (8.43 и 6.25 мкг/л, ПДК_{гл} V_{общ} = 5.1 мкг/л), а в реке Кача – еще кобальта (3.17 мкг/л, ПДК_{гл} Co_{общ} = 2.8 мкг/л) и бериллия (0.22 мкг/л, ПДК_{гл} Be_{общ} = 0.2 мкг/л). В реке Чёрной превышение ПДК_{гл} общего содержания микроэлементов обнаружено только в отношении цинка (68.64 мкг/л, ПДК_{гл} Zn_{общ} = 40 мкг/л) в весенний сезон. Следует отметить, что нормативные значения в «Голландских листах» для растворённых форм микроэлементов близки к значениям ПДК_{px}, а потому ранее описанные превышения ПДК_{px} меди и цинка являются превышениями и данных норм.

В результате проведённого исследования можно сделать вывод, что паводковый период значительно влияет на содержание микроэлементов в речной воде, особенно в реках Кача и Бельбек, где концентрация общего взвешенного вещества увеличивается более чем в 100 раз, а некоторая часть микроэлементов, связанных со взвешенным веществом, может переходить в растворённую форму. В данный период для безопасного использования речной воды в хозяйственных целях необходима её предварительная фильтрация или отстаивание. Кроме того целесообразно проводить мониторинг содержания меди и цинка, как потенциально критических элементов, во всех реках независимо от сезона.

Исследование выполнено по теме госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы

1. Дегтерев А.Х. Заполнляемость водохранилищ Крыма в период перекрытия Северо-Крымского канала : монография / Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Севастополь : СевГУ, 2022. 70 с. URL <http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/10133>
2. Warmer H., van Dokkum R., Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001, RIZA report 2002.009, Lelystad, 2002, 77 p.
3. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «II. Для водных объектов» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Справочник. / Пермь: Экология, 2016. 296 с.
4. Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Chuzhikova-Proskurnina O. D., Nguyen Trong Hiep. Dissolved and particulate metals and metalloids in the eastern Mekong Delta, Vietnam // Marine Pollution Bulletin, 2024. Vol. 206. Art. no. 116679 (10 p.). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116679>

Именной указатель

Amback B. C., 319, 322
Battemarco B. P., 319, 322
Bologna A. S., 65
Carvalho R. L. de, 310
Cosenza C. A. N., 310
Gomes M. V. R., 319
Guimarães L. F., 319
Guimarães L. G., 322
Krykhtine F. P., 310
Magalhães P. C. de, 319, 322
Magalhães P. M. C. de, 319, 322
Matey C., 196
Mattos R. R. de, 319
Miguez M. G., 319, 322
Mora-Camino F., 310
Neto H. M., 319, 322
Nguyen Trong Hiep, 237, 247, 378
Olanrewaju O. A., 310
Rezende O. M., 319, 322
Soares B. B., 322
Sousa M. M., 319
Thomaz F. R., 319, 322
Tripathi A., 196
Velez L. T., 319, 322
Veról A. P., 319
Vo T. H., 40, 68
Vu Thi Minh Chau, 237, 247, 378
Whipps C. M., 68

А

Алатарцева О. С., 116
Александров В. В., 26
Алексенко Т. Л., 23
Алемов С. В., 239
Алёмова А. С., 138
Алёмова Т. Е., 234
Алимова А. Ш., 184
Андреев Ю. А., 328
Андреева А. Ю., 140, 148, 285, 287
Андреенко Т. И., 182
Андросова В. И., 122

Аношко П. Н., 44
Ануфриева Е. В., 108, 194, 250
Арнаутов М. В., 252
Артемов Р. В., 252
Артёмов Ю. Г., 325
Архипова С. И., 216

Б

Бабич И. И., 104
Басова М. М., 77
Беликов С. И., 135
Беляев П. С., 225
Беляков В. П., 71
Бердникова Т. П., 376
Бобровская А. В., 188
Бовсун М. А., 358
Богачева Е. А., 125, 140
Богданович Ю. В., 150
Бондарева Л. В., 26
Борисова Д. С., 104
Боровков А. Б., 285
Бочарова Е. А., 122
Бочкина Е. В., 294
Братанов Н. С., 205
Будников А. А., 326, 333, 341
Бурдиян Н. В., 239, 362
Буфетова М. В., 198
Бухарицин П. И., 118

В

Васильева О. Б., 142
Вахрушев М. О., 364, 374, 376
Водясова Е. А., 171, 296
Войцеховская В. В., 200
Волкова М. С., 87
Волынец А. В., 252
Воробьев Д. С., 228, 241
Воробьев Е. Д., 241
Воронин В. П., 144, 154
Воронцова М. М., 28
Вохмянин Б. Н., 209

Г

Гаврюсева Т. В., 165, 287
Гайдамаченко В. Н., 184
Гайко Л. А., 254, 257
Гамахария П. Д., 66
Гарькуша Д. Н., 328, 356
Гершелис Е. В., 345, 348, 350
Гершунская В. В., 252
Глаголев М. В., 352
Гогорев Р. М., 120
Головина И. В., 150
Горбунов Р. В., 91, 205, 207, 260
Горбунова Т. Л., 202
Горбунова Т. Ю., 91, 205, 207
Гостюхина О. Л., 148, 173
Грабович М. Ю., 138
Гречаник В. И., 301
Гречушникова М. Г., 330
Гринберг Е. В., 262
Грязнова А. С., 333
Губелит Ю. И., 73
Гуленова Т. В., 223
Гулина Л. В., 216
Гусев Е. А., 335

Д

Давидович Н. А., 87, 154
Давидович О. А., 154
Дбар Р. С., 66
Денисенко А. Д., 186
Денисов Д. Б., 231
Дзюба Е. В., 44
Дикарева Ю. Д., 265
Дмитриева Е. В., 31, 40
Дмитрик Л. Ю., 356
Довгаль И. В., 33
Дорошенко Ю. В., 362
Доценко И. В., 356
Доценко Н. В., 356
Дрыгваль А. В., 303, 305
Дрыгваль П. В., 303, 305
Дылгерова С. Д., 220

Е

Егоров В. Н., 368
Елькин В. П., 306, 308
Ерохина И. А., 146
Ефимова Д. И., 35
Ефимова Т. В., 55, 64, 82
Ефремов Д. А., 142, 152, 175

З

Захарков С. П., 113
Звездин А. О., 75
Зеленин И. С., 138
Зикунова О. В., 186

И

Иваницкий А. Н., 37
Иванова А. В., 366
Иванова И. Н., 326, 333
Игнатьева Д. А., 182, 207
Ильина О. В., 212
Ильинский В. В., 212
Ипатова В. И., 212

К

Кавцевич Н. Н., 146
Казанцев В. С., 354
Канаева А. В., 40
Кандаурова Д. А., 26, 42
Канцерова Н. П., 267
Капранов С. В., 265
Капранова Л. Л., 265
Каракозова М. В., 121
Карпов С. А., 190
Карпова Е. В., 228
Картунен А. С., 122
Кезля Е. М., 280
Келип А. А., 260
Кириенко Е. С., 87
Кирильчик С. В., 44
Кирин М. П., 165
Кладченко Е. С., 125, 140, 148, 192, 287
Клюева М. В., 165
Ковалев Е. А., 328
Ковалев Л. И., 157
Ковалева И. В., 104
Ковалева М. А., 157
Колотей А. В., 75
Коляда М. Н., 46
Копытина Н. И., 122
Коржавин А. В., 209
Коржавина Т. Н., 209
Корнийчук Ю. М., 31
Королесова Д. Д., 48
Коротков А. А., 237, 366, 372
Кохан А. С., 150
Кочнева А. А., 152
Красильникова А. А., 46
Краснова Е. А., 326, 333
Крашенинникова С. Б., 77

Кременецкая Е. Р., 330
Кривенок Л. А., 354
Кривова З. В., 278
Крупнова М. Ю., 175
Крылов А. А., 335
Крылов О. В., 333
Кузнецова М. В., 175, 267
Кулепанов В. Н., 269
Куликовский М. С., 278
Кухарева Т. А., 140, 169
Кучер К. М., 341, 343

Л

Лавриченко Д. С., 125, 140, 148, 192, 287
Лазарева А. М., 212
Лантушенко А. О., 194
Латушкин А. А., 113
Левакин И. А., 296
Ли Р. И., 77
Линева Н. П., 205
Литти Ю. В., 352
Логвина Е. А., 335, 337
Ломов В. А., 330, 354
Ломова Д. В., 330
Луцый С. А., 28
Лысенко В. И., 339
Лысенко Л. А., 267

М

Макаров М. М., 44, 341, 343
Малахова Л. В., 200
Малахова Т. В., 200, 326, 333, 341, 343
Мальцев В. Н., 272, 275
Мальцев Е. И., 278
Мальцева И. А., 127
Мальцева С. Ю., 280
Манойлова Д. И., 154
Матвеева Т. В., 337
Мельников В. В., 79
Меньших Т. Б., 214
Мещанкина В. С., 184
Мильчакова Н. А., 26, 372
Минина Н. В., 104
Минкина Н. И., 77
Миннурлин Д. Д., 280
Мирзоева Н. Ю., 200, 216, 234, 364, 366, 368, 370, 372, 376, 378, 382
Миронов А. В., 280
Мирошниченко О. Н., 370
Михайленко А. В., 356
Михайлова З. Б., 218

Михайлова Л. Н., 218
Моисеев С. И., 157
Моисеева Н. А., 55, 64, 82
Моисеева С. А., 157
Моисеева Ю. А., 345, 348, 350
Мороз Н. А., 165
Морозова Е. А., 106
Мосейченко И. Н., 200, 216, 366, 370, 372
Москвитина М. И., 138
Муравская У. О., 186
Мурзина С. А., 142, 144, 152, 154, 175

Н

Назаров П. А., 121, 129
Намсараев З. Б., 106
Небесихина Н. А., 184
Некрасов И. С., 177
Немова Н. Н., 175
Нестерова О. В., 358
Никифорова А. А., 205
Никольский В. Н., 160
Никонова А. А., 220
Новикова Л. А., 157

О

Оберемок И. А., 345, 348
Овечко С. В., 83, 200
Орлов А. М., 282, 298
Осипова В. П., 46

П

Пакусина А. П., 223
Панова Ю. А., 135
Пантелеева Н. Н., 50
Параскив А. А., 237, 364, 374, 380
Парфёнов В. В., 285
Парфенова И. А., 169
Паршуков А. Н., 267
Пахомов М. В., 163
Пашкова Г. В., 220
Педченко А. П., 225
Пильгандук О. А., 186
Пионтковский С. А., 85
Подольская М. С., 140, 148, 192, 287
Позолотина В. Н., 218
Половинкина М. А., 46
Полякова С. Л., 87
Попов Ю. В., 356
Прокопов Г. А., 23
Проскурин В. Ю., 237, 247, 364, 374, 376, 378, 380, 382
Прохорова Е. Е., 188

Пургина Д. В., 345, 348, 350

Р

Рахматуллина С. Н., 241
Редников А. Р., 228
Репина И. А., 354
Родин М. А., 175
Рокотова А. Г., 169
Рольский А. Ю., 144
Рудакова С. Л., 289, 294
Рыбаков М. О., 225
Рылькова О. А., 192
Рычкова В. Н., 150, 169, 173
Рябогина В. Г., 372
Рябушко В. И., 265

С

Сабреков А. Ф., 352
Савенков В. В., 186
Савицкий В. А., 356
Сагадатова Р. Р., 131
Салюк П. А., 113
Самотой Ю. В., 89
Самсонов А. Н., 306, 308
Самышев Э. З., 77
Сапсай А. О., 106
Сафонова М. С., 91, 205
Светочев В. Н., 292
Светочева О. Н., 292
Свирида Н. М., 354
Селюк А. О., 190
Селюков А. Г., 177, 306, 308
Семенов П. Б., 335
Семенова А. С., 93
Сербин А. Д., 165, 179
Сергеева Н. Г., 52
Серебренников А. Н., 79
Серебрякова М. К., 171, 296
Сергин С. А., 77
Сигачева Т. Б., 165
Сидоров И. Г., 237, 370, 378
Скворцов В. В., 96
Скворцова Е. Г., 133
Скороход Е. Ю., 55, 64, 82
Скуратовская Е. Н., 165, 179
Слепушкина Е. А., 167
Смагин А. И., 214
Смирнова М. В., 231
Солдатов А. А., 150, 169, 173, 182
Соловченко А. Е., 233
Соловьёва О. В., 234, 362

Сотникова Ю. С., 228

Старовойтов А. Н., 225
Стельмах Л. В., 98, 104, 116, 131
Стецюк А. П., 236, 341
Столяров А. П., 57
Студёнова М. А., 28
Суханова Л. В., 44
Суховская И. В., 267
Сырбу Н. С., 341

Т

Табунщик В. А., 91, 205
Талпа Б. В., 328, 356
Тамбиева Н. С., 328
Тамойкин И. Ю., 100
Тарасов В. Е., 294
Таскаева А. И., 223
Терентьев А. С., 102
Терентьева И. Е., 352
Терещенко Н. Н., 237, 247, 368, 374, 378, 380
Тетерина В. И., 44
Тихонова Е. А., 234, 239, 362
Ткаченко Ю. С., 239
Ткачук А. А., 140, 285
Токмакова А. С., 171, 296
Токранов А. М., 60
Торгашкова О. Н., 35
Трошина И. Л., 330
Труфанова Е. Е., 35
Тупоногов В. Н., 282, 298

У

Ульченко В. А., 225
Уппе В. А., 171, 296
Устинов Н. Б., 354
Уткин Я. А., 62

Ф

Фаерман А. В., 205
Фам К. Н., 205
Фарбер А. А., 104
Фёдоров Ю. А., 328, 356
Федорова Л. П., 330
Федосов Д. Ю., 106
Федотов А. П., 44
Филинская О. В., 133
Фокина Н. Н., 267
Франк Ю. А., 228, 241

Х

Ханаев И. В., 220
Хурчак А. И., 326, 333, 341

Ц

Цыганков А. А., [301](#)

Ч

Чекмарева Е. А., [243](#)

Чекмарёва Т. М., [179](#)

Челебиева Э. С., [125](#), [140](#), [148](#), [192](#), [287](#)

Черезова В. М., [44](#)

Черкашина С. В., [127](#)

Чернова Е. Н., [245](#)

Черногор Л. И., [135](#)

Чернышева Е. Б., [42](#), [167](#)

Чесалин М. В., [260](#)

Чиндявская А. Н., [220](#)

Чудиновских Е. С., [79](#)

Чужикова О. Д., [247](#), [374](#), [382](#)

Чурилова Т. Я., [55](#), [64](#), [82](#)

Ш

Шадрин Н. В., [108](#), [194](#)

Шалагина Н. Е., [150](#), [169](#), [173](#)

Шаповалова В. Е., [194](#)

Шарапова Л. И., [110](#)

Швалов Д. А., [358](#)

Шевелёва М. П., [157](#)

Шик Н. В., [339](#)

Штрайхерт Е. А., [113](#)

Шульгина Н. С., [175](#)

Шуман Л. А., [177](#)

Ю

Юрахно В. М., [31](#), [68](#)

Юрманов А. А., [278](#)

Юрчак М. И., [120](#)

Я

Яцук А. В., [358](#)

Table of contents

Biodiversity of aquatic and terrestrial ecosystems and its conservation

Aleksenko T. L., Prokopov G. A.	
Annelida (Annelida) of the steppe zone of the Salgir River (Republic of Crimea)	23
Bondareva L. V., Alexandrov V. V., Milchakova N. A., Kandaurova D. A.	
Recent data on the distribution of the threatened vascular plant species in the State Natural Landscape Preserve “Laspi” (Sevastopol)	26
Vorontsova M. M., Studenova M. A., Lutsyk S. A.	
Research of macrozoobenthos littoral diversity based on the results of monitoring in the period from 2020 to 2023 on Kii Island	28
Dmitrieva E. V., Kornyychuk Y. M., Yurakhno V. M.	
Invasive parasites and their impact on the diversity of Azov-Black Sea marine ecosystems and mariculture	31
Dovgal I. V.	
Epibiosis of ciliates on isopod crustaceans as an example of the development of relationships “epibiont-basibiont”	33
Efimova D. I., Torgashkova O. N., Trufanova E. E.	
Seed bank of adventitious plant species of forest communities on carbonate soils	35
Ivanitzky A. N.	
Ecological consequences of the Georgian–Abkhazian war of 1992–1993 for bats (Chiroptera) of Abkhazia	37
Kanaeva A. V., Dmitrieva E. V., Vo Thi Ha	
Monogeneans of the family Monocotylidae parasitising stingrays off Vietnam	40
Kandaurova D. A., Chernysheva E. B.	
Features of functional parameters of macroalgae of epiphytic and longline synusia of cystic phytocenoses in protected water areas	42
Kirilchik S. V., Cherezova V. M., Teterina V. I., Makarov M. M., Anoshko P. N., Sukhanova L. V., Fedotov A. P., Dzyuba E. V.	
Environmental DNA as an effective quantitative and qualitative marker in assessing the diversity of the Baikal omul	44
Kolyada M. N., Polovinkina M. A., Osipova V. P., Krasilnikova A. A.	
Effect of hybrid phenolic derivatives on superoxide dismutase and catalase activities of African catfish sperm (<i>Clarias gariepinus</i> Burchell, 1822)	46

Koroliesova D. D.	
Using of the macrobenthos functional diversity indices for monitoring of the aquatic ecosystems state on the protected areas	48
Panteleeva N. N.	
Hydroids <i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa) from the water area of the Barents Sea	50
Sergeeva N. G.	
A modern conclusion on the invalidity of the concept “lifelessness” of the permanent anaerobic and hydrogen sulfide zone of the Black Sea	52
Skorokhod E. Yu., Churilova T. Ya., Moiseeva N. A., Efimova T. V.	
Validation of Sentinel-3/OLCI L2 products in the Sea of Okhotsk and Pacific Ocean near the Kamchatka Peninsula	55
Stolyarov A. P.	
Spatial structure and species diversity of macro- and pseudomeiobenthos in lagoon ecosystems of the region of the Kislay lip (Kandalaksha Bay, White Sea)	57
Tokranov A. M.	
Food specialization of sculpins of genus <i>Gymnoanthus</i> (Cottidae) in Far Eastern and Arctic waters of Russia	60
Utkin Y. A.	
Genetic diversity of <i>Carassius gibelio</i> in North Asia	62
Churilova T. Ya., Efimova T. V., Moiseeva N. A., Skorokhod E. Yu.	
Regional variations in bio-optical properties of different regions of global ocean: Arctic, Southern and Pacific oceans, Black, Azov, Norwegian, Barents and Okhotsk seas, Baikal and Teletskoye lakes	64
Bologa A. S.	
In the footsteps of the Romanian biologist Emil Racovitza in Antarctica	65
Dbar R. S., Gamakhariya P. J.	
Dynamics of the content of total lipids in the body of the European anchovy <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758), wintering in the water area of Abkhazia in the fishing season 2023/2024	66
Yurakhno V. M., Vo T. H., Whipps C. M.	
New data on the myxosporean fauna of genus <i>Zschokkella</i> and <i>Kudoa</i> in the Eastern Sea (Vietnam) fish	68

Structure, functioning and dynamics of aquatic and terrestrial ecosystems

Belyakov V. P.	
The structure and functioning of the zoobenthos communities of urban reservoirs and watercourses of St. Petersburg	71
Gubelit Yu. I.	
Opportunistic macroalgae as a component in assessment of the state of the coastal zone	73
Zvezdin A. O., Kolotei A. V.	
Migration as an adaptive response of lamprey larvae to low oxygen content in the river	75

Krasheninnikova S. B., Lee R. I., Minkina N. I., Seregin S. A., Basova M. M., Samyshev E. Z. Interannual dynamics of the plankton community and the factors determining it in the coastal waters of Sevastopol	77
Melnikov V. V., Serebrennikov A. N., Chudinovskikh E. S. Climatic changes in the Black Sea epipelagic ecosystem	79
Moiseeva N. A., Churilova T. Ya., Skorokhod E. Yu., Efimova T. V. Dependence of fluorescence intensity on chlorophyll <i>a</i> concentration in the waters of the Kamchatka Peninsula	82
Ovechko S. V. Determination of water bodies type-specific sections in the lower reaches of the Dnieper with the higher aquatic vegetation	83
Piontkovski S. A. Health of World Ocean shelf ecosystems, water dynamics and anthropogenic loads	85
Polyakova S. L., Davidovich N. A., Kirienko E. S., Volkova M. S. Seasonal cycle of the planktonic diatoms from the genus <i>Pseudo-nitzschia</i> in the waters of the Karadag Nature Reserve	87
Samotoi Iu. V. Annual dynamics of the gonado-somatic index of two morphological forms of <i>atherina A. boyeri</i> off the coast of Crimea	89
Safonova M. S., Tabunshchik V. A., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Y. Heat budget of downy oak forests using the example of the Karadag Nature Reserve	91
Semenova A. S. Monitoring of methane bubble emission and hydrological parameters in Laspi Bay (Crimea)	93
Skvortsov V. V. The use of artificial neural networks in limnology: experience in quantitative assessment of the primary production of small lakes	96
Stelmakh L.V. Transformation of the structure and functional characteristics of Black Sea phytoplankton under the influence of climate change and anthropogenic pressure	98
Tamoikin I. Yu. Linear dimensions of <i>Diplodus puntazzo</i> Walbaum, 1792 at the first maturation (Crimea, Black Sea)	100
Terentev A. S. Zoobenthos of the sandy soil of the Maria Magdalena bank (northeastern part of the Black Sea)	102
Farber A. A., Stelmakh L. V., Babich I. I., Kovaleva I. V., Borisova D. S., Minina N. V. Structural and functional characteristics of phytoplankton during the summer bloom of coccolithophorides <i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler in the coastal waters of the Black Sea	104
Fedosov D. Y., Morozova E. A., Sapsay A. O., Namsarayev Z. B. An overview of the factors determining, limiting and ensuring the grape varieties' yield on the main viticultural terroirs of Russia	106

Shadrin N. V., Anufrieva E. V.	
Multiplicity of stable states of aquatic ecosystems and adaptive use of their biological resources	108
Sharapova L. I.	
The current state of zooplanktocoenoses of mountain Kolsai lakes southeast Kazakhstan	110
Shtraikhert E. A., Salyuk P. A., Latushkin A. A., Zakharkov S. P.	
The chlorophyll-<i>a</i> content distribution in the Atlantics Southern Ocean sector and its seasonal variability in 2021–2022 according to ship and satellite data	113

Environmental microbiology and algology

Alatartseva O. S., Stelmakh L. V.	
Long-term and short-term acclimation of the Black Sea diatom <i>Ditylum brightwellii</i> to extremely high light intensities	116
Bukharitsin P. I.	
Monograph “Phytoplankton of the lower reaches of the river Volga and the northern part of the Caspian Sea”	118
Gogorev R. M., Yurchak M. I.	
Diatom collections in Herbarium of the Komarov Botanical Institute RAS (LE) as the base for study and conservation of biodiversity	120
Karakozova M. V., Nazarov P. A.	
Adaptation of microorganisms to changing salinity conditions in ecosystems	121
Kartunen A. S., Kopytina N. I., Bocharova E. A., Androsova V. I.	
Associations of microscopic fungi with bivalve mollusks in the northern part of the Black Sea	122
Lavrichenko D. S., Kladchenko E. S., Bogacheva E. A., Chelebieva E. S.	
Morphofunctional characteristics of the green microalga <i>Coccomyxa parasitica</i> in accumulation culture	125
Maltseva I. A., Cherkashina S. V.	
Assessment of <i>Chlorococcum oleofaciens</i> (Chlorophyceae) growth and biofixation of CO₂	127
Nazarov P. A.	
Arctic microorganisms and their adaptation to environmental changes	129
Sagadatova R. R., Stelmakh L.V.	
Characteristics of three strains of Black Sea algoviruses and their impact on microalgae	131
Skvortsova E. G., Filinskaya O. V.	
Biodiversity of gut microbiomes of aquaculture fish and poultry	133
Chernogor L. I., Panova Yu. A., Belikov S. I.	
Changes in the composition of microbial communities of the Baikal sponge <i>Lubomirskia baicalensis</i>	135

Physiology and biochemistry of adaptation processes of aquatic organisms

Andreyeva A. Yu., Kukhareva T. A., Kladchenko E. S., Podolskaya M. S., Tkachuk A. A., Lavrichenko D. S., Bogacheva E. A., Chelebieva E. S.	
Combined effect of water acidification and hypoxia on Mediterranean mussels (<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819)	140

Vasil'eva O. B., Efremov D. A., Murzina S. A.	
Lipid composition of lipoproteins of pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) during spawning migration	142
Voronin V. P., Rolskii A. Y., Murzina S. A.	
The role of different lipid classes in the adaptation mechanisms of the beaked redfish (<i>Sebastes mentella</i>) during vertical movements in the mesopelagic zone (North Atlantic)	144
Erokhina I. A., Kavtsevich N. N.	
Application of thermography to assess the physiological and functional state of true seals	146
Kladchenko E. S., Podolskaya M. S., Gostyukhina O. L., Lavrichenko D. S., Andreyeva A. Yu., Chelebieva E. S.	
The functional changes of hemocytes and the shift of the redox balance in the mantle of the Pacific oyster (<i>Magallana gigas</i> Thunberg, 1793) caused by shell damage by the boring sponge (<i>Pione vastifica</i> Hancock, 1849)	148
Kokhan A. S., Soldatov A. A., Golovina I. V., Bogdanovich Yu. V., Shalagina N. E., Rychkova V. N.	
Metabolic restructuring of the Mediterranean mussel <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819) under conditions of acute hypoxia	150
Kochneva A. A., Efremov D. A., Murzina S. A.	
The changes in the blood plasma proteome of the pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) during spawning migration	152
Manoilova D. I., Davidovich O. A., Davidovich N. A., Voronin V. P., Murzina S. A.	
Differences in the lipid and fatty acid profile of a representative of the genus <i>Nitzschia</i> (Bacillariophyta) in terms of salinity	154
Moiseeva S. A., Moiseev S. I., Kovalev L. I., Kovaleva M. A., Novikova L. A., Shevelyova M. P.	
Proteomic analysis of the hemocyanin from the red king crab <i>Paralithodes camtschaticus</i> of the West Sakhalin population at different stages of the molt cycle	157
Nikolsky V. N.	
Variability in the fat content of Black Sea sprat throughout an annual cycle	160
Pakhomov M. V.	
Automation of behavioral experiments with marine mammals	163
Sigacheva T. B., Gavruseva T. V., Skuratovskaya E. N., Kirin M. P., Moroz N. A., Klyueva M. V., Serbin A. D.	
Safety Assessment of the Ultrasound Equipment Effect on the State of Some Fish Species of the Black Sea	165
Slepushkina E. A., Chernyshova E. B.	
Lipid composition of mass species of red algae in the coastal zone of Sevastopol (Black Sea)	167
Soldatov A. A., Parfenova I. A., Shalagina N. E., Rychkova V. N., Rokotova A. G., Kukhareva T. A.	
Causes and consequences of spontaneous increase in methemoglobin concentration in the blood of fish	169
Uppe V. A., Vodiasova E. A., Serebriakova M. K., Tokmakova A. S.	
Investigation of <i>Mytilus galloprovincialis</i> immune response to <i>Nematopsis legeri</i> infection	171

Shalagina N. E., Gostyukhina O. L., Rychkova V. N., Soldatov A. A.	
Oxidative stress parameters in black scorpionfish <i>Scorpaena porcus</i> (Linnaeus, 1758) exposed to cold shock	173
Shulgina N. S., Kuznetsova M. V., Rodin M. A., Krupnova M. Yu., Efremov D. A., Nemova N. N., Murzina S. A.	
Activity of enzymes of energy and carbohydrate metabolism in the organs of pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Salmonidae) from three locations of the migration route to spawning	175
Shuman L. A., Selyukov A. G., Nekrasov I. S.	
Reproductive parameters of whitefishes in the Ob–Irtysh basin	177
Serbin A. D., Skuratovskaya E. N., Chekmareva T. M.	
Influence of polychlorinated biphenyls on biochemical parameters of the Mediterranean mussel <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck	179

Molecular biology and genetics of aquatic organisms

Ignateva D. A., Andreenko T. I., Soldatov A. A.	
The relationship of the somatic growth of bivalves with the RNA/DNA index and expression of growth genes	182
Nebesikhina N. A., Alimova A. Sh., Gaidamachenko V. N., Meshchankina V. S.	
Genetic diversity in the broodstock of sturgeon species at the Grivenski sturgeon farm and proposals for their rational use	184
Pilganchuk O. A., Muravskaya U. O., Savenkov V. V., Denisenko A. D., Zikunova O. V.	
Study of the population genetic structure of sockeye salmon (<i>Oncorhynchus nerka</i>) in the Kamchatka River basin	186
Prokhorova E. E., Bobrovskaya A. V.	
Pattern recognition receptors from hemocytes of molluscs <i>Planorbarius corneus</i> (Gastropoda, Pulmonata)	188
Seliuk A. O., Karpov S. A.	
First molecular-genetic study of marine representative aphelids – parasite of green algae <i>Rhizoclonium</i> – and peculiarities of its life cycle	190
Chelebieva E. S., Podolskaya M. S., Rylkova O. A., Lavrichenko D. S., Kladchenko E. S.	
Taxonomic Identification of the Boring Sponge (Family Clionaidae) Associated with the Pacific Oyster (<i>Magallana gigas</i>) in the Sevastopol Water Area	192
Shapovalova V. E., Lantushenko A. O., Shadrin N. V., Anufrieva E. V.	
Looking for methods for DNA extraction from green filamentous algae <i>Cladophora</i> spp.	194
Matey C., Tripathi A.	
Redescription of one species and description of one new species of <i>Dactylogyrus</i> Diesing, 1850 (Platyhelminthes: Monogenea) from <i>Devario aequipinnatus</i> (McClelland, 1839) (Cyprinidae: Danionidae) in Arunachal Pradesh, India	196

Problems of pollution of aquatic ecosystems and marine radiochemoecology

Bufetova M. V.	
Dynamics of multi-year variability of copper and zinc content in the Azov Sea water (1991–2023)	198

Voytsekhovskaia V. V., Malakhova L. V., Mirzoeva N. Yu., Moseychenko I. N., Malakhova T. V., Ovechko S. V.	
Reconstruction of the input of DDT and its metabolites into the bottom sediments of the Salgir River (Crimea)	200
Gorbunova T. L.	
Biotesting of Black Sea coastal waters impacted by river drainage within the Greater Sochi area using the diatom algae <i>Phaedactylum tricornutum</i> B.	202
Gorbunova T. Yu., Gorbunov R. V., Bratanov N. S., Pham C. N., Safonova M. S., Faerman A. V., Tabunschik V. A., Nikiforova A. A., Lineva N. P.	
Soil pollution in the Fatala River basin (Republic of Guinea, West Africa) with heavy metals and trace elements (based on data from expedition research during the dry season of 2023)	205
Ignateva D. A., Gorbunova T. Yu., Gorbunov R.V.	
Assessment of microbiome diversity in soils of the Fatala River Basin (Republic of Guinea) and identification of relationships with heavy metal contamination of soils	207
Korzhavin A. V., Korzhavina T. N., Vokhmyanin B. N.	
Comparative assessment of sources of radiation environmental risks of ichthyofauna of cooling ponds of Beloyarsk and Leningrad NPP	209
Lazareva A. M., Ipatova V. I., Il'inskii V. V., Il'ina O. V.	
Combined effect of polystyrene nanoparticles with toxicants of various natures on the test object <i>Chlorella vulgaris</i>	212
Menshikh T. B., Smagin A. I.	
Change in the dose rate of phytoplankton irradiation during vertical migrations in Lake Kyzyltash	214
Mirzoeva N. Yu., Arkhipova S. I., Moseichenko I. N., Gulina L. V.	
⁹⁰Sr in ecosystems of the North Crimean Canal, irrigated soils along it, irrigated crops (2022–2024)	216
Mikhailovskaya L. N., Pozolotina V. N., Mikhailovskaya Z. B.	
Radioactive contaminations of soil-plant cover on the East Ural State Reserve territory and adjacent territories	218
Nikonova A. A., Pashkova G. V., Dylgerova S. D., Khanaev I. V., Chindyavskaya A. N.	
Problems of pollution of water ecosystems with persistent organic pollutants, heavy metals, and anionic surfactants	220
Pakusina A. P., Taskaeva A. I., Gulenova T. V.	
Chemical and ecological characteristics of small rivers and wetlands of the Amur region	223
Pedchenko A. P., Ulchenko V. A., Belyaev P. S., Rybakov M. O., Starovoitov A. N.	
Research on microplastics in the gastrointestinal tract of fish in the areas of national fisheries	225
Rednikin A. R., Frank Y. A., Sotnikova Y. S., Karpova E. V., Vorobiev D. S.	
Investigation of the microplastic content in the beach sand of Lake Sennaya Kurya (Tomsk) with the involvement of citizen science	228
Smirnova M. V., Denisov D. B.	
<i>Drosophila melanogaster</i> as a test model for ecological and toxicological assessment of the state of Lake Imandra	231

Solovchenko A. E.	
Advanced spectral imaging as a promising approach to monitoring of algal biomass for environmental and biotechnological applications	233
Soloveva O. V., Tikhonova E. A., Alyomova T. E., Mirzoeva N. Yu.	
Hydrocarbons in water of the North Crimean Canal, Crimea	234
Stetsiuk A. P.	
Accumulation of mercury in marine suspended matter in coastal waters of Southern Coast of Crimea (Black Sea) in March 2024	236
Tereshchenko N. N., Paraskiv A. A., Sidorov I. G., Korotkov A. A., Nguyen Trong Hiep, Vu Thi Minh Chau, Proskurnin V. Yu.	
Current levels of concentration activity of $^{239+240}\text{Pu}$ and dose commitments from the main dose-forming radionuclides in the rivers of the Mekong delta and Cangio (Southern Vietnam)	237
Tkachenko Yu. S., Tikhonova E. A., Burdiyan N. V., Alemov S. V.	
Distribution of organic matter in the bottom sediments of the Crimean and Caucasian coasts (according to the data of the 113th cruise of the research vessel “Professor Vodyanitsky”)	239
Frank Yu. A., Vorobiev E. D., Rakhmatullina S. N., Vorobiev D. S.	
Microplastics pollution of surface water and bottom sediments of the Ob basin	241
Chekmareva E. A.	
Geochemical interaction of macrophytes with water and bottom sediments in bays and mouths of small tributaries of the Ivankovo Reservoir	243
Chernova E. N.	
Assessment of heavy metal pollution of marine coastal waters using organisms: methodological recommendations	245
Chuzhikova O. D., Proskurnin V. Yu., Nguyen Chong Hiep, Vu Thi Minh Chau, Tereshchenko N. N.	
The assessment of the ecological state of the water in the Hau and Mekong rivers (Mekong delta, Vietnam) by the content of microelements	247

Biological resources, biotechnology and aquaculture

Anufrieva E. V.	
Prospects for the use of bioresources of hypersaline waters in Crimea: crustaceans	250
Arnautov M. V., Artemov R. V., Gershunskaya V. V., Volynets A. V.	
New opportunities for methanotroph-based single cell protein in starter diets for fish species	252
Gayko L. A.	
Influence of temperature on various stages of the Japanese scallop gonad cycle during cultivation (Northwest Sea of Japan)	254
Gayko L. A.	
Prerequisites for the creation and organization in Primorye of the first marine farm in Russia and the development of biotechnologies for the cultivation of the Japanese scallop (Posyet Bay, Peter the Great Bay, Sea of Japan)	257

Gorbunov R. V., Chesalin M. V., Kelip A. A.	
Methodology for geospatial analysis of aquaculture potential on the example of the Republic of Djibouti	260
Grinberg E. V.	
Briefly about the fundamental differences between commercial cultivation and artificial breeding of Pacific salmon	262
Dikareva J. D., Kapranova L. L., Kapranov S. V., Ryabushko V. I.	
Heavy metals in shells of some mollusc species from the Black Sea	265
Kantserova N. P., Sukhovskaya I. V., Kuznetsova M. V., Parshukov A. N., Fokina N. N., Lysenko L. A.	
Breeding, physiological and biochemical parameters of rainbow trout <i>Oncorhynchus mykiss</i> reared on feed with biologically active additives	267
Kulepanov V. N.	
Distribution and habitat kelp <i>Agarum clathratum</i> at the coast of Far Eastern Seas of Russia	269
Maltsev V. N.	
Diagnostics of perkinsosis of bivalve molluscs caused by <i>Perkinsus marinus</i>	272
Maltsev V. N.	
Microsporidiosis of flatfishes caused by <i>Glugea stephani</i>	275
Maltsev Y. I., Krivova Z. V., Iurmanov A. A., Kulikovskiy M. S.	
Screening microalgae and cyanobacteria diversity to develop feed additives to suppress methanogenesis in livestock	278
Maltseva S. Y., Kezlya E. M., Minnulin D. D., Mironov A. V.	
Screening microalgae and cyanobacteria diversity to develop feed additives to suppress methanogenesis in livestock	280
Orlov A. M., Tuponogov V. N.	
Domestic fishery resources of the of the Emperor Seamounts	282
Parfenov V. V., Tkachuk A. A., Borovkov A. B., Andreeva A. Yu.	
Effect of aqueous extract of phycobiliproteins (C-phycocyanin, B-phycerythrin) on functional parameters of hemocytes of the giant oyster (<i>Magallana gigas</i>) (in vitro experiment)	285
Podolskaya M. S., Gavryuseva T. V., Chelebieva E. S., Lavrichenko D. S., Kladchenko E. S., Andreeva A. Yu.	
Effect of the boring sponge <i>Pione vastifica</i> on the histological structure of the gills of the Pacific oyster <i>Magallana gigas</i>	287
Rudakova S. L.	
Strategy for the survival and spread of the virus of infectious necrosis of hematopoietic tissue of salmon fish in a natural outbreak and aquaculture	289
Svetocheva O. N., Svetochev V. N.	
Daily time budget as index for feeding assessing of White Sea seals	292
Tarasov V. E., Bochkova E. V., Rudakova S. L.	
Phylogenetic analysis of IHNV isolates, isolated for the first time from chum and chinook salmon from Kamchatka	294
Tokmakova A. S., Uppe V. A., Vodiasova E. A., Levakin I. A., Serebriakova M. K.	
Comparative analysis of hemolymph cells of marine and freshwater bivalvias	296

Tuponogov V. N., Orlov A. M.	
History of deep-sea research in the Far Eastern seas (period of 1979–2020s)	298

Tsygankov A. A., Grechanik V. I.	
Microalgal hydrogen photoproduction and PSII regulation	301

Sustainable coastal development

Drygval A. V., Drygval P. V.	
Comparative analysis of sulphur dioxide (SO₂) concentrations in the atmosphere over protected areas and urbanized territories within the Crimean Peninsula	303
Drygval P. V., Drygval A. V.	
Distribution patterns of heavy metals in soil of Magnitny Ridge (Karadagsky Nature Reserve)	305
Selyukov A. G., Elkin V. P., Samsonov A. N.	
Innovative technologies associated with artificial reefs as a means of effectively increasing biological productivity and improving coastal ecosystems	306
Selyukov A. G., Samsonov A. N., Elkin V. P.	
Causes of coral reef degradation and possible ways to restore them	308
Krykhtine F. P., Cosenza C. A. N., Olanrewaju O. A., Rafael Lima de Carvalho, Mora-Camino F.	
A Fuzzy Multi Criteria Decision Framework for Environment Planning	310
Magalhães P. M. C. de, Amback B. C., Gomes M. V. R., Velez L. T., Neto H. M., Thomaz F. R., Guimarães L. F., Battemarco B. P., Rezende O. M., Sousa M. M., Veról A. P., Mattos R. R. de, Magalhães P. C. de, Miguez M. G.	
Proposal for Integration of Drainage Solutions in the Urban Open Spaces System. Case Study: Bambu River Watershed, Maricá/Brazil	319
Rezende O. M., Battemarco B. P., Guimarães L. G., Soares B. B., Amback B. C., Neto H. M., Velez L. T., Magalhães P. M. C., Thomaz F. R., Magalhães P. C., Miguez M. G.	
Flood Risk Mapping in Maricá, Brazil	322

Methane degassing in aquatic ecosystems: flows, environment-forming role, genesis, participation in geological and environmental processes

Artemov Yu. G.	
Bubble stream discharge of methane at anoxic depths of the Black Sea	325
Budnikov A. A., Malakhova T. V., Krasnova E. A., Ivanova I. N., Khurchak A. I.	
Temporal variability in methane bubble emissions in Laspi Bay from passive acoustic data	326
Garkusha D. N., Fedorov Yu. A., Kovalev E. A., Talpa B. V., Tambieva N. S., Andreev Yu. A.	
Discharge of groundwater within the Baskunchak Lake catchment area as a source of greenhouse gases	328
Grechushnikova M. G., Lomov V. A., Lomova D. V., Kremeneckaya E. R., Fedorova L. P., Troshina I. L.	
Seasonal change of methane concentration and flux in Ivankovo Reservoir	330

Krasnova E. A., Budnikov A. A., Ivanova I. N., Khurchak A. I., Gryaznova A. S., Krylov O. V., Malakhova T. V.	
Isotope Characteristics of Methane Seeps in the Continental Margin of Southwestern Crimea, Laspi Bay	333
Logvina E. A., Krylov A. A., Gusev E. A., Semenov P. B.	
Ikaites and their connection with methane discharge	335
Logvina E. A., Matveeva T. V.	
Gas hydrate formation in anomalous hydrochemical sections of the Black Sea	337
Lysenko V. I., Chic N. V.	
The peculiarity of cold seep fluids and bacterial structures in the coastal part of Laspi Bay (Crimea)	339
Malakhova T. V., Makarov M. M., Syrbu N. S., Stetsyuk A. P., Budnikov A. A., Khurchak A. I., Kucher K. M.	
Shallow gas seeps offshore Crimea (Black Sea): results from marine expeditions in 2022 and 2024	341
Makarov M. M., Kucher K. M., Malakhova T. V.	
First estimate of gas fluxes from methane seepages located on the shelf off the southern coast of Crimea	343
Oberemok I. A., Purgina D. V., Moiseeva Y. A., Gershelis E. V.	
The influence of methane cold seepage on the elemental speciation ratio in surface sediments of the Laptev Sea shelf	345
Oberemok I. A., Purgina D. V., Moiseeva Y. A., Gershelis E. V.	
Elemental speciation ratio changes under methane cold seepage in bottom sediments of the East Siberian Sea shelf	348
Purgina D. V., Moiseeva J. A., Gershelis E. V.	
Hydrochemical features of methane emission in Lena River – Laptev Sea mixing zone	350
Sabrekov A. F., Terentieva I. E., Glagolev M. V., Litti Y. V.	
Raised bogs is a main source of methane, emitting from seeps in the river and stream floodplains of Middle Priobye (West Siberia)	352
Ustinov N. B., Kazantsev V. S., Krivenok L. A., Svirida N. M., Lomov V. A., Repina I. A.	
Methane emission from flooded sand quarries of Western Siberia taiga zone	354
Fedorov Yu. A., Garkusha D. N., Mikhailenko A. V., Dotsenko N. V., Talpa B. V., Savitsky V. A., Dmitrik L. Yu., Popov Yu. V., Dotsenko I. V.	
On the generation of methane and sulfides in the bottom sediments of two mountain lakes of the Western Caucasus	356
Yatsuk A. V., Bovsun M. A., Shvalov D. A., Nesterova O. V.	
Distribution of methane and its fluxes within the outer shelf waters of Peter the Great Bay (Sea of Japan)	358

Marine radiochemoecological research: history and modernity

Burdiyan N. V., Tikhonova E. A., Doroshenko Yu. V., Soloveva O. V.	
Seasonal dynamics of chemical and microbiological characteristics of bottom sediments of the sea mouth of the small river of the Sevastopol region (using the example of the Chernaya River, Crimea)	362

Vakhrushev M. O., Mirzoeva N. Yu., Proskurnin V. Yu., Paraskiv A. A.	
Distribution of heavy metals in sea water of coastal areas of Crimea	364
Korotkov A. A., Mirzoeva N. Yu., Moseichenko I. N., Ivanova A. I.	
Polonium-210 in the ecosystem of the North Crimean Canal (2022–2024)	366
Mirzoeva N. Yu., Egorov V. N., Tereschenko N. N.	
To the 95th anniversary of Gennady Polikarpov	368
Miroshnichenko O. N., Mirzoeva N. Yu., Sidorov I. G., Moseichenko I. N.	
Distribution of ¹³⁷Cs in the aquatic ecosystem of the North Crimean Canal and adjacent agricultural lands in the period 2023–2024	370
Moseichenko I. N., Milchakova N. A., Mirzoeva N. Yu., Korotkov A. A., Ryabogina V. G.	
Prospects for the use of brown algae <i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari & Guiry for radioecological monitoring of the coastal waters of the Black Sea	372
Paraskiv A. A., Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Chuzhikova O. D., Vakhrusev M. O.	
Determination of sedimentation rate using plutonium radioisotopes in coastal marine areas	374
Proskurnin V. Yu., Mirzoeva N. Yu., Vakhrushev M. O., Berdnikova T. P.	
Heavy metals in ecosystems of the North Crimean Canal and related farmlands of Crimea	376
Sidorov I. G., Tereshchenko N. N., Mirzoeva N. Yu., Nguyen Trong Hiep, Vu Thi Minh Chau, Proskurnin V. Yu.	
Man-made radionuclide ¹³⁷Cs in the Mekong Delta based on the results of expeditionary research in November–December 2022	378
Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Paraskiv A. A.	
Radioisotopes of plutonium ²³⁹⁺²⁴⁰Pu in the Black Sea: long-term trends and distribution	380
Chuzhikova O. D., Proskurnin V. Yu., Mirzoeva N. Yu.	
The content of trace elements in the water of the Kacha, Belbek and Chernaya rivers (the environs of the city of Sevastopol) during flood and drought periods	382

Научное издание

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

III Международная научно-практическая конференция

2–7 сентября 2024 г.
Севастополь, Российская Федерация

Вёрстка, макет:
Сергеева А. В.

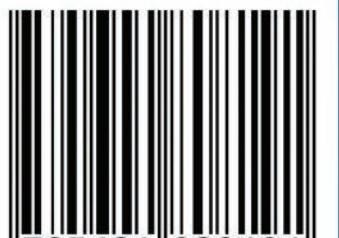
Вёрстка:
Копытова О. Ю.

Дизайн:
Майборода Д. И.

*Ответственность за содержание опубликованных материалов несут авторы.
Все материалы публикуются в авторской редакции.*

ФИЦ ИнБЮМ
пр-кт Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ
Тел.: +7 8692 54-55-50

ISBN 978-5-6048081-9-1



A standard linear barcode representing the ISBN number 978-5-6048081-9-1.

9 785604 808191