



Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей  
имени А. О. Ковалевского РАН»



II Международная  
научно-практическая конференция

# ИЗУЧЕНИЕ ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

---

05-09 сентября 2022 г., Севастополь, Россия



Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»  
Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова  
Научно-исследовательский центр Конакри-Рогбане (CERESCOR)

Некоммерческое партнёрство  
«Российский национальный комитет  
содействия программе ООН по окружающей среде»

Автономная некоммерческая организация  
«Научно-исследовательский центр Мирового океана»

Севастопольское городское отделение Русского географического общества  
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук  
Паразитологическое общество при Российской академии наук

# Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

II Международная научно-практическая конференция

Тезисы докладов

5–9 сентября 2022 г.  
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь  
ФИЦ ИнБЮМ  
2022

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal State Budgetary Institution of Science  
Federal Research Center  
“A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS”  
Plekhanov Russian University of Economics  
Centre de Recherche Scientifique Conakry Rogbané (CERESCOR)  
Russian National Committee for Assistance to the United Nations Environment Program  
(NP “UNEP/COM”)  
Autonomous non-profit organization “World Ocean Research Center”  
Russian Geographical Society in Sevastopol  
Russian Hydrobiological Society  
Parasitological Society at the Russian Academy of Sciences

# Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Contemporary State

2<sup>nd</sup> International Academic Conference

Book of abstracts

5–9 September, 2022  
Sevastopol, Russian Federation

Sevastopol  
IBSS  
2022

УДК 574(06)

ББК 28я43

ИЗ9

ИЗ9 **Изучение водных и наземных экосистем: история и современность** : тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, 5–9 сентября 2022 г., Севастополь, Российская Федерация. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2022. – 317 с.  
ISBN 978-5-6048081-3-9

В сборнике представлены тезисы докладов II Международной научно-практической конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», 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, преподавателей, аспирантов и студентов.

Издание посвящено 300-летию Российской академии наук.

УДК 574(06)

ББК 28я43

**Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Contemporary State** : book of abstracts of the 2<sup>nd</sup> International Academic Conference, 5–9 September, 2022, Sevastopol, Russian Federation. – Sevastopol : IBSS, 2022. – 317 p.

This book contains abstracts of reports presented at the 2<sup>nd</sup> International Academic Conference “Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Contemporary State.” 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 the field of nature protection and nature management, workers in the aquaculture industry, government officials, teachers, graduate students, and students.

The book is dedicated to the 300<sup>th</sup> anniversary of the Russian Academy of Sciences.

*Материалы опубликованы в авторской редакции  
с минимальными корректорскими правками.*

*Сборник публикуется по решению учёного совета ФИЦ ИнБЮМ  
(протокол № 11 от 19.08.2022).*

ISBN 978-5-6048081-3-9

© Авторы, 2022  
© ФИЦ ИнБЮМ, 2022

# ОРГАНИЗАТОРЫ



Министерство науки  
и высшего образования РФ

<https://minobrnauki.gov.ru>



Федеральный  
исследовательский центр  
«Институт биологии  
южных морей  
имени А. О. Ковалевского РАН»

<https://ibss-ras.ru>



Российский экономический  
университет  
имени Г. В. Плеханова

<https://rea.ru>



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



Компания  
«Спектроника»

<http://www.spektronika.ru>



Научно-  
исследовательский  
центр Конакри-Рогбане  
(CERESCOR)



Некоммерческое партнерство  
«Российский национальный  
комитет содействия программе  
ООН по окружающей среде»

<http://www.unepcom.ru>



Автономная некоммерческая  
организация «Научно-  
исследовательский центр  
Мирового океана»



Винодельческое  
хозяйство Акчурина  
<https://akchurinwinery.ru>

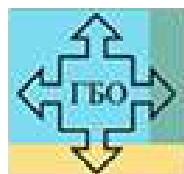


ООО НИО  
«Марикультура»  
<http://niomariculture.ru>



Севастопольское  
городское отделение  
Русского географического  
общества

<https://minobrnauki.gov.ru>



Всероссийское  
гидробиологическое  
общество при Российской  
академии наук

<http://gboran.ru>



Паразитологическое общество  
при Российской академии наук

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



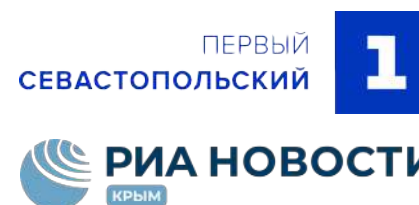
ООО «Черноморские  
Биотехнологии»



Правительство Севастополя

Департамент  
сельского хозяйства и  
потребительского рынка  
города Севастополя  
<http://www.depcxsev.ru>

Департамент природных  
ресурсов и экологии  
города Севастополя  
(Севприроднадзор)  
<https://spn.sev.gov.ru>



# ПАРТНЁРЫ



# ПРОГРАММНЫЙ

# КОМИТЕТ

## Сопредседатели:



Горбунов Роман Вячеславович  
д. г. н.



Егоров Виктор Николаевич  
акад. РАН, д. б. н., проф.

## Члены программного комитета:



Адрианов Андрей Владимирович  
акад. РАН, вице-президент РАН,  
д. б. н., проф.



Bangoura  
Kandè  
D. Sc.



Богатов Виктор  
Всеволодович  
акад. РАН, д. б. н.,  
проф.



Боков Владимир  
Александрович  
д. г. н., проф.



Pešić  
Vladimir  
Prof., D. Sc.



Пименов Николай  
Викторович  
д. б. н.



Плугатарь Юрий  
Владимирович  
чл.-корр. РАН, д. с.-х. н.



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



Галактионов Кирилл  
Владимирович  
д. б. н., проф.



Голубева Наталия  
Ивановна  
к. г. н.



Голубков Сергей Михайлович  
чл.-корр. РАН, д. б. н.,  
проф.



Давидович Николай  
Александрович  
д. б. н.



Рожнов Сергей Вячеслав  
Владимирович  
акад. РАН, д. б. н., проф.



Рябушко Виталий Иванович  
д. б. н.



Соков Алексей  
Валентинович  
чл.-корр. РАН, д. г. н.



Солдатов Александр  
Александрович  
д. б. н., проф.



Diallo  
Alpha Issaga Pallé  
Prof., PhD



Дмитренко Павел Сергеевич  
к. х. н.



Довгаль Игорь Васильевич  
д. б. н., проф.



Ергина Елена Ивановна  
д. г. н., проф.



Усов Виктор Георгиевич  
вице-президент,  
исполнительный директор ЮНЕПКОМ



Флинт Михаил Владимирович  
акад. РАН, д. б. н.,  
проф.



Шадрин Николай Васильевич  
к. б. н.



Шевчук Игорь Андреевич  
д. м. н., доц.



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



Кочетов Алексей Дмитриевич  
акад. РАН, д. б. н.,  
проф.



Крылов Александр Витальевич  
д. б. н., проф.



Лопатин Владимир Владимирович  
акад. РАН, д. б. н., проф.



Матишов Геннадий Григорьевич  
акад. РАН, д. г. н., проф.



Нгуен Данг Хой  
к. г. н.



Неврова Елена Леонидовна  
д. б. н.



Павлов Дмитрий Сергеевич  
акад. РАН, д. б. н.

# Содержание

## Биоразнообразие водных и наземных экосистем и его сохранение

|   |    |
|---|----|
| Бабий К. А., Князев С. Ю., Черненко С. А.<br><b>Влияние опада клёна ясенелистного на состав тела дождевого червя <i>Eisenia nordenskioldi</i> (Западная Сибирь)</b> . . . . .   | 18 |
| Барабашин Т. О., Лыгановская В. Д., Негода С. А.<br><b>Наблюдения морских млекопитающих на промысле хамсы в Чёрном море в 2022 г.</b>   | 20 |
| Битютский Д. Г., Чудиновских Е. С., Усачёв С. И., Мишин А. В., Мурзина С. А., Орлов А. М.<br><b>Состав, распределение и структура макропланктона Атлантического сектора Южного океана (по результатам 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»)</b> | 21 |
| Вежновец В. В., Габриелян Б. К.<br><b>Проблемы регистрации изменений климата в лимносистемах</b> . . . . .  | 23 |
| Габышев В. А., Иванова А. П., Габышева О. И., Якшина И. А.<br><b>Многолетние исследования водорослей и химического состава вод Усть-Ленского заповедника (Якутия) (база данных в информационной системе GBIF)</b> . . . . .                           | 25 |
| Гринцов В. А.<br><b>Экоморфы амфипод перифитона Чёрного моря</b> . . . . .  | 27 |
| Дбар Р. С., Гамахария П. Д.<br><b>Динамические характеристики азово-черноморского анчоуса (<i>Engraulis encrasicolus</i> L., 1758), зимующего у берегов Абхазии, в период зимних миграций 2011–2022 гг.</b> . . . . .                                 | 28 |
| Дмитриева Е. В., Прохорова Д. А., Водясова Е. А.<br><b>Фауна <i>Gyrodactylus</i> (Platyhelminthes: Monogenea) Чёрного и Азовского морей и её происхождение</b> . . . . .  | 30 |
| Дончик П. И., Куцын Д. Н.<br><b>Морфологические особенности отолитов <i>Scorpaena porcus</i> (Scorpaenidae) акватории Крыма</b> . . . . .   | 32 |
| Кан В. В., Елфимова Н. С., Канаканиди Е. К.<br><b>Видовой состав зообентоса Кавказского шельфа по результатам исследования 2021 г.</b> . . . . .  | 34 |
| Канаканиди Е. К., Елфимова Н. С., Кан В. В., Хренкин Д. В.<br><b>Результаты исследований макрозообентоса Веселовского водохранилища в 2021 г.</b>   | 35 |
| Климова Т. Н., Субботин А. А., Влодович И. В., Загородняя Ю. А., Мельников В. В., Чудиновских Е. С.<br><b>Изменчивость иктиопланктонных комплексов у берегов Крыма и Кавказа в разные фазы летнего гидрологического сезона 2021 г.</b> . . . . .      | 36 |
| Князев С. Ю., Бабий К. А., Голованова Е. В.<br><b>Распространение и численность экзотических дождевых червей в почвах Омской области (Западная Сибирь)</b> . . . . .  | 38 |
| Коляда М. Н., Осипова В. П., Пономарева Е. Н.<br><b>Роль антиоксидантов в повышении криорезистентности спермы осетровых</b> . . . . .   | 39 |
| Коляда М. Н., Пашенко К. П., Великородов А. В.<br><b>Моделирование супероксидулирующей активности новых гидроксипроизводных халконов — потенциальных криопротекторов</b> . . . . .  | 41 |

|   |    |
|---|----|
| Кравченко И. К., Сизов Л. Р., Лысак Л. В.   |    |
| <b>Влияние солей аммония и лантана на активность и разнообразие почвенных метанотрофов</b> . . . . .  | 42 |
| Крохалева М. А., Ялковская Л. Э., Сибирияков П. А., Бородин А. В., Соколов А. А., Болтунов А. Н.  |    |
| <b>Генетическое разнообразие моржей (<i>Odobenus rosmarus</i> Linnaeus, 1758) лежбища на мысе Тнутей-Сале, полуостров Ямал</b> . . . . .  | 44 |
| Крохалева М. А., Ялковская Л. Э., Сибирияков П. А., Надирли Л. В., [Кулиев Г. Н.], Бородин А. В.  |    |
| <b>Внутривидовая дифференциация общественной полёвки (<i>Microtus socialis</i> Pallas, 1773) на основе гена цитохрома <i>b</i>: новые данные с территории Кавказа</b> . . . . . | 45 |
| Михайловская Л. Н., Трапезникова В. Н., Трапезников А. В., Коржавин А. В., Гусева В. П., Михайловская З. Б.   |    |
| <b>Многолетнее влияние Белоярской атомной электростанции на загрязнение наземных экосистем техногенными радионуклидами</b> . . . . .  | 46 |
| Михеева О. И., Михеев П. Б.   |    |
| <b>Паразитофауна речного гольяна реки Вишеры</b> . . . . .  | 48 |
| Пышкин В. Б., Кобечинская В. Г., Прыгунова И. Л.  |    |
| <b>Биоразнообразие кокциnellид (Insecta: Coccinellidae) наземных экосистем Крыма и его сохранение</b> . . . . .   | 49 |
| Садогурский С. Е., Белич Т. В., Садогурская С. А.   |    |
| <b>Об инвазии <i>Bonnemaisonia hamifera</i> Hariot в прибрежные биотопы у Южного берега Крыма (Чёрное море)</b> . . . . .   | 51 |
| Светочев В. Н., Светочева О. Н.   |    |
| <b>Использование метода спутниковой телеметрии в изучении тюленей Белого моря в 2015–2021 гг.</b> . . . . .   | 53 |
| Сергеева Н. Г., Аникеева О. В., Абибулаева А. Ш., Довгаль И. В.   |    |
| <b>Новые находки мейобентосных простейших в районе Приморского шельфа Японского моря</b> . . . . .  | 54 |
| Серова К. М., Зайцева О. В., Котенко О. Н., Вишняков А. Э., Островский А. Н.  |    |
| <b>Сравнительное исследование нервной системы полиморфных зооидов <i>Cheilostomata</i> (Bryozoa)</b> . . . . .  | 56 |
| Симакова А. В., Тарабаев Т. А., Бабкина И. Б.   |    |
| <b>Исследование ельца <i>Leuciscus baicalensis</i> на заражённость метацеркариями рода <i>Diplostomum</i> в бассейне Средней Оби</b> . . . . .                                  | 58 |
| Смирнова Е. В.  |    |
| <b>Видовое разнообразие, встречаемость и батиметрическое распределение видов семейства Cottidae в морях Арктики</b> . . . . .   | 59 |
| Старунова З. И., Старунов В. В.   |    |
| <b>Морфологические особенности личинок вселенца <i>Marenzelleria</i> sp. в Финском заливе</b> . . . . .   | 61 |
| Суворова И. В., Белокобыльский И. Ф.  |    |
| <b>Лёгочные гельминтозы тюленей закрытых водоёмов</b> . . . . .   | 62 |
| Терентьев А. С.   |    |
| <b>Сообщество <i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795) в Керченском проливе</b> . . . . .  | 63 |
| Токмакова А. С., Атаев Г. Л.  |    |
| <b>Ультраструктура генеративных элементов мирацидиев <i>Schistosoma mansoni</i></b> . . . . .   | 65 |
| Токранов А. М., Мурашева М. Ю.  |    |
| <b>Питание бурого морского петушка <i>Alectrias alectrolophus</i> (Stichaeidae) в разных участках побережья Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка)</b> . . . . .           | 67 |
| Усманова Р. Р., Прохорова Е. Е.   |    |
| <b>Изучение генотипического полиморфизма трематод <i>Leucochloridium paradoxum</i></b> . . . . .  | 69 |
| Устьянцева О. В., Логоминова И. В., Никифоров В. В.   |    |
| <b>Китообразные Азово-Черноморского бассейна, принадлежащие к видам, занесённым в Красную книгу Российской Федерации: правовой порядок добычи</b> . . . . .                     | 71 |
| Шаповалов М. И., Коротков Э. А.   |    |
| <b>Видовой состав водных и амфибиотических насекомых бассейна реки Кубань (Северо-Западный Кавказ)</b> . . . . .  | 72 |



|   |    |
|---|----|
| Ядренкина Е. Н., Тимшанов Р. И., Ядренкин А. В.<br><b>К изучению ихтиофауны бассейна реки Пясины в связи с влиянием Норильского горно-металлургического комбината</b> . . . . . | 73 |
| Gavrilova N. A. and Dovgal I. V.<br><b>Patterns in diversity of marine planktonic ciliates (Ciliophora, Tintinnida): A scale-dependent model</b> . . . . .                      | 75 |

## **Структура, функционирование и динамика водных и наземных экосистем**

|  |     |
|--|-----|
| Артамонова К. В., Гангнус И. А., Лавинен Н. А.<br><b>Гидрохимические условия шельфовых вод морей Содружества и Дейвиса в летний антарктический период 2008–2021 гг.</b> . . . . .  | 78  |
| Будников А. А., Иванова И. Н., Малахова Т. В., Мурашова А. И.<br><b>Суточная динамика гидрологических параметров воды и растворённых газов (CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) вблизи черноморской океанографической платформы (Кацивели)</b> . . . . .                    | 80  |
| Газизова Т. Ю., Русанов А. Г., Сапелко Т. В.<br><b>Характеристика водной растительности озёр острова Валаам (Ладожское озеро) по палинологическим и геоботаническим данным</b> . . . . .   | 82  |
| Георгиева Е. Ю., Стельмах Л. В.<br><b>Сезонная динамика <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> в поверхностном слое открытой части Чёрного моря</b> . . . . .  | 84  |
| Горбунов Р. В., Табунщик В. А., Горбунова Т. Ю., Сафонова М. С.<br><b>Первичные сведения о водном балансе субтропических пушистодубовых ландшафтов Юго-Восточного Крыма</b> . . . . .  | 85  |
| Данилова И. В., Буренина Т. А.<br><b>Эвапотранспирация как одна из основных функций лесных экосистем</b> . . . . .   | 87  |
| Деревенская О. Ю.<br><b>Оценка восстановления сообщества зоопланктона озера Марьино (Казань, Россия)</b> . . . . .   | 89  |
| Дрыгваль А. В., Келип А. А., Горбунов Р. В.<br><b>Анализ активности солнечной радиации в условиях юго-восточной части Горного Крыма</b> . . . . .  | 91  |
| Дрыгваль П. В., Лебедев Я. О.<br><b>Биологическое поглощение микроэлементов в растительных сообществах Карадагского заповедника</b> . . . . .  | 92  |
| Ермолаева Н. И., Феттер Г. В., Двуреченская С. Я.<br><b>Многолетняя динамика зоопланктона реки Оби</b> . . . . .   | 94  |
| Ефимова Д. И., Торгашкова О. Н., Жухарева О. П.<br><b>Банк семян адвентивных видов растений лесных сообществ Саратовского Правобережья</b> . . . . .   | 96  |
| Живоглядова Л. А., Бондарев С. В., Елфимова Н. С., Залота А. К., Колючкина Г. А., Тимофеев В. А., Хренкин Д. В.<br><b>Оценка численности поселений <i>Rhithropanopeus harrisii</i> (Gould, 1841) в Азовском море</b> . . . . .   | 98  |
| Загумённая О. Н., Филиппов Д. А., Загуменный Д. Г., Комаров А. А., Цыганов А. Н., Тихоненков Д. В.<br><b>Сообщества тестаций в ряду разнотипных водных и наземных биотопов межозёрной трансекты (озеро Кошкаринке и озеро Чертанкуль, Тюменская область)</b> . . . . . | 99  |
| Иванов А. А., Севастьянов В. С., Шныкин Б. А., Долгоносов А. А., Смирнова Л. Л.<br><b>История представлений об экологических началах и природе самозарождения биосферы</b> . . . . .   | 101 |
| Калгин В. Ю., Еськова А. И., Легкодимов А. А., Обжиров А. И.<br><b>Биохемогенная природа аутигенной минерализации</b> . . . . .  | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| Карамушко Л. И., Расхожева Е. В., Карамушко О. В.  |     |
| <b>Размерно-возрастная структура, рост и половое созревание сайки <i>Boreogadus saida</i> моря Лаптевых</b>  | 104 |
| Ключкина А. А.   |     |
| <b>Краткий обзор результатов камеральной инвентаризации сети лесных полос равнинного Крыма за период 2009–2019 гг.</b>   | 106 |
| Коновалова М. Е.   |     |
| <b>Пирогенные нарушения среднетаёжных лесов (на примере территории заповедника «Тунгусский»)</b>   | 108 |
| Курбатова А. И., Савенкова Е. В., Саласар Флорес К. А., Адарченко И. А.  |     |
| <b>Организация международного образовательного и научно-исследовательского центра «Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР): управление водными ресурсами в регионах Азии, Африки и Латинской Америки» (ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»)</b> | 110 |
| Лунева Н. Н., Закота Т. Ю.   |     |
| <b>Динамика видового состава сеgetальной флоры посевов сои в отдельной агроэкосистеме</b>  | 111 |
| Ляшко Т. В.  |     |
| <b>Вертикальные миграции копепоид в северо-восточной части Чёрного моря в августе и сентябре 2020–2021 гг.</b>   | 113 |
| Макаревич П. Р.  |     |
| <b>Продуктивность пелагических альгоценозов Баренцева моря в условиях современных климатических трендов</b>  | 114 |
| Малахова Т. В., Мурашова А. И., Федирко А. В.  |     |
| <b>Исследование суточных ритмов концентрации растворённого метана в воде на шельфе Чёрного моря (по данным 121-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)</b>  | 115 |
| Малина И. П., Малин М. И., Чыонг Ба Хай, Ку Нгуен Динь, Ле Куанг Ман, Зыонг Тхи Ким Чи   |     |
| <b>Пространственная структура рыбного населения дельты Меконга — индикатор проникновения морских вод вглубь континента</b>   | 117 |
| Матасова И. Ю., Теюбова В. Ф., Сеничкина С. Е.   |     |
| <b>Взаимосвязь количественных показателей фитопланктона и содержания биогенных веществ в морской воде порта Тамань</b>   | 119 |
| Мельников В. В., Белокопытов В. Н., Масевич А. В., Васечкина Е. Ф.   |     |
| <b>Катастрофические изменения биотопа глубоководных районов Чёрного моря и экосистемные сдвиги</b>   | 120 |
| Минкина Н. И., Самышев Э. З.   |     |
| <b>Совместное влияние гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения на обилие фитопланктона северной половины Чёрного моря в весенне-летний период</b>   | 122 |
| Минский И. А., Серикова И. М., Жук В. Ф., Евстигнеев В. П., Пионтковский С. А.   |     |
| <b>Мезомасштабная изменчивость вертикального распределения биолюминесценции на разрезах в северо-восточной части Чёрного моря</b>  | 124 |
| Мячина К. В.   |     |
| <b>Аспекты взаимодействия нефтегазодобывающей и сельскохозяйственной отраслей в степной зоне</b>   | 126 |
| Намятов А. А., Пастухов И. А.  |     |
| <b>Стабильные изотопы как трассер в экосистемных исследованиях морской среды</b>   | 128 |
| Обжиров А. И., Калгин В. Ю.  |     |
| <b>Изучение и использование газа в водной толще морей для её стратификации</b>   | 130 |
| Павлова Л. В.  |     |
| <b>Многолетние изменения бентоса Кольского залива (Баренцево море)</b>   | 131 |
| Пионтковский С. А.   |     |
| <b>Многолетняя пространственно-временная изменчивость планктонных полей Мирового океана</b>  | 133 |
| Приймак А. С., Поспелова Н. В.   |     |
| <b>О питании мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819</b>  | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| Русяев С. М., Прикоки О. В.<br><b>Питание и пищевое поведение щитоносного ската <i>Bathyraja parmifera</i> в северной части Охотского моря в летний период 2021 г.</b> . . . . .   | 136 |
| Сафонова М. С., Ергина Е. И.<br><b>Почвообразующий потенциал территории пещерного города Тепе-Кермен</b> . . . . .   | 138 |
| Севастьянов В. С., Федулов В. С., Федулова В. Ю., Кузнецова О. В., Наймушин С. Г., Душенко Н. В., Кривенко А. П., Малова А. И., Ткаченко Е. А.<br><b>Особенности распределения CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> по вертикальному разрезу осадков Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей</b> . . . . . | 140 |
| Семенова А. С.<br><b>Видовой состав и структура зоопланктона в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона (Балтийское море) в 2021 г.</b> . . . . .   | 141 |
| Столяров А. П.<br><b>Пространственная, видовая и трофическая структура сублиторальных и нижнелиторальных сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море)</b> . . . . .  | 143 |
| Табунщик В. А.<br><b>Бассейны рек северо-западного склона Крымских гор (Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Чёрная): современное состояние и преобразованность</b> . . . . .  | 145 |
| Тумас А. В., Сокольников Ю. Н., Стенкова А. М.<br><b>Заражение двустворчатых моллюсков <i>Anadara broughtonii</i> из Амурского залива Японского моря новым видом зелёной паразитической микроводоросли <i>Coccomyxa veronica</i> sp. nov.</b> . . . . .  | 146 |
| Ушивцев В. Б., Галактионова М. Л., Синицына Т. А., Котеньков С. А.<br><b>Телеметрический комплекс для изучения планктонных сообществ</b> . . . . .   | 148 |
| Холмогоров А. О.<br><b>Газогеохимические исследования в проливе Брансфилд (Южный океан)</b> . . . . .  | 149 |
| Чава А. И., Коновалова О. П.<br><b>Изучение морского обрастания искусственных субстратов: экспериментальный подход</b> . . . . .   | 151 |
| Чесалин М. В., Никольский В. Н.<br><b>Применение технологии анализа изображений для изучения популяционной структуры рыб</b> . . . . .   | 152 |
| Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В.<br><b>Нелинейность взаимосвязей в водной экологии и изменчивость экологических «констант»</b> . . . . .  | 154 |
| Шарапова Л. И.<br><b>Структура и распределение зоопланктона Среднего Каспия в зимний период</b> . . . . .  | 155 |

## Экологическая микробиология и альгология

|  |     |
|--|-----|
| Дьякова С. А., Сопрунова О. Б., Галяутдинова Е. Р., Менькова А. В.<br><b>Микробиоценоз донных отложений Северного Каспия</b> . . . . .   | 158 |
| Зайцева Ю. В., Злобин И. В., Доколин Д. А., Флёрова Е. А.<br><b>Микробиоценоз слизистых оболочек радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) и водной среды в условиях садкового хозяйства Ярославской области</b> . . . . .    | 160 |
| Камнев А. Н., Стуколова И. В.<br><b>Особенности изменения минерального состава бурой водоросли <i>Cystoseira barbata</i> (Turn.) C. Ag., связанные с глубиной произрастания</b> . . . . .  | 162 |
| Кисиль О. Я., Аксёнов А. С., Аксёнова О. В., Беспалая Ю. В., Травина О. В.<br><b>Первые данные о сообществе бактерий и архей пресноводного моллюска дрейссены (<i>Dreissena polymorpha</i>) из бассейна реки Волга</b> . . . . . | 163 |
| Скворцова Е. Г., Филинская О. В., Чешун К. А.<br><b>Состояние кишечного микробиома техасского белого перепела на фоне приёма пробиотиков</b> . . . . .   | 165 |

|  |     |
|--|-----|
| Тихонова Е. Н., Кадников В. В., Русанов И. И., Пименов Н. В.<br><b>Сравнение состава и активности аэробного микробного метанового фильтра в естественных и антропогенно нарушенных осадках Карского моря</b> . . . . .                                     | 166 |
| Шоман Н. Ю., Соломонова Е. С., Акимов А. И., Рьлькова О. А.<br><b>Влияние наночастиц оксида меди на структурно-функциональные характеристики микроводорослей <i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) Dodge и <i>Dunaliella salina</i> Teod.</b> . . . . . | 168 |

## Физиология и биохимия адаптационных процессов гидробионтов

|   |     |
|---|-----|
| Алёмова А. С., Москвитина М. И., Руденко Т. С., Грабович М. Ю.<br><b>Диссимиляционная тиосульфатредукция у бесцветных серобактерий рода <i>Thiothrix</i> — <i>Thiothrix litoralis</i> AS</b> . . . . .  | 171 |
| Андреева А. Ю., Кладченко Е. С.<br><b>Клеточный иммунитет двустворчатых моллюсков в контексте адаптации к дефициту кислорода</b> . . . . .  | 172 |
| Брюханов А. Л., Солдатов А. А., Рычкова В. Н., Головина И. В.<br><b>Филогенетический состав микробного сообщества респираторных поверхностей двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906) в условиях острой гипоксии и сероводородного заражения</b> . . . . . | 174 |
| Долматова Л. С., Караулова Е. П., Тимченко Н. Ф.<br><b>Влияние экспрессируемых при регенерации тканей белков целомической жидкости на оксидантную активность фагоцитов у голотурий <i>in vitro</i></b> . . . . .  | 176 |
| Ерохина И. А.<br><b>К вопросу об особенностях метаболизма у серых тюленей в период молочного питания</b> . . . . .  | 178 |
| Зайцева О. В., Петров С. А., Копий В. Г.<br><b>Катехоламинергические регуляторные системы представителей полихет из Чёрного моря</b> . . . . .  | 180 |
| Кладченко Е. С., Гостюхина О. Л., Рычкова В. Н., Андреева А. Ю.<br><b>Адаптивный потенциал двустворчатых моллюсков к изменению солёности</b> . . . . .  | 182 |
| Ковальчук Л. А., Черная Л. В., Мищенко В. А., Микшевич Н. В.<br><b>Оценка физиологических и биохимических параметров крови инвазивного вида амфибий [<i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771)] водных экосистем Среднего Урала</b> . . . . .   | 184 |
| Кохан А. С., Лантушенко А. О., Водясова Е. А., Солдатов А. А.<br><b>Тканевая специфика активности альдолазы (фруктозо-1,6-бисфосфатаальдолазы) и уровень экспрессии соответствующего гена у мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i></b> . . . . .  | 186 |
| Скураговская Е. Н., Сигачева Т. Б.<br><b>Совместное применение токсикологических и биохимических показателей печени бычка-кругляка <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814) для оценки качества водных объектов</b> . . . . .   | 188 |
| Флёрова Е. А., Евдокимов Е. Г.<br><b>Микроанатомия нефрона <i>Polypterus senegalus</i></b> . . . . .  | 190 |
| Флёрова Е. А.<br><b>Ультраструктура клеток интерстиция почек карпообразных рек Казахстана на примере <i>Iskandaria kuschakewitschi</i>, <i>Nemacheilus stoliczkai</i> и <i>Schizothorax intermedius</i></b> . . . . .   | 192 |
| Черная Л. В., Ковальчук Л. А., Микшевич Н. В.<br><b>Роль свободных аминокислот в адаптационных процессах медицинских пиявок из природных популяций</b> . . . . .  | 194 |
| Чуйко Г. М., Холмогорова Н. В.<br><b>Сравнительный анализ показателей состояния окислительного стресса у пресноводных двустворчатых моллюсков семейств Dreissenidae и Unionidae</b> . . . . .   | 196 |

|   |     |
|---|-----|
| Шульгина Н. С., Кузнецова М. В., Крупнова М. Ю., Немова Н. Н.<br><b>Сезонные вариации уровней экспрессии мРНК генов мышечных белков у молоди атлантического лосося <i>Salmo salar</i> L., выращенного при воздействии дополнительного освещения в условиях искусственного воспроизводства</b> . . . . . | 198 |
|---|-----|

## Молекулярная биология и генетика гидробионтов

|  |     |
|--|-----|
| Байрамова Э. М., Морозов А. А., Марченков А. М., Захарова Ю. Р., Бедошвили Е. Д.<br><b>Обнаружение маркеров стрессового состояния у <i>Ulnaria acus</i> методом ПЦР в реальном времени</b> . . . . .   | 201 |
| Воробьева А. В., Головинов И. В., Небесихина Н. А.<br><b>Оценка современного генетического разнообразия русского осетра (<i>Acipenser gueldenstaedtii</i> Brandt, 1833) донской популяции по микросателлитным ядерным маркерам</b> . . . . . | 202 |
| Головинов И. В., Воробьева А. В., Небесихина Н. А.<br><b>Оценка генетического разнообразия кумжи бассейна реки Кубань с помощью микросателлитных маркеров</b> . . . . .  | 203 |
| Королев В. Г.<br><b>Особенности молекулярного механизма индуцированного мутагенеза при низких дозах агентов, повреждающих ДНК</b> . . . . .  | 204 |
| Лантушенко А. О., Мегер Я. В., Гаджи А. В., Ануфриева Е. В., Шадрин Н. В.<br><b><i>Artemia monica</i> и <i>A. sinica</i> (Anostraca) в гиперсолёных озёрах Крыма: молекулярно-генетические свидетельства</b> . . . . .                       | 205 |
| Прохорова Е. Е., Бобровская А. В., Орлов Ю. А., Атаев Г. Л.<br><b>Экспрессия генов фибриногенподобных белков у моллюсков <i>Planorbarius corneus</i> (Gastropoda) при трематодной инвазии</b> . . . . .                                      | 206 |
| Хребтова И. С., Аксёнова О. В., Кондаков А. В.<br><b>Новые сведения о спектре первых промежуточных хозяев трематод рода <i>Telorchis</i> Lühe, 1899</b> . . . . .  | 207 |

## Проблемы загрязнения водных экосистем и морская радиохемозкология

|  |     |
|--|-----|
| Аминина Н. М., Вишневецкая Т. И.<br><b>Мониторинг загрязнения прибрежных вод Японского моря по содержанию тяжёлых металлов в <i>Saccharina japonica</i> Aresch.</b> . . . . .  | 210 |
| Артына Н. К., Григорьев Ю. С., Михайлова А. В.<br><b>Влияние состава культивационной среды на токсическое действие тяжёлых металлов на морскую водоросль <i>Dunaliella tertiolecta</i></b> . . . . .                             | 212 |
| Афонин А. А., Ляпунова Е. Р., Комарова Л. Н.<br><b>Оценка влияния ионов ртути на гидробионтов</b> . . . . .  | 213 |
| Буфетова М. В.<br><b>Загрязнение воды и донных отложений Азовского моря свинцом и кадмием в 1990–2020 гг.</b> . . . . .  | 215 |
| Городецкий В. Г., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В.<br><b>Особенности формирования мощности дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя Белоярской АЭС при работе реакторов разных типов</b> . . . . . | 217 |
| Изиметова М. Ф.<br><b>Качество воды реки Вязовки в условиях антропогенного воздействия (Свердловская область)</b> . . . . .  | 219 |
| Ильин Г. В., Матишов Г. Г., Усягина И. С., Валуйская Д. А.<br><b>Техногенные радионуклиды в прибрежной зоне Кольского полуострова</b> . . . . .  | 220 |
| Калинка О. П., Шавыкин А. А.<br><b>Метрические оценки приоритетности защиты социально-экономических ресурсов прибрежно-морских районов при нефтеразливах</b> . . . . .   | 222 |



|   |     |
|---|-----|
| Карнатов А. Н., Шавыкин А. А.   |     |
| <b>Основные этапы методики построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти</b>  | 224 |
| Каурова З. Г.   |     |
| <b>Многолетние исследования гидрохимического состава воды озера Вельё в районах садкового рыбозаведения (2014–2022 гг.)</b>   | 226 |
| Ковековдова Л. Т., Симоконь М. В., Катайкина О. И.  |     |
| <b>Оценка содержания химических элементов в органах рыб озера Ханка</b>   | 228 |
| Коротков А. А., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н.  |     |
| <b>Полоний-210 в основных видах промысловых рыб Чёрного моря</b>  | 230 |
| Лобко В. В., Мурашова А. И., Малахова Л. В.   |     |
| <b>Оценка накопления ди(2-этилгексил)фталата в органах <i>Mytilus galloprovincialis</i> в условиях эксперимента</b>   | 231 |
| Мазур М. А., Журавель Е. В., Ковековдова Л. Т., Черняев А. П., Донец М. М., Цыганков В. Ю.  |     |
| <b>Мониторинг загрязнения донных отложений залива Восток (залив Петра Великого, Японское море) и оценка их потенциальной токсичности</b>  | 233 |
| Малахова Л. В.  |     |
| <b>Влияние мидийной фермы на формирование потоков хлорорганических соединений в донные отложения</b>  | 235 |
| Мирзоева Н. Ю., Архипова С. И., Мосейченко И. Н.  |     |
| <b>Sr в Чёрном и Азовском морях в период закрытия Северо-Крымского канала (2014–2021 гг.)</b>   | 237 |
| Михеев П. Б., Вяткина Ю. В., Якубова К. С., Бакланов М. А.  |     |
| <b>Влияние засоления на выживаемость предличинок речного окуня в зависимости от типа соли и температуры среды</b>   | 238 |
| Михеев П. Б., Мухина М. В., Костицына Н. В., Бакланов М. А.   |     |
| <b>Усиление воздействия поллютантов на рыб при повышении температуры воды: результаты эксперимента с использованием речного окуня <i>Perca fluviatilis</i> бассейна реки Камы (Пермский край, Россия)</b> | 239 |
| Михеев П. Б., Якубова К. С., Вяткина Ю. В., Бакланов М. А.  |     |
| <b>Влияние уровня засоления на выживаемость икры речного окуня в зависимости от стадии её развития и температуры инкубации</b>  | 240 |
| Параскив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Чужикова-Проскурнина О. Д., Вахрушев М. О.   |     |
| <b>Определение региональных контрольных уровней радиоизотопов плутония в воде и донных отложениях в прибрежных черноморских экосистемах</b>   | 242 |
| Потемкин А. И., Басамыкина А. Н.  |     |
| <b>Определение качества воды в родниках городского округа Солнечногорск Московской области</b>  | 244 |
| Проскурнин В. Ю., Параскив А. А., Чужикова-Проскурнина О. Д., Терещенко Н. Н.   |     |
| <b>Отклик Чёрного моря на вторичное поступление чернобыльской радиоактивности по данным изотопного анализа плутония в глубоководных донных отложениях</b>   | 246 |
| Селюков А. Г., Мачихин А. С., Гурьева А. В., Бурлаков А. Б., Букова В. И., Хохлов Д. Д., Руденко Е. Е., Шуман Л. А.   |     |
| <b>Структурно-функциональный анализ сердечно-сосудистой системы предличинок чира в условиях острой интоксикации</b>   | 248 |
| Селюкова С. А., Селюков А. Г., Мирзабаев Д. А.  |     |
| <b>Герминативные стволовые клетки в раннем онтогенезе сиговых рыб в условиях интоксикации</b>   | 250 |
| Терещенко Н. Н., Чужикова-Проскурнина О. Д., Нгуен Чонг Хиеп, Проскурнин В. Ю., Сидоров И. Г.   |     |
| <b>Исследования микроэлементного состава воды и донных отложений в акваториях рек в биосферном заповеднике Канзё (Вьетнам)</b>  | 252 |
| Тряпицына Г. А., Левина С. Г., Тряпицына С. В., Перетькин А. А., Голубева А. А.   |     |
| <b>Оценка аккумуляции <sup>90</sup>Sr в тростнике обыкновенном (<i>Phragmites australis</i> L.) в радиоактивно загрязнённых водоёмах Уральского региона</b>   | 254 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| Чернова Е. Н.  | <b>Фоновые концентрации металлов в гидробионтах в оценке загрязнения водных экосистем</b> . . . . .  | 256 |
| Чужикова-Проскурнина О. Д., Проскурнин В. Ю., Терещенко Н. Н., Кобечинская В. Г. | <b>Распределение тяжёлых металлов в донных отложениях прибрежных районов российского сектора Чёрного и Азовского морей</b> . . . . .       | 258 |
| Шавыкин А. А., Карнатов А. Н.  | <b>Методологические и нормативно-правовые проблемы разработки и использования карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти</b> . . . . . | 260 |

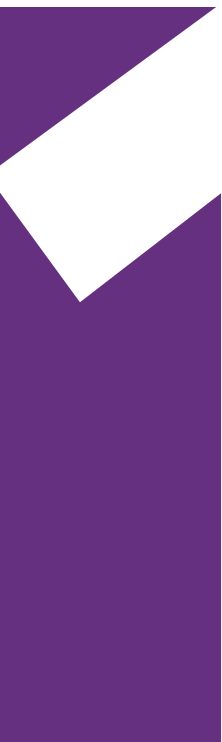
## Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

|   |   |     |
|---|---|-----|
| Гринберг Е. В.  | <b>О реализации экологического подхода к искусственному разведению тихоокеанских лососей через трансформацию бионормативов</b> . . . . .  | 263 |
| Жигилева О. Н., Селюков А. Г., Алексеева Е. А., Похазникова А. А.             | <b>Изменение показателей генетического полиморфизма сиговых рыб при искусственном воспроизводстве</b> . . . . .   | 265 |
| Журавлева Н. Г.   | <b>Анализ морфологических особенностей тимуса молоди морских рыб — возможных объектов марикультуры</b> . . . . .  | 267 |
| Кадникова И. А., Аминина Н. М., Дзизюров В. Д., Сухин И. Ю.                   | <b>Биотехнология кормовых продуктов из микро- и макроводорослей для марикультуры трепанга</b> . . . . .   | 268 |
| Казаринов С. Н., Комарова Л. В., Поносов С. В., Мерзляков И. Н., Михеев П. Б. | <b>Изменчивость линейного роста судака <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) крупных водных объектов на примере Камского водохранилища (Пермский край)</b>                                | 270 |
| Куршаков С. В., Скуратовская Е. Н., Сигачева Т. Б.                            | <b>Размерно-массовые, морфофизиологические и биохимические характеристики двух популяций (крымская и северокавказская) султанки <i>Mullus barbatus</i> (Mullidae) в Чёрном море</b> . . . . . | 272 |
| Куцын Д. Н.   | <b>Эколого-географическая изменчивость возраста и роста спикары <i>Spicara flexuosa</i> (Sparidae) бассейна Средиземного моря</b> . . . . .   | 274 |
| Литвиненко Л. И., Бойко Е. Г., Куцанов К. В., Разова Л. Ф., Глухих И. М.      | <b>Рейтинг гипергалинных водоёмов Западной Сибири по запасам цист и репродуктивным показателям рачков артемии</b> . . . . .   | 276 |
| Мальцев Е. И., Мальцева И. А., Куликовский М. С.                              | <b>Особенности действия токсических металлов на зелёные микроводоросли из родов <i>Bracteacoccus</i> (Chlorophyceae) и <i>Lobosphaera</i> (Trebouxiophyceae)</b> . . . . .                    | 278 |
| Мальцев В. Н.   | <b>Методические подходы к диагностике герпесвирусного заболевания устриц в Чёрном море</b> . . . . .  | 279 |
| Мальцев В. Н.   | <b>Опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые инфузориями</b>  | 281 |
| Мальцев В. Н.   | <b>Полидороз тихоокеанских устриц в Чёрном море и меры борьбы с ним</b> . . . . .   | 282 |
| Мальцев В. Н.   | <b>Потенциально опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые амёбами</b> . . . . .   | 283 |
| Мальцева С. Ю., Мальцев Е. И., Куликовский М. С.                              | <b>Биотехнологический потенциал нового штамма <i>Coelastrella multistriata</i> (Scenedesmaceae, Sphaeropleales)</b> . . . . .   | 285 |

|  |            |
|--|------------|
| Михеев П. Б., Прусов С. В., Эркинаро Я., Клосс Дж.   |            |
| <b>Применение анализа микроэлементного состава кальцинированных структур рыб для решения фундаментальных и прикладных научных задач: результаты анализа происхождения озёрной кумжи <i>Salmo trutta</i> Восточной Фенноскандии</b> | <b>286</b> |
| Мурзина С. А., Провоторов Д. С., Воронин В. П., Немова Н. Н.   |            |
| <b>Липидный профиль атлантического лосося <i>Salmo salar</i> в раннем развитии в условиях искусственного воспроизводства в норме и при влиянии физических факторов</b>   | <b>287</b> |
| Осипова А. Д., Осипова В. П., Половинкина М. А., Великородов А. В., Пименов Ю. Т.  |            |
| <b>Новые производные индолина в процессе криоконсервации спермы белуги</b>   | <b>289</b> |
| Половинкина М. А., Осипова В. П., Осипова А. Д., Федотова О. В., Берберова Н. Т.   |            |
| <b>Изучение ингибирующей активности новых производных кумарина</b>   | <b>291</b> |
| Родин М. А., Кузнецова М. В., Крупнова М. Ю., Курицын А. Е., Немова Н. Н., Мурзина С. А.   |            |
| <b>Молекулярно-генетические показатели оценки темпов роста у радужной форели <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792) разных возрастных групп при кормлении двумя видами коммерческих кормов</b>                                 | <b>292</b> |
| Самотой Ю. В., Куцын Д. Н.   |            |
| <b>Особенности роста атерин <i>Atherina hepsetus</i> и <i>Atherina boyeri</i> (Atherinidae) Чёрного моря</b>   | <b>294</b> |
| Христофорова Н. К., Литвиненко А. В., Алексеев М. Ю., Цыганков В. Ю.   |            |
| <b>Концентрации микроэлементов в горбуше (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>) из естественного ареала и интродуцированной в Евро-Арктический регион</b>   | <b>296</b> |
| Челебиева Э. С., Данцюк Н. В., Чубчикова И. Н., Дробецкая И. В., Минюк Г. С.   |            |
| <b>Перспективы биотехнологического использования микроводорослей рода <i>Coelastrella</i> Chodat (Chlorophyceae, Sphaeropleales)</b>   | <b>298</b> |
| Шульгина Е. В., Есин Е. В.   |            |
| <b>Проблема физиологической готовности молоди лососёвых рыб с продолжительным пресноводным периодом жизни к скату в море после выпуска с рыбопроизводных заводов</b>   | <b>300</b> |

## Устойчивое развитие прибрежных зон

|   |            |
|---|------------|
| Басамыкина А. Н., Куркина Е. В., Камеристая М. А.   |            |
| <b>Организация децентрализованной системы водоотведения в городах прибрежной зоны</b>   | <b>303</b> |
| Волкова Т. А., Климов Н. Н.   |            |
| <b>Природные комплексы Черноморского побережья Краснодарского края в развитии рекреационной деятельности</b>                                | <b>305</b> |
| Сырбу Н. С., Степочкин И. Е.  |            |
| <b>Сравнительный анализ наземных и спутниковых наблюдений газогеохимических полей метана и углекислого газа южной части острова Сахалин</b> | <b>307</b> |
| <b>Именной указатель</b>  | <b>309</b> |



# Биоразнообразиие водных и наземных экосистем и его сохранение

## Влияние опада клёна ясенелистного на состав тела дождевого червя *Eisenia nordenskioldi* (Западная Сибирь)

Бабий К. А.<sup>1</sup>, Князев С. Ю.<sup>1</sup>, Черненко С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, Омск, Россия

✉ [labinvert@omgpu.ru](mailto:labinvert@omgpu.ru)

Вторжение растений — важный компонент происходящих глобальных изменений; потенциально оно может изменить структуру и функции реципиентных экосистем. Некоторые инвазивные виды являются видами-трансформерами. Они существенно меняют условия в экосистемах и влияют на почвенные организмы и на дождевых червей. Так как дождевые черви являются экосистемными инженерами, они могут влиять на другие группы почвенных организмов и регулировать доступность и пространственное распределение ресурсов почвы. Воздействие растений на почвенную биоту происходит в том числе за счёт изменения количества и качества подстилки. Например, в колхидских экосистемах южного склона Западного Кавказа исчез самшит колхидский (*Buxus colchica* Pojark), что привело к резкому изменению в составе сообщества дождевых червей.

Влияние инвазивных растений на разнообразие и численность почвенных сообществ неоднозначно; оно зависит от места и условий исследования. Именно поэтому необходимо изучение последствий вторжения растений конкретно для каждой территории.

В Западной Сибири активно распространяется инвазивное дерево клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), заселяющее в настоящее время нарушенные и полустественные территории. *A. negundo* является не только чужеродным и инвазионным видом, но и видом-трансформером. На данный момент обнаружено внедрение клёна ясенелистного в места обитания дождевого червя *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Eisen, 1879) — почвенно-подстилочного нативного вида, который регулирует экосистемные услуги почвы на территории азиатской части России и к настоящему времени остаётся одним из основных видов дождевых червей Западной Сибири.

Продолжающееся распространение *A. negundo* и его способность изменять почвенные условия обуславливают необходимость изучения влияния данного вида на нативных дождевых червей.

Цель исследования — оценить разницу ИК-спектров тканей *E. n. nordenskioldi* в зависимости от типа подстилки, которой он питался, — *Populus nigra* (L., 1753) или *A. negundo*.

Половозрелые особи *E. n. nordenskioldi* были собраны в зарослях тополя чёрного *P. nigra* в Парке культуры и отдыха имени 30-летия Победы города Омска. Эксперимент проводился в лаборатории в 2-литровых пластиковых контейнерах с перфорированными крышками (далее — микрокосмы), заполненных на 1,4 л почвой, которая была просеяна через сито с диаметром отверстий 4 мм с целью удаления почвенной макрофауны. В эксперименте использовалось два типа листы — листья нативного *P. nigra* и инвазионного *A. negundo*. Для каждого типа подстилки использовали по два микрокосма с тремя особями червей в каждом. Микрокосмы содержались в климатических камерах при температуре +13 °C и влажности почвы 40 %. Черви отбирались спустя 90 дней. Для очистки кишечника дождевые черви содержались в отдельных контейнерах в течение 5 суток, после высушивались при температуре +60 °C, а затем измельчались. Далее изготавливались таблетки путём смешения полученного порошка из дождевого червя и КВг в одинаковых пропорциях. Инфракрасные спектры поглощения регистрировали в диапазоне 500–4000 см<sup>-1</sup> на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (Simex, Новосибирск, Россия). Нормальность выборки оценена критерием Шапиро — Уилка. Для оценки значимости различий между выборками использовали тест ANOVA при  $p < 0,05$ . Все расчёты выполнены с помощью пакета Statistica 13.0.

Обнаружены достоверные различия в составе тела *E. n. nordenskioldi* в зависимости от того, какой листовой питался дождевой червь (*A. negundo* или *P. nigra*), по полосам 612, 930, 1454, 1547, 1657, 2929 и 2959 см<sup>-1</sup>. Полоса с  $\nu_{\max}$  1454 см<sup>-1</sup> относится к асимметрическим деформациям в CH<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>. Полоса с  $\nu_{\max}$  1547 см<sup>-1</sup> соответствует деформационным колебаниям NH и колебаниям C-N (амид II), что в животных объектах соответствует протеинам. Полоса с  $\nu_{\max}$  1657 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям C=O (амид I). Полоса с  $\nu_{\max}$  2929 см<sup>-1</sup> относится к асимметрическим деформациям в CH<sub>2</sub>. Полоса с  $\nu_{\max}$  2959 см<sup>-1</sup> относится к асимметрическим деформациям в -C-H (CH<sub>3</sub>).



Таким образом питание листвой *A. negundo* вызывает изменения в составе тела *E. n. nordenskioldi*; это может стать причиной возможных изменений в показателях дождевых червей, таких как численность, биомасса и выживаемость в растительных сообществах с участием клёна ясенелистного.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФ № 22-14-20034.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/50.pdf>.



## Наблюдения морских млекопитающих на промысле хамсы в Чёрном море в 2022 г.

Барабашин Т. О.<sup>1,2</sup>, Лыгановская В. Д.<sup>2</sup>, Негода С. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Иванковского,  
Ростов-на-Дону, Россия

✉ [barabashin\\_t\\_o@azniirkh.ru](mailto:barabashin_t_o@azniirkh.ru)

В последние годы проблема влияния рыболовного промысла на морских млекопитающих в Азово-Черноморском бассейне встаёт всё более остро. Настоящие исследования проводились для анализа видового состава и поведения китообразных в непосредственной близости от промысловых судов во время вылова рыбы.

Во время промысла в Азово-Черноморском бассейне регулярно наблюдается нахлебничество морских млекопитающих при добыче разных видов рыб, однако целенаправленного изучения этого явления ещё не было. Согласно данным опросов и нашим наблюдениям, в первую очередь нахлебничество касается тралового лова хамсы и шпрота в осенне-зимний период. Этим занимаются в основном афалины, которые держатся рядом с промысловыми судами и активно подбирают выпадающую из тралов рыбу; более того, они могут даже заходить в трал и выходить из него. Имеются литературные данные даже о том, что для обитающей в акватории Судакского района локальной популяции афалин характерно питание около рыболовецких судов. Во время интенсивного тралового промысла на выходе хамсы из Азовского моря на зимовку в Чёрное море скопления дельфинов рядом с промысловыми судами могут достигать нескольких сотен и даже тысяч особей.

Основным материалом послужили наблюдения специалистов АзНИИРХ на промысловых судах разного типа (СРТМ, ПТР) во время добычи хамсы (*Engraulis encrasicolus*) разноглубинными тралами в Чёрном море с января по февраль 2022 г.

Ключевыми районами промысла хамсы в январе — феврале 2022 г. были территориальные воды Российской Федерации в районе побережья Крыма от Евпатории до мыса Херсонес и в районе побережья Кавказа от мыса Большой Утриш до посёлка Джанхот.

Во время наблюдений фиксировали протяжённость траления, видовой состав китообразных в пределах видимости и их поведение. Основной величиной учёта стало относительное обилие особей морских млекопитающих на единицу тралового хода судна — особей·км<sup>-1</sup>.

В общей сложности было пройдено с учёта 430 км тралового хода во время 28 тралений и учтено 270 особей морских млекопитающих (без учёта повторных встреч на следующие сутки) всех трёх видов. Это азово-черноморская морская свинья (азовка) (*Phocoena phocoena relicta* Abel, 1905), белобочка (*Delphinus delphis ponticus* Varabasch, 1935) и черноморская афалина (*Tursiops truncatus ponticus* Varabasch, 1940). Встречаемость каждого вида рассчитывали отдельно для каждого участка траления.

Согласно нашим наблюдениям, на зимней путине хамсы обычными видами китообразных были белобочка и азовка (отмечены при 34 % тралений). Средняя встречаемость белобочки составляла 0,57 особей·км<sup>-1</sup>, а азовки — 0,50. Афалина встречалась значительно реже: зарегистрирована только одна встреча группы из двух особей.

Локально скопления морских млекопитающих не были многочисленными. Так, в скоплениях азовок насчитывалось от 2 до 64 особей одновременно при среднем размере группы 12,9 особи. Белобочки встречались группами от 2 до 34 особей, в среднем размер группы составил 13,9 особи. Изредка встречались и смешанные скопления из белобочек и азовок в разных пропорциях по их численности.

Несмотря на то, что траления были проведены в местах массового скопления рыб, морские млекопитающие не всегда находились рядом с промысловыми судами. Так, во время 14 из 28 наблюдений (50 %) дельфины отмечены не были.

Что касается поведения морских млекопитающих и нахлебничества непосредственно во время проведения траловых операций, то тут есть ряд особенностей. В частности, следование за тралом обычно отмечается для афалин, однако мы регистрировали такую форму поведения и для белобочки, и для азовки — в одном и трёх случаях соответственно. Звери следовали за тралами и кормились выпадавшей или травмированной рыбой. Также отметим: несмотря на значительное число траловых операций и дельфинов вокруг промысловых судов, наши наблюдатели не зафиксировали случаев прилова в тралы морских млекопитающих.

## Состав, распределение и структура макропланктона Атлантического сектора Южного океана (по результатам 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Битютский Д. Г.<sup>1</sup>, Чудиновских Е. С.<sup>2</sup>, Усачёв С. И.<sup>1</sup>, Мишин А. В.<sup>3</sup>, Мурзина С. А.<sup>4</sup>,  
Орлов А. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>3</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

✉ [bityutsky\\_d\\_g@azniirkh.ru](mailto:bityutsky_d_g@azniirkh.ru)

Основу макропланктона Атлантического сектора Антарктики (далее — АсА) составляют эуфаузииды — *Euphausia superba* Dana, 1850 (антарктический криль) и *Thysanoessa macrura* G. O. Sars, 1883 — и сальпы *Salpa thompsoni* Foxtan, 1961. В последнее время активно обсуждается принципиальная роль эуфаузиид, особенно антарктического криля, в поддержании баланса круговорота вещества и энергии в условиях изменения климата. Температура в данном регионе за последние 70 лет выросла на 5–6 °С, что постепенно оказывает влияние на экосистему Антарктики. Современные изменения климата выражаются в расширении ареала *S. thompsoni* и в пиковом увеличении её численности на его южной границе. В литературе обсуждается устойчивый тренд к сокращению популяции антарктического криля *E. superba* (от 38 до 75 % в десятилетие).

В данном исследовании предпринята попытка изучения особенностей текущего пространственного распределения наиболее многочисленных видов эуфаузиид и сальп в проливах Брансфилда и Антарктик, в бассейне Пауэлла, водах Антарктического полуострова и Южных Оркнейских островов. Отдельно рассмотрено состояние половозрелости особей антарктического криля. Представленные исследования проводились в январе — феврале 2022 г. в ходе 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш».

В сообществах макропланктона доминировала сальпа — от 1 до 202 экз. на 1000 м<sup>3</sup>. Максимальные её концентрации зарегистрированы в проливе Брансфилда у Южных Шетландских островов, в бассейне Пауэлла и у Южных Оркнейских островов. В антарктических и субантарктических водах обнаружено 5 видов эуфаузиид: массово — *E. superba* и *Th. macrura*; реже — *Euphausia crystallorophias* (Holt et Tattersall, 1906), *Euphausia triacantha* (Holt et Tattersall, 1906) и *Euphausia frigida* (Hansen, 1911). Единичные экземпляры *E. crystallorophias* отмечены в прибрежной шельфовой зоне Антарктического полуострова — проливе Брансфилда. Десять экземпляров *E. triacantha* зарегистрированы в уловах вблизи острова Гринвич. Особи данного вида могли быть занесены сюда течением Брансфилда из пролива Дрейка либо меандрами из Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Единичные экземпляры *E. frigida* выявлены в уловах вблизи Южных Оркнейских островов. Данный вид имеет циркумполярное распространение в Антарктике, и его ареал совпадает с таковым *E. superba*. Максимальные скопления антарктического криля отмечены в прибрежных водах вокруг Антарктического полуострова и на границе сплочённых льдов, а также в зоне локального максимума chl *a*. Плотность скоплений антарктического криля варьировала от 1 до 357 экз. на 1000 м<sup>3</sup>. Его молодь концентрировалась в прибрежных водах Антарктического полуострова под влиянием холодных модифицированных вод моря Уэдделла и Антарктического прибрежного течения — района пролива Брансфилда. Также значительное количество молоди обнаружено в проливе Антарктик и на границе бассейна Пауэлла. Взрослые особи криля были многочисленны на границе льдов в зоне локального максимума chl *a* юго-восточнее острова Джеймса Росса, под влиянием холодных шельфовых вод и сильного распреснения, а также в глубоководном районе у Южных Оркнейских островов, в зоне влияния модифицированных тёплых вод со значительным холодным промежуточным слоем шельфового происхождения. Максимальные скопления эуфаузииды *Th. macrura* зарегистрированы над юго-западным склоном бассейна Пауэлла. Плотность её скоплений колебалась от 2 до 53 экз. на 1000 м<sup>3</sup>, а по биомассе она составляла в основном незначительную часть уловов.

При этом её мелкоразмерные особи имели высокую плотность практически во всех уловах. Единственным массовым видом *Th. macrura* являлась только в улове на юго-западе бассейна Пауэлла. Значительная часть её биомассы равномерно распределялась по всему исследуемому району АсА.

Видовой состав макропланктона можно считать характерным для вод АсА в летний сезон. При сравнении полученных данных о соотношении распределения уловов *E. superba*, *S. thompsoni* и *Th. macrura* прослеживаются определённые закономерности, связанные с гидрофизическими особенностями рассматриваемого района. Наблюдается сокращение ареала структурообразующего вида пелагиали — антарктического криля. Установлено, что ареал сальпы расширяется, что может привести к вытеснению антарктического криля из районов его традиционного обитания. В будущем вероятно увеличение площади распространения более тёплых поверхностных вод, что может повлечь за собой увеличение численности *S. thompsoni* в регионе.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FMWE-2022-0001, а также государственного задания № 121090800137-6 «Комплексные исследования современного состояния экосистемы Атлантического сектора Антарктики».

## Проблемы регистрации изменений климата в лимносистемах

Вежновец В. В.<sup>1</sup>, Габриелян Б. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГПНО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам», Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН Армении, Ереван, Армения

✉ [vezhn47@mail.ru](mailto:vezhn47@mail.ru)

Изучение климатического воздействия как фактора сосредоточено в основном на морях Арктики и Антарктики (Nansen Environmental and Remote Sensing Center), где особенно ярко регистрируются результаты изменения климата и потепление. В континентальных водоёмах повышенное внимание уделяется самым большим озёрам: в Европе — Ладожскому и Онежскому, в Азии — Байкалу, в Северной Америке — Великим озёрам. Эти водоёмы играют большую роль в экономике и даже сами могут быть источником стабилизации или изменения климата.

Оценка влияния климата на другие, меньшие континентальные водоёмы в настоящее время находится на начальной стадии. Повышение температуры как тепловое загрязнение поверхностных вод рассматривается давно в связи с использованием водных объектов в качестве водоёмов-охладителей ТЭЦ и АЭС. После констатации фактов повышения средних значений поверхностной температуры за последние три десятилетия даже в самых глубоких озёрах данные, полученные для водоёмов-охладителей, начали экстраполировать на водоёмы с естественным температурным режимом.

Анализ изменений в экосистемах водоёмов-охладителей ТЭС и АЭС при разной степени воздействия даёт возможность переносить получаемые результаты на схожие природные водоёмы при потеплении климата. У применения этого подхода есть недостаток: следует учитывать, что при работе ТЭС и АЭС воздействие на водные экосистемы, а следовательно, и на водных животных в большинстве случаев имеет многофакторный характер, а изменение температурного режима — только один из факторов. Так, известны примеры механического воздействия на биоту при прохождении через рабочие агрегаты. Немаловажную роль играют течение и гидрохимические изменения. Поэтому применение этого метода и экстраполяция получаемых данных на ненарушенные природные экосистемы должны производиться с большой осторожностью.

Температура воды в водоёмах-охладителях может соответствовать температуре водоёмов более южной климатической зоны. С учётом этого предполагалось, что такие водоёмы при их длительной эксплуатации будут иметь в своей биоте черты субтропиков или тропиков. Однако в силу инертности (возможно, из-за слабого подогрева или малой акватории подогрева) большинство подобных водоёмов сохраняет характерную для региона фауну. Примеры белорусских водоёмов — озёр Лукомльское и Дрисвяты — показывают, что значительной трансформации водной фауны не происходит. Между тем в некоторых из них регистрируются чужеродные виды, при этом речь идёт не о саморасселении или расширении ареалов, а о случайном или намеренном их занесении человеком. Например, в водоёме-охладителе озеро Лукомльское встречаются брюхоногий моллюск физелла (*Physella integra* Haldeman, 1841) и тропическая креветка (*Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849). Более того, по нашим исследованиям, в озере сохранился реликтовый вид палласиопсис [*Pallaseopsis quadrispinosa* (Sars, 1867)], который в других водоёмах страны обитает при низкой температуре воды. Другим примером является озеро Дрисвяты, бывший водоём-охладитель Игналинской АЭС, куда для обогащения кормовой базы был вселён понто-каспийский вид мизиды *Paramysis (Serrapalpis) lacustris* (Czerniavsky, 1882). Таким образом, при искусственном подогреве обнаруживаются элементы привнесённой человеком чужеродной (синантропной) фауны; эти животные могут лишь отчасти служить образцом изменений при влиянии повышенной температуры.

Биологические последствия изменения температурного режима водоёмов, обусловленные потеплением климата, изучаются также путём анализа многолетних данных. Однако при интерпретации результатов почти всегда возникают трудности с установлением истинной причины наблюдающихся явлений. Сложно выделить потепление климата как фактор из происходящих процессов эвтрофирования, сезонных и межгодовых изменений. Этот метод, как правило, позволяет только фиксировать уже произошедшие изменения, а не прогнозировать их, определяя лишь основные тенденции развития событий. При наличии опыта многолетних исследований можно утверждать, что влияние потепления зачастую нивелируется адаптивными возможностями водных экосистем. При этом величина



таких возможностей может превосходить величину воздействия, и тогда эффект влияния не проявляется или остаётся в пределах межгодовых изменений. Следует отметить и то, что для интерпретации получаемых данных необходимо иметь достаточно длинный ряд наблюдений, охватывающий не только момент воздействия, но и предыдущий и последующий периоды.

Наряду с постепенным ростом, температура в отдельные годы демонстрирует в поверхностных слоях воды и значительный рост, достигая величин, критических для животных средней полосы (это наблюдалось в водоёмах Европы в 2010 г.). Из немногочисленных источников, анализирующих влияние повышения температуры как климатического фактора, стали известны перестройки в экосистемах, изменение трансформации вещества и энергии, снижение качества воды и биоразнообразия. Как показано нами ранее, опосредованное влияние потепления на зоопланктон в димиктических озёрах летом может проявляться через активизацию процессов трансформации вещества и энергии в верхних слоях воды и через интенсивное потребление кислорода на окислительные процессы органического вещества в нижележащих горизонтах, что приводит к дефициту кислорода, возникновению бескислородных зон и уменьшению жизненного пространства для глубоководных пелагических видов зоопланктона и рыб. При этом наиболее уязвимыми являются представители холодолюбивого комплекса, которые обитают в гиполимнионе; некоторые из них относятся к редким реликтовым видам, занесённым в Красные книги. Таким образом, при аномально высокой поверхностной температуре, наблюдаемой в отдельные годы, изменения в экосистеме происходят более быстро и выделяются на фоне многолетних наблюдений, что позволяет считать их пригодными для оценки влияния потепления. Особенно актуально это для стратифицированных мезотрофных озёр, где значительную долю гидробионтов могут составлять холодноводные, часто реликтовые виды, для выживания которых отмечаемые изменения могут оказаться критическими.

Таким образом, в настоящее время существуют два основных способа определения возможного воздействия потепления климата на лимносистемы — анализ многолетних рядов наблюдений в естественных мало подверженных внешнему влиянию озёрах и сопоставление подогреваемых и не подогреваемых зон водоёмов-охладителей. Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки. Эффект воздействия у подогреваемых водоёмов является накопительным и сохраняется дольше, что даёт преимущество при анализе влияния. В природных водоёмах это может быть только краткосрочным ответом на воздействие и не сохраняться в последующие годы.

Работа выполнена при поддержке проекта БРФФИ № Б21АРМ-006.

## Многолетние исследования водорослей и химического состава вод Усть-Ленского заповедника (Якутия) (база данных в информационной системе GBIF)

Габышев В. А.<sup>1</sup>, Иванова А. П.<sup>1</sup>, Габышева О. И.<sup>1</sup>, Якшина И. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН — обособленное подразделение  
ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

<sup>2</sup>Государственный природный заповедник «Усть-Ленский», Тикси, Россия

✉ [v.a.gabyshev@yandex.ru](mailto:v.a.gabyshev@yandex.ru)

Важность задач по агрегации данных о биоразнообразии с применением открытых информационных систем признана научным сообществом. Создан ряд глобальных ресурсов, основанных на принципах открытого доступа к публикуемым данным, а также на единых стандартах их инфраструктуры и подходов к управлению. Крупнейший в мире подобный ресурс представлен Глобальным информационным фондом по биоразнообразию (Global Biodiversity Information Facility, GBIF) — международной организацией и интернет-порталом, предназначенным для сбора научной информации о мировом биоразнообразии и распространения её через сеть Интернет. Портал GBIF в настоящее время содержит более 2 млрд записей о находках биологических видов со всего мира. Фонд финансируется правительствами стран-участниц с целью обеспечения открытого всеобщего доступа к данным по биоразнообразию.

Россия не является страной-участницей, но многие научные учреждения нашего государства активно включились в процесс предоставления данных о региональном биоразнообразии и публикации их на портале GBIF, делая их доступными для поиска и вовлечения во всемирный научный оборот. На текущий момент 126 организаций из РФ зарегистрированы на портале GBIF как издатели. Участниками из нашей страны загружено на портал более 9 млн записей о находках (Occurrence), включая примерно 5 млн записей из царства растений, 3,6 млн — из царства животных, 310,9 тыс. — грибов и т. д. Около 8,4 млн записей, загруженных на портал из России, имеют географическую привязку, и наибольшая часть этих данных приурочена к территории нашей страны.

Для хранения и обмена первичными данными о биоразнообразии пользователям портала GBIF предлагается использование стандарта Darwin Core (DwC), включающего более 200 терминов (возможных полей для хранения). Через портал GBIF доступны различные типы данных: оцифрованные образцы из коллекций; данные полевых наблюдений и данные, полученные с помощью видеорегистраторов; описания пробных площадей и данные мониторинга; литературные данные. Важной особенностью портала является возможность интегрирования географической привязки с помощью встроенных инструментов ГИС. Сервис позволяет выполнить проверку таксономических названий вводимых данных с помощью встроенного инструмента Species Name matching. Для распространения информации об уже опубликованных базах данных (далее — БД) в последние годы появился особый вид публикаций — статья о данных (Data paper). Основной целью таких публикаций является описание наборов данных, а не результатов исследований. Подобные статьи содержат не информацию о гипотезе, сформулированной на основе данных, и об её проверке, а факты о самих данных. Статьи о данных принимаются к публикации целым рядом высокорейтинговых рецензируемых журналов.

Настоящее сообщение представляет собой такой тип публикации. Целью работы является описание набора данных, опубликованных на портале GBIF по адресу <https://doi.org/10.15468/mvt9r3>. Набор данных опубликован Институтом биологических проблем криолитозоны СО РАН. Тип публикации — мониторинговые наблюдения (Sampling event data). В настоящей БД представлены наиболее полные на сегодня, обобщённые сведения по альгофлоре государственного природного заповедника «Усть-Ленский», включая: низовье реки Лены и протоки её дельты, прилегающие участки акватории моря Лаптевых (бухта Тикси, залив Неелова и губа Буор-Хая); озёра, ручьи и заболоченные участки бассейна низовья и дельты Лены; водоёмы и водотоки острова Котельный (архипелаг Новосибирские острова). Район, к которому приурочены данные, расположен между 71.05121° и 75.99391° с. ш. и 124.82886° и 137.84709° в. д. Временной интервал, который

покрывают сведения, содержащиеся в БД, — с лета 1972 г. по 8 августа 2018 г. БД включает сведения о водорослевых сообществах планктона, бентоса и перифитона. Источником данных послужили как опубликованные ранее работы, которые были предварительно обобщены и актуализированы, так и собственная коллекция альгологических и водных проб. Часть записей БД, основанных на более поздних наблюдениях, содержит данные о химическом составе вод водоёмов, где были отобраны пробы, а также данные о численности (кл. · л<sup>-1</sup>) и биомассе (мг · л<sup>-1</sup>) отдельных видов водорослей. Химический состав вод охарактеризован по следующим основным компонентам: водородный показатель, газовый режим (концентрация растворённого кислорода и диоксида углерода), БПК<sub>5</sub>, ХПК, минерализация, жёсткость, фенолы, нефтепродукты, тяжёлые металлы (медь, свинец, цинк и марганец). Общее количество локаций, к которым выполнена географическая привязка альгологических и гидрохимических данных (Events), достигает 140. Среди исследованных локаций 121 — это пункты наблюдений; 13 — полигоны, объединяющие данные с привязкой к площадям; 6 — одномерные линейные объекты, описывающие русла реки и речных проток, а также разрез вдоль акватории моря Лаптевых от дельты реки Лены до области континентального склона и прилежащих глубоководных районов. Общее количество записей (Associated occurrences) БД составляет 22 497.

В состав БД вошли сведения о 938 видах и внутривидовых таксонах водорослей и цианобактерий, которые принадлежат к 11 отделам: Cyanobacteria Stanier ex Cavalier-Smith, Euglenozoa Cavalier-Smith, Ochrophyta Cavalier-Smith, Bacillariophyta, Miozoa, Cryptophyta, Katablepharidophyta N. Okamoto & I. Inouye, Rhodophyta, Chlorophyta, Charophyta и Fungi. Водоросли были идентифицированы до вида, разновидности, формы или рода. Среди них 478 видов и разновидностей были обнаружены в водоёмах острова Котельный, 256 — в ручьях Хараулахского хребта, 167 — в основном русле реки Лены, 631 — в протоках её дельты, 267 — в заливе Неелова, 388 — в бухте Тикси, 27 — в акватории губы Буор-Хая, 86 — в море Лаптевых, 359 — в озёрах окрестностей бухты Тикси и залива Неелова, 219 — в озёрах дельты Лены, 54 — на острове Харданг-Сисэ, 4 — на острове Эрге-Муора-Сисэ, 10 — на острове Дунай. БД содержит ссылки на 95 микрофотографий водорослей и цианобактерий, выполненных с применением как световой, так и электронной микроскопии и опубликованных ранее на платформе <https://www.inaturalist.org/>.

Портал GBIF предоставляет возможность дополнения опубликованных БД актуальными сведениями, и авторы планируют регулярное пополнение набора данных по мере появления новых материалов.

## Экоморфы амфипод перифитона Чёрного моря

Гринцов В. А.

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

✉ [vgrintsov@gmail.com](mailto:vgrintsov@gmail.com)

---

В настоящее время в Чёрном море зарегистрировано 143 вида амфипод, относящихся к 66 родам, 26 семействам и 3 подотрядам. Распределение видов амфипод по сообществам весьма неравномерно. Так, в перифитоне отмечено 42 вида, а в заплеске галечно-песчаного пляжа — 7 видов. Перифитон — экопическая группировка, широко представленная в Чёрном море. Всех амфипод перифитона Чёрного моря возможно разделить на шесть экоморф. Подобное деление связано со средой обитания, а не с таксономическим положением. Экоморфы по-разному представлены в перифитоне.

Две экоморфы относятся к амфиподам, строящим трубки (амфиподы-трубкожилы, по терминологии Грезе). Тело представителей первой экоморфы уплощено дорсо-вентрально; усилены функции антенн (для захвата пищи) и гнатопод (как ловчей сети для частиц органики); укорочены стебельки плеопод и переопод, что снижает активность плавания и передвижения; на уроподах третьей пары крючков нет. Длина тела — до 2–5 мм. У второй экоморфы тело уплощено латерально либо не уплощено; отсутствует функция антенн как органов захвата; длина переопод является характерной для большинства амфипод; когти имеют дополнительные зубцы; на гнатоподах перистые щетинки не образуют ловчую сеть; уроподы третьей пары часто снабжены крючками. Длина тела — до 4–9 мм.

Амфипод экологической группы, не строящих трубки, возможно разделить на 4 экоморфы. У первой экоморфы на спине присутствуют зубцы (защита от хищников); гнатоподы и уроподы третьей пары уменьшены. Длина тела — до 3–8 мм. У второй экоморфы тело лишено шипов и зубцов на спине; уроподы третьей пары слабо развиты, часто их ветви редуцированы (ослабевает функция «рулей» при плавании). Длина тела — до 3–8 мм. У третьей экоморфы покровы только в уросомальной части спины усилены шипами и щетинками; третьи уроподы развиты и вооружены по краям группами шипов и различных щетинок (усиливается функция «рулей»). Длина тела — до 5–18 мм. У четвёртой экоморфы тело палочковидное; наблюдаются олигомеризация части сегментов и цефализация, а также редукция некоторых придатков, тело мимикрирует под фрагменты макрофитов или гидроидных полипов. Длина тела — до 4–18 мм.

## Динамические характеристики азово-черноморского анчоуса (*Engraulis encrasicolus* L., 1758), зимующего у берегов Абхазии, в период зимних миграций 2011–2022 гг.

Дбар Р. С.<sup>1,2</sup>, Гамахария П. Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии АН Абхазии, Сухум, Абхазия

<sup>2</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

✉ [pgamakhariya@mail.ru](mailto:pgamakhariya@mail.ru)

На основе имеющихся данных за 11-летний период (2011–2022) проанализированы экологическая структура и промыслово-биологические параметры популяции европейского анчоуса (*Engraulis encrasicolus* L., 1758), зимующего в прибрежных водах Абхазии. Данная работа имеет важное теоретическое и прикладное значение для рыбохозяйственной отрасли, поскольку позволяет объяснить динамику этих популяций анчоуса. Целью работы является внутривидовой анализ популяционных параметров азово-черноморского анчоуса. Для получения необходимой информации были использованы стандартные методы сбора и обработки ихтиологического материала.

Европейский анчоус, или хамса, относится к числу наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. Благодаря своей многочисленности *E. encrasicolus* играет исключительно важную роль в экосистеме моря, являясь промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня — крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами. В то же время хамса — важный промысловый объект, активно эксплуатируемый всеми причерноморскими странами и устойчиво занимающий первое место по общему объёму вылова.

Основной промысел ведётся в прибрежных водах Турции и Грузии, куда хамса в массовом количестве мигрирует из северной половины Чёрного моря и из Азовского моря на зимовку, образуя плотные и устойчивые скопления. Относительно небольшая часть общего стада зимует у кавказского побережья, а также у южного и юго-западного побережья Крыма. Лов хамсы относится к числу традиционных видов черноморского рыбного промысла.

В абхазской акватории Чёрного моря средняя величина вылова в 2011–2022 гг. составила 35 245 т. При этом ежегодный улов черноморской хамсы варьирует от 10 000 до 60 000 т, и средняя ежегодная доля азовской хамсы составляет менее 5 % по биомассе вылова.

Регулирование промысла хамсы в абхазской акватории Чёрного моря является определяющим для формирования структуры популяции, численности и биомассы будущих поколений, поскольку именно абхазская акватория является терминальной точкой зимовки. Условие стабильного пополнения запаса — строгое соблюдение правил рыболовства и рассчитанного общего допустимого улова для каждого промыслового сезона.

Материалом для исследований являлись особи хамсы, зимовавшие у Черноморского побережья Республики Абхазия в 2011–2022 гг. Также использованы данные мониторинга промысла хамсы (промысловые журналы) в промысловые сезоны 2011–2022 гг., любезно предоставленные Государственным комитетом Республики Абхазия по экологии и охране природы. Район исследований охватывал прибрежную зону территориальных вод Республики Абхазия от Гагрского до Галского района. Диапазон глубин, где осуществлялся промысел, составлял 20–90 м. Промысловый лов производился с помощью кошелькового невода с шагом ячеи 6,5–7,0 см; количество единиц промысловых судов за годы исследования варьировало от 20 до 25, транспортных судов — от 10 до 15. Количество проанализированных особей хамсы составило 31 700 экз. Определялись длина тела (FL), масса и возраст. Измерения рыб производились с точностью до 1 мм. Во всех расчётах использовали только FL. Индивидуальную массу рыб определяли на электронных весах с точностью до 0,1 г. Возраст хамсы определяли по отолитам. Для анализа динамики уловов использовали официальные данные промысловой статистики, полученные в Государственном комитете Республики Абхазия по экологии и охране природы.

В период проведения исследований вылов хамсы в водах Абхазии варьировал от 10 433,0 (2020/2021) до 60 311,2 (2015/2016) т. В предыдущие годы он был значительно ниже в связи с низкой интенсивностью промысла.



Промысел хамсы в водах Республики Абхазия обычно начинается во второй половине декабря и заканчивается в конце марта — начале апреля. Однако в последние несколько лет, с 2017 г., промысел фактически завершался в феврале — марте. Продолжительность зимнего промысла в среднем не превышает 3–3,5 мес.

Размерный состав уловов хамсы в 2011–2022 гг. был представлен особями длиной 5,5–14,0 см (FL), а возрастная структура — пятью поколениями (годовыми классами) (сеголетками, 2-, 3-, 4-летками и очень редко 5-летками).

Размерно-возрастной состав уловов на протяжении этого времени не оставался неизменным. В нём чётко выделяются два типа, один из которых представлен в промысловые сезоны 2011/2012, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 и 2020/2021, а другой — во все остальные.

Для первого типа размерно-возрастной структуры характерно присутствие в составе уловов пяти возрастных (годовых) классов с постоянным доминированием сеголеток (от 35,2 до 73,7 %, среднее 54,5 %), а также невысокая доля пятилеток с максимумом по биомассе (5,0 % в сезоне 2014/2015), при среднем возрасте хамсы 1,25 года и средней длине 9,66 см.

Для второго типа размерно-возрастной структуры характерно наличие всего четырёх возрастных классов (сеголеток, 2-, 3- и 4-леток) с доминированием двухлеток (среднее 49,4 %), при среднем возрасте хамсы 1,29 года и средней длине 9,31 см.

Выполненные исследования показывают, что регулирование промысла хамсы является обоснованным, целесообразным и необходимым, особенно в те годы, когда в весенние месяцы в уловах резко увеличивается доля сеголеток и двухлеток. Это имеет первостепенное значение: важно сохранить группы особей хамсы младшего возраста, мигрирующей как в Азовское море, так и в северо-западную и центральную часть Чёрного моря на нерест и нагул. В период наших исследований это происходило ежегодно, кроме путины сезона 2014/2015, когда доля особей возрастом 0+ и 1+ составляла 37,2 %. В остальные годы выловы сеголеток и двухлеток в февральских, мартовских и апрельских уловах достигали высоких значений (> 60 %). Учитывая низкую пищевую ценность сеголеток и одновременно их ключевую роль в формировании репродуктивного потенциала популяции и поддержания её численности, можно заключить, что интенсивный вылов сеголеток в конце зимовки нежелателен и может нанести вред, нарушив структуру стад, идущих на нерест. В таких случаях сроки окончания промысла следует определять на основе оперативного мониторинга размерной структуры уловов с установлением доли особей непромысловой длины на уровне 25 % улова по численности.

## Фауна *Gyrodactylus* (Platyhelminthes: Monogenea) Чёрного и Азовского морей и её происхождение

Дмитриева Е. В., Прохорова Д. А., Водясова Е. А.

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

✉ [genijadmitrieva@gmail.com](mailto:genijadmitrieva@gmail.com)

В Чёрном море известно 15 видов *Gyrodactylus*: *G. alviga* Dmitrieva & Gerasev, 2000; *G. anguillae* Ergens, 1960; *G. arcuatus* Bychowsky, 1933; *G. atherinae* Bychowsky, 1934; *G. bubyri* Osmanov, 1965; *G. crenilabris* Zaika, 1966; *G. gerasevi* Dmitrieva, Sanna, Vodiasova, Prokhorova, Casu, Burreddu, Piras, Garippa & Merella, 2022; *G. flesi* Malmberg, 1957; *G. ginestrae* Kvach, Ondračková, Seifertová & Hulak, 2019; *G. harengi* Malmberg, 1957; *G. mugili* Zhukov, 1970; *G. mulli* Gerasev & Dmitrieva, 2005; *G. proterorhini* Ergens, 1967; *G. rarus* Wagener, 1910 и *G. sphinx* Dmitrieva & Gerasev, 2000. В Азовском море зарегистрировано 9 видов: *G. anguillae*; *G. arcuatus*; *G. bubyri*; *G. flesi*; *G. mugili*; *G. leopardinus* Dmitrieva & Skidan, 2005; *G. proterorhini*; *G. rarus* и *G. zhukovi* Ling, 1962. Шесть из вышеперечисленных видов не встречены в других морях, притом что большинство из них паразитируют на рыбах, также широко распространённых в Средиземном море и Северо-Восточной Атлантике: *Blenniidae*, *Labridae*, *Pomatoschistus* spp. и *Atherina* spp. Этот факт можно объяснить либо тем, что они ещё не были обнаружены в Средиземноморском бассейне, либо тем, что некоторые из них могли выжить на рыбах в рефугиумах во время регрессии и изоляции древнего Понто-Каспия, но не сохранились в соседнем Средиземноморском регионе во время Мессинского кризиса. Так, у атерин в Чёрном море зарегистрировано 2 специфичных к ним вида *Gyrodactylus*; один из них, *G. ginestrae*, не найден в других морях, а другой, *G. atherinae*, встречается ещё в Азовском и Каспийском морях. Ранее отнесение этих видов к бореальному реликтовому комплексу было предложено Kvach *et al.*, однако их хозяева — теплолюбивые *Atherina boyeri* и *A. hepsetus* — относятся к средиземноморской группе видов. В раннем миоцене на месте современного Чёрного моря находился Восточный Паратетис, где обитало пять вымерших видов *Atherina*, которые могли быть источником не только современных популяций *Atherina* в Чёрном море, но и паразитирующих на них гиродактилюсов. Таким образом, возможно, что эти виды, как и *G. proterorhini* (паразит бычка *Proterorhinus marmoratus*), являются эндемиками древнего Понто-Каспия. Отметим, что в Каспийском море встречаются только два вида морских гиродактилюсов — *G. atherinae* и *G. proterorhini*.

Ещё один вид — *G. sphinx*, паразитирующий на морских собачках, — ограничен, вероятно, в своём распространении северо-восточным побережьем Чёрного моря, в то время как близкородственный *G. gerasevi* с этих же рыб встречается как в Чёрном, так и в Средиземном морях. Оседлый образ жизни хозяев этих двух видов, а также особенности гидрологии Чёрного моря обеспечили, очевидно, условия для перипатрического видообразования — дивергенции нового вида на краю ареала обширного полиморфного предкового вида. Кроме того, оба вида входят в монофилетичную кладу на основе последовательностей ITS региона яДНК с тремя видами *Gyrodactylus*, паразитирующими на морской собачке в Юго-Восточной Пацифике, то есть их общий предок пересёк не только океан, но и экватор.

Ряд видов *Gyrodactylus* зарегистрирован в морях разных океанов. Так, *G. flesi* встречается в Чёрном и Балтийском морях, а также найден в Охотском море, но не обнаружен в Средиземном, Балтийском и Баренцевом морях, где обитают *Platichthys flesus* и *Pleuronectes platessa* — хозяева этого вида в Атлантике. При этом ареалы камбал, являющихся хозяевами этого вида в Атлантике и Пацифике, не перекрываются. Аналогично: *G. harengi*, найденный на *Sprattus sprattus* в Чёрном море, является обычным паразитом *Clupea* spp. в Балтийском и Белом морях, а также в северной части Тихого океана. Поступление морских вод с севера Европы в Понто-Каспийский бассейн через водораздел в конце плиоцена — начале плейстоцена может объяснить вселение *G. flesi* и *G. harengi* из Балтики и Белого моря в Чёрное море и их отсутствие в Средиземноморском бассейне. Находки этих видов в Тихом океане требуют проверки. Однако не исключено их расселение в Пацифику вдоль северного побережья Евразии. Недавнее исследование митохондриальной филогеографии *G. arcuatus*, распространённого по всему ареалу своего хозяина — бореального реликтового вида *Gasterosteus aculeatus*, который обитает в прибрежных водах Северной Атлантики и Пацифики, а также в Баренцевом и Белых морях, — показало, что имеются две основные аллопатрические клады. Центр разнообразия

«европейской» клады — Балтийское море; «северная» клада распространена в Баренцевом и Белом морях, а также в Тихом океане. Гаплотип паразита из Чёрного моря вошёл в «балтийскую» субкладу. По мнению авторов, продвижение *G. arcuatus* на юг Европы было связано с чередующимися изоляциями и экспансиями популяций колюшек в многочисленных аллопатрических рефугиумах, существовавших во время последнего ледникового максимума. Это согласуется с тем, что гиродактилюсы могли вселяться совместно со своими хозяевами из северных морей Европы в Чёрное море, пересекая континент в меридианном направлении.

Полученные нами новые данные по ITS-региону яДНК черноморского вида *G. alviga* показали его конспецифичность с *G. pterygialis* Burchowsky & Polyansky, 1953 (идентичность 99,5 %), паразитирующим на рыбах семейства Gadidae в Балтийском, Норвежском, Северном, Белом, Баренцевом и Беринговом морях, а также с неидентифицированным видом от *Microgadus tomcod* с Атлантического побережья Канады (идентичность 99,8 %). Таким образом, это ещё один вид, который, очевидно, вселился в Чёрное море из северных морей и имеет амфибореальное распространение. Аналогично: *G. bubyri* описан от бычка *Knipowitschia caucasica* из Аральского моря, вселившегося из Каспия, позднее обнаружен в Чёрном море и в реке Средиземноморского бассейна, а также найден нами в Азовском море на этом же хозяине. Кроме того, на основе последовательностей ITS доказана его синонимичность с *G. micropsi* Gläser, 1974 от *Pomatoschistus microps* и *P. minutus* из Северного и Балтийского морей.

Другим видом, который не был обнаружен в Средиземном море, является *G. mugili*, паразитирующий на *Planiliza haematocheila* в Японском море и найденный на том же хозяине и на *Mugil cephalus* в Чёрном и Азовском морях. Предполагается, что этот вид появился в Азово-Черноморском регионе вместе с интродуцированной из Японского моря *P. haematocheila*, а затем перешёл на аборигенную *M. cephalus*. Однако недавнее обнаружение *G. mugili* на кефалях в реках Малой Азии, впадающих в Персидский залив, показывает, что его естественное распространение и круг хозяев могут быть сильно недооценены.

Таким образом, в фауне *Gyrodactylus* Чёрного и Азовского морей присутствуют четыре группы видов по происхождению: бореально-атлантические (*G. arcuatus*, *G. bubyri*, *G. flesi*, *G. pterygialis* (syn. *G. alviga*), *G. harengi* и *G. rarus*), восточно-атлантическо-средиземноморские (*G. crenilabri*, *G. gerasevi* и *G. sphinx*), понто-каспийские реликты (*G. proterorhini* и, возможно, *G. atherinae*, *G. ginestrae*, *G. mulli* и *G. leopardinus*) и недавние вселенцы из Японского моря (*G. zhukovi*, *G. mugili* — ?). Природа космополитного распространения *G. anguillae* на угрях как в Атлантике, так и в Индо-Пацифике требует тщательного филогеографического исследования.

## Морфологические особенности отоликов *Scorpaena porcus* (*Scorpaenidae*) акватории Крыма

Дончик П. И., Куцын Д. Н.

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

✉ donchik.1997@yandex.ru

Морской ёрш *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758) — демерсальный вид рыб из семейства скорпеновых (*Scorpaenidae*). Распространён от европейской и африканской части Атлантического океана до Великобритании и Марокко, а также в Средиземном и смежных с ним морях, в Мраморном море, в Босфоре. В пределах Средиземноморского бассейна морской ёрш достигает высокой численности, но не является промыслово-значимым видом. Является массовым видом в Чёрном море, объектом любительского рыболовства и видом — индикатором окружающей среды.

У рыб размеры отоликов и размеры тела пропорционально увеличиваются в течение всей жизни, поэтому отолики могут применяться для обратных расчислений. Построение регрессий, описывающих связь размеров тела и отоликов, позволяет установить особенности индивидуального роста. Морфологические особенности отоликов характеризуются межвидовой и внутривидовой изменчивостью. На морфологическую изменчивость отоликов влияют факторы окружающей среды, в частности температура воды и солёность. Изменчивость формы отоликов может быть связана в том числе с генетическими, онтогенетическими и экологическими факторами. Таким образом, знание морфологии отоликов играет важную роль при анализе особенностей жизненного цикла рыб, их морфологии, таксономии и эволюции.

Морфология отоликов морского ерша акватории Крыма остаётся неисследованной.

Цель работы — изучить морфологические особенности отоликов (сагитта) морского ерша и связь их размеров с размерами тела и возрастом.

Материал собран в период с июня 2020 г. по июль 2021 г. у берегов Севастополя от бухты Омега до бухты Матюшенко. Рыб отлавливали донными неводами (ячей 12 мм) на глубинах от 2 до 20 м. Изучено 90 особей *S. porcus*, из них 69 самок (TL от 9,1 до  $(26,9 \pm 0,42)$  см; масса от 12,89 до  $(432,58 \pm 8,7)$  г; возраст от 3 до 12 лет) и 21 самец (TL от 9,2 до  $(18,6 \pm 0,64)$  см; масса от 13,72 до  $(151,47 \pm 8,3)$  г; возраст от 4 до 8 лет).

После очистки и просушки отолики просматривали в отражённом свете на тёмном фоне при 20-кратном увеличении. Годовым кольцом считали границу между внешним краем транслюцентной зоны (тёмной) и внутренним краем опаковой зоны (светлой). Длину отоликов (OL) определяли как прямую, соединяющую ростральный и постростральный край. Посредством регрессионного анализа изучали такие параметры отоликов, как зависимость длины рыбы (TL) от длины отоликов (OL), массы рыбы (W) от массы отоликов (OW), длины отоликов (OL) от возраста (A), массы отоликов (OW) от возраста (A). Статистическую значимость различий параметра  $b$  регрессий от 1 проверяли при помощи  $t$ -критерия Стьюдента. Если значение показателя степени не отличалось от 1, зависимость считали изометрической (равномерный рост отоликов), в противном случае — аллометрической (неравномерный рост отоликов).

Отолики *S. porcus* продолговатые, тонкие, прозрачные, дорсальная сторона с зубчатыми выростами, вентральная сторона с волнообразными заострёнными выступами, рострум короткий, широкий, с закруглённой вершиной, антирострум хорошо различимый.

Зависимости размеров отоликов от размеров рыб и возраста описываются следующими уравнениями:

- зависимость TL от OL для самок —  $TL = 1,9603OL^{1,0794}$  ( $R^2 = 0,82$ ; зависимость изометрическая;  $t = 1,17$ ;  $p < 0,05$ ), для самцов —  $TL = 1,7625OL^{1,1048}$  ( $R^2 = 0,94$ ; зависимость изометрическая;  $t = 1,66$ ;  $p < 0,05$ );
- зависимость W от OW для самок —  $W = 13142OW^{1,2772}$  ( $R^2 = 0,84$ ; зависимость положительно аллометрическая;  $t = 4$ ;  $p < 0,05$ ), для самцов —  $W = 9585,6OW^{1,2323}$  ( $R^2 = 0,95$ ; зависимость положительно аллометрическая;  $t = 1,91$ ;  $p < 0,05$ );

- зависимость OL от A для самок —  $OL = 0,8233A^{1,0093}$  ( $R^2 = 0,6042$ ), для самцов —  $OL = 1,4008A^{0,7545}$  ( $R^2 = 0,6828$ );
- зависимость OW от A для самок —  $OW = 23,728A^{0,3483}$  ( $R^2 = 0,6026$ ), для самцов —  $OW = 20,028A^{0,285}$  ( $R^2 = 0,8161$ ).

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что высокое значение детерминации  $R^2$  свидетельствует о тесной взаимосвязи размеров отолита, размера тела рыбы и её возраста. Отношение роста длины рыбы к росту отолитов является близким к изометричному, а отношение массы рыбы к массе отолитов характеризуется положительной аллометрией.

## Видовой состав зообентоса Кавказского шельфа по результатам исследования 2021 г.

Кан В. В., Елфимова Н. С., Канаканиди Е. К.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

✉ [kan\\_v\\_v@azniirkh.ru](mailto:kan_v_v@azniirkh.ru)

Зообентос является одним из достоверных индикаторов антропогенного воздействия на водную среду. Особенности биологии этой группы донных беспозвоночных делают их наиболее уязвимыми к различным загрязнениям гидросферы. Изучение полученных достоверных сведений о донных сообществах даст возможность использовать их для детекции состояния гидросферы прибрежных акваторий северо-восточной части Кавказского шельфа Чёрного моря.

Цель работы — исследование современного состава зообентосных сообществ северо-восточной части Кавказского шельфа Чёрного моря в 2021 г.

Материалом послужили данные гидробиологических съёмок АзНИИРХ, выполненных в летний период 2021 г. Работы проводили на 14 станциях, расположенных на участке от Керченского пролива до г. Адлера, в батиметрическом диапазоне 18–50 м. Отбор проб проводили дночерпателем Петерсона площадью 0,1 м<sup>2</sup>. Пробы фиксировали 70%-ным раствором спирта с добавлением 4%-ного формалина. Обработку проб вели по общепринятой методике. Видовую идентификацию проводили с помощью региональных определителей. Встречаемость и средняя численность видов были рассчитаны с учётом всех проб, собранных на данной территории в августе. По встречаемости и численности виды делили на четыре группы: массовые (частота встречаемости 80–100 % и средняя численность более 1000 экз.·м<sup>-2</sup>); обычные (частота встречаемости 50–79 % и средняя численность всегда менее 1000 экз.·м<sup>-2</sup>); редкие (частота встречаемости 10–45 %); единичные (частота встречаемости < 10 %).

В составе бентофауны северо-восточной части Кавказского шельфа Чёрного моря основу численности составили следующие группы донных организмов: фораминиферы, нематоды, малощетинковые черви, многощетинковые черви, двустворчатые и брюхоногие моллюски, ракообразные, губки.

Наибольшая численность наблюдалась в группе многощетинковых червей, где доминировали такие обычные виды, как *Aricidea claudiae* Laubier, 1967 (максимальный показатель — 4425 экз.·м<sup>-2</sup> по станции близ г. Туапсе) и *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864) (максимум — 2915 экз.·м<sup>-2</sup> по г. Туапсе).

В группе двустворчатых моллюсков по показателю численности доминировал один обычный вид, *Pitar rudis* (Poli, 1795) (среднее значение — 725 экз.·м<sup>-2</sup>), и два редких, *Gouldia minima* (Montagu, 1803) (среднее значение — 285 экз.·м<sup>-2</sup>) и *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) (наибольшее значение — 123 экз.·м<sup>-2</sup>). Максимальные показатели численности зарегистрированы на станции близ г. Геленджика — 4745 экз.·м<sup>-2</sup>.

Для брюхоногих моллюсков основу численности составляли обычный вид *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778) (среднее значение — 740 экз.·м<sup>-2</sup>) и редкий вид *Calyptrea chinensis* (Linnaeus, 1758) (среднее значение — 104 экз.·м<sup>-2</sup>). Максимальное значение численности зафиксировано на станции возле мыса Большой Утриш.

Ракообразные были представлены в основном редко встречающимися организмами — *Iphinoe* sp. (среднее значение — 300 экз.·м<sup>-2</sup>), *Ampelisca diadema* (Costa, 1853) (среднее значение — 75 экз.·м<sup>-2</sup>) и *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) (среднее значение — 77 экз.·м<sup>-2</sup>). Максимальное значение численности зарегистрировано на станции у мыса Железный Рог — 440 экз.·м<sup>-2</sup>.

Фораминиферы (единичный вид) были отмечены лишь на одной станции близ г. Адлера. Их численность в данном квадрате составила 570 экз.·м<sup>-2</sup>.

Нематоды были представлены в основном редко встречающимися организмами; их среднее значение по станциям составило 176 экз.·м<sup>-2</sup>. Максимальное значение численности зарегистрировано на станции у села Южная Озеревка — 250 экз.·м<sup>-2</sup>.

Группа губок в найденных пробах была представлена единичным родом из Porifera; средняя численность составила 60 экз.·м<sup>-2</sup>. Максимальная численность в исследуемом регионе — 70 экз.·м<sup>-2</sup> на станции у села Южная Озеревка.



## Результаты исследований макрозообентоса Веселовского водохранилища в 2021 г.

Канаканиди Е. К.<sup>1,2</sup>, Елфимова Н. С.<sup>1</sup>, Кан В. В.<sup>1,2</sup>, Хренкин Д. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Иванковского,  
Ростов-на-Дону, Россия

✉ [kanakanidi\\_e\\_k@azniirkh.ru](mailto:kanakanidi_e_k@azniirkh.ru)

Веселовское водохранилище — водный объект высшей рыбохозяйственной категории. Пополнение запасов промысловых рыб в нём осуществляется за счёт как их естественного размножения, так и искусственного воспроизводства. Для рыбохозяйственных целей важной является оценка кормовой базы рыб, в том числе кормового бентоса.

В апреле 2021 г. на Веселовском водохранилище были проведены гидробиологические исследования с целью определения видового состава, биомассы и численности донных беспозвоночных. Пробы отбирали в трёх точках водохранилища — в балке Житкова, в центральной части приплотинного участка и в центральной части Садковского канала — на глубинах от 3 до 6 м. Работы были проведены с использованием стандартных методик. В качестве орудия сбора проб использовали дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>. Пробы зообентоса отбирали в двух повторностях. При работе на катере спуск и подъём прибора проводился вручную.

В составе макрозообентоса обнаружены представители четырёх основных его групп — моллюски, малощетинковые черви, насекомые и ракообразные. Наиболее разнообразно были представлены ракообразные, среди которых отмечено несколько видов рода *Chelicorophium*. Моллюски были представлены двумя видами — *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897); каждая из прочих групп — одним. Олигохет и личинок хирономид до вида не идентифицировали.

От станции к станции число зарегистрированных видов (групп видов) варьировало от 1 (в балке Житкова) до 7 (Садковский канал).

В районе работ численность макрозообентоса изменялась от 280 до 11 520 экз. · м<sup>-2</sup>, в среднем составляя 1085 экз. · м<sup>-2</sup>. Наименьшая численность зарегистрирована в балке Житкова, наибольшая — на Садковском канале. Биомасса варьировала от 1,40 до 4886,23 г · м<sup>-2</sup>, среднее значение составляло 438,43 г · м<sup>-2</sup>. Максимальные значения биомассы отмечены в центральной части Садковского канала, где зафиксирован фитофильный биоценоз с преобладанием друз двустворчатых моллюсков *D. polymorpha* и *D. bugensis*. Дрейссена доминировала как по биомассе, так и по численности; кроме того, её мелкоразмерные особи формировали основу кормовой биомассы, средние показатели которой составляли 4,01 г · м<sup>-2</sup>. Основу «мягкого» кормового зообентоса формировали хирономиды и олигохеты.

Проведённое исследование позволяет оценить уровень трофности данного водного объекта по шкале Китаева как очень высокий.

## Изменчивость ихтиопланктонных комплексов у берегов Крыма и Кавказа в разные фазы летнего гидрологического сезона 2021 г.

Климова Т. Н., Субботин А. А., Вдодович И. В., Загородняя Ю. А., Мельников В. В.,  
Чудиновских Е. С.

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

✉ [tnklim@mail.ru](mailto:tnklim@mail.ru)

Представлены особенности распределения ихтиопланктона в разных районах северной части Чёрного моря в летний нерестовый сезон. Показано, что видовой состав и численность ихтиопланктона зависят от параметров летнего гидрологического режима — динамики поверхностных вод, особенностей формирования вертикальной термической стратификации вод и толщины верхнего прогретого квазиоднородного слоя, где происходят эмбриональное и постэмбриональное развитие тепловодных видов рыб, а также размножение кормовых объектов личинок рыб.

Материал собран с 29 июня по 9 августа 2021 г. в северной части Чёрного моря у Крымского полуострова и у берегов Кавказа в 117-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Сбор проб проводили в режиме вертикальных ловов от дна до поверхности ихтиопланктонной сетью Hensen и планктонной сетью Джеди. Для анализа термохалинной структуры и динамики вод использовали данные STD-зонда Sea-Bird 911plus, а также материалы спутниковых наблюдений температуры поверхности моря и расчётные карты геострофических и ветровых течений ([http://dvs.net.ru/mp/index\\_ru.shtml](http://dvs.net.ru/mp/index_ru.shtml)).

Сбор материала в рейсе выполнялся в два этапа, поэтому средняя численность и структура видового состава ихтиопланктона в районах исследований значительно различались в зависимости от особенностей гидрологического режима. Первый этап съёмки выполнялся в начальной фазе летнего гидрологического сезона (далее — ЛГС) в шельфовых и глубоководных участках моря у Крымского полуострова от акватории Севастополя до Феодосийского залива с 29 июня по 7 июля. Второй этап съёмки проводили в прибрежно-шельфовой зоне и на глубоководных участках моря вдоль берегов Кавказа от Керченского пролива до границы экономической зоны России с 30 июля по 9 августа в условиях устойчивого состояния параметров ЛГС с максимальным прогревом верхнего слоя моря и сформировавшейся вертикально-термической стратификацией вод летнего типа. Циркуляция поверхностных вод у берегов Крыма характеризовалась слабыми неустойчивыми течениями и отсутствием характерных для этого периода года прибрежных антициклонических круговоротов. У берегов Крыма поверхностная температура моря колебалась от +19 до +25,4 °С, толщина верхнего квазиоднородного слоя (далее — ВКС) составляла 6–9 м. Летний нерестовый сезон тепловодных рыб только начался. В ихтиопланктоне отмечены 15 видов рыб (11 тепловодных и 4 умеренноводных). Средняя численность икры составляла 30,3 экз.·м<sup>-2</sup>, личинок — 3,3 экз.·м<sup>-2</sup>. Доля умеренноводных видов рыб в ихтиопланктоне была сравнительно высокой; доля икры составляла 10,6 %, личинок — 21,2 %. На шельфе отмечены икра и личинки 13 видов рыб из 11 семейств, в глубоководной акватории — 7 видов из 6 семейств. Средняя численность икры на шельфе — 32,3 экз.·м<sup>-2</sup>, в глубоководье — 28,6 экз.·м<sup>-2</sup>. Численность личинок на шельфе и в глубоководной части моря была близка — около 3 экз.·м<sup>-2</sup>.

В районе Кавказа поверхностная температура моря изменялась от +25,2 до +29,7 °С, а толщина ВКС — от 7–8 м в глубоководной части моря до 16–17 м в прибрежно-шельфовой зоне. Характер циркуляции поверхностных вод в районе Кавказа существенно изменился. В начале съёмки значительно активизировалась струя Основного черноморского течения, которая трансформировалась в сплошной поток, охватывающий всю прибрежно-шельфовую зону у Кавказского побережья — вплоть до Керченской предпроливной зоны. В ихтиопланктоне отмечены 20 видов икры и личинок рыб из 14 семейств. Средняя численность икры у берегов Кавказа возросла до 160,8 экз.·м<sup>-2</sup>, личинок — до 164,2 экз.·м<sup>-2</sup>. Обилие личинок свидетельствует о массовом результативном нересте в данном районе. Зарегистрированы два умеренноводных вида из двух семейств; доля их икры не превышала 0,5 %, а доля личинок составляла менее 0,1 %. В шельфовых водах отмечены икра и личинки 16 видов рыб из 12 семейств, в глубоководных районах — 14 видов рыб из 12 семейств. Показатели средней численности икры на шельфе и в глубоководной акватории были одного порядка — 159,6 и 160,9 экз.·м<sup>-2</sup> соответственно. Средняя численность личинок на шельфе была в 5 раз

выше, чем в глубоководье, и составляла  $452 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ , а максимальная достигала  $936 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ . В пробах доминировали икра и личинки хамсы *Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758. У Крымского полуострова доля икры хамсы составляла 67 %, личинок — 51,5 %; значения у берегов Кавказа были равны 96,2 и 87,4 % соответственно.

Личинки у берегов Крыма были представлены единичными экземплярами, поэтому размерно-массовые характеристики и данные о питании личинок приведены только для района Кавказа. Среди личинок *E. encrasicolus* и *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) доля находящихся на желточном типе питания составляла 74 и 31 % соответственно, что свидетельствовало о продолжающемся результативном нересте. В пищевом комке личинок на смешанном и внешнем типах питания были идентифицированы ювенильные стадии копепод Calanoida и Cyclopoidea, а также мелкие Cladocera. Calanoida доминировали в кишечниках, составляя более 70 % общего количества потреблённых организмов. Высокая численность, широкий размерный ряд и содержимое кишечника личинок свидетельствовали о благоприятных условиях для их выживания. Наибольшая гибель личинок рыб обычно наблюдается при переходе от желточного типа питания к экзогенному, когда необходимо наличие в большом количестве кормовых объектов доступного размерного диапазона. При анализе кормовой базы личинок рыб было установлено снижение размерного состава пищевых объектов и, следовательно, увеличение их доступности для личинок младшей возрастной группы. Средняя биомасса кормового зоопланктона у Кавказа составила  $124 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , что втрое превышало показатели для побережья Крыма. Численность кормового зоопланктона у берегов Кавказа составляла  $2966 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ ; это значение в 5,6 раза выше, чем у берегов Крыма. Увеличение численности кормового зоопланктона и отдельных его групп в августе наблюдалось вдоль всего Кавказского побережья. Так, численность кладоцер возросла на 2 порядка, а численность личинок донных животных (Bivalvia, Gastropoda, Cirripedia, Polychaeta и Decapoda) — в 30 раз, что, несомненно, являлось благоприятным фактором для выживания личинок рыб.

Наши результаты подтверждают раннее полученные данные о том, что результативность нереста тепловодных рыб в начальной фазе летнего гидрологического сезона определяют термические условия среды, тогда как в период массового нереста ключевыми факторами являются толщина ВКС и динамическая активность вод, которая создаёт оптимальные условия для развития кормового зоопланктона, необходимого для выживания личинок рыб.

## Распространение и численность экзотических дождевых червей в почвах Омской области (Западная Сибирь)

Князев С. Ю., Бабий К. А., Голованова Е. В.

Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

✉ [labinvert@omgpu.ru](mailto:labinvert@omgpu.ru)

Потепление климата в Западной Сибири приводит к обогащению фауны новыми видами черотелок, жужелиц и растений. Менее заметными остаются изменения в почвенной фауне, так как они скрыты, однако последствия подобных внедрений экзотических видов тоже способны приводить к существенным изменениям почвенной среды и вызывать такие же масштабные изменения экосистемы, как и наземные инвазии. Дождевые черви являются экосистемными инженерами почв, которые влияют на других представителей почвенной фауны и изменяют физический и химический состав почв, а значит, внедрение экзотических видов дождевых червей потенциально представляет серьёзную угрозу для территорий, в которые они приходят.

Известно, что видовое разнообразие равнинной части Западной Сибири увеличилось с 10 видов и 2 подвидов до 18 видов и 4 подвидов. Повышение температуры и уменьшение уровня промерзания почв в Омской области способствует распространению экзотических дождевых червей. Необходимо проводить исследования и фиксировать распространение экзотических видов дождевых червей, а также изменение их численности, чтобы получить данные для прогнозирования изменений состояния почв и окружающей среды, к которым могут привести их внедрения. По результатам лабораторных экспериментов установлено, что инвазивные виды дождевых червей, обитающих в Омской области, изменяют доступность макроэлементов в почве.

Цель работы — изучить распространение и численность экзотических дождевых червей в почвах Омской области.

Материал собран на территории Омской области в 2018 г. Количественные учётные дождевых червей проведены в основных типах зональных ландшафтов и экосистемах речной долины реки Иртыша по методике Гилярова (1987) в период максимальной численности. Собранных червей фиксировали в 70%-ном этиловом спирте и взвешивали. Вид дождевого червя устанавливали по определителю Всеволодовой-Перель (1997) и материалам статьи Перель (1985). Всего обнаружено 10 видов и 2 подвида дождевых червей.

Экзотические виды дождевых червей, обитающих в Омской области, можно разделить на три группы по месту происхождения: обитатели Рудного Алтая [*Eisenia ventripapillata* Perel, 1985, *E. nana* Perel, 1985, *E. tracta* Perel, 1985 и *E. sibirica* Perel & Graphodatsky, 1984]; европейские [*Aporrectodea caliginosa caliginosa* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1881) и *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826)]; американские [*Bimastos rubidus tenuis* (Eisen, 1874) и *Bimastos rub. subrubicundus* (Eisen, 1874)].

Распространение *E. ventripapillata*, *E. nana*, *E. tracta* и *E. sibirica* происходит за счёт речной системы Иртыша: дождевые черви и их коконы вместе с почвой захватываются водными потоками и переносятся на большие расстояния с территории Рудного Алтая, где эти виды впервые были обнаружены и описаны. Далее они закрепляются ниже по течению Иртыша, на территории Омской области. Европейские и американские виды были завезены с европейской части России в период активного освоения Западной Сибири. В широтном градиенте экзотические виды заходят в северные регионы Омской области и обнаружены в ландшафтах речной долины, а *E. sibirica* обитает только там и не встречается в зональных ландшафтах.

Численность экзотических дождевых червей показала существенные колебания со средним значением  $5,2 \text{ особи} \cdot \text{м}^{-2}$  ( $\text{max} = 42 \text{ особи} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $\text{min} = 0,21 \text{ особи} \cdot \text{м}^{-2}$ ). Плотность дождевых червей в долине реки Иртыш выше, чем в зональных ландшафтах Омской области. Самая высокая численность зарегистрирована в лесах Омской области; численность дождевых червей на лугах ограничена содержанием влаги в почве.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 22-14-20034).

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/96.pdf>.



## Роль антиоксидантов в повышении криорезистентности спермы осетровых

Коляда М. Н., Осипова В. П., Пономарева Е. Н.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

✉ [mnkolyada@mail.ru](mailto:mnkolyada@mail.ru)

Известно, что криоконсервирование репродуктивных клеток рыб является актуальным направлением в аквакультуре и в стратегии сохранения генетического биоразнообразия. Несмотря на очевидные преимущества применения криотехнологий, использование криоконсервированной спермы в настоящее время крайне недостаточно из-за низкой фертильности дефростированной спермы. Известно, что спермии осетровых рыб обладают низкой криорезистентностью по сравнению с другими гидробионтами, что связано, вероятно, с их морфологическими, биохимическими и физиологическими особенностями. Например, в отличие от спермы костистых рыб, сперматозоиды осетровых характеризуются наличием акросомы, которая также может повреждаться при криоконсервации. На сегодняшний день, несмотря на длительную историю экспериментальных исследований в данной области, существующие технологии всё ещё недостаточно эффективны для рутинного применения в аквакультуре и по-прежнему остаются главным образом экспериментальными разработками.

С учётом того, что важным фактором криоповреждения спермиев рыб является гиперпродукция в них активных форм кислорода (далее — АФК), перспективным подходом к оптимизации методов криоконсервирования считается добавление в базовые защитные среды соединений с антиоксидантной активностью. Для повышения криоустойчивости репродуктивных клеток осетровых использовались такие известные антиоксиданты, как аскорбиновая кислота, глутатион, N-ацетилцистеин, ионол (2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол), тролокс (водорастворимый аналог витамина E), лизин, глутамин, таурин, антиоксидантный фермент каталаза, а также композиции с антиоксидантным действием, например аскорбиновая кислота с глутатионом или каталазой. Многие исследования показали, что добавление антиоксидантов в базовые защитные среды может снизить внутриклеточный уровень АФК в сперме осетровых рыб и, как следствие, улучшить качество дефростированной спермы. Эффективность используемых антиоксидантов зависит от их типа, дозы и вида осетровых рыб, а также от таких факторов, как режим замораживания и используемая основная криозащитная среда. Так, было установлено, что добавление каталазы (25 ед·мл<sup>-1</sup>), глутатиона (0,25–0,5 мг·мл<sup>-1</sup>) и аскорбиновой кислоты (0,5 мг·мл<sup>-1</sup>) в базовую криозащитную среду, содержащую 30 мМ сахарозы, 20 мМ Трис, 1 мМ KCl и 10 % метанола, позволило сохранить целостность акросомы и мембраны дефростированной спермы корейского осетра (*Acipenser dabryanus*), однако это не привело к повышению фертильности спермиев.

При использовании N-ацетилцистеина (НАС), который является предшественником глутатиона и способен разлагать дисульфиды, в концентрации 9,8 мМ обнаружено снижение подвижности и фертильности спермы данного вида осетровых. Негативное влияние НАС на качество дефростированной спермы рыб может быть связано с его способностью генерировать тиольные радикалы, которые всё чаще рассматриваются как промежуточные звенья в окислительном повреждении различных биологических систем. Кроме криопротекторных свойств известных антиоксидантов, при криоконсервации спермы осетровых исследовались криопротекторные свойства гибридных мультифункциональных антиоксидантов, например производных алкилированных фенолов, которые более эффективны, чем известные антиоксиданты, благодаря способности взаимодействовать с АФК на различных стадиях окислительного процесса.

Так, ранее нами для сперматозоидов белуги (*Huso huso*) обнаружена высокая криопротекторная активность 3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидроксифенилметиленидифосфоновой кислоты, превышающая активность ионола и тролокса. При внесении данного синтетического антиоксиданта из ряда фосфорсодержащих стерически затруднённых фенолов в концентрации 0,1 мМ в модифицированную среду Штайна установлено возрастание фертильности спермиев в 2 раза. Данный факт, вероятно, связан с наличием в молекуле двух фрагментов — антирадикального (стерически затруднённый фенольный фрагмент) и хелатного (фосфорильные группы), способного образовывать комплексы, что обуславливает множественный механизм антиоксидантного действия. Впо-

следствии обнаружена видовая специфичность криопротекторного действия 3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидроксифенилметиленидифосфоновой кислоты, которая оказалась более эффективной при криоконсервации спермы белуги, чем спермы русского осетра и севрюги. Повышение криорезистентности спермиев русского осетра установлено и при использовании новых производных пирролидина, при применении которых не только повышается подвижность спермиев рыб, но и снижается уровень пероксидации липидов биомембран спермиев. Использование в качестве антиоксидантов асимметричных тиоэфиров на основе 3,5-ди-*трет*-бутилкатехина позволяет сохранить жизнеспособность дефростированных сперматозоидов данного вида осетровых и снизить концентрацию ДМСО, который проникает через клеточную мембрану криопротектора и обладает определённой токсичностью.

Таким образом, гибридные мультифункциональные таргетные антиоксиданты, проявляющие высокую эффективность криопротекторного действия при криоконсервации спермы осетровых, могут быть альтернативой известным антиоксидантам для повышения криорезистентности спермиев данных реликтовых рыб.

В настоящее время нами изучается возможность применения новых гибридных молекул из ряда экранированных фенолов, содержащих различные функциональные группы. Наличие нескольких редокс-активных центров в молекуле должно способствовать повышению эффективности антиоксидантного действия в минимальных концентрациях, что, в свою очередь, будет снижать возможность проявления нежелательных побочных эффектов. Проведение предварительных исследований по влиянию новых антиоксидантов фенольного типа на процент и время поступательных движений, а также на уровень пероксидации липидов спермы белуги, русского осетра и стерляди свидетельствует о перспективности их дальнейшего изучения в качестве криопротекторов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-16-00095.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/89.pdf>.





## Моделирование супероксидутилизирующей активности новых гидроксипроизводных халконов — потенциальных криопротекторов

Коляда М. Н.<sup>1</sup>, Пащенко К. П.<sup>2</sup>, Великородов А. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

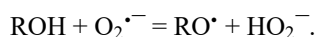
<sup>3</sup>Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

✉ [mnkolyada@mail.ru](mailto:mnkolyada@mail.ru)

Важную роль в интенсификации окислительных процессов при криоконсервации различных биологических объектов, в том числе репродуктивных клеток рыб, играет продукт одноэлектронного восстановления кислорода — супероксид анион-радикал ( $O_2^{\bullet-}$ ). Следовательно, антиоксиданты (далее — АО), вводимые в базовую криозащитную среду для поддержания физиологического уровня реактивных форм кислорода (РФК) при криоконсервации, должны обладать  $O_2^{\bullet-}$ -утилизирующей способностью. В последнее время синтезировано большое количество биологически активных веществ с потенциальной антиоксидантной активностью на основе фенолов и различных карбаматных производных. Поскольку изучение антирадикальной активности различных антиоксидантов в биосистемах нередко сопряжено с неоднозначностью в интерпретации полученных данных, представляется целесообразным применение квантово-химических расчётов для изучения механизмов взаимодействия АО с реактивными формами кислорода.

В данном исследовании на примере реакции с  $O_2^{\bullet-}$  проведено квантово-химическое моделирование антиоксидантной активности новых карбаматных производных фенола — соединений **1** (метил-N-(4-(E)-3-[3,5-ди(трет-бутил)-4-гидроксифенил]2-пропеноилфенил)карбамат) и **2** (метил-N-[4-(3,5-диоксо-2,5-дигидро-3H-имидазо-[5,1-a]изоиндол-1-ил)-3-гидроксифенил]карбамат) — и известного фенольного АО прямого действия, ионола (**3**), в качестве соединения сравнения. Соединение **1** содержит пространственно затруднённый фенольный гидроксил, а также фрагмент халкона. В гетероциклическом соединении **2** фенольный фрагмент непосредственно связан с карбаматным фрагментом. Ранее для соединения **1** в модельных системах пероксидного окисления олеиновой кислоты и липидов гомогената печени тилапии *in vitro* установлена пролонгированная антиоксидантная активность.

Антиоксидантную активность исследуемых карбаматов оценивали, моделируя их взаимодействие с  $O_2^{\bullet-}$  по схеме:



Методом функционала плотности с использованием программы Gaussian 09 были рассчитаны энергетические эффекты ( $\Delta E$ ) отрыва водорода от ОН-групп соединений как разность полных энергий конечных и начальных структур. Квантово-химический расчёт показал, что значение  $\Delta E$  для реакции соединения **1** с  $O_2^{\bullet-}$  составляет  $66,2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ , соединения **2** —  $71,2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ , ионола —  $68,5 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ . Ранее нами с применением данного метода рассчитаны значения  $\Delta E$  реакций с  $O_2^{\bullet-}$  таких соединений, содержащих халконовый и кумариновый (бензопираноновый) фрагменты, как 3-[(E)-3-(2,4-дигидроксифенил)-2-пропеноил]-2H-хромен-2-он и 3-[(E)-3-(4-гидроксифенил)-2-пропеноил]-2H-хромен-2-он. Значения энергетических эффектов реакций указанных соединений с  $O_2^{\bullet-}$  составляют порядка  $100 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ . Таким образом, в данной работе показано, что в рамках используемого модельного подхода способность новых гидроксизамещённых арилкарбаматов к утилизации  $O_2^{\bullet-}$  превосходит активность ранее исследованных соединений с халконовым и кумариновым фрагментами и сравнима с таковой ионола.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 22-16-00095.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/167.pdf>.





## Влияние солей аммония и лантана на активность и разнообразие почвенных метанотрофов

Кравченко И. К.<sup>1</sup>, Сизов Л. Р.<sup>2</sup>, Лысак Л. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ [irinakravchenko@inbox.ru](mailto:irinakravchenko@inbox.ru)

Микробные сообщества почв отвечают за осуществление важнейших экосистемных процессов, что вызывает постоянно растущий интерес к изучению их устойчивости и восстановления после стрессовых воздействий. Таксономический состав и метаболическая активность почвенных метанотрофов определяются большим количеством биотических, абиотических и антропогенных факторов. Внесение минеральных удобрений в почвы агроэкосистем приводит к изменению активности процессов окисления метана, что влияет на его эмиссию в атмосферу и, как результат, на глобальное потепление. Недавнее открытие нового класса лантансодержащих ферментов (метанолдегидрогеназ) у метано- и метилотрофных бактерий формирует предпосылки для разработки новых подходов к регуляции активности почвенного «метанового фильтра» и сопутствующей почвенной микробиоты. Именно поэтому изучение влияния поступающих в почву с удобрениями солей аммония и лантана на активность и разнообразие почвенных метанотрофных бактерий — важная и актуальная задача. Сведения о влиянии удобрений на метанотрофные сообщества весьма ограничены, причём наиболее часто рассматриваются азотные соединения. О влиянии на микробные сообщества почв других элементов, например лантановидов, известно очень мало, а данные о метанотрофах отсутствуют.

В инкубационных экспериментах с дерново-подзолистой почвой установлено, что внесение соли аммония (100 мкг N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> на г) ингибировало окисление метана в течение первых 3 суток. Это может быть связано с конкурентным ингибированием метанмонооксигеназы аммонием и/или с образованием токсичных промежуточных продуктов его окисления. В то же время внесение соли лантана (5 мкг La<sup>3+</sup> на г) стимулировало окисление метана в течение 17 суток после внесения. Также внесение соли лантана стимулировало потенциальную нитрифицирующую активность, и через 19–24 дня содержание нитратного азота было выше на 24–30 %, чем в варианте без лантана.

Внесение сульфата аммония в почву в количестве, соответствующем широко применяемой в сельском хозяйстве дозе (300 кг N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> на га), приводило к возрастанию доли протеобактерий в микробном сообществе. Инкубация образцов с внесением аммония в атмосферу с высоким (20 %) содержанием метана обуславливала значительное увеличение содержания метанотрофов и доминирование *Gamma*proteobacteria в метанотрофном сообществе. Это связано, вероятно, с высокой адаптивностью и способностью быстро реагировать на доступность субстратов у метанотрофов I типа.

Впервые методом высокопроизводительного секвенирования 16S рРНК в экспериментах с почвенными микробиомами изучен ответ метанотрофных сообществ на внесение лантана. Эффект внесения La на метанотрофное сообщество является пролонгированным; так, изменения через два месяца были выражены сильнее, чем через месяц. Установлено, что внесение солей лантана увеличивало через один и два месяца долю *Methylobacter* в общем пуле последовательностей до 9 и 15 % соответственно, в то время как в исходной почве их содержание было ниже уровня детекции. Одновременно наблюдается возрастание доли облигатного метилотрофа *Methylotenera* до 10 и 19 %. Для представителей рода *Methylotenera* показана способность переключения метаболизма в пользу лантансодержащей метанолдегидрогеназы, которая позволяет высокоэффективно потреблять метанол. В контрольной почве содержание доступного лантана не превышает 1–2 мкг·кг<sup>-1</sup>, и внесение 5 мкг даёт конкурентное преимущество *Methylobacter* и *Methylotenera*.

Таким образом, лантан стимулирует формирование комплексов *Methylobacter* — *Methylotenera* в условиях повышенного содержания метана в почве, что может влиять на вклад сельскохозяйственных почв в регуляцию содержания метана в атмосфере. Полученные результаты требуют проведения дальнейших исследований, направленных на изучение возможных механизмов влияния лантана на процессы окисления метана и аммония в почве и способов их регуляции. Это может способствовать разработке современных подходов к регуляции активности почвенного «метанового фильтра»

и сопутствующей микробиоты, уменьшить негативное влияние глобального потепления климата и стабилизировать запасы почвенного углерода. Данные будут полезны при уточнении эффективных и безопасных доз аммонийных удобрений и содержащих лантан микроудобрений при ведении современного экологически ориентированного сельского хозяйства в средней полосе России.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-24-00418.

## Генетическое разнообразие моржей (*Odobenus rosmarus* Linnaeus, 1758) лежбища на мысе Тиутей-Сале, полуостров Ямал

Крохалева М. А.<sup>1</sup>, Ялковская Л. Э.<sup>1</sup>, Сибиряков П. А.<sup>1</sup>, Бородин А. В.<sup>1</sup>, Соколов А. А.<sup>1</sup>,  
Болтунов А. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Научно-экспедиционный центр «Морские млекопитающие», Москва, Россия

✉ [krohaleva\\_ma@ipae.uran.ru](mailto:krohaleva_ma@ipae.uran.ru)

Морж (*Odobenus rosmarus*) — единственный представитель семейства Odobenidae; имеет циркумполярный ареал; занесён в Красную книгу РФ как сокращающийся в численности редкий вид. Всесторонние исследования этого вида представляют интерес как для изучения биоразнообразия морских экосистем, так и для его сохранения.

В работе представлены данные анализа генетического разнообразия моржей лежбища, расположенного на мысе Тиутей-Сале (западное побережье полуострова Ямал, Россия), которое, по последним данным, является самым крупным в настоящее время континентальным лежбищем (более 2000 особей) на территории РФ. Исследования начаты в рамках комплексной программы по получению данных об атлантических моржах у побережья Ямала и в сопредельных водах для их эффективного сохранения в условиях активного хозяйственного освоения региона. К настоящему моменту для 32 особей из данного лежбища, а также для 10 особей из ближайшего к нему лежбища на острове Вайгач получены полные последовательности гена цитохрома *b* (1140 п. н.). Всего описано 11 гаплотипов, новых для вида и не обнаруженных в других частях ареала. Уникальными для моржей Тиутей-Сале являются пять из семи гаплотипов, обнаруженных в выборке; для моржей с острова Вайгач — четыре из шести. Два гаплотипа с высокой частотой встречаются в обеих группировках. Индексы генетического разнообразия моржей Ямала несколько ниже по сравнению с таковыми моржей с острова Вайгач и с индексами, объединёнными для двух лежбищ. Анализ молекулярной изменчивости AMOVA показал отсутствие значимых межпопуляционных различий ( $p > 0,05$ ). Результаты филогенетических реконструкций (BI, M-J-Network) указывают на общие генетические корни моржа с полуострова Ямал и острова Вайгач и на принадлежность обеих группировок к атлантическому подвиду, в пределах которого они демонстрируют некоторую обособленность. Продолжение генетических исследований с увеличением объёма сравнительного материала и арсенала используемых генетических маркеров будет направлено на оценку степени генетического своеобразия моржа Ямала, выявленного на первом этапе проводимых работ.

Работа выполнена при поддержке департамента внешних связей Ямало-Ненецкого автономного округа и некоммерческой организации «Региональный инновационно-инвестиционный фонд «Ямал».

## Внутривидовая дифференциация общественной полёвки (*Microtus socialis* Pallas, 1773) на основе гена цитохрома *b*: новые данные с территории Кавказа

Крохалева М. А.<sup>1</sup>, Ялковская Л. Э.<sup>1</sup>, Сибиряков П. А.<sup>1</sup>, Надирли Л. В.<sup>2</sup>, Кулиев Г. Н.<sup>2</sup>,  
Бородин А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт зоологии НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

✉ [krohaleva\\_ma@ipae.uran.ru](mailto:krohaleva_ma@ipae.uran.ru)

Важную роль в формировании современного биоразнообразия, одним из критериев которого является внутривидовая генетическая структура, сыграли эволюционные события в пределах видовых ареалов, обусловленные особенностями геологической истории отдельных регионов и сопряжёнными с ними изменениями физико-географических условий.

К значимым для эволюционных преобразований геологическим событиям можно причислить развитие ледниковых покровов, трансгрессии и регрессии морских бассейнов, а для горных районов — ещё и процессы орогенеза. К таким районам относится Кавказ, географическое расположение (на стыке Европы и Азии, в зоне контакта крупных зоогеографических областей) и своеобразие геологической истории которого обусловили его значение для становления отдельных таксонов в качестве фактора изоляции, пути миграции или рефугиума. Одним из перспективных модельных объектов для изучения связи эволюционных преобразований экосистем Кавказа, динамики физико-географических условий и геологической истории региона на фоне глобальных климатических изменений являются представители трибы Arvicolini (полёвки группы родов *Microtus*).

Мы представляем данные анализа полиморфизма гена цитохрома *b* и внутривидовых филогенетических связей общественной полёвки (*Microtus socialis* Pallas, 1773) из пяти локалитетов Малого и Большого Кавказа (территория Республики Азербайджан). Ареал вида представлен рядом изолятов разного уровня, к одному из которых, занимающему территорию от западного берега Каспийского моря до восточного берега Средиземного моря, относятся изучаемые нами популяции. Для 10 секвенированных полных последовательностей цитохрома *b* (1140 п. н.) описано 9 гаплотипов, все новые (не обнаружены ранее в изученных популяциях Большого Кавказа, Грузии, Ирана, Калмыкии, Крыма). В результате филогенетических реконструкций (BI, NJ, ML, M-J-Network) не выявлено отличий между популяциями Большого и Малого Кавказа, как и между *M. socialis* в пределах всего изолята. Однако показана значительная дифференциация единственного гаплотипа из изолята полуострова Крым.

При дальнейшем анализе генетической структуры *M. socialis*, реконструкции её эволюционной истории и роли физико-географических условий Кавказа принципиально важным является проведение оценки генетического разнообразия в пределах всего видового ареала, в первую очередь популяций с полуострова Крым.

Работа выполнена в рамках государственного задания, тема № 122021000094-3.

## Многолетнее влияние Белоярской атомной электростанции на загрязнение наземных экосистем техногенными радионуклидами

Михайловская Л. Н., Трапезникова В. Н., Трапезников А. В., Коржавин А. В., Гусева В. П.,  
Михайловская З. Б.

ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

✉ [mila\\_mikhaylovska@mail.ru](mailto:mila_mikhaylovska@mail.ru)

Загрязнение почв Урала долгоживущими радионуклидами формировалось в течение длительного времени. Источники загрязнения — глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы, газоаэрозольные и жидкие сбросы многочисленных промышленных предприятий ядерного топливного цикла (штатные или аварийные), мирные ядерные взрывы, хранилища ядерных отходов. Белоярская атомная электростанция имени И. В. Курчатова (далее — БАЭС) — один из крупных ядерных объектов Уральского региона. В непосредственной близости к БАЭС находится Институт реакторных материалов (далее — ИРМ). Разделить их вклад в загрязнение окружающей среды невозможно. Штатная работа предприятий сопровождается контролируруемыми газоаэрозольными выбросами и сбросами слаборадиоактивных дебалансных вод; в их составе в окружающую среду поступает целый ряд техногенных радионуклидов —  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238,239,240}\text{Pu}$ .

Цель наших исследований — оценка влияния Белоярской АЭС на уровень загрязнения и пространственного распределения радионуклидов в почвенном покрове экосистем разного типа.

Исследования проводили на территории Свердловской области в 13-км зоне наблюдения БАЭС, загрязняемой газоаэрозольными выбросами и жидкими сбросами. Зона влияния жидких сбросов ограничивается Ольховской болотно-речной экосистемой, куда с 1964 г. сбрасываются слаборадиоактивные дебалансные воды, и водоёмом-охладителем (зарегулированное русло реки Пышмы), в который поступают технологические воды.

Все реперные площадки закладывали в соответствии с концепцией радиоэкологического мониторинга, разработанной ранее. При проведении исследований в расчёт принимали пути поступления, набор загрязнителей, ландшафтно-географические особенности региона. Пробы почв и донных отложений отбирали слоями по 5 см с учётом площади из разрезов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника с длиной стороны 10 м.

Из почвенных образцов выделяли  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  радиохимическим способом. Измерение  $\beta$ -активности препаратов проводили на радиометре УМФ-2000 (Россия) с нижним пределом обнаружения 0,2 Бк. Изотопы Pu определяли на многоканальном  $\alpha$ -спектрометре ORTEC (США) с поверхностно-барьерными детекторами и программным обеспечением AlphaVision-32. Нижний предел обнаружения составлял 0,001 Бк. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  определяли на низкофоновом полупроводниковом  $\gamma$ -спектрометре рентгеновского и гамма-излучения DSPEC jr (ORTEC, США) с нижним пределом обнаружения 0,1 Бк.

В зоне наблюдения БАЭС плотность загрязнения автоморфных почв  $^{239,240}\text{Pu}$  поддерживается на уровне глобального фона и составляет  $0,013\text{--}0,216\text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  —  $0,8\text{--}4,5\text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  —  $0,4\text{--}9,2\text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ . Это в большинстве случаев не превышает уровня регионального фона, сложившегося за счёт выпадений из атмосферы радионуклидов различного генезиса. На основании проведённых исследований в зоне наблюдения атомной электростанции впервые оконтурена территория приземления факела газоаэрозольных выбросов БАЭС и ИРМ. Она ограничена 3–6-км радиусами и азимутальными направлениями от С до ЮВ. Суммарный вклад ядерных предприятий в её загрязнение  $^{90}\text{Sr}$  составляет  $0,8\text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  —  $2,7\text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ . Анализ вертикального распределения радионуклидов в почвах показал, что формирование загрязнения зоны приземления факела выбросов произошло на ранних этапах эксплуатации ядерных предприятий. За период функционирования БАЭС и ИРМ (~ 50 лет) фронт загрязнения сместился вглубь профиля почв. На автоморфных элементах рельефа максимум загрязнения наблюдается на глубине 10–15 см, а все исследованные радионуклиды находятся в пределах 0–25-см слоя почв.

За период эксплуатации предприятий Ольховская болотно-речная экосистема была загрязнена дебалансными водами предприятий до такой степени, что превратилась в источник вторичного загрязнения окружающей среды. В настоящее время плотность загрязнения гидроморфных почв и донных отложений  $^{90}\text{Sr}$  составляет  $2,5\text{--}12,0 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  —  $36,0\text{--}433,6 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ . Вынос  $^{90}\text{Sr}$  из Ольховского болота с водным стоком —  $48,2\cdot 10^6 \text{ Бк}\cdot\text{год}^{-1}$ , а  $^{137}\text{Cs}$  —  $94,8\cdot 10^6 \text{ Бк}\cdot\text{год}^{-1}$ .

Совершенствование технологий очистки и ужесточение нормирования сбросов привели к тому, что радиационная нагрузка на Ольховскую болотно-речную систему стала снижаться с течением времени. Фронт загрязнения болота продвигался по направлению вектора стока. Если на начальных этапах эксплуатации максимальное загрязнение Ольховского болота было отмечено в верхней его части, то в настоящее время радионуклиды равномерно загрязнили поверхностный слой донных отложений болота и верхнего течения реки Ольховки. Миграция радионуклидов на сопредельную территорию ограничена прибрежной полосой затапливаемых почв. В результате горизонтальной и вертикальной миграции с течением времени снизилось содержание радионуклидов в верхнем, 0–5-см слое донных отложений и почв; фронт загрязнения переместился вглубь почв и донных отложений болота. В алювиальных торфяно-глеевых почвах Ольховской болотно-речной экосистемы максимум загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  ( $1400 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ ) сместился на глубину 30 см, в торфяно-илистых отложениях ( $678 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ ) — на глубину 40–50 см. Значимые количества радионуклида обнаружены на глубине 100–110 см.

Многолетняя эксплуатация БАЭС и ИРМ в штатном режиме не привела к существенному загрязнению автоморфных экосистем наблюдаемой зоны техногенными радионуклидами. Гидроморфные почвы и донные отложения Ольховской болотно-речной экосистемы загрязнены  $^{137}\text{Cs}$  и представляют потенциальную радиационную опасность. Развитие миграционных процессов (перемещение фронта загрязнения по вектору стока) может привести к увеличению выноса радионуклидов в открытую гидрографическую сеть и требует постоянного контроля. Для взвешенной оценки радиационной опасности Ольховской болотно-речной системы необходимо провести в ней инвентаризацию современных запасов радионуклидов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН (тема № АААА-А19-119032090023-0).

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/29.pdf>.



## Паразитофауна речного гольяна реки Вишеры

Михеева О. И.<sup>1</sup>, Михеев П. Б.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>3</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

✉ [olgamikheeva81@yandex.ru](mailto:olgamikheeva81@yandex.ru)

Паразиты являются неотъемлемым элементом экосистем, которые объединяют в своём цикле разные группы животных. Исследование фонового состояния популяций паразитов, состояние которых напрямую зависит от численности основных и промежуточных хозяев, крайне важно для возможности применения паразитологических маркеров для анализа процессов, происходящих в антропогенно модифицированной экосистеме. Целью работ являлось изучение паразитов рыб речного гольяна *Phoxinus phoxinus* бассейна верхнего течения реки Вишеры в пределах заповедника «Вишерский». Работа включала сбор данных по численности фоновых и редких видов рыб, а также беспозвоночных животных, сбор данных о паразитофауне рыб, сбор гидрологических данных, отбор гидрохимических проб воды реки Вишеры и низовий притоков реки.

В составе паразитов гольяна обыкновенного было выявлено три вида — *Diplostomum phoxini*, *Rhipidocotyle campanula* и *Triaenophorus nodulosus*. Наиболее многочисленными были метацеркарии трематоды *Diplostomum phoxini* (видоспецифичные паразиты речного гольяна, локализующиеся в головном мозге). Первыми промежуточными хозяевами *D. phoxini*, широко распространённого в водоёмах Голарктики, служат моллюски рода *Lymnaea*. Вторыми промежуточными хозяевами этого паразита являются рыбы рода *Phoxinus*; дефинитивными — крохали *Mergus merganser*. Зарегистрирована онтогенетическая динамика в степени заражённости гольяна метацеркариями трематоды *D. phoxini*. Паразиты не были отмечены у рыб длиной 16–20 мм. Экстенсивность инвазии, индекс обилия, а также интенсивность инвазии возрастали с размером рыб, достигая максимальных значений у особей длиной 50–70 мм. Последнее объясняется постоянным процессом повышения заражённости рыб метацеркариями трематоды *D. phoxini*.

Наши результаты отличны от опубликованных данных заражённости речного гольяна бассейна реки Вычегда, у которого метацеркарии трематоды *D. phoxini* отмечались в головном мозге всех исследованных возрастных и размерных групп.

Также необычным для речного гольяна реки Лыпы было то, что трематода *Triaenophorus nodulosus* была отмечена только у трети рыб размерной группы 21–37 мм и не была выявлена среди рыб большего и меньшего размера. Трематода *Rhipidocotyle campanula* обнаружена лишь у одного гольяна длиной 70 мм. Известно, что триеанофорусы развиваются с участием промежуточных хозяев — планктонных ракообразных циклопов или диаптомусов. Промежуточными хозяевами дигенетических сосальщиков, в частности *R. campanula*, являются моллюски (как брюхоногие, так и двустворчатые). Дефинитивные хозяева *T. nodulosus* и *R. campanula* — хищные рыбы (щука, резе налим, хариус). Вероятно, в условиях верхнего течения реки Вишеры отмечается высокая вариабельность численности первых промежуточных либо окончательных хозяев *T. nodulosus*, необходимых для его жизненного цикла, что приводит к низкой заражённости только определённого размерно-возрастного класса гольяна. Другим объяснением может быть потенциальная миграционная активность гольяна. Возникающие гипотезы требуют подтверждения.



## Биоразнообразие кокциnellид (Insecta: Coccinellidae) наземных экосистем Крыма и его сохранение

Пышкин В. Б.<sup>1,2</sup>, Кобечинская В. Г.<sup>2</sup>, Прыгунова И. Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в Севастополе, Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ [vpbiscri@mail.ru](mailto:vpbiscri@mail.ru)

Биологическое разнообразие Крыма формировалось на протяжении длительной эволюции его экосистем и является важнейшим природным ресурсом. Оно выполняет буферную роль в экосистемах полуострова, снижая негативное воздействие природных и антропогенных факторов и сохраняя их гомеостаз. Ядром биоразнообразия полуострова являются насекомые (около 10 тыс. видов), среди которых выделяются представители небольшого семейства Coccinellidae Latreille, 1807, широко распространённые в наземных экосистемах.

Изучение биоразнообразия кокциnellидофауны наземных экосистем Крымского полуострова проводилось в рамках программы CrimInsecta, разработанной на кафедре геоэкологии и природопользования филиала МГУ имени М. В. Ломоносова. Её основа — информационная система, предназначенная для сбора, хранения и объединения авторских разработок по видовому составу, биологии, экологии и хорологии насекомых Крыма. Организационной основой базы данных Coccinellidae являются материалы фондовых коллекций КФУ имени В. И. Вернадского, ЗИН РАН, Зоологического музея ХНУ и многих частных коллекций, а также литературные источники.

Созданная база данных Coccinellidae включает сведения о 55 видах кокциnellид Крыма (30 родов, 8 триб и 6 подсемейств). Наибольшим видовым богатством характеризуются два подсемейства — Scymninae Mulsant, 1846 и Coccinellidae: они представлены 45 видами, которые составляют почти 82 % видового разнообразия кокциnellид полуострова.

На формирование комплексов кокциnellид в биоценозах экосистем Крыма влияет множество взаимосвязанных и взаимообусловленных факторов: рельеф, освещённость, температура, влажность, растительность, количество и качество корма и др. Большинство видов кокциnellид полуострова по пищевой специализации являются афидофагами, питающимися тлями, — *Scymnus (P.) ferrugatus* (Moll, 1785), *S. (P.) impexus* (Mulsant, 1850), *S. (P.) suturalis* Thunberg, 1795, *Nephus (S.) biguttatus* Mulsant, *Adonia (A.) variegata* (Goeze, 1777), *Harmonia quadripunctata* (Pontoppidan, 1763), *Coccinella (C.) septempunctata* Linnaeus, 1758 и др. К кокцидифагам, питающимся щитовками и червецами, относятся *Chilocorus renipustulatus* (Scriba, 1790), *Parexochomus flavipes* Thunberg, 1781 и *Exochomus quadripustulatus* (Linnaeus, 1758). *Stethorus punctillum* Weise, 1891 — акарифаг, который питается только паутиными клещами. *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758) и *Oenopia conglobata* (Linnaeus, 1758) уничтожают тлей и алейродид. *Propylaea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) — миксоэнтомофаг, питающийся яйцами и личинками чешуекрылых и жесткокрылых насекомых. К филлофагам относятся два вида — *Subcoccinella 24-punctata* (Linnaeus, 1767) и *Bulaea lichatschovi* (Hummel, 1827). Один вид является мицетофагом, который питается мицелием грибов на бобовых, — *Psyllobora vigintiduopunctata* (Linnaeus, 1758).

Пищевая специализация отдельных видов, их биология, фенология, а также приуроченность к определённым экологическим условиям играют значительную роль в распределении кокциnellид по экосистемам полуострова.

Наиболее высоким видовым богатством (43 вида) характеризуются экосистемы горной провинции полуострова — в основном за счёт биоценозов, которые формируются в гигрофитных и мезогигрофитных биотопах экосистем Главной горно-лугово-лесной гряды. Для этих экосистем характерен и высокий показатель таксономического богатства (102 таксона), представляющий сумму таксонов комплексов кокциnellид в их зооценозах. В этих экосистемах встречаются *Adalia decempunctata* (Linnaeus, 1758), *Anatis ocellata* (Linnaeus, 1758), *Subcoccinella vigintiquatuor punctata* (Linnaeus, 1758), *Halyzia sedecimguttata* (Linnaeus, 1758), *Tytthaspis sedecimpunctata* (Linnaeus, 1761) и др.

Увеличение доли ксерофитных и мезоксерофитных биотопов в югобережных экосистемах субсредиземноморья и в лесно-лугово-степных экосистемах яйлинского нагорья приводит к снижению

видового и таксономического богатства комплексов кокциnellид в их биоценозах (23 вида, сумма таксонов — 61 и 17 видов, сумма таксонов — 43 соответственно). В южнобережных экосистемах встречаются *Harmonia quadripunctata* (Pontoppidan, 1763), *Vibidia duodecimguttata* (Poda, 1761), *Chilocorus bipustulatus* (Linnaeus, 1758) и др., а в яйлинских — *Hippodamia tredecimpunctata* (Linnaeus, 1758), *Semiadalia undecimnotata* (Schneider, 1792) и *Pullus auritus* Thunberg, 1795.

В лесостепных экосистемах Предгорья, которые образуют экотон между горно-лесными и степными экосистемами, происходит увеличение видового и таксономического богатства кокциnellид (33 вида, сумма таксонов — 79). По этим показателям они занимают промежуточное положение. В их биотопах формируется комплекс кокциnellид из видов, которые встречаются как в степных, так и горно-лесных экосистемах, — *Scymnus frontalis* (Fabricius, 1787), *Platynaspis (P.) luteorubra* (Goeze, 1777), *Exochomus quadripustulatus* (Linnaeus, 1758), *Coccinula sinuatomarginata* Faldermann, 1837 и др.

Наиболее низкими показателями видового и таксономического богатства характеризуются фаунистические комплексы Керченского полуострова (9 видов, сумма таксонов — 33). В его очень засушливом, умеренно жарком климате формируются степные элювиальные ксерогипотрофные петрофитные ковыльно-типчаковые и элювиально-аккумулятивные ксероолиготрофные бедноразнотравно-злаковые экосистемы. Для их биотопов характерны редкие и очень редкие виды *Nephus (N.) redtenbacheri* (Mulsant, 1846), *Parexochomus melanocephalus* (Zoubkoff, 1833), *Coccidula rufa* (Herbst, 1783) и *Scymnus (P.) impexus* (Mulsant, 1850).

Также сильно обеднены фаунистические комплексы степных экосистем Тарханкутской возвышенной равнины и Центрально-Крымской равнины (16 видов, сумма таксонов — 44 и 15 видов, сумма таксонов — 44 соответственно), для которых характерны широко распространённые в Крыму виды: *Scymnus frontalis* (Fabricius, 1787), *Parexochomus flavipes* Thunberg, 1781, *Chilocorus bipustulatus* (Linnaeus, 1758), *Bulaea lichatschovi* (Hummel, 1827) и др.

Относительно высокими показателями богатства (20 видов, сумма таксонов — 52) характеризуются комплексы биоценозов экосистем Северо-Крымской низменности, которые формируются в основном за счёт широко распространённых видов: *Oenopia conglobata* (Linnaeus, 1758), *Neococcinella (C.) septempunctata* Linnaeus, 1758, *Adonia (A.) variegata* (Goeze, 1777) и *Psyllobora vigintiduopunctata* (Linnaeus, 1758).

К сожалению, широкое распространение кичэкологии, ликвидация заповедников на полуострове, прекращение работ по созданию региональной экологической сети Крыма, застройка и создание рекреационных зон на ООПТ приводят к уничтожению экосистем полуострова и его биоразнообразия. Если экологическая политика на полуострове не изменится, в категорию редких и исчезнувших биологических видов попадут ещё в недалёком прошлом обычные и массовые виды растений и животных.

## Об инвазии *Bonnemaisonia hamifera* Hariot в прибрежные биотопы у Южного берега Крыма (Чёрное море)

Садогурский С. Е., Белич Т. В., Садогурская С. А.

ФГБУН «Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия

✉ [ssadogurskij@yandex.ru](mailto:ssadogurskij@yandex.ru)

На фоне и вследствие глобальных климатических и социально-экономических изменений интенсифицируются инвазии биологических видов на новые территории, в новые экосистемы и биотопы. Своевременное выявление (а лучше предупреждение) инвазий — одна из актуальных задач современной науки. Этому способствуют мониторинговые наблюдения, наиболее эффективные в условиях особо охраняемых природных территорий (далее — ООПТ). Территориально-аквальный комплекс у мыса Мартъян, расположенный на Южном берегу Крыма (далее — ЮБК), заповедан полвека назад (с 1973 г. в статусе государственного природного заповедника, ныне по факту в статусе природного парка). С момента организации в его границах ведётся мониторинг типичных (эталонных) для ЮБК морских донных биотопов. ООПТ «Мыс Мартъян» занимает второе место по уровню разнообразия макрофитобиоты, а по уровню её раритетности лидирует среди всех территориально-аквальных заповедников Крыма и Северного Причерноморья. Сегодня у мыса Мартъян и в прилегающих районах ЮБК зафиксировано появление макроводоросли *Bonnemaisonia hamifera* Hariot. Первичный ареал охватывает северо-западную часть Тихого океана, но с конца XIX в. вид расселяется в Северной Атлантике, а в последнее десятилетие он стремительно распространяется во всех морях Мирового океана. Жизненный цикл *B. hamifera* характеризуется гетероморфной сменой поколений, глобальная экспансия идёт за счёт нитчатой спорофитной стадии (Trailliella-phase), которую прежде считали отдельным видом. Вероятно, наиболее ранним свидетельством появления *B. hamifera* в Чёрном море следует считать её обнаружение (скорее всего, в виде отдельных нитей) в эпибиозе крабов-пауков из Севастопольской бухты в 2011 г. Но на тот момент внедрения в естественные фитоценозы не зафиксировано ни в одном из районов моря, о чём говорит отсутствие упоминания вида в специальных публикациях, а также собственные гидрботанические наблюдения. Первым свидетельством начала широкой экспансии *B. hamifera* в Чёрном море стали результаты НИР 2016–2017 гг., выполненных у кавказских берегов.

В настоящей работе использованы гидрботанические пробы (отобраны в интервале глубин 0–8,0 м) и результаты осмотра и фотофиксации бентосного растительного покрова (до 10,0–12,0 м), полученные в 10 прибрежно-морских акваториях (пунктах) ЮБК в 2015–2021 гг. по общепринятой методике. Ситуация более детализирована для двух прилегающих друг к другу акваторий — у пгт Гурзуф (вблизи аварийного канализационного коллектора) и у мыса Мартъян (на мониторинговом профиле в границах ООПТ).

Впервые на массовое развитие нитчатых багрянок мы обратили внимание 04.07.2018–06.07.2018, при проведении НИР у мыса Итальянка (пгт Партенит), но лишь и камеральный разбор, и анализ материалов, отобранных в пгт Гурзуф (25.07.2020) и у мыса Мартъян (28.08.2019 и 28.06.2020), показали, что мы имеем дело с новым для региона видом.

Ревизия имеющихся материалов показала, что первые немногочисленные талломы *B. hamifera* у мыса Мартъян появились в 2017 г. (28.08.2017). При этом в урочище Батилиман, расположенном западнее на 50 км, в это же время (31.07.2017) их ещё не было. Более ранние материалы (2015–2016 гг.) не выявляют талломы *B. hamifera* ни у мыса Мартъян, ни в других пунктах ЮБК, вплоть до мыса Ай-Фока у села Морского, расположенного восточнее на 60 км, что полностью не исключает вероятность присутствия отдельных незарегистрированных экземпляров (lag-фаза). Сопоставление с литературными данными свидетельствует, что вдоль побережья инвазия и массовое развитие в природных ценозах, судя по всему, происходят, во-первых, с востока на запад, а во-вторых, чрезвычайно быстро. В таком случае вектор инвазии совпадает с направлением Основного черноморского течения и его локальных вдольбереговых ответвлений, которые перемещают воды из Прибосфорского района к нашим берегам.

Детальный анализ современной ситуации в пгт Гурзуф и на ООПТ «Мыс Мартыян», где растительный покров схож, показал, что в обоих пунктах талломы спорофитной стадии *B. hamifera* встречаются на всём обследованном спектре глубин и во всех пробах. При этом в полидоминантных альгоценозах псевдолиторали ( $\pm 0,25$  м) и в сообществах цистозир (*Cystoseira* s. l.) относительно мелководных ( $-0,5 \dots -2$  м) участков отмечены лишь эпифитные нити, идентифицируемые при микроскопировании. У мыса Мартыян такая картина сохраняется вплоть до  $-3 \dots -3,5$  м, а в Гурзуфе вдоль этой изобаты уже присутствуют отдельные экземпляры *B. hamifera*, имеющие вид рыхлых шариков ( $\varnothing = 2 \dots 3$  см), которые образуют общую биомассу до  $10 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ . Глубже значения показателя возрастают. Так, вдоль изобаты  $-5$  м у мыса Мартыян отдельные относительно небольшие разрастания *B. hamifera* образуют биомассу  $76,17 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ , или  $1,74 \%$  от общей биомассы сообщества. В Гурзуфе же отмечены эпифитные маты площадью до нескольких квадратных метров ( $632,17 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ , или  $13,35 \%$  от общей биомассы сообщества), под которыми макрофиты угнетены; местами растительный покров деградирует, чего ранее на таких глубинах в этом районе не было. Полагаем, в Гурзуфе ситуация усугубляется постоянным эвтрофированием из аварийного коллектора, на которое спорофиты *B. hamifera*, обладающие колоссальной удельной поверхностью, реагируют интенсивным разрастанием. Таким образом, *B. hamifera*, успешно конкурируя за ресурсы, теснит аборигенные виды, а с глубины  $-5$  м становится одним из доминантов сообществ *Cystoseira* s. l.

Экземпляры спорофитов *B. hamifera* соответствуют диагнозу вида, спорангии не выявлены. Вероятно, у ЮБК размножение в основном происходит многократным фрагментированием ломких нитчатых талломов, что способствует стремительности экспансии.

Таким образом, время и способ проникновения *B. hamifera* в Чёрное море однозначно определить сложно, как и ключевой фактор, запустивший современный скачкообразный этап глобальной экспансии, частью которой является и наблюдаемая ныне массовая черноморская инвазия этого вида. Анализ литературных данных и результаты собственных наблюдений свидетельствуют о том, что в Чёрное море *B. hamifera* проникла не позднее 2011 г. (вероятно, гораздо раньше), однако без натурализации и всплеск численности оставалась незамеченной исследователями. Либо имела место lag-фаза, либо позже было повторное вселение, при этом вселения происходили или естественным путём через Босфорский пролив, или антропогенно через транспортную инфраструктуру. Начало массовой инвазии в природные ценозы Чёрного моря зарегистрировано в 2015–2016 гг., при этом её первичным центром, судя по всему, стало кавказское побережье (возможно, его порты). К 2017 г. *B. hamifera* уже достигла ЮБК, где ныне регистрируется во всех горизонтах фитали. Массово развиваясь в эпифитоне аборигенных макрофитов, она угнетает их развитие. Это изменяет облик, структуру и продукционные показатели растительного покрова, местами вызывая его деградацию, что позволяет отнести *B. hamifera* к категории видов-трансформеров. Инвазия развивается стремительно, её вектор совпадает с направлением Основного черноморского течения, а масштаб и скорость усугубляются способностью вида к размножению путём неограниченной фрагментации талломов. Вероятно, определённую стимулирующую роль в распространении играет эвтрофирование, которое, однако, не является ключевым фактором. Полагаем, что ныне вид уже внедрился в природные ценозы у юго-западных и западных берегов Крыма, а в ближайшие пару лет заселит западный и северо-западный районы Чёрного моря. Распространение *B. hamifera* в акватории Азовского моря не исключено, так как у берегов Новой Зеландии, например, массовое развитие зафиксировано в устьевой области реки. Инвазия *B. hamifera* угрожает биологическому разнообразию всего Азово-Черноморского бассейна, что в условиях его относительной изоляции может привести к экологической катастрофе, которая затронет все страны региона. К сожалению, нет способов остановить или замедлить процесс. Однако выявление новых и мониторинг уже известных очагов инвазии необходимы для понимания её масштабов, динамики, экологических и социально-экономических последствий.

## Использование метода спутниковой телеметрии в изучении тюленей Белого моря в 2015–2021 гг.

Светочев В. Н., Светочева О. Н.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [svol1961@yandex.ru](mailto:svol1961@yandex.ru)

Спутниковая телеметрия является современным методом исследования экологии морских млекопитающих на севере России. Отработка методов отлова и мечение тюленей в Белом море успешно осуществляются лабораторией морских млекопитающих ММБИ РАН уже более 10 лет. Белое море — арктический водоём, покрытый дрейфующими и припайными льдами в период с ноября по май; на побережьях имеется определённая инфраструктура, что обуславливает недорогие логистические схемы полевых работ по отлову тюленей. Впервые мечение тюленей в Белом море было выполнено ещё в 1995 г. в рамках российско-норвежского проекта по гренландскому тюленю. Использование датчиков спутниковой телеметрии (далее — ДСТ) для изучения экологии и миграций ластоногих и белухи было продолжено в 2003–2014 гг., когда ДСТ были успешно поставлены на 4 белух, 1 нерпу, 4 гренландских тюленей (стадия серки) и 2 морских зайцев. В результате были получены новые данные о сезонном распределении и миграциях животных в Белом и Баренцевом морях.

В период с 2015 по 2021 г. были продолжены работы по мечению тюленей в Белом море; ДСТ были поставлены на 5 нерп (2016, 2018 и 2020 гг.) и на 5 морских зайцев (2015 и 2017 гг.). Результаты мечения нерпы в Двинском заливе показали, что её распределение имело различия летом и осенью. Нерпа не совершала длительных перемещений на большие расстояния летом 2020 г.: тюлень оставался практически на одном месте на прибрежной литорали в течение июля и августа. Осенью распределение нерпы изменилось. Так, тюлени активно перемещались осенью 2016 г. (аналогичные данные получены в 2008 г.). Все нерпы с ДСТ сразу покинули Двинский залив. Одна нерпа вышла в Бассейн и затем ушла к мурманскому берегу, вторая оставалась в Бассейне до конца работы датчика, третья ушла на север моря, в Горло, а затем — в Воронку. Очевидно, что осенью нерпа может двигаться на большие расстояния по всему морю, а также надолго оставаться в пелагиали. В 2017 г. ДСТ продолжали работать до конца февраля; распределение нерпы в ледовый период изменилось: тюлени оставались в локальных стациях на морской кромке припайных льдов в тех районах, где их застало льдообразование.

Морской заяц был помечен в Онежском (2015 г.) и Мезенском (2017 г.) заливах. Анализ данных показал, что летом и осенью распределение тюленей во внутренних районах моря отличалось от такового на севере Белого моря. Меченые 3 морских зайца в Онежском заливе летом оставались в заливе в зоне литорали, периодически кочуя севернее или южнее; осенью один из тюленей ушёл в Двинской залив. ДСТ перестали работать в начале октября. Меченый морской заяц в Мезенском заливе периодически перемещался в открытую акваторию Воронки и выходил в воды Баренцева моря (за мыс Канин), но всегда возвращался к месту отлова — на песчаные отмели залива.

Таким образом, методом спутниковой телеметрии впервые удалось выявить интересные особенности сезонного распределения и поведения постоянных обитателей Белого моря — нерпы и морского зайца. Возможно, одной из главных причин данных особенностей является сезонная доступность основных кормовых объектов. Известно, что именно этот факт обуславливает широкий спектр питания нерпы — более 50 видов гидробионтов, включая рыб, ракообразных и полихет. В питании морского зайца в Белом море преобладают рыбы, а не беспозвоночные, как, например, в Баренцевом море.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/13.pdf>.



## Новые находки мейобентосных простейших в районе Приморского шельфа Японского моря

Сергеева Н. Г., Анিকেева О. В., Абибулаева А. Ш., Довгаль И. В.

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

✉ [abibulaeva@ibss-ras.ru](mailto:abibulaeva@ibss-ras.ru)

Мейобентос Японского моря, как и других морей Дальнего Востока России, хорошо изучен в различных аспектах (таксономический состав, обилие, сезонная динамика, распределение, развитие в условиях марикультуры и антропогенного загрязнения). Результаты исследований представлены в многочисленных публикациях, однако они акцентированы в основном на многоклеточных донных эукариотах и доминирующей группе сообществ — свободноживущих нематодах. Из простейших в качестве компонента мейобентосных сообществ учитываются только фораминиферы, обладающие жёсткой однокамерной или многокамерной раковинкой.

Результаты детальных исследований видового разнообразия этих фораминифер для Японского моря представлены Т. Г. Лукиной и Т. С. Тарасовой (см. «Список свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей России» 2013 г., в который авторы включили 217 видов фораминифер). В списке указан представитель мягкораковинных фораминифер *Allogromia* sp. семейства Allogromiidae как впервые найденный в Беринговом море, районах Южно-Курильских островов и северо-восточного полуострова Сахалин. За этим исключением, информация о мягкораковинных фораминиферах морей Дальнего Востока России отсутствует. Нет данных и о громиидах — дочерней ветви Foraminifera.

Исследования инфузорий Японского моря сосредоточены в основном на изучении свободноживущих (вагильных) цилиат; результаты в большей степени представлены А. И. Азовским и Ю. А. Мазеем (см. «Список свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей России», где авторы, обобщив имеющиеся данные по разнообразию свободноживущих цилиат этой акватории, указали 100 видов).

В свою очередь, видовой состав эпибионтных инфузорий Японского моря изучен слабо. Несколько находок упоминаются в работах А. В. Янковского.

Цель данных исследований — впервые получить представление о мейобентосе Приморского шельфа Японского моря как совокупности его компонентов Protozoa и Metazoa, выявить разнообразие мягкостенных (мягкораковинных) моноталамусных фораминифер и дочерней ветви фораминифер, громиид, а также эпибионтных и вагильных инфузорий, дать оценку их обилия и пространственного распределения, показать их вклад (по численности) в структуру мейобентосных сообществ.

Авторами данного сообщения исследован мейобентос шельфовой зоны Приморья Японского моря в диапазоне глубин 0,3–86 м. Материалом послужили сборы донных осадков на 17 станциях (34 пробы), выполненные в течение 64-го рейса НИС «Академик Опарин» (17.06.2021–08.07.2021). Для изучения мейобентоса на мелководных станциях колонки донных осадков (площадью 10 см<sup>2</sup> и высотой 5 см) вырезали водолазы в двух повторностях; на значительных глубинах такие же образцы грунта получали из монолитов донных отложений, принесённых дночерпателем Ван Вина на борт НИС.

Предварительную обработку образцов проб грунта (фиксированных 75-градусным спиртом), а также их микроскопический и морфометрический анализ проводили по принятой методике в ФИЦ ИнБЮМ. Идентификацию инфузорий проводили по публикациям А. Warren & J. Paynter, И. В. Довгаль, Song *et al.*, Hu *et al.* Систематическое положение таксонов дано по D. H. Lynn.

Мейобентос изученного района весьма разнообразен, он объединяет представителей трёх царств — Fungi, Protozoa (или Chromista) и Animalia (Metazoa). Многоклеточные организмы в сообществах мейобентоса исследованного региона объединяют 20 крупных таксонов (тип, класс, отряд).

В составе простейших отмечены четыре морфоэкологические группы организмов, представляющих три типа: Ciliophora [свободноживущие и эпибионтные инфузории], Foraminifera [твёрдораковинные (hard-shelled) и мягкораковинные моноталамусные (soft-walled, или soft-shelled)] и Cercozoa, класс Gromiidea [громииды].

Плотность поселений одноклеточной и многоклеточной фауны в исследованном районе Японского моря весьма неравномерна. Обилие мейобентоса в целом варьирует в широких пределах от 17 500 до 2 107 500 экз. · м<sup>-2</sup>. Минимальные значения суммарной плотности поселения всех зарегистрированных бентосных простейших — 4500–5000 экз. · м<sup>-2</sup>, максимальные — 155 000 экз. · м<sup>-2</sup>.

Одноклеточные эукариоты — передаточное звено бактериальной и водорослевой продукции на следующие трофические уровни. По данным литературных источников и по нашим наблюдениям, эти протисты являются всеядными — питаются мелкими бактериями, водорослями, пылью наземной растительности, гифами и конидиями морских мицелиальных грибов, простейшими и многоклеточными беспозвоночными. В свою очередь, они служат важным источником пищи для многих донных беспозвоночных в различных средах обитания. Учитывая широкий спектр питания протистов, закономерно предполагать их огромную значимость в круговороте органических веществ в донных экосистемах исследованной акватории.

Видовой состав инфузорий представлен четырьмя классами (11 представителей определены до вида, 4 — до рода). Восемь видов инфузорий были зафиксированы в качестве эпибионтов гарпактикоид: *Cothurnia inclinans* Felinska, 1965, *C. compressa* Claparede et Lachmann, 1859, *C. curvula* Entz (1876), 1884, *Cothurnia* sp. (Ciliophora, Peritrichia), *Rhabdophrya* sp., *Lecanophrya truncata* (Collin, 1909), *Thecacineta cothurnioides* Collin, 1909 и *Corynophrya elongata* Chatterjee et al., 2020 (Ciliophora, Suctorea). Один вид, *Praethecacineta halacari* (Schulz, 1933) (Ciliophora, Suctorea), зафиксирован как эпибионт Асаги; другой вид, *Acinetides gruberi* Curds, 1985 (Ciliophora, Suctorea), обнаружен на нематоде. Эпибионтные инфузории одного вида присутствовали в количестве от 1 до 9 экз. на поверхности базибионта. Ниже представлены обнаруженные вагильные инфузории: *Loxophyllum* sp. и *L. jinni* Lin et al., 2005 (Ciliophora, Pleurostomatida), *Leptoamphisiella vermis* (Gruber, 1888) Li et al., 2007 (Ciliophora, Hypotrichida) и *Pseudotrachelocerca trepida* (Kahl, 1928) Song, 1990 (Ciliophora, Harptorida). Вид *Vorticella* sp. в большом количестве присутствовал на водоросли.

Недостаточная изученность видового разнообразия одноклеточных организмов в различных морях и океанах является причиной трудностей разработки систематики мягкораковинных фораминифер и громиид. Исследователями широко используется классификация этой группы простейших, построенная на базе морфоанатомических особенностей.

По нашим предварительным данным, фауна мягкораковинных фораминифер в исследуемой акватории включает 27 представителей, определённых до вида и рода двух семейств (Allogromiidae Rhumbler, 1904 и Saccamminidae Brady, 1884), и 22 морфотипа, идентифицированных пока только до уровня семейств. Представители 7 родов обитают также в Азово-Черноморском бассейне. Фауна громий менее разнообразна и ограничивается, по нашим данным, пока шестью морфотипами.

Исходя из анализа литературных источников, можно сделать вывод о недостаточном внимании мейобентологов, протистологов к изучению эпибионтных инфузорий, мягкораковинных фораминифер и громиид не только в районе наших исследований, но и во всех морях Дальнего Востока России. Сведения по фауне свободноживущих инфузорий представлены видовыми списками, в то время как эпибионтные инфузории изучены лишь эпизодически. Данные о видовом разнообразии двух других групп бентосных простейших для Японского моря отсутствуют.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121040500247-0 («Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия») и № 121030100028-0 («Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана»).



## Сравнительное исследование нервной системы полиморфных зооидов Cheilostomata (Bryozoa)

Серова К. М.<sup>1,2</sup>, Зайцева О. В.<sup>1</sup>, Котенко О. Н.<sup>2</sup>, Вишняков А. Э.<sup>2</sup>, Островский А. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ [kmk301290@yandex.ru](mailto:kmk301290@yandex.ru)

Зооида́льный полиморфизм (морфофункциональная дифференцировка модулей) — одна из отличительных черт ряда групп водных колониальных беспозвоночных животных. Полиморфизм характерен для многих Cnidaria, Nemichordata, Tunicata, а также для большинства морских представителей типа Bryozoa (мшанок) — широко распространённой группы активных фильтраторов, занимающей одно из доминирующих мест во многих бентосных экосистемах.

Полиморфные зооиды (гетерозооиды), выполняющие в колониях функции прикрепления, защиты, очистки, локомоции, размножения, сенсорную и др., неоднократно возникавшие в ходе эволюции в разных группах мшанок, являются результатом трансформации базового питающегося модуля колонии — аутозооида. Все элементы организации полиморф гомологичны соответствующим частям питающегося аутозооида. Авикулярии — один из наиболее разнообразных типов полиморфных зооидов, известных только у представителей отряда Cheilostomata, эволюционный успех которого часто связывают с широким распространением полиморфизма. Несмотря на длительный интерес зоологов к этому явлению, число опубликованных исследований, посвящённых строению нервной системы авикуляриев, крайне мало.

Целью настоящей работы стало изучение нервной системы аутозооидов у 6 видов и авикуляриев у 10 видов мшанок отряда Cheilostomata как из близкородственных, так и из удалённых семейств. В работе использовались методы иммуногистохимии (выявление тубулина, FMRFамида и 5-НТ); выполнено гистохимическое выявление мускулатуры фаллоидином с привлечением конфокальной лазерной микроскопии. Описаны основные детали строения нервной системы аутозооида: церебральный ганглий, связанное с ним циркуморальное нервное кольцо, отходящие от кольца нервы щупалец лофофора, висцеральный нерв, иннервирующий пищеварительный тракт, и связанное с ним кардиоэзофагеальное нервное кольцо, а также сложный нерв стенки щупальцевого влагалища, посредством которого осуществляется иннервация комплекса мышц апертуральной области аутозооида. FMRFамид- и 5-НТ-иммунореактивные клетки и/или их отростки обнаружены во всех этих структурах, включая сенсорные клетки в лофофоре и пищеварительной системе.

Модификация базового плана строения аутозооида, реализовавшаяся у авикуляриев, включает сложную перестройку как мышечной, так и нервной системы. В частности, в связи с редукцией пищедобывающего и пищеварительного аппаратов, у полиморфных зооидов исчезает значительная часть элементов нервной системы, связанная с обслуживающей их мускулатурой. Нервная система изученных нами авикуляриев, основная функция которой состоит в регуляции движения мандибулы, у разных видов имеет сходное строение и включает всего несколько групп рецепторных клеток и миниатюрный церебральный ганглий. У авикуляриев обнаружены только небольшие группы 5-НТ- и FMRFамид-иммунореактивных, предположительно, рецепторных клеток в основании вестибулюма, под фронтальной мембраной, а также в рудиментарном щупальце. Их отростки идут в редуцированный ганглий, от которого, в свою очередь, отходят ветви, осуществляющие иннервацию парных мышц (абдукторов и аддукторов), диафрагмальных мышечных пучков и ретракторов. Отметим, что вибракулярии *Caberea ellisii* обладают парными нервными волокнами, идущими от ганглия к непарному абдуктору, что указывает на то, что исходно этот мышечный пучок был парным. Также у полиморфных зооидов разных видов мшанок были выявлены различия в количестве рецепторных клеток в области фронтальной мембраны.

Полученные результаты указывают на то, что нервная система полиморфных зооидов, являющихся результатом модификации основного питающегося модуля колонии (аутозооида), в ходе эволюции претерпела существенную трансформацию, включавшую исчезновение и уменьшение ряда элементов в отношении их количества и размеров, значительное укорочение нервных стволов, изменение

их направления, а также сокращение числа ветвлений. Причиной таких изменений, коррелирующих с изменениями мышечной системы, являлась предположительно, специализация полиморф на выполнении различных функций.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-34-90081 «Эволюция нервно-мышечной системы авикуляриев Bryozoa» и в рамках государственного задания ЗИН РАН № 122031100281-5.

## Исследование ельца *Leuciscus baicalensis* на заражённость метацеркариями рода *Diplostomum* в бассейне Средней Оби

Симакова А. В., Тарабаев Т. А., Бабкина И. Б.

Томский государственный университет, Томск, Россия

✉ [anastasiasimakova@yahoo.com](mailto:anastasiasimakova@yahoo.com)

Рыбы семейства карповых, Cyprinidae, являются как основными, так и промежуточными хозяевами различных видов трематод. Некоторые из них могут оказывать влияние на жизнеспособность рыб. Метацеркарии рода *Diplostomum* Nordmann, 1832 в основном паразитируют в хрусталике глаз, но при массовом заражении могут вызывать генерализованные инвазии практически всех органов и тканей, что особенно опасно для рыб младших возрастных групп. Личинки этого рода способны вызывать заболевание диплостомоз. При хроническом диплостомозе может происходить замедление темпа роста рыб, острый диплостомоз способен вызывать гибель личинок рыб. Нами проведено изучение промыслового вида рыб, ельца, и его заражённости диплостомозом в бассейне Средней Оби. В притоках Оби первого и второго порядка елец является одним из доминирующих по численности видов.

Цель работы — изучение заражённости ельца метацеркариями трематод рода *Diplostomum* рек бассейна Средней Оби.

Исследование проведено в летний период 2018 г., проанализированы особи ельца из трёх рек бассейна Средней Оби — реки Обь (магистральный водоём; 56°27'45.4"N, 84°55'48.1"E), реки Томь (правый приток первого порядка; 56°32'50.92"N, 84°09'36.83"E) и реки Басандайка (правый приток второго порядка; 56°24'41.00"N, 84°58'50.70"E). Объём исследованного материала — 99 экз. ельца [*Leuciscus baicalensis* (Dybowski, 1874)]. Материал просматривался компрессорным методом с помощью светового микроскопа, определение рода трематод осуществлялось по морфологическим признакам.

Исследованы особи ельца в возрасте от 1+ до 3+ лет, с длиной тела от 100 до 179 мм и массой тела от 9 до 62 г. Экстенсивность заражения ельца в летний период составила 66,7 %.

Проведено исследование заражённости рыб в водотоках разного порядка. Наибольшая экстенсивность инвазии отмечена в реке Томь (100 %); несколько меньшие значения зарегистрированы в реках Басандайка (68,9 %) и Обь (54,5 %). Интенсивность инвазии рыб в исследуемых водоёмах значимо не различается, варьируя от 1 до 22 метацеркарий на рыбу; средние значения для реки Басандайка — 4,1; для реки Томь — 6,6; для реки Обь — 4,0. Индекс обилия в реке Томь (6,6 экз. на рыбу) почти в три раза выше, чем в реках Басандайка (2,8 экз. на рыбу) и Обь (2,2 экз. на рыбу). Средний индекс обилия составил 2,9 экз. на рыбу. Таким образом, значения показателей заражённости ельцов в бассейне Средней Оби метацеркариями рода *Diplostomum* являются высокими.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

## Видовое разнообразие, встречаемость и батиметрическое распределение видов семейства Cottidae в морях Арктики

Смирнова Е. В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [smirnovaelenasmimova2006@yandex.ru](mailto:smirnovaelenasmimova2006@yandex.ru)

Виды рыб семейства Cottidae широко распространены в морях Северного Ледовитого океана, составляя значимую долю в донных сообществах. Существует большое количество публикаций, посвящённых биологии и экологии отдельных видов и семейства рогатковых, но преимущественно для дальневосточных морей. Современных исследований видового состава и распределения рыб этого семейства в морях Арктики относительно немного.

Целью исследования является определение видового разнообразия и встречаемости, а также анализ батиметрического распространения видов семейства Cottidae в Баренцевом, Карском и Восточно-Сибирском морях и в море Лаптевых.

Для анализа использованы данные, полученные в экспедициях ММБИ, и сведения из литературных источников. Материал собран в рейсах НИС «Дальние Зеленцы» в акватории моря Лаптевых и Баренцева, Карского и Восточно-Сибирского морей с 2000 по 2021 г. Частоту встречаемости определяли как долю результативных тралений в общем числе тралений. Для характеристики разнообразия применяли показатели видового богатства (индекс лог-ряда), доминирования Симпсона, разнообразия Шеннона и выровненности, рассчитанные общепринятыми методами. Сходство видового состава рыб определяли с помощью индекса Брея — Кёртиса для количественных данных (численности); дендрограмма была построена методом одиночного присоединения.

Согласно последним данным, в изучаемых морях Арктики встречаются 13 видов семейства Cottidae, относящихся к 6 родам. В наших рейсах и в используемых литературных источниках отмечено 10 видов, которые представляют 5 родов. Из них 6 видов отмечались во всех морях: атлантический крючкорог *Artediellus atlanticus*, арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis*, атлантический двурогий ицел *Icelus bicornis*, европейский керчак *Myoxocephalus scorpius*, триглопсы полярный (*Triglops nybelini*) и остроносый (*Triglops pingeli*). Три вида — шероховатый крючкорог *Artediellus scaber*, восточный двурогий ицел *Icelus spatula* и четырёхрогий бычок *Myoxocephalus quadricornis* — отмечались в трёх из исследуемых морей; атлантический триглопс *Triglops murrayi* зарегистрирован только в Баренцевом море.

Количество видов изучаемого семейства варьирует от 12 в Баренцевом море до 8 в остальных рассматриваемых морях. Подобное уменьшение количества видов и подвидов с запада на восток отмечено в целом для всей ихтиофауны морей Арктики. Изменяется и соотношение арктических и бореальных видов в исследуемых морях. В относительно бореальном Баренцевом море обитает наименьшее количество арктических видов. В море Лаптевых и в Карском и Восточно-Сибирском морях придонная температура вод значительно ниже, что определяет возрастание доли арктических видов от Баренцева моря (42 %) до Восточно-Сибирского (62,5 %). Напротив, количество арктобореальных видов в Баренцевом море достаточно низкое (16,7 %), в Карском и море Лаптевых одинаковое, а в Восточно-Сибирском море чуть больше (25 %), что отмечалось и ранее относительно всей ихтиофауны Арктики. Количество бореальных видов закономерно снижалось в восточном направлении, в Восточно-Сибирском море значение составило только 12,5 %.

Чаще всего представители Cottidae присутствовали в уловах в море Лаптевых (в составе улова в 76,4 % донных тралений). Наиболее распространённым видом в обследованной акватории является арктический шлемоносный бычок *G. tricuspis*: частота его встречаемости варьирует от 10,6 % в Баренцевом море до 58,2 % в море Лаптевых. Довольно часто (до 35,5 %) регистрировались отдельные виды рода *Triglops*. По численности среди видов семейства Cottidae также доминирует *G. tricuspis* — от 48,7 % в Баренцевом море до 68,1 % в Карском.

Индексы разнообразия Шеннона, рассчитанные на основании численности Cottidae, варьировали от 0,48 до 0,65 бит, а выровненности — от 0,50 до 0,68. Наибольшим разнообразием характеризовался состав рогатковых Баренцева моря (0,65 бит), где значения выровненности также было наиболь-

шим. Наименьшее значение выровненности отмечено для Карского моря (0,50) ввиду доминирования по численности *G. tricuspis* — 68,1 % от общей численности всех видов Cottidae, пойманных в этом море.

Дендрограмма, построенная на основе матрицы сходства данных об обилии изучаемых видов, показала значительное сходство по структуре рогатковых рыб в отдельных морях (от 59 до 83,7 %). Наиболее близкими по видовому составу и численности они были в Карском и море Лаптевых.

Батиметрические диапазоны обитания видов Cottidae в морях Арктики соответствуют таковым для ареала в целом. Между тем рассчитанные по имеющимся данным предпочитаемые глубины для исследуемых видов в каждом из морей различаются, что обусловлено, вероятно, влиянием других абиотических факторов (температуры, солёности) на распределение видов.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали достоверное влияние фактора глубины на распределение численности восточного двурогого ицела *Icelus spatula* и европейского керчака *Muhocephalus scorpius*.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/115.pdf>.



## Морфологические особенности личинок вселенца *Marenzelleria* sp. в Финском заливе

Старунова З. И., Старунов В. В.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

✉ [zinaida.starunova@zin.ru](mailto:zinaida.starunova@zin.ru)

Виды рода *Marenzelleria* — типичные обитатели бентоса Северной Атлантики. В Балтийском море эти полихеты семейства Spionidae известны с 1980-х гг. Виды-вселенцы способны выдерживать низкие значения солёности несмотря на то, что имеют планктонную личинку. Это позволило им там быстро заселить как основной бассейн Балтийского моря, так и его наиболее опреснённые участки. В Балтийском море на данный момент существует комплекс из трёх близкородственных видов (*Marenzelleria arctia*, *M. neglecta* и *M. viridis*), взрослые особи которых различаются по местам обитания и морфологическим признакам. По всей видимости, из трёх балтийских видов в Финский залив проникли два — *M. arctia* и *M. neglecta*. *M. arctia* обитает в более глубоководных местах, где солёность колеблется от 8 до 10 ‰, а *M. neglecta* — на мелководных эстуарных участках. Пока нет данных о наличии различий в сезонной динамике жизненных циклов у этих двух видов полихет.

Сбор и изучение сезонной динамики личинок *Marenzelleria* sp. проводили по южному берегу Финского залива с 2019 г. Так как определительные признаки известны только для взрослых особей, можно заключить, что собранные личинки, скорее всего, представляют собой смесь видов. Для выявления мышечных и ресничных структур, а также топографии нервной системы у личинок и ювенилей разных стадий были использованы методы иммуногистохимии с применением флуоресцентных красителей. Препараты изучены с помощью конфокального микроскопа Leica TCS SP5.

Личинки появляются в планктоне в начале декабря и развиваются там всю зиму. Зимние личинки распространены во всей акватории Финского залива, начиная с пресных участков в районе дамбы. В январе — феврале в планктоне можно встретить личинок всех возрастов одновременно. Оседание начинается в марте и происходит на стадии 15–23 сегментов. Неосевших личинок можно обнаружить в планктоне ещё в июне. Молодых червей можно встретить в песке на мелководье, у берега, в июне — июле. Позже, по всей видимости, происходит миграция и расселение червей — перемещение их в более глубоководные участки дна.

Исследование проведено в рамках темы госзадания № 122031100281-5. Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (Санкт-Петербург, Россия) с использованием коллекционных материалов ЗИН РАН.

## Лёгочные гельминтозы тюленей закрытых водоёмов

Суворова И. В.<sup>1</sup>, Белокобыльский И. Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центр океанографии и морской биологии «Москвариум», Москва, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО),  
Москва, Россия

✉ [i.suvorova@moskvarium.ru](mailto:i.suvorova@moskvarium.ru)

Два из трёх представителей рода *Pusa* — байкальская (*Pusa sibirica*) и каспийская (*Pusa caspica*) нерпы — являются обитателями водоёмов, не имеющих связи с Мировым океаном. Оба этих вида — эндемики, единственные представители ластоногих, а также вершина пищевой пирамиды озера Байкал и Каспийского моря соответственно.

В октябре 2020 и 2021 г. 101 особь байкальской нерпы была добыта в Чивыркуйском заливе озера Байкал в рамках ежегодной научно-исследовательской экспедиции Байкальского отделения ВНИРО по изучению численности и мониторингу территориального распределения и роли байкальского тюленя в замкнутой экосистеме. В декабре 2020 г. 13 каспийских тюленей были исследованы в период массовой гибели на дагестанском побережье Каспийского моря.

Материал для исследований был получен методом полных гельминтологических вскрытий отдельных органов по К. И. Скрябину с учётом инструкций о гельминтологических вскрытиях морских млекопитающих по С. Л. Делямуре и А. С. Скрябину. Собранных гельминтов фиксировали в 70%-ном этиловом спирте. Дальнейшее изучение гельминтологического материала проводили при помощи световых микроскопов Микмед-6 и МБС-9. Для гистологического исследования были отобраны образцы тканей лёгких; их фиксировали в 10%-ном нейтральном формалине, после чего заливали в парафин и изготавливали срезы на микротоме; срезы окрашивали гематоксилином и эозином.

*Otostrongylus circumlitus* (Railliet, 1899) был обнаружен у 6 (5,9 %) из 101 исследованной в 2020–2021 гг. байкальской нерпы. Интенсивность инвазии составила 2,8 экз. В месте внедрения головного конца отостронгилюса паренхима лёгких была уплотнена, на разрезе отмечался слизистогнойный экссудат. При микроскопическом исследовании изменённых участков лёгких выявлялись признаки гранулематозной пневмонии. Инвазия *Parafilaroides krascheninnikovi* была зафиксирована у 90 (89,1 %) особей байкальского тюленя. При микроскопии гистопрепаратов в отдельных альвеолах отмечались фрагменты нематод диаметром около 150–200 мкм. Наружная оболочка гельминтов была очень тонкой, со слабой дифференциацией на слои; хорошо выражены полости с фрагментами кишечной трубки, яичников и маток, содержащих большое количество личинок первой стадии (диаметр — около 20–40 мкм), имеющих в поперечных срезах два крупных латеральных кутикулярных шипика. Некоторые из личинок свободно находились в просвете альвеол без связи с маткой. Фиброзные и воспалительные изменения в тканях лёгкого выражены не были; имелось лишь умеренное повышение количества вязкой слизи в просвете мелких бронхов.

Из 13 обследованных в 2020 г. каспийских тюленей в паренхиме лёгких у 9 (69 %) особей были обнаружены нематоды *Parafilaroides caspicus*. Как и у байкальской нерпы, у каспийских тюленей, инвазированных парафилароидесом, не отмечалось серьёзных патологических изменений в тканях лёгких.



## Сообщество *Pitar rudis* (Poli, 1795) в Керченском проливе

Терентьев А. С.

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

✉ [iskander65@bk.ru](mailto:iskander65@bk.ru)

В сообществе *Pitar rudis* (Poli, 1795) было обнаружено 29 видов животных. Двустворчатых моллюсков, кроме доминантного вида, представляли: *Abra alba* (W. Wood, 1802), *Acanthocardia paucicostata* (G. B. Sowerby II, 1834), *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), *Gouldia minima* (Montagu, 1803), *Modiolus adriaticus* Lamarck, 1819, *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791), *Polittapes aureus* (Gmelin, 1791) и *Spisula subtruncata* (da Costa, 1778). Из брюхоногих моллюсков встречалась только *Tritia reticulata* (Linnaeus, 1758). Полихеты практически не уступали в видовом богатстве двустворчатым моллюскам. Их представляли: *Alitta succinea* (Leuckart, 1847), *Hediste diversicolor* (O. F. Müller, 1776), *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864), *Leiochone leiopygos* (Grube, 1860), *Melinna palmata* Grube, 1870, *Mysta picta* (Quatrefages, 1866), *Nephtys hombergii* Savigny in Lamarck, 1818, *Polydora ciliata* (Johnston, 1838), *Spio filicornis* (Müller, 1776) и *Spirobranchus triqueter* (Linnaeus, 1758). Из ракообразных обнаружены амфипода *Ampelisca diadema* (Costa, 1853), морской жёлудь *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) и рак-отшельник *Diogenes pugilator* (P. Roux, 1829). Из книдарий отмечена *Calvadosia campanulata* (Lamouroux, 1815), а из асцидий — *Molgula appendiculata* Heller, 1877 и *Molgula euprocta* (Drasche, 1884). Немертин представлял *Lineus ruber* (Müller, 1774).

Кроме доминантного вида, наиболее часто встречались *Ch. gallina*, *D. pugilator*, *L. leiopygos*, *M. palmata*, *M. appendiculata*, *M. euprocta*, *M. picta*, *N. hombergii* и *P. aureus*. При этом *L. leiopygos*, *M. appendiculata* и *M. picta* при достаточно высокой встречаемости имели низкую численность. Так, численность *L. leiopygos* не превышала 10 экз.·м<sup>-2</sup>, *M. appendiculata* — 4 экз.·м<sup>-2</sup>, а *M. picta* — 7 экз.·м<sup>-2</sup>, поэтому эти виды нельзя отнести к массовым. В то же время *G. minima* встречалась довольно редко, но при этом образовывала локальные скопления до 200 экз.·м<sup>-2</sup>, однако и её из-за низкой встречаемости нельзя отнести к массовым видам.

Плотность видов в сообществе колебалась от 1 до 18 видов на 0,1 м<sup>2</sup> и в среднем равнялась (10,8 ± 3,8) видов на 0,1 м<sup>2</sup>. Плотность видов полихет доходила до 9 видов на 0,1 м<sup>2</sup> и в среднем равнялась (4,0 ± 1,9) видов на 0,1 м<sup>2</sup>, двустворчатых моллюсков — от 1 до 6 видов на 0,1 м<sup>2</sup>, в среднем (4,0 ± 1,1) видов на 0,1 м<sup>2</sup>. Плотность видов ракообразных в среднем равнялась (1,25 ± 0,63) видов на 0,1 м<sup>2</sup> и не превышала 3 видов на 0,1 м<sup>2</sup>. У асцидий плотность видов в среднем составляла (1,00 ± 0,41) видов на 0,1 м<sup>2</sup> и не превышала 2 видов на 0,1 м<sup>2</sup>. Главную роль в плотности видов играли полихеты и двустворчатые моллюски: на их долю приходилось не менее 60 % (в среднем 62–77 %) плотности видов сообщества *P. rudis*.

Численность зообентоса изменялась от 40 до 600 экз.·м<sup>-2</sup>, в среднем (310 ± 120) экз.·м<sup>-2</sup>; биомасса варьировала от 12 до 180 г·м<sup>-2</sup>, в среднем (93 ± 40) г·м<sup>-2</sup>. На долю массовых видов приходилось 24 % видового богатства, в среднем 57–74 % численности и 79–90 % биомассы сообщества.

На долю доминантного вида приходилось не менее 13 % (в среднем 14–38 %) численности и не менее 44 % (в среднем 47–68 %) биомассы сообщества. Доминантом второго порядка по биомассе была *Ch. gallina*: на её долю приходилось в среднем 6–22 %, а в отдельных случаях — до 28 % от общей биомассы сообщества. При этом на долю её численности приходилось 3–10 %, но не более 16 % от общей численности сообщества.

В целом в сообществе большая часть видового богатства, численности и биомассы зообентоса приходилась на долю двустворчатых моллюсков — 38 % видового богатства зообентоса; в среднем 48–76 %, но не менее 28 % его численности; в среднем 89–93 %, но не менее 88 % биомассы. В отдельных случаях их численность могла достигать до 440 экз.·м<sup>-2</sup>, а биомасса — до 159 г·м<sup>-2</sup>.

На втором месте по видовому богатству и численности стояли полихеты. На их долю приходилось 34 % видового богатства сообщества и до 65 % (в среднем 12–41 %) численности. Численность полихет на отдельных участках могла достигать 163 экз.·м<sup>-2</sup>. Их доля в общей биомассе сообщества в среднем равнялась 0,3–1,1 % и не превышала 2 %, при этом биомасса не превышала 0,897 г·м<sup>-2</sup>.

На долю ракообразных приходилось 10 % видового богатства сообщества, до 11 % его общей численности и до 9 % общей биомассы. Численность ракообразных достигала  $40 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса —  $16 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ .

На долю асцидий приходилось 7 % видового богатства, в среднем 2–6 % общей численности и 0,7–2,1 % общей биомассы сообщества. Их численность могла достигать  $40 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса —  $3,600 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ .

На долю остальных таксономических групп приходилось 11 % видового богатства зообентоса, а также не более 3 % его численности и 4 % биомассы.

В трофической структуре обнаружены сестонофаги, детритофаги, хищники и полифаги. Наиболее часто встречались сестонофаги. Кроме доминантного вида, среди них чаще всего встречались *Ch. gallina*, *M. appendiculata* и *M. euprocta*, а также *P. aureus*. Это была доминирующая трофическая группа. Их плотность видов колебалась от 1 до 8 видов на  $0,1 \text{ м}^2$  и в среднем равнялась ( $5,0 \pm 1,5$ ) видов на  $0,1 \text{ м}^2$ . Численность сестонофагов колебалась от 40 до 480 экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$ , а в среднем равнялась ( $210 \pm 100$ ) экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$ . Биомасса изменялась от 12 до  $162 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$  и в среднем составляла ( $86 \pm 37$ )  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ . На их долю приходилось 45 % видового богатства сообщества, в среднем 52–82 % его численности и 89–94 % биомассы. При этом их доля в общей численности зообентоса была не менее 27 %, а в его биомассе — 88 %.

Виды, собирающие детрит с поверхности грунта, встречались часто: их встречаемость равнялась 53–96 %. Плотность видов в среднем равнялась ( $1,75 \pm 0,85$ ) видов на  $0,1 \text{ м}^2$ , но не превышала 4 видов на  $0,1 \text{ м}^2$ . Численность в среднем равнялась ( $62 \pm 28$ ) экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса — ( $1,23 \pm 0,89$ )  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ . На отдельных участках численность поднималась до  $133 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса — до  $3,85 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ . Доминировала *M. palmata*. На её долю в среднем приходилось 77–91 % общей численности и 25–48 % биомассы, а на отдельных участках дна виды, собирающие детрит с поверхности грунта, были представлены только этим видом. На долю этой трофической группы приходилось 17 % видового богатства, в среднем 13–28 % численности сообщества и только 1–2 % его биомассы. Однако на наиболее заиленных участках доля могла доходить до 53 % общей численности и до 10 % общей биомассы сообщества.

Хищники тоже встречались часто. Из них чаще всего отмечались *M. picta* и *N. hombergii*. Их плотность видов в среднем равнялась ( $2,00 \pm 0,91$ ) видов на  $0,1 \text{ м}^2$  и не превышала 4 видов на  $0,1 \text{ м}^2$ . Их численность в среднем равнялась ( $17,5 \pm 8,5$ ) экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса — ( $1,4 \pm 1,2$ )  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ . На отдельных участках численность поднималась до  $40 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса — до  $5,01 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ . Доминировал *N. hombergii*: на его долю приходилось в среднем 43–87 % численности и 7–13 % биомассы хищных видов.

Полифаги также отличались невысоким видовым богатством. Плотность видов этой трофической группы в среднем равнялась ( $1,00 \pm 0,41$ ) видов на  $0,1 \text{ м}^2$  и не превышала 2 видов на  $0,1 \text{ м}^2$ . Численность в среднем равнялась ( $16,7 \pm 8,5$ ) экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$  и не превышала  $40 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ . Биомасса в среднем составляла ( $4,8 \pm 3,7$ )  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$  и не превышала  $16 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ .

На долю безвыборочных глотальщиков в толще грунта приходилось 7 % видового богатства, не более 5 % численности и 1 % биомассы сообщества. Их численность в среднем равнялась ( $4,2 \pm 3,2$ ) экз.  $\cdot \text{м}^{-2}$ , а биомасса — ( $4,8 \pm 3,7$ )  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ . Они занимали наиболее низкое положение в трофической структуре сообщества *P. rudis*.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/111.pdf>.



## Ультроструктура генеративных элементов мирацидиев *Schistosoma mansoni*

Токмакова А. С., Атаев Г. Л.

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

✉ [arina.tokmakova@gmail.com](mailto:arina.tokmakova@gmail.com)

Большое значение трематод *Schistosoma mansoni* Sambon, 1907 как опаснейшего паразита человека обусловило их интенсивное изучение на протяжении многих десятилетий. Тем не менее многие вопросы биологии и развития спороцист остаются дискуссионными. В полной мере это относится к размножению материнских и дочерних спороцист (далее — МС и ДС соответственно) *S. mansoni*.

Источником спороцистоидных и церкариодных эмбрионов для трематод признаны генеративные клетки (далее — ГК), однако механизм их образования и динамика мультипликации трактуются разными авторами по-разному. Многие рассматривают возможность образования ГК из субтегументарных соматических клеток в результате полиэмбрионии, однако ряд специалистов определяет ГК как партеногенетические яйца, которые возникают и развиваются в специализированных органах размножения — герминальных массах. Большинство исследований партенит *S. mansoni* посвящено изучению ДС. В качестве источника ГК для них описаны герминальные массы, расположенные в разных частях тела спороцист. Однако для МС этого вида во всех работах отрицалось наличие подобных образований. Кроме ГК, в составе герминальных элементов мирацидиев трематод были описаны недифференцированные клетки (далее — НК). Между тем на гистологическом уровне достоверно различить НК и ГК практически невозможно.

Относительно механизма мультипликации ГК в МС *S. mansoni* было высказано несколько предположений, но все они либо допускали пролиферацию ГК как результат бесполого размножения в форме полиэмбрионии, либо отождествляли ГК с необластами. В МС *S. mansoni*, в отличие от ДС этого вида, не были обнаружены центры мультипликации ГК — герминальные массы. Однако в результате гистологического изучения ранее нам удалось обнаружить в МС *S. mansoni* образования, которые могут быть определены как герминальные массы.

С целью определения механизма размножения партенит материнского поколения *S. mansoni* нами было проведено их электронно-микроскопическое изучение. В результате этого исследования герминальный материал, представленный в мирацидии, был определён как зачаток герминальной массы.

ГК расположены в виде с-образного клеточного тяжа, который начинается в каудальной части тела личинки, а спереди достигает нервной массы. На уровне 3-го ряда эпителиальных пластинок мирацидия этот тяж смещается к стенке тела мирацидия, обходя зону экскреторных канальцев. Вероятно, это смещение разбивает единый пул ГК на две группы клеток.

Согласно нашим данным, размеры ГК в мирацидиях не зависят от их локализации и составляют в среднем  $(8,2 \pm 0,2) \mu\text{m} \times (6,0 \pm 0,2) \mu\text{m}$  (площадь среза —  $(41 \pm 1,6) \mu\text{m}^2$ ). Форма ГК может варьировать от округлой до умеренно веретеновидной или полигональной, поэтому более объективно сравнивать диаметры ядер клеток. В среднем они составляют  $(5,6 \pm 0,1) \mu\text{m} \times (4,8 \pm 0,1) \mu\text{m}$  (площадь среза —  $(21,8 \pm 0,7) \mu\text{m}^2$ ).

При этом 2–3 ГК выделяются среди остальных наиболее крупными размерами: значения достигают  $11,2 \mu\text{m} \times 7,5 \mu\text{m}$  (площадь среза —  $56,2 \mu\text{m}^2$ ); ядро —  $6,6 \mu\text{m} \times 5,7 \mu\text{m}$  (площадь среза —  $29,3 \mu\text{m}^2$ ); ядрышко —  $4,2 \mu\text{m} \times 3,9 \mu\text{m}$  (площадь среза —  $9,0 \mu\text{m}^2$ ). Ранее такое явление было отмечено другими авторами. Вероятно, эти крупные клетки — наиболее дифференцированные среди ГК, однако и им необходимо некоторое время для завершения созревания.

В течение метаморфоза мирацидия в спороцисту количество ГК остаётся без изменений, но на вторые сутки после заражения наблюдается рост ГК, и в результате в двухдневных МС они достигают размеров  $11,7 \mu\text{m} \times 5,6 \mu\text{m}$  (ядро —  $7,6 \mu\text{m} \times 6,0 \mu\text{m}$ ). Следовательно, размеры 2–3 наиболее крупных ГК мирацидиев почти достигают размеров зрелых ГК спороцисты. Именно эти клетки первыми начинают делиться через два дня после заражения.

Результаты электронно-микроскопического изучения клеток мирацидиев *S. mansoni* позволили уточнить количество ГК, однако отсутствие среди герминальных элементов НК заставляет пересмотреть тезис о неспособности ГК к делению. Вероятно, у МС этого вида пролиферативная ак-

тивность данных клеток сохраняется на начальных этапах дифференцировки. Нарастающая мультипликация ГК в последующие дни приводит к возникновению десятков новых клеток. При этом мы по-прежнему рассматриваем в качестве центров размножения МС *S. mansoni* герминальные массы.

Таким образом, формирование герминальных элементов в МС *S. mansoni* происходит в два этапа. Первичные ГК образуются в процессе развития мирацидия в яйце, а вторичные ГК возникают в результате деления менее дифференцированных клеток в составе множественных герминальных масс.

Можем предположить, что НК закладываются ещё во время эмбриогенеза мирацидия, а ко времени его вылупления эти клетки уже дифференцируются в ГК. Следовательно, большинство герминальных элементов в мирацидии *S. mansoni* представлены созревающими ГК, способными к пролиферации.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки научных исследований молодых российских учёных — кандидатов и докторов наук № МК-1015.2021.1.4.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/126.pdf>.



## Питание бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) в разных участках побережья Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка)

Токранов А. М., Мурашева М. Ю.

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

✉ [tok\\_50@mail.ru](mailto:tok_50@mail.ru)

Бурый морской петушок *Alectrias alectrolophus* — типичный представитель литоральных рыб, широко распространённый в северо-западной части Тихого океана. В период открытой воды, с апреля по октябрь, он постоянно обитает в приливно-отливной зоне, оставаясь здесь в укрытиях под камнями и в лужах во время отливов. Во многих районах своего обитания, например в Авачинской губе, в галечно-валунных биотопах бурый морской петушок считается массовым видом. Высокая численность, оседлый образ жизни, отсутствие промысловой нагрузки и простота в сборе материала позволяют рассматривать этот вид в качестве возможного биологического индикатора экологического состояния литоральной зоны при различных антропогенных воздействиях, прежде всего загрязнении, для чего необходимы сведения о его биологии. Анализ собранного в 2014–2021 гг. авторами и имеющегося в коллекционном фонде Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН за 1997–1998 гг. материала даёт возможность получить представление о составе пищи и особенностях питания бурого морского петушка в разных участках побережья Авачинского залива.

Материал по питанию бурого морского петушка собран в апреле — сентябре на четырёх подверженных различной степени антропогенного воздействия участках приливно-отливной зоны Авачинской губы, три из которых расположены в её северо-восточной части в черте Петропавловска-Камчатского (первый — рядом с местом базирования рыболовецких судов вблизи микрорайона Сероглазка; второй — в самом центре города, у сопки Никольской; третий — у мыса Сигнальный), а четвёртый находится в юго-западной части, у мыса Казак. Также использован материал, собранный на литорали островов Старичков и Крашенинникова (первый из них находится в Авачинском заливе несколько южнее Петропавловска-Камчатского и является ООПТ «Памятник природы»; второй расположен в его северо-восточной части и входит в состав природного парка «Налычево»). Бурого морского петушка ловили руками под камнями в приливно-отливных лужах во время максимальных отливов и фиксировали в 6%-ном формалине; дальнейшую обработку проводили в лабораторных условиях. Всего количественно-весовым методом исследовано содержимое желудков более чем 1,5 тыс. экз. бурого морского петушка длиной 40–143 мм в возрасте от 1 до 7 лет.

Согласно имеющимся в литературе данным, по типу питания бурый морской петушок является бентофагом, использующим в пищу различных мелких донных беспозвоночных, в первую очередь ракообразных, моллюсков и многощетинковых червей. Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что пищевой спектр бурого морского петушка в приливно-отливной зоне Авачинской губы включает представителей 8 систематических групп донных организмов. Однако, несмотря на различную степень антропогенного воздействия, основными объектами питания (от 66,2 до 89,1 % по массе) на всех четырёх обследованных участках в период с апреля по октябрь ему служат бокоплавы (Amphipoda), среди которых доминирует анизогаммарус Тюшева *Anisogammarus tiuschovi* (48,0–84,3 % по массе). Заметную долю в пище петушка в первом из рассматриваемых районов занимают также зелёные водоросли рода *Spirogyra* (4,2–14,0 % по массе), а во втором — брюхоногие моллюски рода *Littorina* (12,1–23,3 % по массе), которых можно отнести к второстепенным пищевым объектам. В мае — июле некоторую роль в питании бурого морского петушка (от 1,7 % по массе вблизи микрорайона Сероглазка до 8,1 % у мыса Казак) играют личинки хирономид (Chironomidae), попадающие, очевидно, в приливно-отливную зону с дождевыми стоками. Доля остальных организмов, потребляемых этим видом, сравнительно незначительна и в разные месяцы варьирует от 1,5 до 6,5 % по массе. В целом состав пищевых компонентов бурого морского петушка на всех четырёх обследованных участках литорали Авачинской губы довольно сходен, за исключением присутствующих в его рационе лишь вблизи микрорайона Сероглазка равноногих раков *Saduria entomon* и личинок рыб семейства Stichaeidae (по нашим определениям, ранней молоди собственного вида длиной 14–19 мм).

Основной пищей бурого морского петушка в мае — июне в приливно-отливной зоне острова Старичков, по нашим данным, как и в других районах его обитания, являются бокоплавы, доля которых составляет 68,5 % массы пищи. Однако здесь, в отличие от всех остальных обследованных нами участков побережья Авачинского залива, заметную роль (28,3 % по массе) в рационе этого петушка играют также многощетинковые черви (*Polychaeta*), преимущественно *Eteone longa*. Согласно К. А. Виноградову, именно эти многощетинковые черви служили главными кормовыми организмами бурому морскому петушку в Авачинской губе в 1930-е гг., когда вся её акватория и приливно-отливная зона были значительно менее подвержены антропогенному воздействию.

Несмотря на более широкий спектр питания, включающий представителей 10 различных систематических групп донных и придонных организмов, в июне основной пищей бурому морскому петушку в приливно-отливной зоне острова Крашенинникова, по нашим данным, являются также бокоплавы, доля которых составляет 65,9 % массы пищи. Заметную роль (22,7 % по массе) играют равноногие раки (*Isopoda*). В отличие от прибрежных вод острова Старичков, где существенную долю в рационе бурого морского петушка занимают многощетинковые черви, в приливно-отливной зоне острова Крашенинникова их значение не превышает 4,2 % по массе.

Хотя, по нашим данным, в Авачинском заливе бокоплавы являются главной пищей (от 46,8 до 91,2 % по массе) всех особей бурого морского петушка, у самых крупных рыб (более 110 мм) их доля повсеместно сокращается почти в 1,5–2 раза по сравнению с таковой у молоди (менее 80 мм), однако резко возрастает потребление ими мелких брюхоногих моллюсков (с 7,6 до 13,2 % по массе в приливно-отливной зоне Авачинской губы), многощетинковых червей (с 8,8 до 41,9 % по массе в прибрежье острова Старичков) или равноногих раков (с 6,0 до 39,0 % по массе на литорали острова Крашенинникова). Кроме того, по мере роста увеличиваются и размеры потребляемых бурым петушком бокоплавов: если у его молоди до 60 мм их длина в среднем составляет 5 мм, то у взрослых рыб (свыше 110 мм) — 13–16 мм. Подобные различия в соотношении и величине основных потребляемых объектов, очевидно, снижают пищевую конкуренцию у особей бурого морского петушка разных размеров, обитающих в одном биотопе.

Имеющаяся на сегодняшний день информация позволяет сравнить состав доминирующих пищевых организмов бурого морского петушка в Авачинской губе в первой половине XX в. и в начале XXI в. Если в 1930-е гг. главными кормовыми объектами этому виду, по данным К. А. Виноградова, здесь служили многощетинковые черви *Eteone longa* и брюхоногие моллюски рода *Littorina*, то в настоящее время основу его пищи на всех четырёх обследованных участках литорали составляют бокоплавы, а доля многощетинковых червей не превышает 3–4 % по массе. На наш взгляд, одна из возможных причин смены доминирующего кормового объекта у бурого петушка в Авачинской губе за прошедшие десятилетия — значительное увеличение во второй половине XX в. антропогенного загрязнения прибрежной зоны данного водоёма органическими отходами, содержащимися в промышленных и бытовых стоках, и вызванный им рост численности бокоплавов в прибрежье.



## Изучение генотипического полиморфизма трематод *Leucochloridium paradoxum*

Усманова Р. Р., Прохорова Е. Е.

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

✉ [rregina.usmanova@gmail.com](mailto:rregina.usmanova@gmail.com)

В теле спороцист трематод рода *Leucochloridium* (Trematoda: Leucochloridiidae) выделяют три морфофункциональные зоны — центральную часть, трубчатые участки и отростки. Зрелые (окрашенные) отростки содержат метацеркарий. Окраска отростков является видоспецифичной, что было доказано с использованием молекулярно-генетических методов. Между тем окраска характеризуется изменчивостью: для трематод вида *Leucochloridium paradoxum* отмечено как минимум 4 её варианта. В связи с этим возникает необходимость изучения генотипического полиморфизма. Ранее исследованный на предмет генетической изменчивости участок рДНК *L. paradoxum* характеризуется высокой консервативностью. Для анализа генотипической внутривидовой изменчивости *L. paradoxum* было выполнено генотипирование по участку митохондриального гена I субъединицы цитохром-с-оксидазы (*cox1*) спороцист из разных регионов.

В работе изучены спороцисты из моллюсков *Succinea putris*, собранных на территории Ленинградской (Бокситогорск, Вырица, Кузьмолово и Любань) и Ярославской (Борок) областей России, а также Витебской области (Буй) Беларуси. ДНК выделяли из отдельных отпрепарированных спороцист. ПЦР проводили с праймерами JB3 и CoxL (5'-TCCTCCCCAGACCAGTCATAG-3'; сконструирован для исследования). Полученные фрагменты *cox1* секвенировали и аннотировали в базу данных GenBank. В результате работы получено 45 последовательностей (MZ676715.1–MZ676739.1; ON526785–ON526804).

На основе полученных данных, а также последовательностей *cox1* того же вида из Японии из GenBank была сконструирована медианная сеть гаплотипов. В результате анализа выравнивания длиной 757 п. н. выявлено 27 гаплотипов. Наиболее многочисленным оказался гаплотип Har\_3, характерный для всех исследованных географических точек, за исключением Японии. Большинство гаплотипов (21) являются уникальными и представлены только одной последовательностью. Наиболее генетически разнообразными оказались спороцисты из улиток Вырицкой популяции (11 гаплотипов).

Изученная нуклеотидная последовательность участка гена *cox1* включает 48 переменных сайтов. В большинстве случаев наблюдаются замены нуклеотидов в третьем положении триплета. В ряде последовательностей в некоторых локусах заменён первый нуклеотид в триplete. Только в одном случае (характерном для гаплотипов Har\_23–Har\_27) это приводит к замене при трансляции аминокислоты валина на метионин.

Гаплосеть демонстрирует незначительную разницу между гаплотипами: в большинстве случаев количество нуклеотидных замен не превышает 3. Между тем гаплотипы японских спороцист значительно отличаются (не менее чем на 20 нуклеотидных замен) от группы гаплотипов спороцист с территории Европы. Эта разница выявляется и при анализе генетических дистанций. Средняя генетическая дистанция между всеми гаплотипами составила 0,01342. Средняя генетическая дистанция между гаплотипами спороцист, собранных на территории европейской части Евразии, — 0,00479. Значительно большей является дистанция между всеми европейскими и японскими спороцистами — 0,03240.

В целом внутривидовые значения генетических дистанций *L. paradoxum* сопоставимы с таковыми у трематод семейства Leucochloridiidae других видов. У *Leucochloridium perturbatum* они составляют 0,0050–0,0240; у *L. vogtianum* — (0,0040 ± 0,0030); у *Urotocus rossitensis* — 0,0360. При этом среди исследованных *L. paradoxum* сильно обособляется японская группа гаплотипов. Генетические дистанции между этой группой и остальными гаплотипами выше, чем средние внутривидовые для лейкокхлоридид. Кроме того, отростки спороцист, определённых авторами статьи как *L. paradoxum*, отличаются по своей окраске от спороцист с территории Европы. Учитывая большую генетическую дистанцию относительно других спороцист *L. paradoxum*, можно предположить, что эти спороцисты относятся к иному близкородственному *L. paradoxum* виду.



Анализ гаплосети позволяет отметить, что спороцисты, характеризуемые одним гаплотипом гена *cox1* (Нар\_2, Нар\_3 и Нар\_19), присутствуют в разных географических точках. Это свидетельствует об отсутствии генетической изоляции между спороцистами из разных популяций *Succinea putris*. Вероятно, этому способствуют активные миграции заражённых маридами *L. paradoxum* птиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90012.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/79.pdf>.



## **Китообразные Азово-Черноморского бассейна, принадлежащие к видам, занесённым в Красную книгу Российской Федерации: правовой порядок добычи**

Устьянцева О. В.<sup>1</sup>, Логоминова И. В.<sup>2</sup>, Никифоров В. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

<sup>3</sup>Благотворительный фонд «Тигрус», Москва, Россия

✉ [ovust@mail.ru](mailto:ovust@mail.ru)

В Стратегии национальной безопасности Российской Федерации биологическое разнообразие и уникальный эколого-ресурсный потенциал России определены в качестве национального достояния нашей страны; в связи с этим вопросы, связанные с сохранением китообразных, не теряют своей актуальности. Особую озабоченность вызывают китообразные Азово-Черноморского бассейна, занесённые в Красную книгу РФ. Истощение кормовых ресурсов может рассматриваться как ключевой фактор, лимитирующий численность черноморских китообразных. Промышленное рыболовство оказывает также косвенное негативное воздействие на популяции китообразных, поскольку зачастую животные гибнут в орудиях лова. В Чёрном море основной причиной гибели китообразных становится лов рыбы пелагическими тралами и донными жаберными сетями; кошельковые неводы, мережи и многостенные сети имеют второстепенное значение. Движение судов, дноуглубительные работы и добыча песка обычно приурочены к прибрежным зонам. Эта интенсивная деятельность человека оказывает негативное воздействие на афалину и азовку, а на дельфина-белобочку, по-видимому, влияет в меньшей степени. Данные о загрязнении черноморских китообразных хлорорганическими соединениями и тяжёлыми металлами немногочисленны. Концентрации тяжёлых металлов (Cd, Zn, Cu, Ni, Fe, Cr, Pb и Hg) в тканях китообразных относительно невысоки; значения сопоставимы с таковыми, полученными для китообразных Средиземного моря и Северной Атлантики. Последние исследования показывают, что концентрации метаболитов ДДТ — ДДЭ и ДДД — и ГХБ и ПХБ в жире отдельных особей китообразных находятся на уровнях, которые могут приводить к снижению устойчивости морских млекопитающих к инфекционным заболеваниям. Указанные и другие факторы ведут к оскудению видového разнообразия подводного мира.

В ходе проведённого исследования установлено, что государство, определяя особый правовой режим охраны животных, занесённых в Красную книгу РФ, предусматривает в исключительных случаях возможность изъятия объектов животного мира для целей, определённых законодательством. Именно разрешение на добычу (вылов) китообразных из перечня Красной книги РФ, выданное Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, удостоверяет законность и правомерность дальнейшего использования водных животных. Вместе с тем существуют ситуации, в которых общественные объединения граждан совершают действия по добыче краснокнижных дельфинов для оказания им помощи без получения разрешения Росприроднадзора. Несмотря на заявленную благородную цель (забота о морских животных), отступление от установленного порядка является прямым нарушением российского законодательства; подобные организации оказываются в зоне распространения юридической ответственности, что соответствует идее неотвратимости наказания. Таким образом, механизм добычи китообразных, занесённых в Красную книгу РФ, нуждается в совершенствовании. Следует поддержать идею Минприроды России, обозначенную в законопроекте, об усилении контроля за центрами по реабилитации диких животных «во избежание негативных последствий, связанных с непрофессиональным обращением с животными». С этим положением тесно связана необходимость укрепления экологической культуры, распространения экологических знаний в российском обществе о правовых формах взаимодействия с краснокнижными китообразными, в том числе нуждающимися в помощи.

## Видовой состав водных и амфибиотических насекомых бассейна реки Кубань (Северо-Западный Кавказ)

Шаповалов М. И., Коротков Э. А.

Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

✉ shapmaksim2017@yandex.ru

Крупные гидрографические районы Северо-Западного Кавказа (бассейн рек Азово-Кубанской равнины, бассейн реки Кубань, бассейн рек Черноморского побережья) характеризуются определёнными фаунистическими комплексами водных и амфибиотических насекомых. Река Кубань является главной водной артерией региона, её бассейн образует крупнейший гидрографический район и занимает северо-западную часть Большого Кавказа. Бассейн Кубани характеризуется ярко выраженной высотной поясностью: в пределах равнинной зоны (0–200 м) расположено около 40 % территории, предгорья (200–500 м) — 20 %, горной (500–1000 м) и высокогорной (выше 1000 м над уровнем моря) зон — 40 %. В нижнем течении (примерно за 120 км до устья) река формирует обширную дельту, гидросеть которой представлена рукавами, ериками и протоками, искусственными каналами; в прибрежной зоне расположены лиманы, лагуны, озёра и пруды. В Кубань впадают многочисленные притоки различной величины и порядка, их общее число составляет около 13,6 тыс.

Выявленный объём фауны водных и амфибиотических насекомых (Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata, Coleoptera и Heteroptera) Северо-Западного Кавказа включает 490 видов. Наибольшим видовым разнообразием водных и амфибиотических насекомых характеризуется бассейн реки Кубань — 389 видов, относящихся к 62 семействам и 174 родам. В бассейне рек Черноморского побережья выявлено 323 вида водных и амфибиотических насекомых, относящихся к 58 семействам и 160 родам. Бассейн рек Азово-Кубанской равнины характеризуется наименьшим видовым разнообразием — 218 видов, относящихся к 45 семействам и 112 родам.

Видовой состав водных и амфибиотических насекомых бассейна реки Кубань следующий: Plecoptera — 34 вида (79 % от общего числа видов отряда региональной фауны), Ephemeroptera — 47 (87 %), Trichoptera — 54 (63 %), Odonata — 56 (78 %), Coleoptera — 152 (80 %), Heteroptera — 46 видов (92 %).

Таксономические пропорции региональной фауны отражены ниже.

Отряд **Plecoptera** включает 7 семейств: Perlidae (2 рода, 3 вида), Perlodidae (3 рода, 3 вида), Chloroperlidae (2 рода, 2 вида), Taeniopterygidae (2 рода, 2 вида), Nemouridae (3 рода, 12 видов), Capniidae (4 рода, 5 видов) и Leuctridae (1 род, 7 видов).

Отряд **Ephemeroptera** включает 11 семейств: Baetidae (5 родов, 14 видов), Heptageniidae (5 родов, 13 видов), Leptophlebiidae (4 рода, 6 видов), Ephemerellidae (3 рода, 4 вида), Caenidae (1 род, 3 вида), Oligoneuriidae (1 род, 2 вида), Ametropodidae (1 род, 1 вид), Polymitarcyidae (1 род, 1 вид), Ephemeridae (1 род, 1 вид), Palingeniidae (1 род, 1 вид) и Prosopistomatidae (1 род, 1 вид).

Отряд **Trichoptera** включает 14 семейств: Limnephilidae (6 родов, 14 видов), Hydroptilidae (4 рода, 7 видов), Rhyacophilidae (1 род, 6 видов), Ecnomidae (3 рода, 4 вида), Glossosomatidae (2 рода, 3 вида), Psychomyiidae (2 рода, 2 вида), Hydropsychidae (2 рода, 5 видов), Leptoceridae (3 рода, 4 вида), Polycentropodidae (3 рода, 3 вида), Brachycentridae (2 рода, 2 вида), Phryganeidae (1 род, 1 вид), Lepidostomatidae (1 род, 1 вид), Apataniidae (1 род, 1 вид) и Sericostomatidae (1 род, 1 вид).

Отряд **Odonata** включает 8 семейств: Libellulidae (6 родов, 17 видов), Coenagrionidae (6 родов, 12 видов), Aeshnidae (4 рода, 9 видов), Lestidae (3 рода, 8 видов), Gomphidae (2 рода, 5 видов), Calopterygidae (1 род, 2 вида), Corduliidae (2 рода, 2 вида) и Platynemididae (1 род, 1 вид).

Отряд **Coleoptera** включает 11 семейств: Dytiscidae (25 родов, 65 видов), Hydrophilidae (11 родов, 29 видов), Elmidae (7 родов, 11 видов), Hydraenidae (3 рода, 11 видов), Haliplidae (2 рода, 9 видов), Helophoridae (1 род, 7 видов), Gyfinae (2 рода, 6 видов), Hydrochidae (1 род, 6 видов), Dryopidae (2 рода, 5 видов), Noteridae (1 род, 2 вида) и Spercheidae (1 род, 1 вид).

Отряд **Heteroptera** включает 11 семейств: Corixidae (5 родов, 19 видов), Gerridae (3 рода, 9 видов), Notonectidae (2 рода, 4 вида), Nepidae (2 рода, 3 вида), Veliidae (2 рода, 3 вида), Hebridae (1 род, 2 вида), Hydrometridae (1 род, 2 вида), Naucoridae (1 род, 1 вид), Aphelocheiridae (1 род, 1 вид), Pleidae (1 род, 1 вид) и Mesoveliidae (1 род, 1 вид).

## К изучению ихтиофауны бассейна реки Пясины в связи с влиянием Норильского горно-металлургического комбината

Ядренкина Е. Н.<sup>1</sup>, Тимшанов Р. И.<sup>2</sup>, Ядренкин А. В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Россия

<sup>3</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

✉ [yadrenkina@ngs.ru](mailto:yadrenkina@ngs.ru)

Одна из глобальных проблем сохранения природного комплекса связана с усилением антропогенного влияния предприятий и транспорта на водные экосистемы. Ихтиофауна бассейна реки Пясины во многом уникальна, что обуславливается как географическим положением региона, так и климатическими условиями среды, разнообразием ландшафтов и сложным генезисом фауны озёр и рек, расположенных на этой территории. В последнее время огромный интерес к изучению ихтиофауны бассейна реки Пясины вызван развитием Норильского горно-металлургического комбината. В условиях техногенного воздействия на все компоненты окружающей среды, в том числе на ихтиофауну, наиболее остро встают вопросы экологической безопасности северных территорий России.

В сентябре 2021 г. проведены исследования по оценке видового состава рыб на четырёх участках бассейна реки Пясины — в озере Пясино (в его южной и центральной части), в реке Амбарная (приустьевой участок) и в озере Мелкое. Первые три участка находятся в зоне техногенного воздействия предприятия, четвёртый взят в качестве фонового, расположенного выше по течению и не подверженного загрязнению. Все отловленные рыбы анализировались на содержание нефтепродуктов в тканях и органах.

Отлов рыб осуществляли с использованием разноячейных ставных жаберных сетей с размером ячеи от 14 × 14 мм до 55 × 55 мм. Общий биологический анализ рыб проведён в условиях лаборатории по методике И. Ф. Правдина. Каждый экземпляр визуально оценивали на общее состояние чешуйного покрова, жаберного аппарата, плавников и внутренних органов — печени, почек, желудочно-кишечного тракта. Измеряли общую длину, длину по Смиту, длину тела, общую массу и массу тела без внутренних органов с использованием электронных измерительных приборов (штангенциркуль, весы). При вскрытии брюшной полости оценивали пол, стадию зрелости половых продуктов (гонад), наполнение желудочно-кишечного тракта (далее — ЖКТ). Возраст устанавливали под биноклем по числу годовых колец на чешуе. Всего общий биологический анализ проведён у 84 особей.

Согласно последнему обзору данных научной литературы, в бассейне реки Пясины, включая группу Больших норильских озёр, обитает 38 видов рыб. Из них тихоокеанская минога, горбуша, сайка и девятиглая колюшка — это обитатели исключительно нижнего течения реки Пясины. В районе проведения исследования обитают 34 вида. Десять видов составляют группу представителей непромысловой фауны по причине своих небольших размеров и малочисленности популяций — сибирская минога *Lethenteron kessleri*, сибирский елец *Leuciscus baicalensis*, голяян Чекановского *Rhynchocypris czekanowskii*, озёрный голяян *Rhynchocypris percunurus*, обыкновенный голяян *Phoxinus phoxinus*, ёрш *Gymnocephalus cernua*, азиатская корюшка *Osmerus dentex*, пёстроногий подкаменщик *Cottus poecilopus*, сибирский подкаменщик *Cottus sibiricus* и четырёхрогий керчак *Muhocephalus quadricornis*.

В наших уловах зарегистрировано 9 видов рыб: сиг-пыжьян *Coregonus pidschian*, муксун *Coregonus muksun*, чир *Coregonus nasus*, пелядь *Coregonus peled*, ряпушка *Coregonus sardinella*, нельма *Stenodus leucichthys nelma*, щука *Esox lucius*, налим *Lota lota* и ёрш *Gymnocephalus cernuus*. Все виды, за исключением ерша, входят в состав основных промысловых видов. Согласно результатам анализа уловов, наименьшая плотность рыб характерна для участков, расположенных ближе других к горно-металлургическому предприятию, — для реки Амбарная и центральной части озера Пясино (7 и 8 % от общего числа отловленных рыб соответственно); наибольшая плотность рыб (по величине улова) отмечена в акватории южной части озера Пясино (62 %). В озере Мелкое объём улова составил 22 % от общей численности отловленных рыб. Видовой состав рыб также существенно различался. В реке Амбарная отловлены представители трёх видов (чир, пелядь и сиг), в центральной

части озера Пясино — четырёх (сиг, ряпушка, налим и ёрш), в южной части озера Пясино — шести (сиг, муксун, щука, пелядь, чир и ряпушка), в озере Мелкое (фоновый водоём) — четырёх (ряпушка, сиг, нельма и щука). По сведениям местных рыбаков, в озёрах обитают сибирская плотва *Rutilus lacustris* и обыкновенный окунь *Perca fluviatilis*.

Наибольшее видовое разнообразие выявлено в центральной части озера Пясино (значение индекса Шеннона — 0,58), наименьшее зарегистрировано в реке Амбарная (0,47). Уровень сходства видового богатства рыб между сравниваемыми водными объектами существенно различается. По индексу Жаккара ихтиофауна реки Амбарная отличается от таковой озера Пясино на 62 %, а от ихтиофауны озера Мелкое — на 86 %. В свою очередь, уровень сходства видового состава рыб между озёрами Пясино и Мелкое составил только 33 %. Важно отметить, что отлов проводили в период высокой миграционной активности рыб, перемещающихся к местам размножения, поэтому очевидна необходимость проведения расчётов и в другие сезоны года.

Результаты визуального осмотра состояния чешуйного покрова, жаберного аппарата и внутренних органов (печень, почки, ЖКТ и гонады) свидетельствуют о нормальном физиологическом состоянии выловленных рыб. Явных патологических изменений не выявлено.

На внутренних органах (печень и ЖКТ) и в мышечной ткани пеляди и ряпушки зарегистрированы финки цестод, что характерно для сиговых рыб, обитающих в водоёмах северных широт.

## Patterns in diversity of marine planktonic ciliates (Ciliophora, Tintinnida): A scale-dependent model

Gavrilova N. A. and Dovgal I. V.

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

✉ [krinelly@gmail.com](mailto:krinelly@gmail.com)

There are two alternative views on geographical patterns in distribution of unicellular organisms. In the earlier view, the protist distribution has exclusively ecological explanations and fundamental assumption that ‘everything is everywhere: but the environment selects’. This statement (‘Ubiquity model’) was promulgated by a Dutch microbiologist Beijerinck in the early XX century. On the other hand, it is believed that the protist (ciliate) biogeography is similar to that of plants and animals, but with a reduced ratio of endemics in accordance with Foissner’s ‘Moderate endemicity model’ (hereinafter MEM).

Planktonic loricate ciliates (Tintinnida) are a convenient taxon for testing distribution hypotheses of small-sized, especially unicellular, organisms. The order Tintinnida includes 954 species, *inter alia* 925 marine and 29 freshwater ones. Concerning their distribution, the tintinnids were classified as cosmopolitan, neritic, warmwater, boreal, and south polar based mainly on peculiarities of latitudinal distribution of their genera. It is Dolan’s opinion that there are large-scale spatial and temporal patterns in the distribution of Tintinnida, and this corresponds to the MEM hypothesis.

Based on the literature and own data, the distribution of 693 tintinnid species was analyzed in different water areas at different spatial scales.

Hence, 31 tintinnid species were found in the Sevastopol Bay of the Black Sea, which are combined into short-term existing species complexes. The latter circumstance is reflected by a low beta diversity (Whittaker’s index value was 0.32). In the Black Sea and the Sea of Azov, 51 species of ciliates were identified. Those were united in four groups (Whittaker’s index value was 1.35), which, in turn, are associated with the distribution of water temperature and salinity in these water areas. Similar diversity patterns were observed in the Mediterranean Sea (324 species grouped into 3 species complexes; Whittaker’s index value 1.78) and the Arabian Sea (117 species grouped into 3 species complexes as well; Whittaker’s index value 4.39).

Importantly, similar patterns were observed in the oceans. Thus, 376 tintinnid species from the Pacific Ocean were combined into 3 clusters (Whittaker’s index value 3.94); 374 species from the Atlantic Ocean were united into 2 species complexes (Whittaker’s index value 2.22); and 125 species from the Indian Ocean were clustered into two complexes (Whittaker’s index value 0.99).

As for polar oceans, 96 species of tintinnid ciliates found in the Arctic Ocean were clustered (Whittaker’s index value 3.00) into two complexes – Eurasian and North American. Such pattern is possibly due to significant fluctuations in water salinity near estuaries of great Siberian rivers. In turn, 227 tintinnid species registered in the Antarctic (Southern Ocean) were combined into two clusters (Whittaker’s index value 1.63). However, in our opinion, the latter pattern to a greater extent is associated with the lack of data for some water areas (specifically, only 4 species were found in the Ross Sea) than with distribution of environmental factors values.

As known, in marine biogeography, the following latitudinal areas of the pelagic zone are considered (from south to north): Antarctic, Notal, Southern Subtropical, Tropical, Northern Subtropical, Boreal, and Arctic. In this regard, the changes in tintinnid species richness were traced in the latitudinal direction. As found, ciliate diversity increases from Antarctic to Tropical areas and decreases from Tropical to Arctic ones. The opposite trend was observed for tintinnid endemism: its highest levels were recorded in the Antarctic area (30 %) and in the Arctic (23 %). Importantly, despite a certain similarity in environments, the species complexes of tintinnids in the Arctic and Antarctic differ significantly. There are 27 species common for these zones, but all of them are widespread. This shows the prevalence of biogeographical patterns in ciliate distribution on a large scale. Interestingly, there are some bipolar species among protists, for example, foraminifera; however, bipolar species are not known among tintinnids.

The applicability of any model of organism distribution depends on the spatiotemporal scale: either chorological or biogeographic patterns (ecological or geographical chorology) are manifested. It is our opinion that the Ubiquity model corresponds to ecological chorology, while MEM corresponds to geographical one.


According to our data, tintinnids are characterized by a clear trend towards an increase in species richness depending on a scale. However, the beta diversity of these ciliates rises only up to distances between sampling points of the order of 3,000 km; then, the degree of differentiation of the communities along an environmental gradient no longer increases.

Thus, on a large spatiotemporal scale (in case with the distance between points of > 15,000 km), the character of tintinnid distribution corresponds to the geographic chorology. There are Arctic and Antarctic complexes of endemic cold-loving species confined to zones where climatic conditions are relatively stable for a long time sufficient for speciation.

The species complexes of tintinnid existing at smaller scales (at the distances of 100–15,000 km) are associated with the distribution of environmental factors, such as temperature and salinity, while endemic species are unknown. In turn, at the smallest scales (at the distances < 100 km), ciliate species complexes are usually ephemeral. Hence, on the last two scales, the distribution of tintinnids corresponds to the ecological chorology.

Accordingly, the patterns of distribution for marine tintinnids can be considered within a universal scale-dependent model, with its special cases represented by the Ubiquity model and MEM.





Структура,  
функционирование  
и динамика водных  
и наземных  
экосистем

## Гидрохимические условия шельфовых вод морей Содружества и Дейвиса в летний антарктический период 2008–2021 гг.

Артамонова К. В.<sup>1</sup>, Гангнус И. А.<sup>2</sup>, Лавинен Н. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО),  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ [ksusha.vniro@gmail.com](mailto:ksusha.vniro@gmail.com)

В работе рассмотрены особенности пространственного и вертикального распределения содержания растворённого кислорода и концентрации биогенных элементов на шельфе приматериковых морей Антарктиды (Содружества и Дейвиса), расположенных в индоокеанском секторе Южного океана, а также проанализирована межгодовая изменчивость гидрохимических условий за изучаемый период.

В основу проведённого исследования положены данные, полученные с декабря по март в 2008–2021 гг. в составе российской антарктической экспедиции на НЭС «Академик Фёдоров» и НЭС «Академик Трёшников».

Показано, что в летний период гидрохимическая структура морей Содружества и Дейвиса состоит из верхнего тонкого, прогретого и более опреснённого слоя (0–20 м), который характеризуется высоким содержанием растворённого кислорода (до  $9 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ ) и его процентным насыщением, пониженными концентрациями минеральных форм биогенных элементов и повышенным содержанием органических форм азота и фосфора. Уже на глубинах 25–50 м концентрации биогенных элементов восстанавливаются до высоких зимних значений: минеральный фосфор — до  $2,0\text{--}2,2 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$ , кремний — до  $75\text{--}85 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$ , нитраты — до  $25\text{--}29 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$ . Для шельфовых вод исследуемых морей характерно уменьшение содержания растворённого кислорода и увеличение концентраций биогенных элементов с глубиной. С приближением к бровке шельфа отмечались придонные прослойки с низкими значениями растворённого кислорода и повышенными концентрациями биогенных элементов, что связано с проникновением на шельф океанических вод.

Показано, что в летний антарктический период на шельфе моря Содружества (в заливе Прюдс) формировались уникальные для Южного океана условия: в поверхностном слое наблюдалось практически полное потребление биогенных элементов (до нулевых значений), при этом резко возрастали концентрации органических форм азота и фосфора, а перенасыщение вод кислородом достигало 120–140 %. Наибольшая скорость убыли биогенных элементов отмечалась вблизи кромки припая с середины декабря до начала января и составляла для кремния  $3,2 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$  в сутки, для нитратного азота —  $1,8 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$  в сутки, для минерального фосфора —  $0,12 \text{ мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$  в сутки. В условиях устойчивого пикноклина происходила вспышка цветения фитопланктона, которая отмечалась визуально: вода становилась зелёной, с пониженной прозрачностью. Такие ситуации достаточно редки для вод Южного океана, локальны и кратковременны. В январе — феврале регистрировался рост биогенных элементов, и к марту их содержание в поверхностном слое в целом соответствовало значениям, регистрируемым в середине декабря. Установлено, что наиболее быстро восстанавливались концентрации фосфатов, а содержание нитратов к апрелю лишь на 70 % достигло декабрьских величин; при этом стехиометрическое соотношение между отдельными элементами в целом соблюдалось и в среднем было следующим:  $\text{Si} / \text{P-PO}_4 = 22,1$  и  $\text{N-NO}_3 / \text{P-PO}_4 = 14,5$ .

Показано, что с 2008 по 2020 г. летние «оазисы» в прибрежной акватории моря Содружества наблюдались с разной степенью выраженности и зависели от гидрометеорологических условий (продолжительности безветренных дней и наличия разрушенного припая) в каждый конкретный год. Выделены условно тёплые годы (2009, 2014), когда в поверхностных водах залива Прюдс отмечались ранняя вегетация (в конце декабря) и интенсивное потребление фитопланктоном биогенных элементов, и холодные (2011, 2016, 2017), когда в декабре — январе регистрировались достаточно низкая температура воды (от  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $-0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ), высокие (почти зимние) концентрации биогенных элементов и наличие большого массива ледового припая. «Фенологическая волна» ещё не пришла, а формирование опережающих её летних «оазисов» в таких условиях представлялось невозможным.

На шельфе моря Дейвиса, в отличие от моря Содружества, такие условия более редки; в летний период процесс вегетации здесь идёт на более низком уровне. Концентрации минеральных форм биогенных элементов в верхнем, поверхностном слое в целом выше, а содержание органических форм азота и фосфора сохраняется на низком уровне.

## Суточная динамика гидрологических параметров воды и растворённых газов (CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) вблизи черноморской океанографической платформы (Кацивели)

Будников А. А.<sup>1</sup>, Иванова И. Н.<sup>1</sup>, Малахова Т. В.<sup>2</sup>, Мурашова А. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия // <sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [ivair@yandex.ru](mailto:ivair@yandex.ru)

Исследование динамики концентрации растворённых в морской воде газов и её связь с изменениями гидрологических параметров среды (температуры, электропроводности) представляет определённый интерес с точки зрения биологических аспектов формирования морских экосистем. В шельфовой мелководной зоне из-за многообразия действующих факторов, в том числе из-за ветрового и волнового перемешивания, может наблюдаться достаточно динамичная картина распределения вышеуказанных параметров. Непосредственное измерение основных гидрологических характеристик водной среды может дать представление об устойчивости распределения и взаимосвязи между данными характеристиками. Целью работы было исследование суточной динамики гидрологических параметров воды и растворённых газов (метана и кислорода) в мелководном районе Черноморского шельфа.

Измерения проводились на стационарной океанографической платформе вблизи Кацивели (44°23'38" с. ш., 33°59'15" в. д.). Расстояние от берега до платформы составляет около 500 м, глубина в районе платформы — 26–30 м. Для выполнения измерений использовался мультипараметрический зонд RCM 9 LW (Aanderaa) с доплеровским регистратором вектора модуля скорости течения, датчиками температуры, электропроводности, концентраций кислорода и взвеси. Зонд использовался для получения вертикальных профилей параметров с шагом 1 м. Одновременно с зондированиями (по всей глубине) проводилось измерение метеорологических параметров на высоте 12 м от уровня моря — скорости и направления ветра, температуры, давления и влажности воздуха. Для взятия проб воды с рабочей палубы платформы использовался батометр морской БМ-48. Отбор проб воды для измерения CH<sub>4</sub> проводился каждые 3 ч в диапазоне глубин 0–25 м с шагом 5 м. Содержание растворённого метана CH<sub>4</sub> измерялось газохроматографическим методом после фазово-равновесной дегазации в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором и набивной колонкой.

Суточные измерения начались 2 августа в 10:00, заключительное профилирование было проведено 3 августа в 15:00. Всего выполнено 10 гидрологических зондирований с одновременным отбором проб воды для определения концентрации CH<sub>4</sub>. Скорость ветра в дневное время составляла 1–2 м·с<sup>-1</sup>, в ночное время наблюдался штиль.

Полученные данные показали, что термохалинная структура в течение измерений не была постоянной. Зарегистрированный термоклин изменял свою глубину от 12 до 25 м и имел как одноступенчатый, так и двухступенчатый тип (21:00 2 августа и 00:00 3 августа). Температура воды в придонном слое варьировала от +12 до +18 °С, в поверхностном слое — от +23 до +27 °С. Характер распределения растворённого кислорода O<sub>2</sub> соответствовал распределению температуры: более холодные придонные воды содержали больше кислорода по сравнению с тёплыми поверхностными — 219–231 и 250–262 ммоль·л<sup>-1</sup> соответственно. Как правило, в условиях устойчивой температурной стратификации придонные слои обеднены кислородом. В условиях низкой турбулентности кислород придонных слоёв быстро расходуется, что может привести к гипоксии и даже аноксии. Ранее нами было показано, что в районах прибрежных пузырьковых газовыделений в условиях летней температурной стратификации отмечено значительное снижение содержания O<sub>2</sub> в придонных слоях воды. Распределение температуры и концентрации O<sub>2</sub> в толще воды у платформы свидетельствует о динамичной гидрологической обстановке. Мутность воды была незначительной во всей исследованной толще и в среднем составляла 0,03 NTU.

Распределению модуля скорости течения не показало устойчивых во времени течений. В подповерхностном слое (5–10 м) наблюдался периодически проявляющийся максимум —  $30\text{--}40\text{ см}\cdot\text{сек}^{-1}$ . В придонных слоях скорость течения за всё время измерений была значительно ниже и не превышала  $10\text{ см}\cdot\text{сек}^{-1}$ .

Вертикальные профили  $\text{CH}_4$  можно отнести к прибрежному типу распределения, для которого характерно увеличение концентрации  $\text{CH}_4$  от поверхности к дну. В подповерхностных слоях не выявлены явные концентрационные максимумы, которые часто обнаруживаются в аэробных водах различных бассейнов Мирового океана («метановый парадокс»). Суточный диапазон концентраций  $\text{CH}_4$  в поверхностном слое составлял  $1\text{--}12\text{ нмоль}\cdot\text{л}^{-1}$ , тогда как в придонном слое концентрация  $\text{CH}_4$  достигала  $67\text{ нмоль}\cdot\text{л}^{-1}$ . В течение мониторинга изменялась глубина максимального градиента концентрации  $\text{CH}_4$ , которая совпадала с глубиной термоклина. Такой характер распределения  $\text{CH}_4$  в воде формируется, вероятно, вследствие потока газа из донных осадков и температурной стратификации толщи воды. Показана высокая изменчивость потоков на границе вода — воздух в течение суток (от поглощения до  $3\text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\text{ сут}^{-1}$   $\text{CH}_4$  в атмосферу. Важно отметить, что наблюдалась прямая корреляция между распределениями растворённого в воде метана и кислорода, что не является типичным для этой пары газов.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

## Характеристика водной растительности озёр острова Валаам (Ладожское озеро) по палинологическим и геоботаническим данным

Газизова Т. Ю., Русанов А. Г., Сапелко Т. В.

Институт озераведения СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

✉ [tssml@bk.ru](mailto:tssml@bk.ru)

Один из методов исследования озёрных экосистем — палинологический анализ поверхностных проб озёрных отложений. Содержащие усреднённые данные о растительности в пределах водосбора за последние 3–5 лет, они являются ценным источником информации о современной растительности озера и его водосборного бассейна. Кроме того, многочисленными исследованиями показана значимость субрецентных спорово-пыльцевых спектров (далее — СПС) для понимания особенностей распространения палеорастительности. В лимнологических исследованиях пыльцу макрофитов часто недооценивают ввиду её плохой сохранности и невысокого содержания в донных отложениях. Между тем водные растения играют ключевую роль в формировании и индикации условий развития водоёмов, что отражает важность изучения пыльцы макрофитов для анализа современного состояния озёр и реконструкций их развития. Мы предприняли попытку оценить адекватность отражения современной водной растительности в палиносpectрах поверхностных проб донных отложений озёр на острове Валаам (северная часть Ладожского озера) и определить возможность использования пыльцы макрофитов в лимнологических и палеолимнологических исследованиях.

В рамках палеолимнологических исследований Института озераведения РАН на Ладожском озере были отобраны поверхностные пробы донных отложений и описана современная водная растительность озёр на острове Валаам, территориально относящемся к подзоне средней тайги. Изучаемые озёра — Германовское, Зимняковское, Антониевское и Витальевское — представляют собой небольшие мезотрофные водоёмы, окружённые сплавиной и хвойным лесом из сосны и ели с примесью берёзы. Геоботаническое описание современной водной растительности озёр проводилось общепринятым методом глазомерного картирования в ходе объезда береговой линии на лодке. Поверхностные пробы донных отложений отбирались с использованием лота Воронкова и изучались методом палинологического анализа. Также собирались соцветия цветущих водных и прибрежно-водных растений. Сходство результатов изучения современной водной растительности и анализа СПС оценивалось с использованием качественных и количественных индексов.

Озеро Германовское, площадью 0,01 км<sup>2</sup> и глубиной до 3,7 м, по степени зарастания относится к слабо заросшим водоёмам (площадь зарастания — 7 %). От общей площади зарослей 56 % составляет погружённая растительность (мох *Fontinalis antipyretica*); 39 % — гелофиты и гигрогелофиты (преимущественно *Phragmites australis* и *Carex rostrata*); 5 % — плавающие гидрофиты (*Nuphar lutea*). В поверхностных пробах озера Германовского встречается пыльца *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida* и *Potamogeton* spp.

Озеро Зимняковское, площадью 0,019 км<sup>2</sup> и глубиной до 2,1 м, относится к слабо заросшим водоёмам (площадь зарастания — 6 %). От общей площади зарослей 64 % составляют плавающие гидрофиты (главным образом *Nuphar lutea*); 28 % — гигрогелофиты (преимущественно *Carex rostrata*); 3 % — гелофиты (*Typha angustifolia*); 1 % — погружённые гидрофиты (*Fontinalis antipyretica*). В поверхностных пробах озера Зимняковского встречается пыльца *Nuphar lutea*.

Озеро Антониевское, площадью 0,028 км<sup>2</sup> и глубиной до 3,5 м, относится к очень слабо заросшим водоёмам (4 %). Преобладающую роль (61 %) в общей площади зарастания играют плавающие гидрофиты (*Nuphar lutea* и *Nymphaea candida*); 20 % составляют гелофиты и гигрогелофиты (главным образом *Sparganium* sp.); 19 % — погружённые гидрофиты (*Fontinalis antipyretica*). В поверхностных пробах озера Антониевского встречается пыльца *Myriophyllum* spp., *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida*, *Potamogeton* spp. и *Sparganium* spp.

Озеро Витальевское, площадью 0,005 км<sup>2</sup> и глубиной до 1,9 м, относится к слабо заросшим водоёмам (9 %). От общей площади зарослей 70 % составляют гигрогелофиты (*Calla palustris* и *Carex rostrata*); 16 % — погружённые гидрофиты (*Fontinalis antipyretica*); 14 % — плавающие гидрофиты

(*Hydrocharis morsus-ranae* и *Lemna minor*). В поверхностных пробах озера Витальевского встречена пыльца *Alisma* spp., *Lemna* spp., *Nymphaea candida*, *Potamogeton* spp. и *Sparganium* spp.

Значения качественных и количественных индексов сходства показывают различный уровень близости между результатами изучения современной водной растительности и анализа СПС для исследуемых озёр. Например, при использовании индекса Сёренсена — Чекановского отмечается высокий уровень сходства для озера Антониевского (75 %), средний для озера Германовского (50 %) и невысокий для озёр Зимняковского и Витальевского (40 и 25 % соответственно). При этом преобладающие на момент изучения современной водной растительности виды макрофитов встречены при палинологическом анализе поверхностных проб всех озёр. Исключением стали один из доминантов озера Витальевского — *Hydrocharis morsus-ranae* — и преобладающий в озере Германовском погружённый гидрофит *Fontinalis antipyretica*, споры которого не были определены в пробах. Тем не менее присутствие значительной части доминантных видов в СПС говорит о достаточно адекватном отражении современной водной растительности озёр на острове Валаам в поверхностных пробах донных отложений.

Данное исследование показывает возможность использования пыльцы водных растений, содержащейся в поверхностных пробах озёрных отложений, при изучении современной водной растительности озёр и при палеоэкологических реконструкциях их эволюционного развития.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоёмов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/69.pdf>.





## Сезонная динамика *Pseudosolenia calcar-avis* в поверхностном слое открытой части Чёрного моря

Георгиева Е. Ю., Стельмах Л. В.

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

✉ [e-georgieva@mail.ru](mailto:e-georgieva@mail.ru)

На основе обобщения данных, полученных в экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» с 2010 по 2019 г., представлена сезонная динамика развития крупноклеточного вида диатомовых водорослей — *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundström — в поверхностном слое (0–1 м) открытой области Чёрного моря. Район исследования располагался вдоль полуострова Крым от мыса Тарханкут до Керченского пролива с глубинами более 300 м. Показателем развития *P. calcar-avis* выбрали её биомассу, осреднённую по сезонам. По нашим данным, в зимний, осенний и весенний периоды значения биомассы *P. calcar-avis* были существенно ниже, чем в летний сезон. Весной осреднённая величина биомассы *P. calcar-avis* составляла  $5,7 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , летом она нарастала и достигала  $263,4 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , осенью снижалась до  $3,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , а зимой незначительно росла — до  $8,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Летом доля *P. calcar-avis* в биомассе суммарного фитопланктона составляла в среднем 57,8 %, тогда как в остальные периоды она не превышала 12 %. Максимальные значения биомассы *P. calcar-avis* отмечены в летнее время в центральной части исследуемого района. Температура воды на поверхности с весны до лета возрастала с  $+19,1$  до  $+25,9$  °C, а зимой снижалась до  $+11,3$  °C. При этом максимальное значение биомассы *P. calcar-avis* —  $925,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  — было зафиксировано при температуре  $+23,8$  °C на станции, расположенной в центральной части исследуемого района ( $44^{\circ}01.27\text{N}$ ,  $34^{\circ}01.11\text{E}$ ), в июле 2019 г. В весеннее время в суммарном фитопланктоне по биомассе доминировала мелкоклеточная кокколитофорида *Emiliana huxleyi* (Lohmann) W. W. Hay & H. P. Mohler. В летний период преобладали диатомеи *P. calcar-avis* и *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström и примнезиевая водоросль *E. huxleyi*. Осенью доминировали динофитовые водоросли *Protoperidinium divergens* (Ehrenberg) Balech и *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Dujardin, а также диатомовые *P. calcar-avis* и *P. alata*. В зимний сезон основную биомассу создавали динофитовая водоросль *Prorocentrum micans* Ehrenberg и диатомовая *P. alata*.

По осреднённым по сезонам величинам биомассы *P. calcar-avis* летний период был определён как наиболее благоприятный для развития этого вида в открытой части Чёрного моря.

Работа выполнена по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (№ 121040600178-6) и «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1).

## Первичные сведения о водном балансе субтропических пушистодубовых ландшафтов Юго-Восточного Крыма

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

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

✉ [gorbunov@ibss-ras.ru](mailto:gorbunov@ibss-ras.ru)

Изучение водного баланса субтропических пушистодубовых лесов проводилось на базе Карадагского ландшафтно-экологического стационара (КЛЭС) (государственный природный заповедник «Карадагский»).

В среднем на территорию Карадага поступает 448 мм атмосферных осадков в год. Пушистодубовые сообщества задерживают кронами примерно 24 % выпадающих осадков, что составляет в среднем 104 мм. Как отмечается в работе А. В. Зуева с соавторами, на территории Карадага при относительно малом количестве выпадающих осадков леса могут задерживать до 100 % осадков. При этом существует внутригодовая динамика данного процесса, связанная как со стадиями вегетации растений, так и с интенсивностью осадков. Так, максимальные значения задержания кронами осадков характерны для второй половины весны — начала лета в силу того, что именно в этот период растения достигают пика зелёной фитомассы. Например, в июле в среднем задерживается 9 мм, или около 41 % выпадающих осадков. Интенсивность выпадающих осадков влияет и на их удержание кронами деревьев. А. В. Зуев и соавторы указывают, что при выпадении на Карадаге более 20 мм осадков задерживается до 20 %, а при выпадении менее 2 мм осадков задерживается более 45 %. В то же время рост количества летних ливневых осадков, который отмечается в Крыму, влияет на формирование водного баланса пушистодубовых лесов. Анализ данных показывает, что рост количества осадков, наблюдаемый в Крыму, обусловлен летними ливневыми осадками; это, в свою очередь, приводит к тому, что большая часть воды проникает под полог леса, практически не задерживаясь в кроне. Кроме того, крупные капли, характерные для ливневых осадков, слабо задерживаются на листьях и быстро стекают на поверхность лесной подстилки.

Существенную роль в структуре водного баланса пушистодубовых лесов играет стволовой сток, который концентрирует водный поток непосредственно под корни деревьев, питая их. Однако в условиях склонового рельефа такой процесс может усиливать плоскостной смыв почвы, вызывать капельную и мелкоструйчатую эрозию почв и, как следствие, обнажать корни деревьев, усиливая тем самым процессы формирования бедлендов.

Сток с крон деревьев, по измеренным данным на модельных деревьях, составляет около 75 % от количества выпадающих осадков. Следует отметить, что подобные результаты были получены и экспедициями В. А. Бокова в этом районе в 1997 и 1998 гг.

За период с 2010 по 2020 г. наблюдается существенное уменьшение влагозапасов в почве (в среднегодовом выражении — примерно в 1,6 раза). Межсезонная динамика уменьшения влагозапасов в почве показывает, что практически все сезоны года характеризуются падением средних значений относительной влажности, близких к среднегодовому значению, за исключением осени, когда относительная влажность уменьшается в 1,4 раза. Рассматривая межсезонную динамику, важно подчеркнуть тот факт, что существенное (более чем в 2,5 раза) сокращение влагозапасов в почве наблюдается в декабре и незначительное — в сентябре. Максимальными относительными значениями влажности почвы характеризуются зимние месяцы и март, когда среднее значение относительной влажности почвы не опускается ниже 25 %, а минимальными — конец лета и начало осени (август и сентябрь), когда значения относительной влажности почвы снижаются до 15–18 %.

Эвапотранспирация в пределах пушистодубовых лесов составляет в среднем за 2010–2020 гг. 450 мм, что практически соответствует количеству выпадающих осадков. Таким образом, леса Юго-Восточного Крыма характеризуются отрицательным водным балансом за рассматриваемый период. Если проанализировать межгодовую динамику величин эвапотранспирации в пределах дубовых лесов Карадага, можно заключить, что её величины имеют устойчивый возрастающий тренд, что говорит о формировании более сухого климата территории на фоне увеличения количества осадков.

В то же время выделяются некоторые годы, когда среднегодовое количество выпадающих осадков превышает эвапотранспирацию (2010, 2016 и 2018 гг.), однако при этом среднегодовые значения водного баланса остаются отрицательными.

Важную роль в пространственной дифференциации пушистодубовых лесов играют снегосборы. А. А. Клюкин указывает на то, что в Юго-Восточном Крыму зимой бывает 6–7 дней с обложными морозящими дождями, а снег выпадает несколько раз, но быстро тает во время оттепелей. В монографии «Природа Карадага» отмечено, что на Карадаге около 5 % осадков выпадает в виде снега. При этом с наветренных северо-восточных склонов может сдуваться от 50 до 90 % снега. Как правило, зимние осадки практически не задерживаются кронами деревьев ввиду отсутствия листовых пластин, однако могут выдуться. За период с 2011 по 2020 г. среднегодовое количество осадков в твёрдой форме составило 38 мм, то есть примерно 9 % от общего их количества. Вместе с тем, если говорить о межгодовой динамике рассматриваемых показателей, можно выделить годы с минимальным количеством выпавших осадков в твёрдой форме (2013 и 2020 гг., когда значение не превышало 10 мм) и с максимальным (например, 2015 и 2016 гг., когда количество выпавших осадков в твёрдой форме было более 60 мм). Несмотря на то, что продолжительность залегания снега на территории Юго-Восточного Крыма не превышает недели, для него характерно явление снегосборов, с которых накопленный снег передувается на склоны южных экспозиций, формируя там более гидрофильные условия, чем на склонах северных экспозиций. В связи с этим склон юго-юго-западной экспозиции лучше залесён и характеризуется большей эрозионной изрезанностью, чем противоположный склон северо-северо-восточной экспозиции, и на склонах юго-юго-западной экспозиции отмечаются участки с сильно смытым почвенным покровом.

Полевые исследования поверхностного стока показывают, что на территории Карадага под пушистодубовыми лесами поверхностный сток практически не формируется. Установлено, что склоновый сток характеризуется незначительными показателями. В большинстве случаев сток вызывается либо таянием снега, либо выпадением интенсивных осадков. Следует отметить слабый рост величин поверхностного стока в межгодовой динамике за рассматриваемый период, что связано с ростом повторяемости ливневых осадков.

Большую роль в формировании водного баланса пушистодубовых лесов играют горизонтальные осадки (конденсация из тумана, изморозь, наморозь, гололёд и др.). К сожалению, на этом этапе исследования не было возможности провести реальные измерения их вклада в формирование водного баланса лесов; однако, согласно данным И. П. Ведя, их вклад может достигать 20–25 % от годового слоя осадков.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-27-00579 (<https://rscf.ru/project/22-27-00579/>).

## Эвапотранспирация как одна из основных функций лесных экосистем

Данилова И. В.<sup>1,2</sup>, Буренина Т. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт леса имени В. Н. Сукачёва СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

✉ [tiv80@mail.ru](mailto:tiv80@mail.ru)

В сложном процессе круговорота влаги в природе испарение занимает одно из ведущих мест. Лесные экосистемы, обладая более сложной структурой, чем другие растительные сообщества, оказывают влияние на все составляющие суммарного испарения, что отражается на формировании стока на речных водосборах. Наряду с осадками и стоком, эвапотранспирация, включающая испарение перехваченных осадков, транспирационный расход влаги растениями и физическое испарение с почвы и снега, является основной расходной статьёй водного баланса лесных экосистем.

Цель данной работы — на основе ландшафтной дифференциации территории оценить гидрологическую роль доминирующих в бассейне Подкаменной Тунгуски лесных сообществ по их вкладу в суммарное испарение на водосборе. Основным подход предполагал использование индикативных свойств ландшафтов для определения значимости различных типов лесной растительности в гидрологическом цикле в пределах речного бассейна. Исследования проводились в бассейне Подкаменной Тунгуски на участке от истоков реки до деревни Кузьмовка, который территориально находится в зоне средней тайги Средней Сибири. Следует отметить, что значительная протяжённость реки и ориентированность её бассейна с юго-востока на северо-запад обуславливают разнообразие природных условий, что выражается в характеристиках суммарного увлажнения и представленности растительных сообществ.

База данных Terra MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16) (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006>) была использована для вычисления эвапотранспирации за 2000–2014 гг. Пространственное разрешение этого продукта — 500 м. Продукт MOD16 представляет собой 8-суточный растр потоков эвапотранспирации с поверхности суши. По данным MOD16 рассчитывалась суммарная эвапотранспирация для каждого месяца, а затем суммировалась по сезонам. Анализ эвапотранспирации по сезонам связан с тем, что в сезонном разрезе механизм суммарного испарения абсолютно различен. Зимой испаряется влага только со снега (с учётом сублимации с поверхности снежного покрова и испарения задержанных кронами деревьев твёрдых осадков). Летом к физическому испарению с почвы и к осадкам, задержанным пологом леса, добавляется расход влаги на транспирацию листвой деревьев и живым напочвенным покровом (травостой, кустарники, мох).

На основе комплексного анализа цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM, карт растительного покрова и почвенной карты Красноярского края и Иркутской области, а также метеорологических данных на территории бассейна Подкаменной Тунгуски была выполнена лесогидрологическая классификация доминирующих в бассейне Подкаменной Тунгуски лесных сообществ. Дифференциация лесной растительности исследуемого региона с учётом гидрологической роли каждого класса растительного покрова позволила получить количественные показатели эвапотранспирации каждого из выделенных лесогидрологических комплексов. Исследования показали, что эвапотранспирация выделенных классов лесной растительности характеризуется значительной изменчивостью как в пространстве, так и во времени. Вариабельность эвапотранспирации по годам в первую очередь связана с изменчивостью метеорологических элементов и величиной листового индекса. В пространственном аспекте изменчивость испарения определяется общеклиматическими характеристиками района исследований и различными вариантами породного состава лесных насаждений. В результате анализа данных была выявлена тенденция снижения годовой эвапотранспирации в бассейне Подкаменной Тунгуски с 2000 по 2014 г.

Сравнительный анализ трендов эвапотранспирации с трендами температуры воздуха и осадков подтверждает, что тенденция к снижению эвапотранспирации обусловлена изменением климатических условий на тестовой территории. Установлено, что ландшафтная структура водосборов может

быть использована для индикации процессов, формирующих эвапотранспирацию как важную составляющую водного баланса, и для определения гидрологически значимых границ ландшафтов. Оценка испарения с поверхности суши по данным дистанционного зондирования Земли (продукт MOD16 ET) может быть использована при воднобалансовых расчётах в различных по масштабам водосборных бассейнах, особенно при отсутствии базы данных по стоку.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Исследование особенностей гидрологического цикла в речных бассейнах таёжной зоны Средней Сибири при усилении антропогенного пресса на лесные экосистемы в условиях меняющегося климата» № 20-05-00095.

## Оценка восстановления сообщества зоопланктона озера Марьино (Казань, Россия)

Деревенская О. Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

✉ [oderevenskaya@mail.ru](mailto:oderevenskaya@mail.ru)

Озеро Марьино (город Казань) расположено в районе с многоэтажной жилой застройкой на территории сквера «Экопарк Марьино». Озеро сохранилось на месте бывшего Кизического болота, большая часть которого была засыпана при организации территории под строительство жилых массивов. Ранее площадь озера была больше, но оно было частично засыпано при возведении многоэтажного здания. В котловине водоёма накопилось большое количество донных отложений, и высвобождение биогенных элементов из их состава приводило к быстрому росту погружённых растений и нитчатки. На протяжении почти всего летнего периода поверхность озера была затянута матами из нитчатки. После отмирания погружённых растений и их разложения в воде возникал дефицит кислорода.

В 2019 г. был разработан проект благоустройства озера Марьино, реализованный в 2020 г. строительной компанией «СМУ-88». Работы по экореконструкции начались в апреле 2019 г. Со дна озера и с берегов был собран и вывезен бытовой мусор. Донные отложения были удалены с применением технологии «Геотуб». Ил извлекался при помощи двух мини-земснарядов и складировался на берегу в специальных контейнерах (геотубах), которые сделаны из материалов, пропускающих воду. После того как вода стекла, донные отложения вывезли и утилизировали. Всего со дна подняли более 8 тыс. м<sup>3</sup> отложений, вывезли свыше 600 м<sup>3</sup> обезвоженного ила. В июле из озера была извлечена и вывезена избыточная биомасса погружённых растений. В водоёме были установлены аэраторы воды. В прибрежной зоне провели работы по благоустройству, реконструировали входную группу, построили обзорные площадки, установили скамейки и светодиодное освещение, заменили более 1 тыс. м<sup>2</sup> пешеходных дорожек, дополнительно высадили декоративные кустарники. Все работы были закончены к середине июля 2020 г.

Цель настоящих исследований — оценить восстановление сообществ зоопланктона после завершения экореконструкционных мероприятий. Изучение зоопланктона проводили в 2019 (до начала мероприятий), 2020 (в период их проведения) и 2021 гг. (после завершения). Пробы отбирали на протяжении вегетационных периодов 2019–2021 гг. (с периодичностью один раз в две недели) процеживанием 50 л воды через сеть Апштейна. Камеральная обработка проб проводилась при помощи общепринятых гидробиологических методов.

В 2019 г., до восстановительных мероприятий, в озере был выявлен 41 вид зоопланктонных организмов (51 вид с учётом ранее проведённых исследований). В 2020 г. в озере обнаружено 49 видов, а в 2021 г. — 42. Во всех случаях преобладали по числу видов коловратки. Сравнение состава зоопланктона до и после завершения мероприятий показало весьма высокое сходство (70 %). Соответственно, число видов, образующих сообщество зоопланктона, не сократилось, а состав зоопланктона изменился несущественно.

Среднее число видов в пробе незначительно увеличилось в период проведения мероприятий — с  $(14,37 \pm 1,17)$  в 2019 г. до  $(15,70 \pm 1,71)$  в 2020 г. и  $(14 \pm 0,76)$  в 2021 г. В этот период произошло снижение видового разнообразия зоопланктона [его оценили по индексу Шеннона, рассчитанному по численности ( $H_n$ ) и биомассе ( $H_b$ )], но всё восстановилось уже в следующем году.

В 2019 г. состав доминирующих видов часто менялся, по численности на протяжении всего периода исследований преобладали один-два вида, ювенильные стадии циклопов. В 2020 и 2021 гг. на протяжении вегетационного периода также доминировали ювенильные стадии циклопов, в состав преобладающих видов часто входили *Bosmina longirostris* и *Ceriodaphnia pulchella*. До начала восстановления численность зоопланктона была низкой и составляла  $(46 \pm 12)$  тыс. экз. · м<sup>-3</sup>, биомасса —  $(0,004 \pm 0,001)$  г · м<sup>-3</sup>; преобладали ветвистоусые ракообразные, главным образом ювенильные стадии циклопов (nauplii). В 2020 г. количественные показатели зоопланктона существенно выросли — до  $(327,8 \pm 145,1)$  тыс. экз. · м<sup>-3</sup> и  $(3,64 \pm 2,59)$  г · м<sup>-3</sup> соответственно; по численности и биомассе преобладали Cladocera. Значения вновь снизились в 2021 г. В 2019 г. наиболее высокие значения численности и биомассы отмечались весной и осенью; летом они были очень низкими, что может быть

связано с недостатком кислорода в воде и с повышением уровня рН из-за массового развития нитчатки. В 2020 г. отмечен один пик численности и биомассы зоопланктона — 25 июля: численность доходила до 1472 тыс. экз. · м<sup>-3</sup>, а биомасса — до 26,6 г · м<sup>-3</sup>. При этом численность *B. longirostris* составляла 84 % от общей численности и 91 % от общей биомассы. В 2021 г. в июле также отмечался пик в развитии зоопланктона, но он был существенно меньше, чем 2020 г.; преобладали *C. pulchella*. Средняя индивидуальная биомасса зоопланктона в 2019 г. составляла (0,005 ± 0,001) мг, в 2020 г. — (0,006 ± 0,001) мг, в 2021 г. — (0,0044 ± 0,0006) мг.

Изменчивость (CV) численности зоопланктона в течение вегетационных периодов 2019–2021 гг. составляла 75, 140 и 95 % соответственно, биомассы — 88, 225 и 155 %; это означает, что на протяжении вегетационного периода наблюдались существенные колебания количественных показателей, причём особенно заметными они были в период проведения восстановительных мероприятий. Отношение минимальной биомассы к максимальной на протяжении вегетационного периода 2019 г. составляло 0,08 и было относительно невысоким в связи с общими низкими значениями биомассы. В 2020 г. вариабельность биомассы была значительно выше — 0,003; в 2021 г. значение составило 0,016.

Значения индекса сапробности соответствовали β-мезосапробной зоне (умеренно загрязнённая вода, III класс качества вод) — (1,56 ± 0,03) в 2019 г., (1,56 ± 0,016) в 2020 г. и (1,56 ± 0,02) в 2021 г.

Трофическая структура сообществ зоопланктона озера Марьино довольно простая. Основные потоки энергии трансформируются коловратками и ветвистоусыми ракообразными. Факультативных хищников мало, облигатные вообще отсутствуют. Хищные коловратки рода *Asplanchna* также не всегда присутствовали в пробах. В период проведения мероприятий увеличилось количество трансформируемой зоопланктоном энергии, однако по-прежнему наибольшее её количество преобразуется «мирными» ракообразными. Продукция зоопланктона была низкой в 2019 г., значение увеличилось в 2020–2021 гг.

Таким образом, после проведённых экореабилитационных мероприятий отмечается успешное восстановление озера и сообщества зоопланктона.



## Анализ активности солнечной радиации в условиях юго-восточной части Горного Крыма

Дрыгваль А. В., Келип А. А., Горбунов Р. В.

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

✉ [drygval95@mail.ru](mailto:drygval95@mail.ru)

Географическое положение Крыма во многом определяет режим циркуляционных процессов в атмосфере, которые влияют на погоду региона в разные сезоны.

Климатические особенности территории определяются количеством солнечной энергии, попадающей на её поверхность, общими циркуляционными процессами атмосферы, а также локальными особенностями циркуляции. Но главным климатообразующим фактором является солнечная радиация.

В нашей работе была проведена оценка распределения солнечной радиации на территории юго-восточной части Горного Крыма в пределах ландшафтных контуров карты Л. А. Багровой. Рассматриваемая территория охватывает низкогорный и среднегорный ярусы, включающие лесные, кустарниковые, луговые и степные (в том числе петрофитная степь) растительные сообщества.

На территории юго-восточной части Горного Крыма высота Солнца в полдень имеет максимальное значение 22 июня (68°), а минимальное — 22 декабря (21°). Изменение полуденной высоты Солнца в течение всего года составляет 47°. Длина светового дня меняется от 8 ч 47 мин до 15 ч 36 мин. Продолжительность солнечного сияния в течение года — 1900–2000 ч.

В течение года общий приток лучистой энергии или суммарной солнечной радиации на рассматриваемой территории составляет в среднем от 4710 до 5132 МДж·м<sup>-2</sup>, при этом доля прямой радиации в ней — около 55–59 % (в зависимости от времени года). Наибольшие значения суммарной солнечной радиации — до 760 МДж·м<sup>-2</sup> — наблюдаются в летний период (июль), при высоких положениях Солнца над горизонтом и наибольшей продолжительности дня в году. Меньше всего суммарной радиации поступает на рассматриваемую территорию зимой (январь) — до 135 МДж·м<sup>-2</sup>.

В горах склоны получают разное количество прямой солнечной радиации, её сумма зависит от ориентации склонов по отношению к сторонам света и от крутизны склонов. В среднем за год на территорию юго-восточной части Горного Крыма попадает от 2451 до 3048 МДж·м<sup>-2</sup> прямой солнечной радиации. В течение года значения прямой солнечной радиации варьируют от 45 МДж·м<sup>-2</sup> (зимний период, январь) до 520 МДж·м<sup>-2</sup> (летний период, июль).

Рассеянная радиация поступает более равномерно на все формы земной поверхности. Её среднегодовая сумма за 1983–2015 гг. составляет до 2264 МДж·м<sup>-2</sup>. На долю рассеянной радиации приходится 41–45 % от общего поступления лучистой энергии на поверхность. Значения рассеянной радиации в среднем за месяц варьируют от 77 до 285 МДж·м<sup>-2</sup> [с минимумом зимой (январь) и максимумом летом (июль)]. При этом отмечается, что зимой (январь) рассеянная радиация преобладает над прямой, что связано с увеличением облачности на территории юго-восточной части Горного Крыма в данный сезон года.

Облачность над территорией имеет большое значение в распределении количества прямой/рассеянной солнечной радиации в течение года. Зимой (январь) облачность здесь может составлять до 82 % в отдельных местностях, тогда как, согласно среднесезонным данным, в 1983–2015 гг. наименьшая облачность в течение года наблюдалась летом (июль) — до 43 %.

Анализ выполнен в рамках научно-исследовательской работы ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и наземных экосистем с целью разработки системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» (№ гос. регистрации 121040100327-3).

## Биологическое поглощение микроэлементов в растительных сообществах Карадагского заповедника

Дрыгваль П. В.<sup>1</sup>, Лебедев Я. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [any-poly@mail.ru](mailto:any-poly@mail.ru)

Почва и атмосфера — это два основных источника, из которых растения могут поглощать химические элементы. Их поступление в растение осуществляется как через корни, так и через листья. Важно знать состав минеральной части живого вещества — зола, так как организмы способны избирательно поглощать из окружающей среды и накапливать в себе некоторые химические элементы.

Для оценки избирательного поглощения элементов растительными сообществами и интенсивности процессов накопления элементов биомассой растений определяется коэффициент биологического поглощения (далее — КБП), который отражает отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию элемента в почве. КБП рассчитывается следующим образом:

$$\text{КБП} = \frac{l}{n},$$

где  $l$  — содержание элемента в золе растений;

$n$  — содержание элемента в почве, на которой данное растение растёт.

Считается, что если КБП > 1, то растение аккумулирует исследуемый элемент. Если КБП < 1, то элемент не аккумулируется растением. А. И. Перельман условно разделил все элементы на 2 большие группы:

- 1) элементы биологического накопления (КБП > 1);
- 2) элементы биологического захвата (КБП < 1).

Они, в свою очередь, делятся на подгруппы:

- элементы энергичного биологического накопления (КБП > 10);
- элементы сильного биологического накопления ( $1 < \text{КБП} < 10$ );
- элементы среднего биологического захвата ( $0,1 < \text{КБП} < 1$ );
- элементы слабого биологического захвата (КБП < 0,1)

Нами был определён элементный состав образцов почв и золы растительности и выделены ряды биологического поглощения химических элементов для растительных сообществ Карадагского заповедника, среди которых: степные сообщества с преобладанием злаковых видов; степные сообщества с преобладанием полыни таврической (*Artemisia taurica*); степные разнотравные сообщества; грабниково-пушистодубово-грабниково-лесные сообщества (*Carpinus orientalis*) и пушистодубово-грабниково-лесные сообщества (*Quercus pubescens*).

Из рядов биологического поглощения отмечается, что Мо является элементом энергичного биологического накопления во всех рассматриваемых нами растительных сообществах. Максимальные значения биологической аккумуляции Мо приходятся на степные сообщества с преобладанием злаков (КБП = 43,18), а минимальные — на лесные грабниково-пушистодубово-грабниково-лесные сообщества (КБП = 12,03).

Отмечается, что Р только в степных сообществах с преобладанием полыни таврической является элементом сильного биологического накопления. В остальных растительных сообществах Р наравне с Мо является элементом энергичного биологического накопления в растениях, значения КБП — от 13,0 до 40,8.

Na и Si являются элементами энергичного биологического накопления в степных сообществах с преобладанием полыни таврической, где наблюдаемые значения КБП достигают 13,77 и 10,53 соответственно.

В целом Mg, Ti, Fe, Zn и Sr являются элементами сильного биологического накопления во всех рассматриваемых нами растительных сообществах.

Элементами среднего биологического захвата во всех рассматриваемых нами растительных сообществах являются Mn, Co, Ni, Ba и Pb. Cu и V также относятся к данной категории элементов во всех растительных сообществах, за исключением степных сообществ с преобладанием полыни таврической.

Al является элементом среднего биологического захвата в степных сообществах с преобладанием злаковых видов и в лесных грабниковых и пушистодубово-грабниковых сообществах, где значения КБП составляют 0,73 и 0,42 соответственно. Только в разнотравном степном сообществе Ca и Sr являются элементами среднего биологического захвата (КБП = 0,69 и КБП = 0,97 соответственно).

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Анализ выполнен в рамках научно-исследовательской работы ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и наземных экосистем с целью разработки системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» (№ гос. регистрации 121040100327-3).

## Многолетняя динамика зоопланктона реки Оби

Ермолаева Н. И.<sup>1</sup>, Феттер Г. В.<sup>1,2</sup>, Двуреченская С. Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский филиал Института водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

✉ hope413@mail.ru

Зоопланктон является одним из звеньев трансформации вещества и энергии в водотоке. Он представляет собой важный фактор формирования качества воды и часто используется в качестве индикатора степени загрязнения. Исследования многолетней динамики сообщества зоопланктона позволяют оценить изменения, происходящие в водной экосистеме. Данных по межгодовой динамике зоопланктона больших рек чрезвычайно мало, что связано со сложностью изучения крупных речных систем, в том числе из-за их большой протяжённости.

Река Обь — самый крупный водоток Западной Сибири и одна из крупнейших рек в мире. Длина Оби составляет 3650 км, площадь водосборного бассейна — 2 990 000 км<sup>2</sup>. Основная часть бассейна находится на Западно-Сибирской равнине, пересекая все природные зоны умеренных широт: степь, лесостепь, тайгу. На реке создано одно водохранилище — Новосибирское.

Исследования проводились в ходе маршрутных съёмов в акватории Новосибирского водохранилища и на участке Средней и Нижней Оби от плотины Новосибирского гидроузла до посёлка Карымкары в августе 1991–2021 гг.

По результатам исследований, в составе зоопланктона Новосибирского водохранилища выявлено 200 таксонов: Rotifera — 104 (52 %), Cladocera — 55 (28 %), Copepoda — 41 (20 %). В реке Оби на участке от Новосибирского водохранилища до посёлка Карымкары зарегистрировано 119 видов и форм зоопланктона: Copepoda — 23 (19 %), Cladocera — 40 (34 %), Rotifera — 56 (47 %). Видовой состав зоопланктона был представлен типичными, широко распространёнными в пресных водоёмах умеренных широт видами, которые являются характерными для фаунистического комплекса умеренного климатического пояса. Основу сообщества ежегодно составляли эврибионтные виды с широкой экологической пластичностью. Как правило, и в водохранилище, и в реке доминировали ювенильные особи веслоногих рачков *Megacyclops viridis* (Fisch.), *Mesocyclops leuckarti* (Claus) и *Cyclops strenuus* (Fisch.). Из ветвистоусых в состав сообщества в качестве доминантов или субдоминантов ежегодно входили *Daphnia longispina* O. F. Müller, *Bosmina longirostris* O. F. Müller, *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller) и *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller). До устья реки Томь, как правило, из коловраток доминировали *Asplanchna priodonta* Gosse и *Keratella quadrata* (Müller); ниже по течению в пробах обнаруживалось значительное количество коловраток рода *Brachionus* (Pallas), главным образом *B. calyciflorus*, *B. diversicornis* и *B. quadridentatus*.

Анализ видového сходства участков реки Оби показал, что наиболее бедным по видовому составу зоопланктона является участок Верхней Оби до Новосибирского водохранилища. В водохранилище создаются условия, способствующие развитию не только реофильного, но и лимнического комплекса зоопланктона, вследствие чего наблюдается сходство видového состава зоопланктона водохранилища с таковым участка Нижней Оби, который обогащается зоопланктоном как за счёт изменения гидрологических условий (рост глубин, замедление течения), так и за счёт поступления лимнических фитофильных видов из пойменных соров. В Нижней Оби наблюдается появление видов, характерных для закислённых вод, — холодолюбивых и солоноватоводных; вследствие этого участок Нижней Оби отличается специфическим видовым составом зоопланктона.

По мере продвижения вниз по реке ежегодно количественные показатели зоопланктона возрастают в таёжной зоне и далее снижаются в зоне тундры. Ниже устья рек Томь и Чулым в отдельные годы отмечается спад численности и биомассы зоопланктона, тогда как приток вод рек Васюган, Вах, Иртыш и др., как правило, вызывает повышение продукционных показателей.

Анализ зависимостей количественных показателей зоопланктона от факторов среды методом главных компонент показал, что количество осадков в июле и августе, температура воды, уровни воды, концентрации  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и растворённого  $\text{O}_2$ , показатели pH, БПК<sub>5</sub> и ХПК объясняют 65,39 % изменчивости численности видов зоопланктона.

Общая численность и биомасса зоопланктона реки Оби определяются количественными показателями Cladocera и Rotifera. Звено фильтраторов одинаково откликается на факторы внешней среды. На ветвистоусых и коловраток отрицательно влияет температура в течение месяца, предшествующего отбору проб. Низкие температуры сдерживают развитие большинства видов и форм. Основными стимулирующими факторами для развития данных групп оказались концентрации биогенных элементов, в первую очередь фосфатов и нитратов. Ещё одним стимулирующим фактором является небольшое закисление среды. Видовое разнообразие зоопланктона при этом определяется в первую очередь коловратками и ветвистоусыми и также зависит от температуры в течение месяца, предшествующего отбору проб, от концентрации фосфатов и нитратов, от значений pH. Уровень воды в момент исследования тоже является одним из определяющих факторов для формирования видового богатства, поскольку при высоких уровнях реки происходит вынос организмов, развивающихся в пойменных водоёмах.

Численность и биомасса Сороперода определяются количеством осадков и температурой воды в месяц отбора проб. Чем меньше осадков, тем выше температура воды, а соответственно, и численность и биомасса веслоногих. Также на численные показатели Сороперода положительно влияют концентрация растворённого кислорода и содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК<sub>5</sub>). Повышение содержания трудноокисляемых соединений (по ХПК) угнетает их развитие.

По количественным показателям и по значениям индекса Пантле и Букка вода реки Оби на всех обследованных разрезах относится к β-мезосапробному классу (умеренно загрязнённая).

В Новосибирском водохранилище состояние сообщества зоопланктона основной акватории в многолетнем ряду относительно стабильно. Состав видов-доминантов практически не изменился с 1990-х гг. В верхней и средней части водохранилища не наблюдается сильных сдвигов в трофической и видовой структуре зоопланктона. Более заметные перестройки идут в нижней, озеровидной части водохранилища, где вода больше застаивается и сильнее прогревается. В маловодные годы особенно заметно обострение трофической ситуации, выраженное обильным развитием фитопланктона. Помимо гидрологического режима, в нижней части водохранилища более выражена антропогенная нагрузка, особенно на участке рядом с плотиной ГЭС; эта часть акватории наиболее подвержена рискам, связанным с антропогенным эвтрофированием.

В целом в многолетнем ряду можно отметить снижение уровня загрязнения реки Оби и повышение видового разнообразия и численности зоопланктона. Возможно, одним из фактов, объясняющих эту тенденцию, является снижение уровня производства в конце 1990-х — начале 2000-х гг., а следовательно, уменьшение антропогенной нагрузки на экосистему реки. При этом на отдельных мелководных участках Новосибирского водохранилища с начала 2000-х гг. наблюдаются процессы эвтрофирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

## Банк семян адвентивных видов растений лесных сообществ Саратовского Правобережья

Ефимова Д. И., Торгашкова О. Н., Жухарева О. П.

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

✉ [torgaschkova88@mail.ru](mailto:torgaschkova88@mail.ru)

В условиях глобальной синантропизации естественного растительного покрова и деградации природных экосистем развитие флоры и растительности определяется прежде всего антропогенными факторами. Комплексы адвентивных видов проникают, расселяются во всех регионах и играют всё большую роль в формировании флор различных местообитаний. Сознательный и стихийный антропогенный занос организмов на новую территорию происходит уже в течение многих столетий, однако особенно активным он стал в последние десятилетия. Внедрение заносных видов в растительные сообщества часто снижает их биоразнообразие, так как в результате их видовой состав обедняется, структура упрощается, а естественные фитоценозы теряют устойчивость и приобретают характер серийных.

В почве различных фитоценозов содержится определённое количество покоящихся жизнеспособных семян различных растений, в том числе адвентивных. В почвенном запасе семян исследованных нами лесных сообществ Саратовского Правобережья обнаружены семена 116 видов растений, из них инвазионная фракция представлена семенами 14 видов растений (12 %), относящихся к одному отряду — Magnoliophyta (*Ajuga genevensis*, *Bromopsis inermis*, *Chelidonium majus*, *Chenopodium album*, *Conyza canadensis*, *Echinochloa crus-galli*, *Fallopia convolvulus*, *Genista tinctoria*, *Hieracium umbellatum*, *Lappula squarrosa*, *Securigera varia*, *Thlaspi arvense*, *Urtica dioica* и *U. urens*). Ведущую роль в таксономическом спектре семян адвентивных видов играют семейства Asteraceae, Fabaceae и Poaceae (по 15 % видов). Эти таксоны являются основными поставщиками адвентивных видов во флоре Европы, что связано с высокой степенью эволюционной продвинутости их таксонов, большой экологической пластичностью и адаптационным потенциалом многих видов данных семейств. Кроме того, эти семейства — наиболее представленные таксоны в регионе. Другие семейства Magnoliophyta представлены значительно хуже. Родовая насыщенность почвенного запаса семян адвентивных видов очень низкая: самый крупный род, *Urtica*, насчитывает всего два вида.

Максимальным количеством заносных видов характеризуются осветлённые дубравы и сосняки на песчаных почвах, чаще расположенные на плакорах, а минимальным числом видов — липняки и дубравы на супесчаных и суглинистых почвах, расположенные на северных склонах. Семена некоторых видов (*Ch. album*, *G. tinctoria*, *S. varia* и *H. umbellatum*) встречаются в семенных банках всех изученных сообществ, при этом они характеризуются постоянством и значительным количеством жизнеспособных семян. Семена ряда адвентивных видов встречаются только в некоторых сообществах; например, только в песчаных почвах обнаружены семена *A. genevensis*.

Значительную роль в банке семян играют семена травянистых растений малолетников (50 %). Высокий удельный вес монокарпиков определяет сорный характер инвазионной фракции банка семян исследованных лесных сообществ. Распределение инвазионных видов по фитоценотическим группам характерно для растительного покрова нарушенных сообществ, в которых доминирует сорная группа (43 %). Это связано с тем, что большая часть сорных растений по своей стратегии — эксплеренты, для которых характерны экспансия и захват новых территорий.

По отношению к богатству почв на первом месте находятся семена мезотрофов — растений, развивающихся на почвах со средним содержанием питательных веществ (57 %); достаточно много семян мегатрофов (43 %). В инвазионной фракции семенного банка преобладают семена видов растений открытых (59 %) и полуоткрытых (41 %) местообитаний. Из гелиофитов в значительном количестве в почвенном запасе жизнеспособных семян лесных сообществ встречаются семена *Ch. album*, *S. canadensis*, *E. crus-galli* и других. По отношению к режиму почвенного увлажнения в банке семян доминирует мезофитная экологическая группа (64 %), которая представлена мезофитами, ксеромезофитами и гигромезофитами, что соответствует зонально-региональным особенностям исследуемой

территории, а также её экологической характеристике. Распределение адвентивных и аборигенных видов семенного банка совпадает с распределением видов по экологическим группам семенного банка исследованных фитоценозов в целом.

В адвентивной фракции изученных флор преобладают виды азиатского происхождения (59 %). К ним относятся *Ch. majus*, *T. arvense* и другие. Прослеживается увеличение доли циркумбореальных видов (21 %). Из-за активного вторжения в природные сообщества европейских видов — *G. tinctoria* и *B. inermis* — стираются грани между географически удалёнными флорами различных континентов. Наличие видов разных геоэлементов говорит об их формировании под влиянием азиатских, европейских, американских и прочих иммиграционных путей.

В связи с активизацией процесса адвентивизации растительности одним из важнейших направлений исследований является изучение видового состава неофитов семенного банка и выявление путей и способов заноса адвентивных видов. Для почвенного запаса семян инвазионных видов характерно незначительное преобладание эпекофитов (50 %) над агриофитами (43 %), что говорит о том, что большинство из инвазионных растений региона ещё не внедрились в естественные ценозы и продолжают расселяться на вторичных местообитаниях, часто могут присутствовать в ценозах только в виде жизнеспособных семян (*L. squarrosa*, *T. arvense* и *E. crus-galli*). Это объясняется многими причинами, например их неспособностью на современном этапе антропофлорогенеза конкурировать с представителями аборигенной флоры естественных местообитаний, а также условиями формирования и реализации семенных банков исследованных сообществ. Практически все эпекофиты являются непреднамеренно занесёнными растениями — ксенофитами, расселяющимися преимущественно благодаря аэрохории. Доля преднамеренно занесённых растений очень мала. По способу иммиграции различают: ксенофиты (72 %), эргазиофиты (14 %) и ксено-эргазиофиты (14 %). Тем не менее доля агриофитов значительна, и некоторые из них, например *Ch. majus*, *Ch. album* и *H. umbellatum*, прочно вошли в состав природных ценозов, в том числе их семенных банков.

Процессы биологических инвазий являются в настоящее время одной из серьёзнейших угроз стабильности и целостности природных экосистем и ведут к утрате региональной специфики и к унификации сообществ на больших территориях. Адвентивные виды растений, внедряясь в естественные и антропогенные биотопы, влияют на состав и структуру фитоценоза, особенно при различных антропогенных вмешательствах, и приводят к глобальным потерям биоразнообразия, представляют в некоторых случаях угрозу здоровью и хозяйственной деятельности человека. Следовательно, изучение адвентивных компонентов в составе фитоценозов, в частности в составе банка семян, остаётся одним из приоритетных направлений фундаментальных ботанических и экологических исследований, которые нацелены на выработку мер, снижающих вероятность внедрения адвентивных видов или смягчающих их воздействия на местные экосистемы, и на организацию мониторинга процесса адвентивизации.



## Оценка численности поселений *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) в Азовском море

Живоглядова Л. А.<sup>1</sup>, Бондарев С. В.<sup>1</sup>, Елфимова Н. С.<sup>1</sup>, Залота А. К.<sup>2</sup>, Колочкина Г. А.<sup>2</sup>,  
Тимофеев В. А.<sup>3</sup>, Хренкин Д. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [zhivoglyadova\\_la@azniirkh.ru](mailto:zhivoglyadova_la@azniirkh.ru)

В 1948 г. в Азовском море впервые был зарегистрирован североамериканский краб *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841). Вид быстро расселился по акватории моря и стал обычным компонентом его донной фауны. В настоящей работе предпринята попытка дать оценку численности поселений *R. harrisi* в Азовском море, используя разные подходы к количественному учёту крабов. Известно, что большинство видов десятиногих ракообразных являются относительно крупными и подвижными, что затрудняет учёт всех размерно-возрастных групп дночерпателями. В данной работе мы использовали материалы, полученные разными методами учёта — с применением дночерпателей разных моделей (площадь захвата — от 0,0095 до 0,1 м<sup>2</sup>), ручного лова (водолазных 50-метровых трансект) и визуальных наблюдений. В открытой части Азовского моря и Таганрогском заливе (1970–2020 гг.) работы проводили с борта научно-исследовательских судов на глубинах более 2,8 м. Прибрежные исследования на глубинах 0–6,0 м проводили в Таманском заливе (2008, 2009, 2013, 2011, 2013, 2014 и 2021 гг.) и в районе мыса Казантип (2013 и 2019 гг.).

В открытой части моря и Таганрогском заливе по дночерпательным съёмкам максимальная численность *R. harrisi* была зарегистрирована в 1997 г. в северной части Таганрогского залива на траверзе косы Кривая — 1000 экз.·м<sup>-2</sup>. Средняя плотность в многолетнем ряду наблюдений составила 1–29 экз.·м<sup>-2</sup>.

В Таманском заливе по дночерпательным съёмкам в 2008 г. максимальные значения плотности популяции отмечены на траверзе пос. Гаркуша (132 экз.·м<sup>-2</sup>) и во внутренней части залива (158 экз.·м<sup>-2</sup>). В среднем по району плотность популяции крабов составила 12 экз.·м<sup>-2</sup>. В 2009 г. максимальные значения зарегистрированы в поясе зостеры между пос. Приморский и станицей Тамань (40 экз.·м<sup>-2</sup>).

В 2011, 2013 и 2014 гг. в Таманском заливе были проведены водолазные работы. Крабы обнаружены на всех трансектах, за исключением 3 м (эта трансекта не учитывалась при расчёте плотности). В 2011 г. численность в среднем по району работ составила 1 экз.·м<sup>-2</sup>, в 2013 и 2014 гг. — менее 1 экз.·м<sup>-2</sup>. В 2021 г. на сваях пирса в пос. Приморский на глубине от 0 до 0,5 м была отмечена смешанная по возрасту и размеру популяция крабов с размерами от 5 до 20 мм и плотностью до 15–20 экз. на погонный метр свай.

В районе мыса Казантип по результатам ручного сбора *R. harrisi* летом 2013 г. средняя плотность популяции составила 4 экз.·м<sup>-2</sup>, в бухте Рифов — также 4 экз.·м<sup>-2</sup>. Учёт *R. harrisi* из колоний полихет *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923), найденных в прибрежной зоне Аршинцевской косы (Керченский пролив), показал, что в подобных биотопах численность крабов может достигать 70 экз. на одну колонию.

Сравнивая полученные материалы с литературными данными по обилию краба Харриса в других частях инвазионного ареала, можно отметить, что в Южном Каспии плотность популяции крабов в 1970 г. по дночерпательным пробам (площадь дночерпателя — 0,1 м<sup>2</sup>) оценивали в среднем на уровне 21–150 экз.·м<sup>-2</sup> с максимумом на илистых грунтах (760 экз.·м<sup>-2</sup>). В естественном ареале указывается плотность (разные методы количественного учёта) около 15 экз.·м<sup>-2</sup> (максимальная — до 40 особей на м<sup>2</sup>). Для Мёртвой Вислы (рукава, ведущего к старому устью р. Висла) К. Туробойский по результатам облова драгой приводит цифры от 1 до 6 экз.·м<sup>-2</sup>.

Высокая плотность популяций *R. harrisi* в основном наблюдается на банках двустворчатых моллюсков и в местах искусственных подводных построек. В обрастаниях морских водоводов металлургического завода «Азовсталь», по материалам О. Г. Резниченко, в августе 1960 г. численность краба составляла 1500 экз.·м<sup>-2</sup>, а на сетках насосных станций она достигала 4120 экз.·м<sup>-2</sup>.

## Сообщества тестаций в ряду разнотипных водных и наземных биотопов межозёрной трансекты (озеро Кошкаринке и озеро Чертанкуль, Тюменская область)

Загумённая О. Н.<sup>1,2</sup>, Филиппов Д. А.<sup>1,2</sup>, Загуменный Д. Г.<sup>1,2</sup>, Комаров А. А.<sup>3</sup>, Цыганов А. Н.<sup>4,5</sup>, Тихоненков Д. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>3</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>5</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

✉ [zagumelga@gmail.com](mailto:zagumelga@gmail.com)

Изучение сообществ микроорганизмов водно-болотных экосистем методом трансект — актуальный и надёжный метод поиска индикаторов биотических и абиотических параметров разнотипных биотопов. Болотные экосистемы и прилегающие к ним заболоченные территории, от которых они трудноотделимы, являются наиболее представленными (> 20 %) на территории России. Данные экосистемы играют ключевую роль в регулировании круговорота воды, углерода и других веществ на местном, региональном и глобальном уровнях. Надёжным индикатором гидрологического режима болотных экосистем является полифилетическая группа простейших — раковинные амёбы (Testacea). Тестации — одна из основных групп свободноживущих одноклеточных организмов, отличающихся большим разнообразием (около 2000 видов), обилием и широким распространением. Тестации являются доминирующими протистами среди микроорганизмов в экосистемах сфагновых болот, имеют защитную раковинку, устойчивую к разложению, и реагируют на локальные изменения условий среды перестройкой сообщества. Всё это определяет эффективное использование раковинных амёб в качестве индикатора при биомониторинге, экотоксикологических исследованиях и палеоэкологических реконструкциях.

Проботобор произведён в июле 2021 г. в Нижнетавдинском районе Тюменской области в окрестностях карбонового полигона (биологическая станция ТюмГУ на озере Кучак) вдоль трансекты между двумя первичными внутриболотными водоёмами — озером Кошкаринке (57.3091°N, 66.0237°E) и озером Чертанкуль (57.3245°N, 66.0346°E) — на 13 станциях, соответствующих разным типам биотопов. Отбирали перифитон, пробы подстилок и почвы из лесных участков, верхние части семи видов сфагновых мхов из болот и переходной зоны болота — лес, а также бентос из прибрежной части болотного озера.

Для интегральной характеристики сообществ использовали показатели числа видов, общей численности и биомассы тестаций на 1 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.), индекс видового разнообразия Шеннона. Классификацию сообществ осуществляли при помощи кластерного анализа. Для выявления характера различий между локальными сообществами из разных биотопов была проведена ординация видов методом главных компонент.

В исследованных разнотипных биотопах, расположенных на трансекте между двумя внутриболотными озёрами, разделённых лесным массивом, обнаружено высокое разнообразие тестаций — 112 видов и форм, включая инфратаксоны, из 40 родов. Из всех обнаруженных биотопов выявлено 20 доминантов. Наиболее встречаемыми видами из исследованной трансекты были *Trinema lineare* Penard, 1890 (93 % станций) и *Euglypha laevis* (Ehrenberg, 1845) Perty, 1849 (86 % станций). При этом 20 из 40 найденных родов и наибольшее число видов из исследованных биотопов межозёрной трансекты выявлены в перифитоне. Максимальное обилие и биомасса тестаций в 1 г а. с. в. зафиксировано для бентоса прибрежной части внутриболотного озера. Отдельно для водных, лесных и сфагновых биотопов выявлены общие виды — доминанты по биомассе. Впервые для юга Западной Сибири зарегистрирован арктический вид *Conicocassis pontigulasiformis* (Beyens et al., 1986) Nasser and Anderson, 2015. Выявлена зависимость состава сообществ раковинных амёб в разнотипных биотопах от характера субстрата, растительности и степени обводнённости.

Авторы искренне признательны проф., д. б. н. Ю. А. Мазею за помощь в планировании исследований и подготовке рукописи. Авторы благодарят А. С. Бородину (ИБВВ РАН) за помощь в полевых работах.

Работа выполнена при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН(2), проекта РФ № 19-14-00102П (валидация таксономической идентификации и интегральных характеристик сообществ) и в рамках государственного задания (№ темы АААА-А18-118012690098-5).

## История представлений об экологических началах и природе самозарождения биосферы

Иванов А. А.<sup>1</sup>, Севастьянов В. С.<sup>1</sup>, Шныкин Б. А.<sup>1</sup>, Долгоносов А. А.<sup>1</sup>, Смирнова Л. Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

✉ [aiva@geokhi.ru](mailto:aiva@geokhi.ru)

С незапамятных времён человек задавался вопросом: откуда взялся наш мир со всей его живой и неживой природой? Разные сообщества и поколения людей, имея собственные представления об окружающем их мире, выдвигали всякого рода суждения о природных явлениях, о том, что такое жизнь и как она возникла. Попытки разобраться в столь непростых вопросах без глубоких научных познаний о естественной истории Земли, о природе возникновения жизни и экологических началах биосферы не могли иметь успеха из-за того, что истоки причинной взаимосвязи этих явлений были скрыты от понимания далёким прошлым планеты.

На большинство из этих вопросов современной наукой ответы уже получены (в частности, когда и в каких экологических условиях произошло абиогенное самозарождение, развитие и эволюция биосферы). Однако многое ещё предстоит познать. Наука не стоит на месте, и работы в этой области исследований успешно продолжаются. С расширением научных представлений о геологической и биологической истории Земли, о единстве биоразнообразия всех форм жизни и познания законов развития экологических сообществ пришло понимание тесной взаимозависимости всех экологических систем и неразрывности экологического единства мира, в котором мы живём. Так, современное состояние этих проблем даёт научное основание полагать, что все формы жизни на Земле имеют одного всеобщего предка. Началось всё почти 4 млрд лет назад, во время формирования первичного океана, когда экологическое состояние среды абиогенеза стало приемлемым для образования органических полимеров и самоорганизации из них предбиологических структур, вплоть до появления протобионтов. Полное понимание того, как и почему всё это происходило, не только расширит всеобщее мировоззрение о прошлом нашей уникальной планеты, но и позволит — с учётом причинно-следственных закономерностей — прогнозировать и контролировать негативные процессы в биосфере, что, несомненно, повлияет на её будущее развитие.

В данной работе, кроме исторического взгляда на проблему, излагается новая концепция структуры, функционирования и динамики становления первичной экосистемы Земли, обеспечившей абиогенный синтез органических полимеров и формирование из них протобионтов, что в дальнейшем дало возможность им развиваться и эволюционировать во всё великое биоразнообразие жизни. Суть концепции состоит в том, что вода, как универсальный растворитель, выполняющий транспортную функцию во всех живых системах, могла исполнять и энергетическую функцию. Это экспериментально подтверждается результатами ряда исследований последних лет (2017–2022), часть из которых проведена в прибрежной зоне Севастопольской бухты.

Идейный смысл работы сводится к следующей мысли. Как известно, бескислородная атмосфера ранней Земли, из-за повсеместно извергающихся вулканов и кипящих на поверхности гидротерм, сплошь состояла из ядовитых паров и газов, была пронизана электрическими разрядами молний, жёстким космическим излучением, метеоритными потоками и т. д. Именно поэтому в условиях изначально агрессивной для жизни среды должны были существовать особые места, способные организовать экологически приемлемую обстановку для абиогенного самозарождения первичных форм жизни. Одним из таких мест, как мы полагаем, могли стать абразионные берега первичного океана, в кавернах которых под действием морского прибоя возникал пневмоудар. Вода при хлестком накате на каверны работала как поршень, резко сжимая в них воздух, что мгновенно — на короткое время — в их замкнутом объёме поднимало давление и температуру. В первичном органическом бульоне водоёмов, как предполагается, могли содержаться пептиды. В процессе пневмоудара частично остающаяся в кавернах вода газировалась сжатыми пузырьками воздуха, скачок температуры внутри которых мог достигать мгновенных значений более +200 °С (при давлении 10 атм и выше). Если это происходило в среде первичного бульона, содержащего пептиды, то на границе горячих пузырьков воздуха могла протекать термокоагуляция этих пептидов с образованием полипептидных оболочек

в виде микросфер. Активная многофазная водно-пузырьковая среда каверн заставляла микросферы пульсировать в такт морскому прибою, инициируя в них первичный метаболизм, а возникающий при этом на стенках каверн парофазный конденсат способствовал концентрированию органических и неорганических соединений, в том числе KCl. Эти микросферы могли исполнять роль клеточных оболочек для протобионтов. В результате модельных экспериментов с пневмоударом такие микросферы нами получены. Структура каверн защищала их от жёсткого УФ-излучения. Нами проводились и другие экспериментальные исследования, в том числе на морском побережье. Суть их состоит в следующем. Морская волна, перемещая прибрежную гальку, заставляет её частички соударяться, что вызывает генерацию звука в широком диапазоне волн, в том числе в диапазоне частот ультразвука, который, как считается, способствует прохождению химических взаимодействий. По данным В. И. Бардышева, регистрируемые частоты ультразвука на морском побережье находятся в диапазоне 20–800 кГц и выше. С учётом всего этого решено было экспериментально определить, может ли ультразвук, генерируемый прибрежной морской галькой, инициировать конденсацию глицина при температурах ниже температуры кипения воды. Для этого на морском побережье были установлены трубчатые кюветы из алюминия и пластика длиной по 10 м, в которых находился водный раствор глицина. Часть каждой из кювет располагалась в воде, а часть — на берегу (для нагрева солнечным светом). В лабораторных условиях водный раствор глицина и прибрежная морская галька находились в стеклянной трубе, вращающейся вдоль своей оси. Стеклянная труба (длина — 115 см; диаметр — 20 см) в центре нагревалась галогеновой лампой. При этом при вращении трубы и её нагреве в центре образовалась сухая зона, а увлажнённая галька распределилась по её концам. Таким образом, в стеклянной трубе, вращающейся со скоростью 50 об·мин<sup>-1</sup>, по краям сформировались зоны влажной гальки, где температура составляла +20...+30 °С, а в центре — зона с сухой галькой, прогревавшаяся до +60 °С. Во всех случаях в процессе механического перемещения гальки происходила генерация ультразвука. Спустя 2–3 дня в течение двух недель из стеклянной трубы отбирались пробы воды; результаты масс-спектрометрии, полученные методом MALDI-TOF, показали постепенное преобразование глицина в диглицин. Эксперимент на морском берегу с трубчатыми кюветами будет продолжаться год, но анализ проб, отобранных из этих кювет через месяц, уже продемонстрировал, что в водном растворе глицина появилось небольшое количество диглицина. Результаты этой экспериментальной работы указывают на то, что ультразвук может влиять на температурный режим конденсации аминокислот, делая возможным протекание данного процесса в температурных рамках жидкой фазы воды. Таким образом, нами показано: кроме ранее известных функций воды, в абиогенном самозарождении жизни, вероятно, принимала участие и её энергетическая функция, что концептуально меняет подход к решению проблемы, а также существенно меняет представления об экологической обстановке среды абиогенеза, где каверны могли стать колыбелью жизни.

## Биохемогенная природа аутигенной минерализации

Калгин В. Ю., Еськова А. И., Легкодимов А. А., Обжиров А. И.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ [kalgin.vladislav@yandex.ru](mailto:kalgin.vladislav@yandex.ru)

---

Южно-Китайское море является крупнейшим окраинным морем Тихого океана. В настоящее время оно привлекает внимание многочисленных учёных во всём мире из-за своего географического расположения и нефтегазового потенциала.

Изученный материал был отобран во время экспедиций на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» в ноябре 2019 г. В комплекс работ были включены измерения содержаний газа в донных отложениях и водной толще, минералогические работы и микробиологические исследования.

В ходе изучения донных отложений были встречены аутигенные сульфидные минералы, имеющие форму трубчатых стяжений. Согласно микронзондовому и рентгеноструктурному анализу, агрегаты представлены пиритом и пирротинном; также встречаются марказиты, гётиты и вюстит. В матриксе донных отложений они расположены субвертикально и отражают влияние флюида. Данная гипотеза подтверждается аномальными содержаниями газов —  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{He}$ .

Значительную роль в образовании пирита в морских отложениях играют микроорганизмы. Было экспериментально установлено, что бактерии, диспропорционирующие элементарную серу, увеличивают скорость сульфидообразования в культурах и, возможно, в донных отложениях. В донных отложениях Южно-Китайского моря обнаружены три группы микроорганизмов — углеводородокисляющие, метанотрофные и сульфатредуцирующие. Выявленные метанотрофные и сульфатредуцирующие бактерии были зафиксированы в восстановленном слое, где проявлена активная аутигенная минерализация и зарегистрировано высокое содержание метана. Высокая численность сульфатредукторов свидетельствует о восстановлении сульфатов с образованием  $\text{H}_2\text{S}$ . Так, на станции LV88-20/1GC зафиксированы аномальные значения содержания гелия и водорода, отражающие источник поступающего метана как эндогенный, а также наличие сульфатредукторов.

Таким образом, установленные характеристики среды являются благоприятными для формирования аутигенной сульфидной минерализации биохемогенным способом. Подобные условия также характерны для обстановок, связанных с влиянием флюидов, которые сопряжены с нефтегазовым потенциалом региона.

Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы НИР ТОИ ДВО РАН № 121021500055.

## Размерно-возрастная структура, рост и половое созревание сайки *Boreogadus saida* моря Лаптевых

Карамушко Л. И., Расхожева Е. В., Карамушко О. В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [karamushkol@mmbi.info](mailto:karamushkol@mmbi.info)

Сайка *Boreogadus saida* — арктический, криопелагический вид, один из самых распространённых (до района Северного полюса) и многочисленных видов рыб морей Арктического бассейна. В морских пищевых цепях арктических экосистем сайка занимает чрезвычайно важное место, «так как является главным, а если исключить прибрежные районы, то практически единственным потребителем планктона арктических морей» (по Андрияшеву, 1954 г.). Поэтому именно сайка является ключевым элементом арктических экосистем, определяющим энергетические связи между низшими и высшими трофическими уровнями пищевой сети в данном регионе. В связи с этим изучение количественных и качественных аспектов роста арктического вида сайки весьма актуально, прежде всего для высокоширотных районов Арктики, где условия существования видов изменяются в результате значительных пространственно-временных колебаний абиотических и биотических факторов. На основании результатов экспедиционных исследований нами проанализирована популяционная структура и темп роста сайки в море Лаптевых.

В летне-осенний период 2014 г. популяция сайки в море Лаптевых состояла из особей длиной (TL) 3,5–28,5 см, массой 0,6–129,0 г, в возрасте 0+...7+. Модальной возрастной группой в обследованных районах были двухлетки, составляющие в северо-восточной (СВ) части моря Лаптевых 54,6 %, а в юго-западной (ЮЗ) — 35,3 %. Независимо от района исследования, наиболее многочисленной размерной группой рыб были особи с TL 7–14 см (63–69 %), в основном в возрасте 1+ и 2+.

Анализ распределения значений массы в исследованном возрастном интервале показал, что вариационные ряды массы тела смежных возрастных групп сайки могут трансгрессировать; особенно это заметно в старших возрастных группах. Амплитуда варьирования значений массы увеличивается начиная с возраста 3+, что связано, несомненно, с повышением интенсивности генеративного обмена. Соотношение между длиной и массой тела сайки передаёт более общий характер изменения её размеров, значения параметров этого уравнения определяются степенью аллометрии роста. Реализацию потенциального роста в некотором приближении можно оценить максимальными величинами длины и массы тела. В нашей выборке предельные размеры сайки составляли 28,5 см и 129 г. Процессы увеличения длины и массы во времени протекают у сайки по-разному. В первый год жизни сайка растёт относительно быстро и достигает в среднем TL 8,2 см, к концу второго лета — 10,0 см. Наибольшие приросты длины (в среднем 3,4 см·год<sup>-1</sup>) отмечаются до возраста 2+...3+ (до периода массового созревания); в последующие два года они не превышают 2,3 см·год<sup>-1</sup>, резко снижаясь к возрасту 6+. Такая динамика линейного роста обусловлена как повышением степени использования энергетических ресурсов на нужды генеративного обмена, так и увеличением размеров тела сайки.

В отличие от линейного роста, абсолютный прирост массы тела сайки с возрастом постоянно увеличивается; максимальное приращение массы тела наблюдается после наступления половой зрелости, что, несомненно, является важным условием продуцирования максимального количества половых продуктов и увеличения популяционной плодовитости. Темп увеличения плодовитости сайки зависит от возраста, длины и массы тела самок. Следует отметить, что скорость основных процессов в организме тесно связана с его массой, а не с длиной. Наиболее высокие значения удельной скорости роста массы тела SW зарегистрированы у сайки моря Лаптевых в возрасте 0+...3+; этот показатель постепенно снижался к возрасту 6+. У самых старших самок (7+) скорость роста вновь возрастает с относительным приростом массы тела 36 % в год. У сайки Баренцева моря была выявлена такая же тенденция: ежегодный относительный прирост массы старых особей мог достигать 20 % и более. Проанализировав данные размерно-возрастных показателей сайки Баренцева моря за 1969–1981 гг., мы установили, что прирост массы тела особей предельного возраста может составлять 46 % в год. Таким образом, возрастная динамика роста массы сайки указывает на его поступательный характер до самого старшего возраста, что обусловлено, вероятно, высокими энергетическими затратами на репродуктивные функции.



Сайка относится к быстро созревающим рыбам: она достигает половой зрелости в 2–3-годовалом возрасте. Для основной массы сайки характерно созревание самцов и самок в возрасте 2+...3+ при SL 16–17 см. По нашим данным, созревающие особи сайки с гонадами II–III, III и IV стадий зрелости появляются в море Лаптевых уже в возрасте 1+ при средней TL 10 см; их доля составляла ~ 13 % от всех рыб данного возраста. У большинства особей 1+ (> 60 %) гонады находились на II стадии зрелости (стадии покоя). Среди рыб в возрасте 2+ при средней TL 13–14 см доля половозрелых особей уже составляла на СВ и ЮЗ 83,4 и 69,1 % соответственно. И только 4-летки, достигшие TL 16–17 см, почти все были представлены половозрелыми особями (95–97 %). Таким образом, основная масса сайки в море Лаптевых достигает половой зрелости при TL 13–17 см в возрасте 2+...3+.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/60.pdf>.



## Краткий обзор результатов камеральной инвентаризации сети лесных полос равнинного Крыма за период 2009–2019 гг.

Ключкина А. А.

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

✉ [klyuchkinaaa@gmail.com](mailto:klyuchkinaaa@gmail.com)

Представлены обобщённые результаты проведённой камеральной инвентаризации защитных лесных насаждений для равнинных сельскохозяйственных территорий Крымского полуострова за 2009 и 2019 гг. В результате работы были выделены более 20 тыс. объектов, составлена база геоданных с набором атрибутивной информации по каждому из выявленных объектов с указанием длины и качественных характеристик. Представлен обзор полученных данных, а также проведён сравнительный анализ количественных и качественных характеристик выявленных объектов за 2009 и 2019 гг.

Степная часть Крымского полуострова характеризуется засушливыми климатическими условиями. Техническая исправность мелиоративных сооружений, к которым относится и система зелёных насаждений, имеет прямое отношение к сохранению влаги в грунтах сельскохозяйственных угодий. К технической исправности зелёных насаждений можно отнести их здоровье и выполнение функционального назначения, которое было предусмотрено в плане посадочных работ. Для определения технической исправности лесных полос как агролесомелиоративной системы предусмотрено проведение ряда как камеральных, так и полевых изысканий.

**Материал и методы.** Для проведения работ были задействованы космические снимки высокого разрешения Landsat-8 за 2009 и 2019 гг., предоставленные в открытое пользование на сайте USGS, а также материалы открытых данных Google Earth с использованием вкладки «исторические снимки».

Было проведено визуальное дешифрирование космоснимков с апреля по октябрь. Операции по дешифрированию, визуализации данных и выведению конечного картографического материала проводились в программе ArcGIS. С помощью модуля Spatial Analyst был произведён расчёт длины каждого полилинейного объекта. Операции по обработке табличных данных, расчёты и построение графиков проводились в Excel 2016. Для проведения оценки лесных полос по степени сомкнутости крон было применён метод бального шкалирования, при котором за «хорошее» состояние принимались объекты с плотностью крон 75 % и более. Объекты, имеющие плотность крон от 50 до 75 %, были отнесены к категории «удовлетворительное» состояние, от 25 до 50 % — «требуется восстановительных работ», менее 25 % — «требуется новых насаждений».

**Результаты работы.** В результате работ по дешифрированию космических снимков за 2009 и 2019 гг. выявлено 21 314 объектов протяжённостью 180,76 тыс. км и 20 928 объектов общей протяжённостью 176,86 тыс. км соответственно.

После проведения работ по оценке выделенных объектов по критерию сомкнутости крон за 2009 г. были выявлены административные районы, в которых лесные полосы находились в наилучшем состоянии: Красногвардейский (40 % от общего количества лесных полос в районе), Нижнегорский (39 %) и Симферопольский (39 %). Состояние полезащитных полос «требуется восстановительных работ» в большей степени было проявлено для следующих районов: Ленинский (59 %), Кировский (52 %) и Джанкойский (51 %). Районы с наименьшими показателями по этому критерию за 2009 г. (то есть подходящие под категорию «требуется новых насаждений») — Раздольненский (14 %), Первомайский (11 %) и Сакский (10 %). При этом в Бахчисарайском районе в этой категории отмечается лишь 1 % посадок от их общего количества для района.

После анализа данных на 2019 г. зафиксировано явное увеличение выявленных объектов, попадающих в низшую категорию сомкнутости. Так, в Ленинском районе выявлено 55 % лесных полос в категории «требуется новых насаждений», в Кировском — 42 %, а в Черноморском и Красноперекском — по 39 %. Наиболее низкий показатель в этой категории у Симферопольского района, но и здесь значение составляет 24 %. Напротив, в категории состояния «хорошее» отмечается явное снижение общих объёмов: самыми высокими показателями характеризуется Симферопольский район (25 %), незначительно меньшими — Красногвардейский и Нижнегорский (по 22 %). Самые низкие

показатели в этой категории показывает Ленинский район — лишь 1 % лесных полос с полностью сомкнутыми кронами. При пересчёте суммарных показателей по категориям «хорошее» и «удовлетворительное» состояние за 2019 г. определено, что ни для одного из административных районов значение не превышает 50 %. Максимальными суммарными показателями характеризуются Красногвардейский и Симферопольский районы (по 48 %), минимальным — Ленинский (16 %).

Таким образом, в целом по Крыму с 2009 по 2019 г. отмечается тенденция к снижению количественных и качественных характеристик защитных лесных насаждений на равнинных сельскохозяйственных территориях.

**Вывод.** В результате исследования было выявлено, что с 2009 по 2019 г. 3,9 тыс. км лесных полос погибли или подверглись полному уничтожению. Средняя арифметическая для каждой из категорий за 2009 г. составляет: «хорошо» — 31 %, «удовлетворительно» — 29 %, «требуется восстановительных работ» — 36 %, «требуется новых насаждений» — 4 %. Допустимо сказать, что общее техническое состояние сети лесных полос для Крыма на 2009 г. оценивается как критическое.

В 2019 г. средние оценки состояния по категориям соотносились следующим образом: «хорошо» — 14 %, «удовлетворительно» — 22 %, «требуется восстановительных работ» — 31 %, «требуется новых насаждений» — 33 %. Это означает, что за промежуток в 10 лет количество защитных лесных полос на сельскохозяйственных землях в категории «хорошо» уменьшилось на 17 %, в категории «удовлетворительно» — на 7 %, в категории «требуется новых насаждений» — на 3 %, а в категории «требуется новых насаждений» количество увеличилось на 29 %, то есть почти в 7 раз.

## Пирогенные нарушения среднетаёжных лесов (на примере территории заповедника «Тунгусский»)

Коновалова М. Е.

Институт леса имени В. Н. Сукачёва СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

✉ [markonovalova@mail.ru](mailto:markonovalova@mail.ru)

Лесные пожары — это естественный фактор динамики среднетаёжных биогеоценозов на юге Эвенкии на протяжении длительного периода и основной фактор их нарушения в настоящее время. Структура, динамика и пространственная мозаика этих лесов во многом определяются пирогенными факторами. Активное хозяйственное освоение юга Эвенкии в последние десятилетия существенно повысило частоту возгораний в лесах из-за увеличения источников огня. При этом охрана лесов от пожаров в основном выполняет задачи фиксации пожаров, а не активного тушения (зона пожарного мониторинга). Такое развитие ситуации может привести к деградации лесной растительности и к утрате естественными экосистемами защитных, водорегулирующих и водоохраных функций. В результате может меняться функционирование крупных ландшафтов, в том числе гидрологический режим огромных территорий.

С целью определения естественного уровня пожарных нарушений среднетаёжных лесов юга Эвенкии была изучена структура растительного покрова заповедника «Тунгусский», за исключением части территории, подвергшейся нарушению в эпицентре падения Тунгусского метеорита. В анализ включена площадь лесных земель около 100 000 га; на ней выполнена наземная таксация лесов глазомерным способом по второму разряду лесоустройства в 2021 г.

Невосстановившиеся гари занимают 0,5 % площади; в том числе 22 га занимает невосстановившаяся часть гари 2005 г. и 415 га — гари 2018–2020 гг. На них произошло разрастание разнотравья, препятствующего восстановлению древесных пород.

Хорошо идентифицированы зарастающие древесной растительностью гари последних 20 лет (всего 4,5 % от территории). На 86 % их площади наблюдается восстановление берёзы, на 3,5 % — лиственницы, на 4,5 % — сосны.

Пирогенные березняки в возрасте 10–90 лет занимают около 11 % изучаемой территории. Большинство березняков приурочены к вогнутым элементам рельефа на пологих склонах, долинам и котловинам либо плакорам.

Более 50 % площади занято лиственничниками, которые представляют собой короткопроизводные (5 %) и условно-коренные насаждения (45 %), развивающиеся на склонах различной экспозиции. Периодическое воздействие пожаров не приводит в этих условиях к смене господствующей породы.

Около 5 % площади занимают короткопроизводные лиственничники на плакорах. В их составе, начиная со стадии молодняка, отмечается примесь кедр и ели. В случае длительного отсутствия пожаров кедр и ель к возрасту 100–170 лет могут занять доминирующее положение в древостое. Такие насаждения, которые можно рассматривать как климаксное состояние плакорных биогеоценозов, занимают всего 0,5 % территории.

На покатых склонах световой экспозиции и выпуклых вершинах господствуют сосняки, занимая 23 % площади. Пожары в этих экотопах являются постоянно действующим фактором, повторяясь каждые 25–120 лет. Сосняки представлены как условно-коренными, так и производными насаждениями. В стадии пирогенного субклимакса сосняки имеют сложную, разновозрастную, многоярусную структуру. На стадии восстановления сосняки имеют чистый состав, редко с небольшой примесью лиственницы.

Болота и заболоченные заросли кустарников, выполняющие важнейшие гидрологические функции, сохраняя островную вечную мерзлоту, занимают 5,5 % анализируемой территории. Следы пожаров на таких участках наблюдаются только в эпицентре крупных гарей, однако сильных пирогенных нарушений структуры растительного покрова не выявляется. Следует отметить, что эти биогеоценозы выполняют важные гидрологические функции, сохраняя островную вечную мерзлоту и питая гидрологическую сеть.

В целом на обследованной территории наблюдается высокая мозаичность биогеоценотического покрова, вызванная регулярным воздействием пожаров. Однако площади невосстановившихся гарей составляют всего 0,5 % территории. Насаждения, представляющие собой различные стадии пирогенной восстановительной динамики, занимают более 40 % площади. Слабо нарушенные и восстановившиеся до климаксного состояния биогеоценозы охватывают более 50 % территории.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Исследование особенностей гидрологического цикла в речных бассейнах таёжной зоны Средней Сибири при усилении антропогенного пресса на лесные экосистемы в условиях меняющегося климата» (№ 20-05-00095).

## **Организация международного образовательного и научно-исследовательского центра «Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР): управление водными ресурсами в регионах Азии, Африки и Латинской Америки» (ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»)**

**Курбатова А. И., Савенкова Е. В., Саласар Флорес К. А., Адарченко И. А.**

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ [kurbatova-ai@rudn.ru](mailto:kurbatova-ai@rudn.ru)

Современные внешние политические и экономические вызовы всерьёз заставляют задуматься о дальнейших направлениях работы российских университетов в международном пространстве. Для Российского университета дружбы народов интеграция образовательного и научного аспектов с международными университетами — история давняя, с глубокими связями в регионах Азии, Африки и Латинской Америки. Из числа выпускников более 26 тысяч — это граждане стран дальнего зарубежья: около 7 тыс. — из Азии, примерно столько же — из стран Африки, 6 тыс. — выпускники-латиноамериканцы, примерно 5,6 тыс. — выпускники арабских стран.

Создание международного научно-образовательного центра (далее — НОМЦ) «Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР): управление водными ресурсами в регионах Азии, Африки и Латинской Америки» на базе Института экологии РУДН позволит обеспечить современный международный уровень образовательной и научной деятельности, в том числе на основе интернационализации педагогических и научных коллективов. Идея создания центра пришла в результате международного взаимодействия с такими странами, как Индия, Тунис, Иордания и Эквадор, когда назрела необходимость совместно, используя синергию научно-технологического потенциала, не только реализовать достаточно амбициозные идеи подготовки кадров в области интегрированного управления ресурсами, но и осуществить инновационные научно-технические исследования.

Проект нацелен на повышение узнаваемости и расширение академического признания РУДН в мире как международно-ориентированного исследовательского университета через создание банка данных образовательных политик по внутренней интернационализации университетов на английском и русском языках. Основными задачами центра будут являться:

- координация, обеспечение и проведение научно-исследовательских работ;
- участие в международных проектах;
- создание научной и образовательной базы для подготовки специалистов всех уровней в области устойчивого управления водными ресурсами регионов Азии, Африки и Латинской Америки.

В рамках деятельности НОМЦ «Интегрированное управление водными ресурсами» РУДН внедряет передовые мировые образовательные стратегии и технологии обучения с целью развития компетенций выпускников, их адаптивности в новых социально-экономических условиях. НОМЦ активизирует предпринимательский климат в регионе, содействует созданию стартапов, внедрению ноу-хау.

В рамках центра в ближайшее время планируется реализовать несколько направлений в области управления водными ресурсами:

- продолжение реализации научно-исследовательской работы совместно с университетом Индии в области очистки сточных вод агропромышленного комплекса микроводорослями и дальнейшего компаундирования в биотопливо;
- оценку химико-экологического состояния воды в системе водоснабжения-водопотребления в Андском регионе Республики Эквадор (город Латакунга и кантон Педро Висенте Мальдонадо);
- выявление воздействия на окружающую среду технологического цикла по очистке питьевой воды, реализуемого на станциях водоподготовки, которые расположены в городе Латакунга и кантоне Педро Висенте Мальдонадо, с использованием метода оценки жизненного цикла.

## Динамика видового состава сеgetальной флоры посевов сои в отдельной агроэкосистеме

Лунева Н. Н., Закота Т. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Пушкин, Россия

✉ natalja.luneva2010@yandex.ru

Подход к сорным растениям как к дикорастущим растениям вторичных (нарушенных) местообитаний положен в основу изучения пространственной динамики видов сорных растений на территории агроэкосистем. Структура агроэкосистемы как системы агроландшафта включает совокупность подразделений сорной флоры, таких как парциальные сеgetальные флоры, формирующиеся в посевах отдельных полевых культур. Поскольку «...практически любые полные территориальные совокупности видов растений, как и их части (комплексы видов), обусловлены экологически и исторически» (по Юрцеву и Камелину, 1991 г., с. 8), постольку стабилен видовой состав как всей сорной флоры, так и парциальных сеgetальных флор, который благодаря этому можно прогнозировать на несколько лет вперёд.

Изучена динамика видового состава сорных растений в посевах сои в отдельной агроэкосистеме (Краснодарский край, Славянский район, ООО «Аспект») в 2012–2014 гг. Количество видов сорных растений в посевах сои в этой агроэкосистеме менялось каждый год: в первый год исследования зарегистрировано 36 видов, во второй — 22, в третий — 46. При этом выявлено 9 видов, которые ежегодно произрастали на всех полях, засеянных соей: амброзия полыннолистная *Ambrosia artemisiifolia* L., щирица запрокинутая *Amaranthus retroflexus* L., вьюнок полевой *Convolvulus arvensis* L., сыть круглая *Cyperus rotundus* L., дурнишник обыкновенный *Xanthium strumarium* L., просо петушьё *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., пырей ползучий *Elytrigia repens* (L.) Nevski, чина клубневая *Lathyrus tuberosus* L. и горец пятнистый *Persicaria maculata* (Rafin.) A. & D. Love. Это стабильный компонент деструктивной части агроценоза посевов сои.

Средний показатель встречаемости отдельного вида из этой группы на отдельном поле в первый год исследования составлял 16,25 %, а средний показатель проективного покрытия — 0,33 %. Во второй год исследований соя в этом хозяйстве была высеяна на полях после посадок картофеля, что отразилось на количественных показателях засоренности у видов стабильного компонента. Картофель, как пропашная культура, активно используется в Краснодарском крае в качестве предшественника при возделывании многих культур для снижения численности сорных растений в агроценозе. При отнесении этих видов к тому же классу постоянства встречаемости на совокупности полей снизились средние показатели встречаемости и проективного покрытия на отдельном поле — до 14,44 % и 0,28 % соответственно. На третий год исследования посева сои были расположены в данном хозяйстве на полях после посева подсолнечника. У всех 9 видов, из года в год регистрируемых на всех полях под посевами сои, независимо от культуры-предшественника, показатели встречаемости и проективного покрытия одного вида на отдельном поле повысились до 32,94 % и 0,85 % соответственно.

При этом показатели отдельных видов значительно отличались по годам. Так, показатели встречаемости и проективного покрытия амброзии полыннолистной на отдельном поле изменялись в течение трёх лет от 16,67 % и 0,38 %, 11,67 % и 0,25 % до 40 % и 1,09 % соответственно; вьюнка полевого — от 15 % и 0,25 %, 10 % и 0,15 % до 41,7 % и 1,32 % соответственно; проса петушьёго — от 13,33 % и 0,31 %, 11,67 % и 0,22 % до 30,8 % и 0,78 % соответственно. Также выявлены виды, показатели встречаемости и проективного покрытия которых на отдельном поле в течение ряда лет практически не изменялись. Таковы показатели сыти круглой (от 21,67 % и 0,39 %, 21,67 % и 0,51 % до 21 % и 0,43 %) и пырея ползучего (от 15 % и 0,15 %, 13,33 % и 0,16 % до 16,3 % и 0,18 %). Вместе с тем тенденция, показанная выше для всей совокупности видов, прослеживается и в показателях отдельных видов.

Вторая группа включает виды, которые регистрировались в течение трёх лет исследования, но не на всех полях под посевами сои, а на части из них. Это канатник Теофраста *Abutilon theophrasti* Medik. (60–80 % полей), пастушья сумка обыкновенная *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. (40–80 % полей), горец птичий *Polygonum aviculare* L. (40–60 % полей) и щавелёк обыкновенный *Rumex*



*acetosella* L. (до 40 % полей). В совокупности с видами первой группы эти виды составляют стабильный компонент парциальной сеgetальной флоры экотопа посевов сои в данной агроэкосистеме.

В этой группе в первый год исследования средние показатели встречаемости и проективного покрытия одного вида на одном поле были 11,66 % и 0,17 % соответственно. На второй год исследования в посевах сои после культуры-предшественника картофеля они практически не изменились (11,87 % и 0,23 %). Однако на третий год в посевах сои после культуры-предшественника подсолнечника показатели повысились, как и у видов первой группы (до 19,18 % — встречаемость, до 0,66 % — проективное покрытие).

В этой группе также выделяются виды, значительно меняющие показатели в течение ряда лет. Так, показатели встречаемости и проективного покрытия на одном поле у канатника Теофраста — 16,67 % и 0,5 % соответственно, в последующие годы — 15 % и 0,5 %, 30 % и 0,89 %. Есть и виды, показатели которых практически не меняются. В частности, у горца птичьего показатели встречаемости и проективного покрытия в 2012 г. составили 10 % и 0,2 % соответственно, в 2013 г. — 10 % и 0,1 %, в 2014 г. — 10 % и 0,25 %.

Третью группу составили виды, зарегистрированные в посевах сои в 2012 г. (с показателями встречаемости 30 % и проективного покрытия 1,69 %), но отсутствовавшие в посевах этой культуры после культуры-предшественника картофеля в 2013 г. и снова отмеченные в посевах сои в 2014 г. на полях после культуры-предшественника подсолнечника с показателями 22,78 % и 0,85 % соответственно. Это бодяк щетинистый *Cirsium setosum* (Willd.) Bess, латук компасный *Lactuca serriola* L., трёхреберник непахучий *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Lainz, гречишка вьюнковая *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love, подмаренник цепкий *Galium aparine* L. и марь белая *Chenopodium album* L.

В первый год исследования отдельные виды из этой группы имели высокие показатели встречаемости и проективного покрытия: трёхреберник непахучий — 31,66 % и 0,62 %; латук компасный — 30 % и 0,6 %; гречишка вьюнковая — 35 % и 3,2 %; бодяк щетинистый — 29,17 % и 2,66 %.

Эта группа, судя по высоким значениям показателей встречаемости и проективного покрытия, отмеченная в первый год исследования, включает виды, которые являются не только проблемными, но и целевыми, против которых направлены агротехнические и защитные мероприятия в культуре-предшественнике картофеле.

Результаты исследования показали, что в состав парциальной флоры, сформировавшейся в посевах сои в отдельной агроэкосистеме, входит определённый комплекс видов сорных растений, неизменно присутствующий в посевах данной культуры, независимо от возделывания сои на разных контурах полей и после разных предшественников. Меняются лишь показатели встречаемости и проективного покрытия вида на отдельном поле, что обусловлено не только агротехническими мероприятиями, проводимыми и в посевах культуры-предшественника, и в посевах сои, но и защитными мероприятиями, проводимыми в агроценозах всех культур севооборота ежегодно. Это в очередной раз свидетельствует о том, что агроценоз представляет собой производное не отдельного поля, а совокупности полей севооборота, а «культуры, сменяющие друг друга в севообороте (или посева одной культуры при монокультуре), целесообразно рассматривать как флуктуационные фазы агроценоза, связанные его инвариантными характеристиками (почвенная биота, банк семян сорных растений)» (по Миркину и др., 2003 г., с. 85). Видовой состав сорных растений, единый для всего севооборота (агроценоза), как бы «пульсирует», являя разный уровень представленности одних и тех же видов в посевах разных культур, но и сохраняя стабильность основного состава в посевах одной культуры.

Принимая территориальную совокупность сорных растений экотопа сои (как совокупности мест возделывания этой культуры в агроэкосистеме) как парциальную сеgetальную флору, принимаем и стабильность её видовой состава и, следовательно, прогнозируем присутствие выявленных видов сорных растений в посевах сои ещё по крайней мере на 5 лет вперёд (многолетний прогноз), а на самом деле — в более дальней перспективе.

Такие исследования, осуществляемые в отдельных хозяйствах, позволяют прогнозировать на длительный временной период видовой состав сорных растений в отдельной культуре после разных предшественников и, соответственно, планировать защитные мероприятия и предвидеть изменения, которые произойдут при нарушении схемы севооборота, изменении структуры посевных площадей и несоблюдении технологии возделывания каждой отдельной сельскохозяйственной культуры.

## Вертикальные миграции копепод в северо-восточной части Чёрного моря в августе и сентябре 2020–2021 гг.

Ляшко Т. В.

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

✉ [tatyana.lyashko.00@mail.ru](mailto:tatyana.lyashko.00@mail.ru)

Суточные вертикальные миграции зоопланктона характерны для многих видов Мирового океана. Они описаны даже в условиях арктической полярной ночи.

Одним из важнейших параметров, позволяющих описать суточные вертикальные миграции, является их интенсивность. Под интенсивностью понимается величина, пропорциональная количеству переместившегося зоопланктона и расстоянию этого перемещения.

Метод оценки миграций был разработан М. Е. Виноградовым, при этом ведущее значение имел коэффициент интенсивности, который позволяет легко сравнивать интенсивность миграций у разных видов и/или у одного вида в разных районах и на разных станциях.

Коэффициент интенсивности миграций (KL%) равен тому количеству планктона (в процентах от всего количества в обловленном слое воды), которое при той же интенсивности миграций переместилось бы на всю глубину облавливаемого столба воды из самого нижнего слоя облова в самый верхний. Коэффициент KL% удобен для сравнения миграций разных видов или миграций в разных районах, так как он объединяет амплитуду перемещения и количество переместившегося планктона.

Другой путь оценки миграций предложила К. А. Захваткина, использовавшая для вычисления известную из механики формулу положения центра массы системы. Она рассчитывала коэффициент интенсивности миграций как величину перемещения центра массы (численности) планктона между двумя сериями ловов, взятыми в дневное и ночное время.

Оценка интенсивности миграций в Чёрном море проведена на основе материалов, собранных на суточных станциях в 114-м (23.09.2020) и 118-м (21.08.2021) рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Количественную обработку проб зоопланктона проводили в лаборатории порционным методом. Оценке подлежали старшие копеподитные стадии и самки копепод *Pseudocalanus elongatus* (Brady, 1865) и *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991, которые относятся к числу наиболее активных мигрантов в Чёрном море. Границы отбора проб устанавливали после предварительного зондирования вертикальных профилей температуры и плотности (по значению  $\delta t$  16,2). Для точности оценки миграций был выбран 12-часовой интервал (9:00 и 21:00). Если такого интервала не было, брали максимальный доступный временной интервал.

Оценка интенсивности проводилась одновременно двумя способами — по М. Е. Виноградову и К. А. Захваткиной. Согласно полученным результатам, интенсивность миграции была самой высокой у самок *C. euxinus* (74,9 % в 2020 г. и 73,1 % в 2021 г.). Менее выраженная миграция характерна для самок *P. elongatus* — 43,4 % в 2020 г. и 67,7 % в 2021 г. Интенсивность миграций у старших, IV–V копеподитных стадий *P. elongatus* составила 34,6 % в 2020 г. и 35,9 % в 2021 г. Самая низкая интенсивность миграции характерна для V копеподитной стадии *C. euxinus* — 29 % в 2020 г. и 21,8 % в 2021 г.

Можно сделать вывод, что наиболее активными мигрантами являются половозрелые особи. Низкая интенсивность у копеподитов *C. euxinus* может быть связана со стадией диапаузы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (№ гос. регистрации 121040600178-6).

## Продуктивность пелагических альгоценозов Баренцева моря в условиях современных климатических трендов

Макаревич П. Р.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия



Одним из последствий происходящих в настоящее время климатических изменений на планете является потепление, которое сопровождается уменьшением площади ледового покрова в морях Арктики. Несомненно, этот процесс может отразиться на уровнях синтеза органического вещества пелагическими сообществами первичных продуцентов. Существует мнение, что за счёт увеличения площади открытой воды и удлинения сезона вегетации планктонных микроводорослей произойдёт увеличение первичной продуктивности арктических морей.

Основным компонентом морских экосистем, определяющим их структуру и биологическую продуктивность, являются пелагические микроводоросли — главные продуценты органического вещества. Первичное органическое вещество арктических вод Мирового океана создаётся двумя компонентами первичных продуцентов (пелагической и ледовой флорой), а акватории, прилегающие к ледовой кромке, являются зонами повышенной продуктивности.

Исследования, которые были выполнены ММБИ РАН в 2015–2021 гг. в Баренцевом море, дали возможность выявить влияние климатических трендов Мирового океана, связанных с глобальным потеплением, на ход сукцессионного развития пелагических альгоценозов. Работы проводились в зоне ледовой кромки, являющейся уникальным биотопом, где неразрывно связаны два компонента первичных продуцентов — пелагическая и ледовая флора. Это дало возможность определить влияние сокращения площадей сезонных ледовых полей на продолжительность и интенсивность вегетации пелагических микроводорослей.

Прикромочная область представляет собой гидродинамически активную зону, занятую ледовыми полями. Прикромочная фронтальная зона является сезонной и возникает в тёплый период года. Вследствие таяния льда в районе ледовой кромки на поверхности формируется слой холодных распреснённых вод, горизонтальная граница распространения которых выражена высокими градиентами гидрологических характеристик и образует Прикромочный фронт. Специфика прикромочного цветения заключается в том, что развитие активной вегетации в пелагиали идёт как в пространстве (по горизонтали и вертикали), так и во времени.

Проведённые ММБИ РАН исследования изменений гидрологических показателей водных масс Баренцева моря (на вековом разрезе «Кольский меридиан») под влиянием современных климатических трендов свидетельствуют о том, что потепление водных масс идёт не за счёт стабильного тренда общего потепления, а за счёт увеличения частоты появления случаев аномально высоких температур.

Анализ полученных нами данных по состоянию пелагических альгоценозов показал: независимо от географического расположения кромки льда, сроки начала вегетации автотрофов в свободных ото льда акваториях совпадают со сроками начала весеннего цветения, характерными для среднесезонной кромки льда, так как океанографические условия, сопутствующие старту весеннего развития, стабильны от года к году. Не изменилась и продолжительность вегетационного периода пелагических микроводорослей. Для периода аномального расположения границы льда не зафиксированы повышенные уровни первичной продуктивности пелагических альгоценозов, то есть уровни развития первичных продуцентов в зоне открытых вод не зависят от положения кромки льда.

Существенное сокращение ледового покрова, а значит, и снижение площадей, занятых прикромочным цветением, привело к сокращению зоны активной вегетации (прикромочного весеннего цветения) в акватории Баренцева моря автотрофных микроводорослей как в пространстве (по горизонтали и вертикали), так и во времени.

Вышеизложенное даёт нам основание предполагать снижение в целом первичной продуктивности Баренцева моря в условиях глобального потепления и связанное с ним сокращение площади ледового покрова в Арктике.

## Исследование суточных ритмов концентрации растворённого метана в воде на шельфе Чёрного моря (по данным 121-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)

Малахова Т. В.<sup>1</sup>, Мурашова А. И.<sup>1</sup>, Федирко А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

✉ [t.malakhova@imbr-ras.ru](mailto:t.malakhova@imbr-ras.ru)

Метан (CH<sub>4</sub>) является одним из самых значимых парниковых газов, содержащихся в водах Мирового океана. Многие работы были посвящены оценке сезонной и межгодовой динамики концентрации растворённого CH<sub>4</sub> в воде, тогда как исследованиям суточных трендов уделяется значительно меньше внимания. Как и в отношении других растворённых в воде газов (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), содержание CH<sub>4</sub> определяется процессами его продукции, потребления и перераспределения, интенсивность которых может значительно варьировать.

Концентрация CH<sub>4</sub> в поверхностном слое морской воды, как правило, несколько выше равновесных значений с атмосферой, тогда как придонные слои в прибрежных и шельфовых районах часто бывают обогащены CH<sub>4</sub> (значения на несколько порядков превышают равновесные уровни концентраций). Это обусловлено в первую очередь широким распространением метановых сипов и интенсивными диффузионными потоками из дна в продуктивных шельфовых районах Мирового океана. Кроме придонного максимума, показано также наличие концентрационного пика CH<sub>4</sub> в подповерхностных слоях кислородсодержащих вод морей («метанового парадокса»), в том числе в аэробном слое Чёрного моря.

Несмотря на то, что за последние десятилетия явление «метанового парадокса» было многократно описано в литературе для различных бассейнов, до сих пор нет однозначного ответа на вопрос, какой процесс ответственен за повышенные концентрации CH<sub>4</sub> в верхних слоях морских водоёмов. Устоявшаяся парадигма о микробной продукции CH<sub>4</sub> метаногенными археями в анаэробных нишах в последнее время расширяется новыми данными о том, что CH<sub>4</sub> в окисленной среде может продуцироваться цианобактериями, водорослями, грибами, пурпурными бактериями и др. Доминирующий механизм образования CH<sub>4</sub> в различных водных системах может быть различным. На это может влиять сезон, трофический статус, морфология и биоценоз каждого отдельно взятого водоёма. В 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» летом 2020 г. впервые была изучена суточная динамика распределения CH<sub>4</sub> в аэробной толще воды глубоководного (1570 м) и прибрежного (39 м) районов Чёрного моря в комплексе с проведением гидроакустических исследований миграции звукорассеивающих слоёв. Показано, что для обеих станций в течение суток концентрационные максимумы мигрировали в толще воды. На фоне общей высокой вариабельности данных для отдельных временных диапазонов получены значимые коэффициенты детерминации между концентрацией CH<sub>4</sub> и силой слоя ML' как характеристикой количества биомассы звукорассеивающих слоёв. Максимальные концентрации и потоки CH<sub>4</sub> из поверхностного слоя воды в атмосферу были получены в ночные часы, что также может быть связано с суточной миграцией звукорассеивающих слоёв: в ночное время рыбы и зоопланктон поднимаются к поверхности воды, а в дневное время мигрируют в более глубокие слои. В связи с этим целью работы было продолжение исследования суточных ритмов концентрации растворённого CH<sub>4</sub> в окисленном слое воды на шельфе Чёрного моря и определение факторов, влияющих на закономерности его вертикального распределения.

Исследования проводились на двух станциях в северной части Чёрного моря в 121-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (апрель — май 2022 г.). На глубоководной ст. 157 (44°41.6345' с. ш., 34°45.0644' в. д.) и прибрежной ст. 160.1 (44°46.7442' с. ш., 35°00.2901' в. д.) проводили зондирования каждые 3 ч в течение 2 суток (всего 17 зондирований на каждой станции). Вода для определения концентрации растворённого CH<sub>4</sub> была отобрана с использованием 10-литровых батометров Niskin зондирующего комплекса типа Rosette. На мелководной ст. 160.1, глубина которой составляла 54 м, пробы воды отбирались на якорной станции от поверхности до придонного слоя с шагом 10 м. На ст. 157 пробы воды отбирались в дрейфе (глубина варьировала от 150 до 600 м) от поверхности до глубины 100 м с шагом 10 м. В начале каждой серии отбора проб судно позиционировалось

на исходные координаты. На всех горизонтах пробы отбирали в 2 повторностях. Концентрацию  $\text{CH}_4$  в водных пробах определяли хедспейс-методом фазово-равновесной дегазации на газовом хроматографе Hewlett Packard 5890 с пламенно-ионизационным детектором.

Гидрофизические параметры измеряли во время погружения зондирующего комплекса Rosette, оснащённого зондом фирмы Sea-Bird Electronics, Inc. (США) с датчиками температуры, электропроводности, давления, кислорода, ФАР и хлорофилла *a*.

На глубоководной ст. 157 было выполнено 17 зондирований между 06:00 2 мая и 6:00 4 мая 2022 г. Верхний квазиоднородный слой (далее — ВКС) был ярко выражен, а его толщина варьировала в пределах 22–30 м. Под ВКС располагался слой скачка (термоклин, галоклин и пикноклин) толщиной 5–7 м. В поле температуры ядро холодного промежуточного слоя наблюдалось на глубинах 80–90 м в первый 24-часовой период, температура в нём составила  $+8,0 \dots +8,2$  °С. В последующие 24 ч холодный промежуточный слой заглублялся в нижележащие слои (115–120 м). Сравнение временной динамики вертикального распределения  $\text{CH}_4$  для двух последовательных 24-часовых периодов (с 6:00 до 6:00) показало наличие структуры распределения и её межсуточной повторяемости. Как и в предыдущих исследованиях, получено, что поверхностный слой в ночные и утренние часы был значительно обогащён  $\text{CH}_4$ , тогда как в дневные часы концентрация  $\text{CH}_4$  была ниже равновесных значений с атмосферой (диапазон  $0,2\text{--}34$  нмоль·л<sup>-1</sup>). Также в дневные часы (15:00) рассчитанный удельный запас  $\text{CH}_4$  в толще воды был минимальным. На фоне общей высокой вариабельности значений отмечено, что в среднем в слое 20 м и 50 м наблюдались минимумы содержания  $\text{CH}_4$ . Измеренный максимум концентрации  $\text{CH}_4$  соответствовал глубине 90–100 м и был равен  $118$  нмоль·л<sup>-1</sup>.

Измерения на прибрежной ст. 160 проводили с 12:00 5 мая по 12:00 7 мая (шаг зондирований составлял 10 м). В течение первых 12 зондирований наблюдалось заглубление нижней границы ВКС и слоя скачка от 25 м до дна (43 м). Температура в верхнем слое варьировала от  $+12$  до  $+12,7$  °С. Минимум температуры ( $+10$  °С) зафиксирован в придонном слое в период с 18:00 до 21:00 5 мая. В этот временной интервал отмечены максимальные концентрации ( $53$  нмоль·л<sup>-1</sup>) в придонном слое, что свидетельствует о диффузионном подтоке  $\text{CH}_4$  из дна. Так же, как и для глубоководной станции, наблюдались насыщенные метаном верхние слои воды и концентрационный минимум на горизонте 20 м. Такое распределение не является типичным, оно связано, вероятно, с особенностями развития термохалинной структуры в весенний период и требует дальнейших исследований.

Таким образом результаты показали, что в толще воды наблюдается 24-часовая повторяемость структуры распределения  $\text{CH}_4$ , что подтверждает связь продукции метана с суточными ритмами биоценозов.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

## Пространственная структура рыбного населения дельты Меконга — индикатор проникновения морских вод вглубь континента

Малина И. П.<sup>1,2</sup>, Малин М. И.<sup>1,2</sup>, Чыонг Ба Хай<sup>3</sup>, Ку Нгуен Динь<sup>3</sup>, Ле Куанг Ман<sup>3</sup>,  
Зыонг Тхи Ким Чи<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Хошимин, Вьетнам

✉ [inga@ibiw.ru](mailto:inga@ibiw.ru)

Среди разных групп гидробионтов рыбное население наиболее оперативно реагирует на изменение факторов среды. Имеющиеся сведения о пространственном распределении рыбного населения дельты Меконга (далее — ДМ) указывают на его выраженную пространственную изменчивость. Такие жизненно важные для рыб характеристики среды, как температура воды и концентрация растворённого кислорода, в дельте варьируют слабо. Справедливо предположить, что наблюдаемые неравномерности распределения рыбного населения связаны с солёностью, а следовательно, могут выступать в качестве индикатора проникновения морских вод вглубь континента при организации долгосрочного мониторинга.

Состав рыбного населения на разных участках ДМ определяли по траловым уловам; материал собирали в январе и апреле 2021 г. Траления проводили разноглубинным тралом. Горизонт траления — от 1 до 7 м. Географические координаты начала и окончания, траекторию и скорость судна определяли по спутниковому навигационному приёмнику. Улов взвешивали, сортировали, определяли количество рыб и их систематическую принадлежность до семейства. В результате 74 тралений отловили ~ 15 тыс. экз. рыб. Для оценки относительной численности таксона рассчитывали показатель улова на усилие (экз. · ч<sup>-1</sup>). Встречаемость таксона определяли как долю уловов, в которых он представлен. Пространственные изменения структуры рыбного населения оценивали методом кластерного анализа; анализировали данные о присутствии/отсутствии таксона в улове. Анализ данных проводили в программной среде R (R Core Team), картографирование — в геоинформационной системе Quantum GIS (QGIS).

Анализ данных основан на гипотезе о том, что рыбное население ДМ, характеризующейся значительными пространственными градиентами солёности, представлено тремя таксономическими комплексами [пресноводным, солоноватоводным и населяющим зону контакта пресных и солоноватых вод маргинальным (далее — ПК, СК и МК соответственно)], которые приурочены к верхнему (пресноводному), нижнему (солоноватоводному) и среднему течению дельты соответственно.

Таксономический состав пресноводного комплекса наиболее беден и представлен 9 семействами. Наиболее часто встречаются Clupeidae, Cyprinidae, Ambassidae и Engraulidae. Доминирующие в общей совокупности уловов разноглубинного трала в ДМ таксоны Ariidae и Sciaenidae отсутствуют в ПК, а представители широко распространённого семейства Polynemidae отмечены лишь в 23 % наблюдений.

Наиболее богат таксономический состав маргинального комплекса — 26 семейств рыб. Роль представителей Clupeidae и Cyprinidae, преобладающих в ПК, уменьшается: среди уловов МК эти семейства встречаются в 2–3 раза реже. Обычные для ПК Ambassidae и Engraulidae здесь также представлены широко, а частота встречаемости Callionymidae, Polynemidae и Pangasiidae возрастает в несколько раз. Представители семейств Ariidae и Sciaenidae, отсутствующих в ПК, в составе МК становятся обычными и даже массовыми. Частота встречаемости семейств Cobitidae, Eleotridae, Plotosidae и Siluridae невысока, но их представители отмечены только в зоне контакта пресных и солоноватых вод и могут быть рассмотрены в качестве видов — индикаторов её положения. Однако относительная численность этих таксонов мала, и попытка районирования ДМ только на основании сведений об их распределении потребует значительного увеличения объёмов собираемого материала.

В состав солоноватоводного комплекса входят 23 семейства. В уловах СК уменьшается роль *Ambassidae*, *Clupeidae*, *Cyprinidae* и *Pangasiidae*, типичных для ПК и МК. Семейства *Engraulidae* и *Polynemidae* представлены более чем в 80 % наблюдений группы 2, как и в уловах МК. Представители *Ariidae* и *Sciaenidae* присутствуют во всех уловах группы 2. Представители семейств *Bregmacerotidae*, *Muraenesocidae*, *Pristigasteridae*, *Scorpaenidae*, *Siganidae* и *Trichiuridae*, относящиеся к морской фауне, встречаются только в составе СК.

В состав рыбного населения ДМ входят широко распространённые и многочисленные эвригалинные представители семейств *Engraulidae*, *Polynemidae*, *Ambassidae* и др., пространственное распределение которых слабо связано с солёностью среды; соответственно, паттерн распределения данных рыб мало пригоден для мониторинга проникновения солёных вод вглубь континента. В то же время ряд таксонов локализован в строго определённой части дельты, что связано, вероятно, с оптимальными избираемыми диапазонами солёности.

Наблюдения СК и МК частично перекрываются в нижнем течении ДМ, в то время как ПК и МК пространственно разделены. По результатам наблюдений, выполненных на протяжении сухого сезона 2021 г., расстояние от морского края ДМ до границ СК и ПК составляло 34 и 78 км соответственно. Возможность определения положения границ ПК и СК описываемым методом создаёт предпосылки для районирования ДМ по признаку сходства таксономического состава рыбного населения, определяемого по уловам разноглубинного трала. В рамках данной работы не проводились измерения концентрации растворённых солей в местах лова, поэтому не представляется возможным указать диапазоны солёности, в которых обитают представители описанных таксономических комплексов. Определение значений солёности, соответствующих границам ПК и СК, — задача дальнейших исследований, выполнение которой необходимо для сопоставления с результатами ранее проведённых инструментальных наблюдений.

Сбор материала осуществлён при финансовой поддержке Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (тема НИР «Эколан Э-3.4» «Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия»); анализ материала и подготовка публикации — в рамках темы государственного задания ИБВВ РАН «Биоразнообразие, структура и функционирование пресноводных рыб континентальных водоёмов и водотоков» (№ 121051100104-6).

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/52.pdf>.





## Взаимосвязь количественных показателей фитопланктона и содержания биогенных веществ в морской воде порта Тамань

Матасова И. Ю., Теюбова В. Ф., Сеничкина С. Е.

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр — филиал ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», Новороссийск, Россия

✉ [biozentr@yandex.ru](mailto:biozentr@yandex.ru)

Фитопланктонное сообщество и влияние биогенных веществ (азота нитратов, азота нитритов, аммонийного азота, фосфатов) на его количественные показатели изучали в порту Тамань Чёрного моря на 4 станциях в период с 2012 по 2020 г. два раза в год — в июне и ноябре.

В период исследования в акватории порта Тамань идентифицировано 139 видов фитопланктона (61 — Bacillariophyta, 58 — Miozoa, 5 — Cyanobacteria, 6 — Chlorophyta, 4 — Naptophyta, 2 — Euglenozoa, 2 — Cercozoa, 1 — Ochrophyta).

Численность планктонных микроводорослей в июне изменялась в диапазоне 5,7–173,5 млн кл.·м<sup>-3</sup>, в ноябре — 4,9–57,0 млн кл.·м<sup>-3</sup>, составляя в среднем (58,2 ± 8,8) и (22,8 ± 2,7) млн кл.·м<sup>-3</sup> соответственно. Биомасса фитопланктона летом варьировала от 21,4 до 712,2 мг·м<sup>-3</sup>, осенью — от 21,4 до 733,5 мг·м<sup>-3</sup> при средних значениях (293,2 ± 32,1) и (233,3 ± 35,4) мг·м<sup>-3</sup> соответственно.

В составе сообщества практически на всех этапах отбора доминировали диатомовые водоросли (в среднем 54 % общей численности и 72 % общей биомассы), среди которых наиболее часто (в более чем 70 % проб) встречались *Cerataulina pelagica*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Skeletonema costatum* и *Thalassionema nitzschioides*.

Вклад динофитовых водорослей в количественные показатели был также довольно высок (в среднем 15 % общей численности и 25 % общей биомассы). Наибольшую встречаемость среди них имели *Prorocentrum compressum*, *Prorocentrum micans*, *Scrippsiella acuminata* и *Tripos furca*.

Высокую роль в формировании общей численности, особенно в июне, играли и гаптофитовые водоросли (в среднем 28 % общей численности), среди которых превалировала *Emiliania huxleyi*.

Вклад водорослей других отделов в количественные показатели фитопланктонного сообщества незначителен.

Концентрация биогенных веществ в морской воде порта Тамань не превышала установленного норматива ПДК. В июне среднее многолетнее содержание азота нитратов составило (0,0055 ± 0,0008), азота нитритов — (0,0017 ± 0,0002), азота аммонийного — (0,0892 ± 0,0080), фосфатов — (0,0063 ± 0,0015) мг·дм<sup>-3</sup>. В ноябре значения составили (0,0077 ± 0,0008), (0,0032 ± 0,0004), (0,0775 ± 0,0104) и (0,0096 ± 0,0007) мг·дм<sup>-3</sup> соответственно.

Корреляционный анализ взаимосвязей между биогенными веществами и характеристиками фитопланктонного сообщества показал следующее. В июне в целом отмечена отрицательная корреляционная зависимость между концентрацией ряда биогенов (азота нитратов и фосфатов) и количественными показателями основных отделов фитопланктона, но статистически значимые коэффициенты корреляции получены только для пар азота нитраты — общая биомасса ( $r = -0,33$ ) и фосфаты — общая биомасса ( $r = -0,35$ ). Небольшая положительная связь зарегистрирована лишь между концентрацией этих биогенов и численностью диатомей ( $r = 0,14 \dots 0,15$ ), что при наличии отрицательной корреляции с биомассой ( $r = -0,31$  и  $r = -0,22$  соответственно) свидетельствует об увеличении роли мелкоклеточных быстрорастущих и быстроразмножающихся микроводорослей (г-стратегов) в фитопланктоне. В этот период также выявлены значимая положительная взаимосвязь между азота нитритами и динофлагеллятами ( $r = 0,40$ ) и отрицательные взаимосвязи в парах азот аммонийный — численность гаптофитовых ( $r = -0,47$ ), азот аммонийный — биомасса гаптофитовых ( $r = -0,36$ ) и азот аммонийный — общая численность ( $r = -0,51$ ).

В ноябре статистических значимых связей между содержанием в морской воде биогенов и количественными характеристиками фитопланктона не выявлено, за исключением высокой положительной связи между суммарной биомассой водорослей отделов Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenozoa, Cercozoa, Ochrophyta и азотом аммонийным и азота нитратами ( $r = 0,78$  и  $r = 0,72$  соответственно).

## Катастрофические изменения биотопа глубоководных районов Чёрного моря и экосистемные сдвиги

Мельников В. В.<sup>1</sup>, Белокопытов В. Н.<sup>2</sup>, Масевич А. В.<sup>2</sup>, Васечкина Е. Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

✉ [sevlin@rambler.ru](mailto:sevlin@rambler.ru)

За период с 1955 по 2013 г. запасы кислорода в Чёрном море сократились на 44 %, а глубина проникновения кислорода уменьшилась с 140 м (1955 г.) до 90 м (2013 г.). Связано это с тем, что в 1980-е гг. началась интенсивная антропогенная эвтрофикация, в результате которой концентрация биогенов возросла почти вдвое по сравнению с таковой прошлого периода. С середины 1980-х гг. эвтрофикация вызвала поток заглубляющейся органики, окисление которой привело к подъёму верхней границы субкислородного слоя. После 1995 г. антропогенная нагрузка снизилась, наступил постэвтрофикационный период, который должен был увеличить насыщение глубин кислородом. Однако этого не произошло, что связано, возможно, с глобальным потеплением. Нагревание холодного промежуточного слоя (ХПС) началось в 1990-е гг., и к настоящему времени средняя температура его ядра превысила +8 °С.

Эти разительные перемены в экологических условиях биотопа затронули существование холодноводного зоопланктона и рыб, обитающих между термоклином и субкислородной зоной, поскольку зоопланктон скапливается в слое редоксклина у изооксигены 0,2 мл·л<sup>-1</sup>. Часть видов опускается сюда днём, часть (например, *Calanus euxinus*) формирует немигрирующие скопления, которые пребывают здесь в тёплое время года. Зная вертикальное положение этой «границы жизни» по данным гидрологии и гидрохимии, можно косвенным образом оценить, где она находилась на протяжении последних 50 лет. Наши расчёты впервые показали, что в период преэвтрофикации в 1950–1980 гг. положение изооксигены 0,2 мл·л<sup>-1</sup> и связанной с ней изопикны 15,8 было на десятки метров глубже, чем сегодня. Поэтому скопления копепоид у редоксклина в глубоководной части находились в тот период на недосягаемой для планктоноядных рыб глубине (около 140 м). Черноморский шпрот и мерланг обитают преимущественно до глубины 90 м. Хотя отдельные особи шпрота способны «нырять» за пищей на 15–20 м ниже, глубина 140 м предоставляла в те годы хорошее убежище от хищников для глубинных скоплений рачков. После 1985 г. изооксигена 0,2 мл·л<sup>-1</sup> поднялась на глубину 70–90 м, и слой копепоид у редоксклина попал в зону обитания рыб-планктонофагов. Именно поэтому вполне вероятно, что всплеск обилия мелких планктоноядных рыб в конце 1980-х гг. был связан с тем, что области обитания жертв и хищников объединились. В этот период обширный циклонический купол в центре моря стал подобен шельфовой зоне с глубиной 70–90 м, где пелагические рыбы собирают днём у «дна» мигрирующих сюда копепоид. В результате количество кормового зоопланктона в глубинах моря резко уменьшилось. Сама же зона обитания калянуса и черноморского шпрота сжалась по вертикали почти в два раза и стала стремительно нагреваться. Потепление приводит к серьёзным нарушениям фенологии нереста умеренно холодноводных видов рыб: они начинают нереститься не в декабре, а в конце сентября, а заканчивают в мае. В последние годы цикл онтогенетического развития шпрота от икры до выклева сократился почти вдвое (с 7 до 2–3 дней), что также привело к уменьшению среднего размера личинок при выклеве и при их переходе на внешнее питание. Поэтому уменьшение размеров шпрота в последние годы может быть связано не только с его переловом, но и с потеплением среды обитания. Аналогичная реакция на повышение температуры есть и у черноморского калянуса: Л. И. Сажина показала, что время развития рачков (от яйца до взрослой особи) при температуре +18 °С составляет 34 дня, а при +8 °С этот срок увеличивается до 66 дней. Соответственно, можно ожидать, что дальнейшее потепление ядра ХПС сократит время онтогенетического развития как основной массы планктоноядных рыб, так и кормовой базы.

Параметры экосистемных изменений пелагиали глубоководных районов Чёрного моря под влиянием деоксигенации и потепления ещё неизвестны, поэтому описать их можно только с использованием теоретической модели. Для повышения точности прогнозов в состав разрабатываемой модели будет включён блок эмпирических уравнений, которые будут базироваться на данных реальных измерений. Предполагается построение иерархической системы, которая будет описываться методами

объектно ориентированного программирования. Модель будет учитывать параметры размножения, роста, смертности и пр., включая уравнения для описания этих изменений в связи с потеплением и деоксигенацией.

Работа выполнена по проекту РФФИ № 19-35-90062 и государственному заданию по темам № 0555-2021-0004, 0556-2021-0003 (№ 121041400077-1) и 0827-2019-0004 (шифр «Шельф-Эко»).

## Совместное влияние гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения на обилие фитопланктона северной половины Чёрного моря в весенне-летний период

Минкина Н. И., Самышев Э. З.

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

✉ [niminkina@yandex.ru](mailto:niminkina@yandex.ru)

Планктонные водоросли, продукция которых лежит в основе функционирования всей пелагической пищевой цепи, характеризуются высокой скоростью воспроизводства и, быстро реагируя на изменения в экосистеме, могут служить чувствительным индикатором действия на неё различных факторов.

Наиболее полные материалы о биомассе фитопланктона в пелагиали Чёрного моря были получены в ходе уникального эксперимента, выполненного сотрудниками Украинского научно-исследовательского центра экологии моря Министерства охраны окружающей природной среды (УкрНЦЭМ, г. Одесса) при участии специалистов ИнБЮМ НАН Украины (г. Севастополь) в рамках проекта ЭКОМОНОК государственной программы «Глобальные изменения природной среды и климата». Сбор материалов осуществлён на судах УкрНЦЭМ на основании договора о научном сотрудничестве ИнБЮМ и УкрНЦЭМ об участии в выполнении программы исследований годового цикла основных элементов экосистемы северной части Чёрного моря в 1992–1993 гг. В данной статье использованы результаты измерений, выполненных по единой сетке станций в ходе комплексных сезонных съёмок, которые охватили экономические зоны Украины, России и Грузии (60-й и 61-й рейсы НИС «Георгий Ушаков» в марте и мае 1992 г.; 57-й рейс НИС «Эрнст Кренкель» в июле 1992 г.). В этих же экспедициях были выполнены наиболее обширные измерения содержания поллютантов в пелагиали Чёрного моря — было определено содержание в воде восьми видов тяжёлых металлов (Hg, Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd и Fe), мышьяка, нефтепродуктов, хлорорганических пестицидов (ДДТ, ДДЕ, ДДД и ГХЦГ) и полихлорбифенолов.

Не представляется возможным экспериментально оценить влияние всего спектра поллютантов на сообщество фитопланктона. Крайне сложно разделить воздействия — и непосредственные (прямое загрязнение), и опосредованные, оказывающие влияние на фоне широкой амплитуды природной изменчивости климатических и гидробиологических процессов. Необходимо выявить синергические (совместные) реакции сообщества микроводорослей на стрессоры. Количественное описание синергических реакций популяций и сообществ гидробионтов остаётся «белым пятном» в океанологических исследованиях. Отсюда следует актуальность проблемы и необходимость количественной оценки совместного влияния гидрологических параметров, обеспеченности биогенами и комплексного загрязнения вод Чёрного моря на функционирование сообщества фитопланктона в весенне-летний период.

Основные слои пелагиали — поверхностный микрослой (далее — ПМС), верхний перемешанный слой (далее — ВПС), слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м — рассматриваются как самостоятельные биотопы. Для анализа использованы средние в выбранных слоях на 18 станциях значения абиотических параметров среды, средние концентрации биогенов и поллютантов, средние биомассы фитопланктона, эпипланктона, батипланктона и желетельных организмов.

По литературным данным, уровень развития фитопланктона в 1992 г. в восточном районе незначительно превосходил среднегодовалые величины, а в северо-западном районе был сопоставим с ними. При этом выявлено повышение трофности ПМС в северо-восточной части моря и на северо-западе в слое термоклина до эвтрофного уровня в марте — начале апреля 1992 г. Слой пелагиали ниже термоклина до 50 м на северо-востоке можно охарактеризовать как мезотрофный-эвтрофный. Остальные водные массы в марте и вся акватория в мае характеризовались олиго- и мезотрофным уровнем развития фитопланктона. В июле все слои северо-западной части моря были олиготрофными, поверхностные слои остальной части моря — мезотрофными и мезоэвтрофными на востоке, в зоне действия циклонических вихрей.

Использование многомерного факторного анализа позволило оценить совместное влияние целого ряда стрессоров различной природы на сообщество микроводорослей. Показано чередование основных стрессоров в разные месяцы года. В марте таковыми являлись превалирующие в воде тяжёлые металлы, а в мае — понижение солёности из-за распреснения поверхностных вод, связанного с паводком крупных рек (Дуная, Днепра, Днестра и Буга). Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона в ПМС и ВПС на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек. Одновременно показана позитивная реакция на содержание в воде нитритов, смываемых в море с паводком.

Впервые выявлено синергическое позитивное воздействие превалирующих в Чёрном море поллютантов — железа, хрома и меди — на сообщество микроводорослей. Обнаружена негативная реакция сообщества фитопланктона на содержание в воде ртути в ВПС в марте и цинка в слое термоклина в мае. В марте обилие батипланктона под термоклином положительно коррелировало с обилием водорослей. В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпипланктона и железотелого планктона.

В июле в качестве основных факторов выступили: в поверхностных слоях — содержание в воде нефтепродуктов, преваляровавшие в ПМС хром (позитивная реакция), ГХЦГ и ДДТ (негативная реакция или ингибирование); в слое термоклина и ниже — снижение прозрачности воды, свинец и ингибирующее влияние полихлорбифенолов. Необычно низкую прозрачность воды в июле 1992 г., наименьшую за период наблюдений с 1923 г., связывают с изменением структуры сообщества фитопланктона. Если раньше численно преобладали диатомовые водоросли, то в 1987–1992 гг. — более мелкие и многочисленные кокколитофориды и перидиниевые. Клетки массового вида кокколитофорид, *Emiliania huxleyi*, способны сбрасывать известковые диски (кокколиты) диаметром 1 мкм, которые производят сильное рассеяние света, значительно снижая прозрачность воды. Кроме того, в июле 1992 г. концентрация общей взвеси в фотическом слое глубоководной части моря по сравнению с весенним значением возросла более чем в 4 раза.

Впервые выполнена оценка суммарного вклада экологических факторов различной природы — абиотических, антропогенных, биотических и пула биогенов — на состояние сообщества фитопланктона. Наиболее сильное антропогенное воздействие на сообщество фитопланктона, наблюдавшееся в марте — начале апреля, связано с выносом биогенов и поллютантов в деятельный слой пелагиали в результате зимней конвекции. В мае и июле эффект антропогенного загрязнения снижался в верхних слоях пелагиали из-за активного выведения поллютантов отмирающим фито- и эпипланктоном.

Влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1).

## Мезомасштабная изменчивость вертикального распределения билюминесценции на разрезах в северо-восточной части Чёрного моря

Минский И. А.<sup>1</sup>, Серикова И. М.<sup>1</sup>, Жук В. Ф.<sup>1</sup>, Евстигнеев В. П.<sup>2</sup>, Пионтковский С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

✉ [ivan.simfer@gmail.com](mailto:ivan.simfer@gmail.com)

Проанализированы данные вертикальных зондирований ГПК «Сальпа», полученные в северо-восточной части Чёрного моря в 105-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (03.12.2018–06.12.2018). Область исследований ограничивалась двумя разрезами: первый — меридиональный разрез от акватории, примыкающей к Керченскому проливу (станции 140–144); второй — от шельфовой зоны напротив бухты Геленджикской к центру восточной халистазы (ст. 156–160). По результатам многократных ночных зондирований ГПК «Сальпа» (10 на каждой станции) оценивались характеристики поля билюминесценции (далее — ПБ) в водных массах с различной динамической структурой вод. После обработки сигналов датчиков получали профили билюминесценции, температуры, солёности, а также рассчитанной по этим параметрам условной плотности с осреднёнными показаниями по глубине через каждый метр. Для получения оценок тонкоструктурных неоднородностей ПБ, характеризующих мелкомасштабную структурированность светящегося планктона, профили билюминесценции представлялись в виде суммы высокочастотных и низкочастотных компонент. Применялся метод полного ансамблевого разложения на эмпирические моды с адаптивным шумом (SEEMDAN). Высокочастотные составляющие профилей билюминесценции описывались суммой первых двух модовых функций (IMF). Такой метод выделения высокочастотной составляющей профилей отличается от применявшейся ранее фильтрации с помощью cos-фильтра. Преимущество метода SEEMDAN — отсутствие необходимости в оконной фильтрации, приводящей к искусственному «обрезанию» профилей на ширину окна.

Для получения характерного вертикального масштаба тонкоструктурных неоднородностей ПБ по полученным рядам флуктуаций ( $B'$ ) рассчитывались автокорреляционные функции с последующим осреднением по всему ансамблю реализаций на каждой станции. Степень изрезанности профилей билюминесценции оценивалась коэффициентом вариабельности флуктуаций:

$$C_{VB'} = \sigma_{B'}/B_{\text{ср}},$$

где  $\sigma_{B'}$  — среднеквадратичное отклонение высокочастотной составляющей профиля билюминесценции в выбранном слое;

$B_{\text{ср}}$  — среднее значение исходного профиля  $B(z)$  в этом же слое.

Также производилось осреднение по всему ансамблю реализаций.

По данным инструментальных измерений течений и гидрологических съёмов, выполненных в ходе экспедиции, проанализированы особенности проявлений синоптических вихрей в термохалинных полях в исследуемой акватории. Так, в восточной части полигона между  $37,5^\circ$  и  $38^\circ$  в. д. в верхнем 50-метровом слое наблюдался крупномасштабный циклонический меандр. В его зоне на горизонтах 10 и 50 м прослеживался замкнутый циклонический круговорот. В термохалинных полях это циклоническое образование хорошо проявлялось в виде пониженных значений температуры и повышенных значений солёности. В зоне влияния этого циклонического образования оказались три станции 2-го разреза — ст. 158, 159 и 160. Интенсивность билюминесценции в этом районе снижалась более чем в два раза относительно более мелководных станций разреза. На свале глубин (ст. 157) отмечалась область максимальной интенсивности ПБ в слое 0–40 м —  $(3997 \pm 281) \times 10^{-12}$  Вт·см<sup>-2</sup>·л<sup>-1</sup>. В районе шельфа (ст. 156) также регистрировалась высокая интенсивность ПБ. При этом параметр, характеризующий тонкоструктурную изменчивость ПБ был минимальным: значение  $C_{VB'}$  составляло  $(0,203 \pm 0,026)$ , что характерно для вод шельфа. В водах циклонического круговорота зафиксированы

максимально высокие значения параметра  $C_{VB}$  —  $(0,355 \pm 0,05)$ , причём величины практически совпали с таковыми, полученными нами в ноябре 1991 г. (35-й рейс НИС «Профессор Водяницкий») также в районе циклонического образования.

Характерной особенностью мезомасштабного распределения ПБ на 1-м разрезе являлось снижение уровня биолюминесценции от центрального района моря в направлении к берегу при одновременном снижении температуры воды. Так, на ст. 140 (глубина на станции — 600 м) интенсивность ПБ сократилась более чем в два раза относительно таковой на ст. 144 (глубина — 2120 м); при этом температура в верхнем перемешанном слое снизилась с +14 до +11,75 °С. Таким образом, интенсивность ПБ на двух разрезах напрямую была связана с температурной характеристикой вод. Несмотря на высокую вариабельность интенсивности ПБ, на всех станциях 1-го разреза величины  $C_{VB}$  практически не различались и были минимальными, сопоставимыми со значениями в зоне шельфа (ст. 156), за исключением ст. 140, где величина соответствовала таковой в зоне Основного черноморского течения (ст. 157).

Отмечено различие в размерах тонкоструктурных неоднородностей на станциях в разных водных массах района исследований. Так, в зоне шельфовых вод, а также на большинстве станций 1-го разреза, за исключением ст. 140, характерный вертикальный масштаб тонкоструктурных неоднородностей составлял  $1 \div 1,5$  м. На станциях в зонах Основного черноморского течения и циклонического круговорота, а также на ст. 140 осреднённые автокорреляционные функции практически не различались и указывали на более крупные неоднородности ПБ —  $2 \div 2,5$  м.

Таким образом, показаны различия всех параметров, характеризующих особенности тонкой структуры ПБ в водных массах с различными гидрологическими и гидродинамическими характеристиками. Эти параметры могут найти применение при выполнении ряда прикладных задач, связанных с идентификацией зон с разным уровнем динамической активности.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/128.pdf>.





## Аспекты взаимодействия нефтегазодобывающей и сельскохозяйственной отраслей в степной зоне

Мячина К. В.

Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

✉ [mavicsen@gmail.com](mailto:mavicsen@gmail.com)

Добыча нефти и газа в степных и аналоговых зонах континентов сопряжена с многосторонним воздействием на исходные ландшафты (естественные и аграрные), так как сельскохозяйственное производство, как правило, является приоритетной отраслью экономики на равнинных умеренно засушливых территориях. В то же время нефть и газ — стратегические ресурсы, поэтому их добыча необходима и обоснованна. В России активно разрабатываются действующие и разведываются новые нефтегазовые месторождения, и нет оснований полагать, что ситуация претерпит значительные изменения в обозримом будущем: роль невозобновляемых источников энергии, по некоторым прогнозам, к 2040 г. вырастет лишь на 4 процентных пункта — с 12 фактических до 16 %.

Более четверти мировых нефтегазовых залежей размещены в зонах степного пояса; в России это бóльшая часть месторождений Волго-Уральской, Прикаспийской, Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносных провинций, а также Крымской нефтегазоносной области. В российских степных регионах разрабатывается более 500 нефтегазовых месторождений, что определяет значительные масштабы техногенного воздействия на исходные ландшафты. Важнейшей проблемой является взаимодействие нефтегазодобывающего и сельскохозяйственного производств, которое можно охарактеризовать как постоянный конфликт двух ведущих типов природопользования. Тесное соседство и взаимопроникновение элементов инфраструктуры этих отраслей приводит к созданию многосторонних взаимосвязей и взаимозависимостей, которые, в свою очередь, вызывают определённые социально-экономические последствия.

В предлагаемом исследовании решалась задача выявления ключевых аспектов взаимодействия и взаимовлияния инфраструктуры эксплуатируемых месторождений нефти и газа и сельскохозяйственной деятельности в степных регионах. Для этого в Волго-Уральском степном нефтегазоносном регионе (наиболее репрезентативном) выделено 15 ключевых участков площадью около 100 км<sup>2</sup>, находящихся в тесном соседстве с сельскохозяйственными угодьями. На участках выявлены и оценены ключевые индикаторы техногенной трансформации, отражающие специфичность ландшафтно-географических условий степной зоны — площади нарушенных земель, фрагментированности ландшафтов, техногенных тепловых ареалов и пр. Показано, что бессистемное диффузно-линейное распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфическое пространство техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон влияния объектов нефтегазодобывающего производства. Выделено несколько стадий трансформации исходного ландшафта с различной степенью вовлечения компонентов в процесс трансформации и с формированием так называемой природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения. В исходную ландшафтную структуру включается техногенный блок, в том числе с необратимым внедрением конструкций ликвидированных и/или законсервированных скважин на завершающей стадии функционирования месторождения. Таким образом проявляется эквивинальность — равнозначное для ландшафтов завершение процесса нефтегазодобычи; происходит смена природного инварианта на природно-техногенный.

Проведён ряд тематических интервью с землепользователями-сельхозтоваропроизводителями, чьи земли расположены в нефтегазоносных районах Оренбургской области — ядра Волго-Уральского степного нефтегазоносного региона. Опрошено 13 землепользователей, чьи наделы соседствуют с инфраструктурой разрабатываемых месторождений (в ряде случаев объекты месторождения размещены непосредственно в границах сельхозугодий). Опрошенным предлагалось оценить по пятибалльной шкале, испытывают ли они ограничения при ведении сельскохозяйственной деятельности, связанные с соседством с месторождением (ограниченно используются земли, затруднён выпас скота, затруднено передвижение из-за испорченных нефтяными большегрузами дорог и пр.). Трое из опрошенных землепользователей заявили, что не ощущают негативного проявления нефтегазодобычи (влияние — 0 баллов), двое анкетированных оценили воздействие нефтегазодобычи в 1 балл,

один — в 2 балла, два фермера оценили негативное воздействие в 3 балла, один — в 5 баллов. Все неудобства опрошенные фермеры связывают с плохим состоянием дорог и сложностями с выпасом скота. При этом никто не заявил, что зачастую вынужденно выводит из сельскохозяйственного оборота участки продуктивных земель в зонах того или иного вида воздействия объектов нефтегазодобычи при превышении уровня допустимой нагрузки. Однако подобные последствия были выявлены авторами ранее, при анализе динамики пахотных угодий в зонах внедрения объектов нефтегазодобычи. Показано, что происходит забрасывание пахотных угодий пропорционально расширению площади нарушенных земель. Гипотеза такова, что существует критическое значение соотношения площадей пашни и земель, задействованных под размещение объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, при достижении которого осуществляется вывод поля из оборота.

С другой стороны, авторами в течение полевых сезонов 2020–2021 гг. отбирались пробы почвы и сельскохозяйственных культур (яровой и озимой пшеницы, кукурузы и ржи) на различных расстояниях от горизонтальных и вертикальных факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа (от 0,5 до 13 км), проводился анализ отобранных проб на содержание канцерогенов, нефтепродуктов, тяжёлых металлов. Превышений ПДК и фоновых значений анализируемых веществ в пробах не выявлено. Согласно этим данным, можно говорить об отсутствии ярко выраженного влияния факельных установок на сельскохозяйственную деятельность.

Интересен также результат, полученный авторами при исследовании гибели хищных птиц на ЛЭП (6–10 кВ нефтегазовой инфраструктуры). Ущерб сельскому хозяйству в результате деятельности нефтегазового промысла может быть выявлен в том числе через оценку объёма полезных для сельского хозяйства птиц, погибших на линиях электропередач, и оценку спасённого ими урожая сельскохозяйственных посевов от уничтожения грызунами. Наиболее массово гибнет на ЛЭП обыкновенная пустельга — один из главных уничтожителей вредных грызунов, поедающих урожай зерна. Расчётное количество особей, которые могут погибнуть на ЛЭП нефтегазового комплекса, — 65; они потребляют за сутки не менее 170 грызунов. Одна семья пустельги, потребляющая за сезон не менее 400 грызунов, могла бы спасти большую часть урожая от выедания мышевидными грызунами.

Подобные последствия отмечаются и в степных регионах ряда других нефтегазодобывающих стран, где исследователи также пытаются разработать единые стандарты анализа и прогноза геоэкологических и социально-экономических последствий функционирования нефтегазопромыслов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00122А, № ГР АААА-А20-120011390069-6), а также в рамках государственного задания ИС УРО РАН (№ ГР АААА-А21-121011190016-1).

## Стабильные изотопы как трассер в экосистемных исследованиях морской среды

Намятов А. А., Пастухов И. А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ alexey.nmyatov@yandex.ru

На сегодняшний день существует несколько подходов к оценке продукции фитопланктона. Первый основан на прямых измерениях первичной продукции в летний период двумя традиционными методами — кислородным и радиоуглеродным. Второй подход базируется на расчёте по хлорофиллу — как непосредственно измеренному в пробах морской воды, так и полученному в результате дистанционного зондирования Земли. Третий метод — модельные расчёты, включающие и гидродинамические модули, и экосистемные. Четвёртый подход основан на определении потребления биогенных элементов и расчёте первичной продукции с использованием средних стехиометрических соотношений. Данный подход привлекателен тем, что методы химического анализа определения биогенных элементов довольно просты, унифицированы в разных странах и хорошо отработаны для их применения в полевых условиях. Кроме того, накопились довольно большие базы данных, содержащие эти значения в различных акваториях Мирового океана. Этот метод базируется на исследованиях, выполненных в XX в. А. П. Виноградовым, Р. Флемингом и Л. Купером. В их публикациях представлены величины содержания фосфора, кремния и азота в фитопланктоне и в воде.

Существующие на сегодня методы определения биологической продуктивности по изменению концентраций биогенных элементов основаны на определении разницы между измеренным количеством биогенного элемента и тем его количеством, которое находилось в данном объёме воды до момента начала фотосинтеза. В ряде работ эти величины называют преформами. Метод применялся для оценки биологической продуктивности различных акваторий Мирового океана от Берингова, Охотского и Баренцева морей до вод, окружающих Антарктиду. Для использования этой методики необходимо знать зимние концентрации биогенных элементов, предшествующие весеннему цветению фитопланктона. В работах по Берингову морю эти величины определялись концентрациями на нижней границе холодного промежуточного слоя; в публикациях по акваториям вод, окружающих Антарктиду, концентрация определялась как средневзвешенная величина в слое осенне-зимнего конвективного перемешивания. В работе О. В. Титова по Баренцеву морю точка отсчёта была определена как «предстартовое содержание минерального фосфора в водной толще в районах, освободившихся от ледового покрова». Такие подходы по нескольким причинам не всегда применимы.

Представленный анализ показывает, что определение точки отсчёта концентраций биогенных элементов, от которой рассчитывается биологическая продуктивность, в методиках, используемых в настоящее время, имеет некоторую неопределённость, на устранение которой направлена настоящая работа.

Суть нового подхода состоит в следующем: по величинам солёности и значениям трассера  $\delta^{18}\text{O}$  с использованием уравнения смешения рассчитываются величины содержания базовых вод — атлантических, речных и ледовых (талых или изъятых при ледообразовании). Методики подобных расчётов описаны во многих зарубежных и российских публикациях, с некоторыми корректировками при преобладании процессов ледообразования, впервые обоснованными отечественными учёными (Е. О. Дубинина с соавторами), и обобщены для морей Баренцева, Карского и Лаптевых в работе А. А. Намятова. По величинам средних концентраций биогенных элементов в ядре базовых вод и по величинам содержания самих базовых вод рассчитывается «консервативная» концентрация отдельного элемента, которая обусловлена только смешением вод и не зависит от времени года. Эта величина и является точкой отсчёта изменения концентраций биогенных элементов. «Неконсервативная» составляющая — разность измеренной и консервативной составляющей — состоит, в свою очередь, из «продукционной» и «непродукционной» составляющих. «Непродукционная» вызвана обменом с придонными слоями или адвекцией, которая также отдельно учитывается. В значение «продукционной» составляющей вносится индивидуальная для данного места поправка за счёт регенерации биогенного элемента, протекающей параллельно с процессом фотосинтеза. Далее

рассчитываются стехиометрические соотношения азота, фосфора и кремния для различных районов Баренцева моря с разным видовым составом доминантных групп фитопланктона, на основе которых рассчитывается продукция.

Расчёты проведены для акватории Баренцева моря с использованием значений средних месячных концентраций фосфора фосфатного, азота нитратного, кремния силикатов, а также величин солёности из общедоступной базы данных США (NODC). Данные по изотопному параметру  $\delta^{18}\text{O}$  взяты также из общедоступной базы данных США (NASA). Вся акватория Баренцева моря была разбита на 28 районов —  $10^\circ$  по долготе и  $2^\circ$  по широте (от  $68^\circ$  до  $80^\circ$  с. ш. и от  $10^\circ$  до  $60^\circ$  в. д.). Для каждого из районов были определены средние месячные значения всех вышеперечисленных параметров. Далее рассчитывалось изменение запаса (интеграл) каждого биогенного элемента от месяца к месяцу от поверхности до нижней границы эвфотического слоя, определяемого по горизонту залегания изоксигины насыщенности воды растворённым кислородом в 100 %.

По результатам расчётов, всю акваторию Баренцева моря можно разделить на 8 районов с максимальными и минимальными значениями первичной продукции. Район с самой высокой продукцией расположен в центре западной части моря и расположен к востоку от Медвежинско-Шпицбергенского мелководья. Максимальные значения первичной продукции — до  $175 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$  — наблюдаются в сентябре. Кроме того, к районам с относительно высокими значениями первичной продукции можно отнести акватории, омывающие архипелаг Шпицберген с южной части (как с запада, так и с востока), и акваторию, которая омывает южную часть архипелага Земля Франца-Иосифа (до  $115 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$ ), а также район юго-восточной части моря (тоже до  $115 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$ ). При этом выделяются два района с относительно низкими значениями первичной продукции. Первый (до  $70\text{--}75 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$ ) прилегает к побережью Кольского полуострова от Варангер-фьорда до восточной части острова Колгуев. Второй (до  $80\text{--}85 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$ ) — это район на севере моря, между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, характеризующийся сезонными ледовыми явлениями.

**Верификация данных и выводы.** По данным модельных расчётов 1981 и 1984 гг., первичная продукция в районах Баренцева моря к северу от Норвегии не превышала  $100 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$  в год, а в 1994 г. достигала  $190 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$  в год. В работе М. Reigstad с соавторами показано, что в регионах, подверженных влиянию атлантических вод, диапазон годовой валовой первичной продукции составляет  $106\text{--}134 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$  в год, в то время как в районах, сезонно покрытых льдом, эта величина ниже —  $54\text{--}67 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$  в год. Представленный метод даёт сопоставимые с другими методами результаты оценки первичной продукции, но при этом обладает некоторыми преимуществами. Данный подход позволит в будущем оценивать не только биологическую продуктивность, но и климатическую изменчивость первичной продукции в различных акваториях.

## **Изучение и использование газа в водной толще морей для её стратификации**

**Обжиров А. И., Калгин В. Ю.**

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ [obzhirov@poi.dvo.ru](mailto:obzhirov@poi.dvo.ru)

---

В процессе изучения газовой составляющей в водной толще дальневосточных и других морей Мирового океана выявлена важная закономерность. Газ, который содержится в определённом водном слое, отличающемся от смежных слоёв по солёности и температуре, сохраняет концентрации газовых компонентов, накопившихся в слое из некоторого источника, при миграции на длительные расстояния. Казалось бы, слой с газом, перемещаясь по течению, подвергнется быстрой дегазации, и газ перейдёт в соседние слои или в атмосферу. Но это не так.

Приведём один пример. Изучение газовой составляющей в водной толще Охотского моря в районе шельфа и склона впадины Дерюгина позволило выявить, что более холодный слой воды на шельфе насыщается метаном и тяжёлыми углеводородами из нефтегазовой залежи. Этот слой с шельфа внедряется как интрузия в более тёплую водную толщу склона.

Вертикальный разрез водной толщи в районе склона показал, что аномалия углеводородного газа сохраняется именно в этом слое на расстоянии около 100 км. Когда геологи-нефтяники использовали этот газ как индикатор залежи на склоне, была сделана ошибка. Газ мигрировал со слоем на склон.

Этот пример и другие данные исследований газа в водной толще морей дают возможность проследить миграцию водного слоя и использовать газ как индикатор её стратификации, прогноза залежей углеводородов, зон разломов и экологических оценок.

## Многолетние изменения бентоса Кольского залива (Баренцево море)

Павлова Л. В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [sea1234@mail.ru](mailto:sea1234@mail.ru)

Прибрежные экосистемы — одни из наиболее пострадавших и изменённых во всём мире. Выяснение закономерностей их функционирования и способности возвращаться к исходному состоянию после длительного воздействия становится существенной задачей гидробиологических исследований. Кольский залив является примером трансформированной экосистемы. Ещё 100 лет назад он представлял собой водоём с богатой фауной. С развитием хозяйственной деятельности на берегах залива он стал местом сброса разнообразных загрязняющих веществ. В ответ донная фауна трансформировалась, менее выносливые к токсикантам виды сменились более устойчивыми, а в эвтрофированных районах изменилось обилие бентоса. Мониторинг состояния донной фауны залива периодически проводится с 1980-х гг. Он позволяет проследить, как формируется и поддерживается биоразнообразие в условиях хронического антропогенного воздействия. Эти данные важны и для прогнозирования возможных изменений в экосистеме залива.

Цель настоящего исследования — оценить многолетние изменения в донной фауне Кольского залива по опубликованным данным. В ходе выполнения работы были проанализированы: распространение донных сообществ мягких грунтов; динамика видовой плотности, биомассы, а также таксономической и трофической структуры макрозообентоса; динамика загрязнения вод и донных осадков залива.

Анализ литературы показал, что современный уровень загрязнения вод и грунта на большей части Кольского залива является умеренным или слабым. Повышенное содержание токсикантов в донных осадках отмечается на локальных участках (порты, военно-морские базы). Фоновое содержание в грунте нефтепродуктов — всё ещё высокое (не ниже уровня 1980-х гг.). Объём неочищенных сточных вод, поступающих в основном в южную (кутовую) часть, уменьшился из-за снижения численности населения и сокращения производства.

Несколько десятилетий загрязнения Кольского залива привели к коренной перестройке донных сообществ. Признаков их восстановления почти не наблюдается. В 1930-х гг. в сублиторали Кольского залива от кута к устью последовательно сменяли друг друга сообщества двустворчатых моллюсков *Arctica islandica* и *Ciliatocardium ciliatum*, морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis* и полихет *Nicomache lumbricalis*, двустворчатых моллюсков *Astarte crenata* и полихет *Nothria hyperborea*, а на выходе из залива — *A. crenata* и полихет *Maldane sarsi*. В 1995 г. в той же последовательности были зарегистрированы другие сообщества — двустворчатых моллюсков *Macoma calcarea*, немертин, полихет *Nephtys ciliata* или *Laonice cirrata*, а также двустворчатых моллюсков *Astarte borealis*. В 2017 г. во внутренней части залива наблюдали восстановление массовых поселений двустворчатых моллюсков *A. islandica*. Предположительно, рост численности этого бореального вида произошёл под влиянием последнего продолжительного потепления Арктики. Помимо этого сообщества, во внутренней части залива местами зарегистрировано доминирование полихет *Alitta virens* или эхиур *Echiurus echiurus*. Вся средняя часть залива и половина устьевой его части были заняты сообществом полихет *N. ciliata*, ближе к открытому морю в бентосе доминировали полихеты *Polycirrus arcticus* или молодёжь нескольких видов двустворчатых моллюсков. Двустворчатые моллюски рода *Astarte* утратили своё доминирующее положение в Кольском заливе. Фоновые виды залива также существенно изменились с начала XX в. Тогда в массе часто встречались представители разных таксономических групп (полихеты, сипункулы, офиуры, двустворчатые моллюски). Через несколько десятков лет в качестве фоновых отмечены только 9–10 видов полихет, и их состав практически не изменился с середины 1990-х гг. по настоящее время. Единственный вид, в массе и широко встречавшийся в заливе во все периоды исследования, — полихета *N. ciliata*.

С середины 1990-х гг. в Кольском заливе наметилась тенденция роста видового разнообразия и показателей видовой плотности бентоса. В настоящее время биоразнообразие и видовая плотность уже в среднем колене достигают значений, которые характерны для ненарушенных инфаунных сообществ побережья Кольского полуострова. В 2017 г. в Кольском заливе зарегистрированы новые (преимущественно бореальные) виды, не отмеченные в предыдущих исследованиях. Их появление связано с потеплением Арктики. Показатели биомассы бентоса с 1930-х гг. наименее изменились в средней и северной (устьевой) части Кольского залива. В южной части, для которой характерны существенное варьирование естественных факторов среды из-за влияния речного стока, а также сильное эвтрофирование вод, биомасса значительно увеличилась по сравнению с таковой начала XX в. В последние 20 лет она сохраняется здесь на уровне  $100\text{--}120 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$ . Между тем в 1930-х гг. её значения находились в пределах  $25\text{--}50 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$ , а небольшое по площади локальное увеличение до  $> 150 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$  отмечалось тогда лишь в понижении дна в районе повышенного осадконакопления. В средней и северной частях в последние 20 лет биомасса остаётся невысокой, менее  $40 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$ ; в 1930-х гг. она местами превышала  $50 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$ , особенно в устьевой части и на склонах залива.

С 1930-х до 1980–1990-х гг. доля иглокожих в биомассе бентоса снизилась в 3–5 раз, сипункулы практически исчезли в пробах, а доля полихет увеличилась почти вдвое. С 1990-х гг. отмечено снижение доли двусторчатых моллюсков на фоне увеличения их видового разнообразия. В целом доля данной группы в общей биомассе сейчас в 2 раза ниже, чем в 1930-х гг. Снижение биомассы *Bivalvia* может быть связано с камчатским крабом (чужеродный вид), который в Кольском заливе стал многочисленным как раз в 1990-х гг. и у которого двусторчатые моллюски — излюбленный кормовой объект. Изменение трофической структуры бентоса можно проследить только с 1980-х гг. Отмечено возрастание доли грунтоедов в общей биомассе к 2017 г. (до 16 %), что можно рассматривать как ещё одно доказательство улучшения ситуации с загрязнением залива.

Таким образом, несмотря на постепенное снижение загрязнения Кольского залива, восстановления донных сообществ, распространённых в первой половине XX в., в большей части акватории не наблюдается. Рост разнообразия бентоса с 1990-х гг. является реакцией на тёплый период в Арктике, а изменения в трофической структуре в виде увеличения доли грунтоедов — следствием улучшения экологической ситуации. Существенных изменений в обилии бентоса не отмечено. В целом изменения в донной фауне Кольского залива неоднозначны: помимо признаков улучшения, появились свидетельства воздействия нового дестабилизирующего фактора — камчатского краба (его трофическая активность может влиять на структуру и, вероятно, на обилие бентоса, особенно двусторчатых моллюсков).

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН.



## Многолетняя пространственно-временная изменчивость планктонных полей Мирового океана

Пионтковский С. А.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

✉ [spiontkovski@mail.ru](mailto:spiontkovski@mail.ru)

Мониторинг биологических ресурсов Мирового океана во многом базируется на использовании интегративных характеристик. Это предопределено техническими возможностями применяемых экспресс-методов, не требующих длительной обработки потока данных. Дистанционное зондирование хлорофилла *a* (показателя биомассы фитопланктона) спутниковыми сканерами, а также контактное зондирование структуры поля флюоресценции и биолюминесценции с помощью погружных зондов, поплавков ARGO и дронов различных конструкций лежат в основе мониторинга планктонных полей в рамках действующих международных программ. Интегративные характеристики широко используются в прогностических моделях биологических ресурсов и биопродуктивности океана. Их доступность (в виде международных баз данных) способствует этапным обобщениям, отражающим состояние знаний о пространственно-временной изменчивости Мирового океана на уровне его интегративных характеристик.

В экологическом мониторинге океана на уровне его интегративных характеристик целесообразно использовать концепцию поля. Это методологически приближает морских экологов к сравнениям биологических характеристик с гидрофизическими (полями температуры, солёности, скорости ветра, кинетической энергии и др.), во многом определяющими многомасштабную динамику океана. При этом под полем понимаются значения переменной в разных точках пространства, меняющиеся во времени.

В докладе, построенном на анализе интегративных характеристик из международных баз данных (Giovanni, Coprod, Fishbase, WOD 2018, OBIS, PANGAEA, Census of Marine Life и др.), представлены:

- 1) оценки крупномасштабной пространственной неоднородности поля хлорофилла *a* Мирового океана и его изменчивости за 50 лет, включая контактные измерения в экспедициях (1960–2020) и дистанционный мониторинг сканерами SeaWiFS и MODIS (1997–2020);
- 2) оценки крупномасштабной пространственной неоднородности поля биолюминесцентного потенциала, поля биомассы зоопланктона и тенденции их изменчивости за 60-летний период контактных измерений (1960–2020);
- 3) сравнительный анализ трендов межгодовой изменчивости планктонных полей Атлантического, Индийского и Тихого океанов (1960–2020).

Наличие трёх качественных типов трендов (положительных, отрицательных и нулевых) соотносено со структурой региональных систем геострофических течений, полем их кинетической энергии, толщиной верхнего перемешанного слоя и характеристиками атмосферных аномалий (NAO, PDO, ENSO). В целом отмечено преобладание отрицательных трендов межгодовой изменчивости интегративных характеристик планктонных полей на фоне глобального потепления, усиления температурной стратификации на границе эвфотического слоя и роста теплозапаса Мирового океана.

На основе построенных трёхмерных диаграмм нормированной дисперсии биомассы фитопланктона обсуждаются тренды многомасштабной пространственно-временной изменчивости планктонных полей.

## О питании мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819

Приймак А. С., Поспелова Н. В.

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

✉ [nvpospelova@mail.ru](mailto:nvpospelova@mail.ru)

Фитопланктон составляет основу рациона питания мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 и является средообразующим фактором формирования естественных популяций двустворчатых моллюсков. В соответствии с результатами исследований Севастопольской бухты, наибольший вклад в суммарную численность и биомассу фитопланктона в холодный и тёплый периоды года вносили диатомовые микроводоросли. Что касается питания моллюсков, то в ряде работ отмечается несовпадение между видовым составом микроводорослей в содержимом желудков моллюсков и воде. Так, при изучении питания *M. galloprovincialis* в подвесной культуре в прибрежье Севастополя было установлено, что максимальные показатели подобия видового состава микроводорослей в планктоне фермы и в содержимом желудков моллюсков характерны для февраля 2020 г. (72 %), а минимальные — для весны и лета 2020 г. (42 %). На примере динофитовых микроводорослей рода *Prorocentrum* было показано, что в определённые месяцы в желудках мидий доминировал *Prorocentrum compressum*, хотя концентрация его клеток в воде была минимальной. И наоборот: клетки *Prorocentrum cordatum* практически в течение всего периода исследований встречались в воде в больших количествах, а в желудках их концентрация была минимальной.

В литературе описано большое количество примеров несовпадения видового состава микроводорослей в содержимом желудков различных видов митилид и в планктоне, что может свидетельствовать об избирательности потребления определённых групп водорослей. Таким образом, этот вопрос изучен не до конца и требует дальнейшего проведения экспериментов и наблюдений, что и обуславливает цель данной работы.

Отбор проб производился с января по декабрь 2021 г. в Артиллерийской бухте Чёрного моря (44°36'54" с. ш., 33°31'12" в. д.). Обработка проб осуществлялась в соответствии с методикой, описанной ранее. Для сравнения состава микроводорослей в желудках и планктоне использовали индекс Брея — Кёртиса и индекс встречаемости.

В морской воде в течение всего исследуемого периода было обнаружено 34 вида микроводорослей, из них 25 видов диатомовых, 8 видов динофитовых и 1 гаптофитовая микроводоросль. Отмечено доминирование диатомовых в планктоне по численности, биомассе и количеству видов в течение всего года. В желудках обнаружено 62 вида микроводорослей, из них 35 — диатомовые, 23 — динофитовые, 4 — представители других отделов. В целом видовой состав микроводорослей в желудках был более разнообразным по сравнению с таковым воды. В процессе выполнения данной работы было выявлено несоответствие между видовым составом морской воды и содержимым желудков моллюсков. В воде в течение всего года по количеству видов, численности и биомассе доминировали диатомеи. В желудках моллюсков по количеству видов в январе, феврале, апреле, сентябре и ноябре преобладали диатомовые микроводоросли, с мая по июль и в октябре — динофитовые. Для шести наиболее часто встречаемых в желудках видов микроводорослей (*Prorocentrum micans*, *P. compressum*, *Prorocentrum balticum*, *Licmophora ehrenbergii*, *Licmophora flabellata* и *Scrippsiella acuminata*) были рассчитаны индексы встречаемости. В желудках мидий виды рода *Prorocentrum* встречались с 83–100%-ной вероятностью, тогда как в воде значение индекса не превышало 10 %, за исключением такового для *P. micans* (60 %). Для остальных вышеперечисленных видов частота встречаемости в желудках составляла 50–58 %, а в воде показатель был не выше 10 %. Индекс сходства Брея — Кёртиса, рассчитанный для морской воды и желудков, варьировал от 0 до 0,33, что говорит о низком уровне сходства флоры в содержимом желудков и планктоне.

В желудках моллюсков в течение года также были обнаружены многочисленные виды бентосных диатомовых микроводорослей — даже в то время, когда в планктоне воды доминировали колониальные планктонные мелкоклеточные (*Pseudo-nitzschia pungens* и *Skeletonema costatum*) и крупноклеточные (*Proboscia alata*) диатомовые.

Таким образом, на фоне преобладания диатомовых микроводорослей в фитопланктоне морской воды в желудках мидии часто отмечается доминирование динофитовых, что говорит о высокой роли микроводорослей данного отдела в питании моллюсков. На основе проведённых исследований можно сделать предположение о возможной избирательности в питании мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (темы № 121040500247-0 и 121030300149-0).

## Питание и пищевое поведение щитоносного ската *Bathyraja parmifera* в северной части Охотского моря в летний период 2021 г.

Русяев С. М., Прикоки О. В.

Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Магадан, Россия

✉ [lpb@magadanniro.ru](mailto:lpb@magadanniro.ru)

Северная часть Охотского моря — район, имеющий важное промысловое значение. Средне-годовалый вылов ценных видов рыб в Северо-Охотоморской подзоне составляет, по данным отраслевой системы мониторинга Росрыболовства, 625 тыс. т, однако её биоресурсы изучены недостаточно. Ко второму десятилетию XXI в. имеются сведения по многим видам рыб, при этом защищены только две диссертации, посвящённые основному промысловому объекту — охотоморской сельди. Наличие поверхностного льда на протяжении 5–6 месяцев сокращает период промысловой деятельности и, соответственно, уменьшает время для исследований распределения и численности, а также биологии и экологии основных промысловых объектов (сельдь, минтай, треска, навага, корюшка, камбалы).

Одним из ключевых видов ихтиоцены северной части Охотского моря является щитоносный скат (*Bathyraja parmifera*) — мезобентальный, широкобореальный приазиатский вид, занимающий в экосистеме Охотского моря нишу хищника верхнего трофического уровня. Щитоносный скат, наряду с черным палтусом, является всесезонным хищником в северной части Охотского моря, занимая 15-е место по среднегодовалой биомассе скоплений среди массовых видов рыб. Специализированный промысел ската в северной части моря не ведётся, а его официальный вылов в Северо-Охотоморской подзоне (около 1 тыс. т в 2021 г.) складывается из прилова на ярусном промысле палтуса, трески и макрусов. Распределение и биологические особенности этого вида изучались на материалах, полученных в южной и восточной частях Охотского моря, а также в Беринговом море. Лишь сезонное распределение щитоносного ската анализировалось ранее в северной части моря. Питание щитоносного ската в северной части Охотского моря ранее исследовалось недостаточно подробно — без указания географического положения пойманных рыб. Таким образом, информации по биологии и экологии этого хищника в северной части моря немного, что и предопределило постановку цели: изучить состав и рацион его питания в летний период.

Траловая съёмка (ТС), выполненная в августе — сентябре 2021 г., проводилась в районе, который ограничен координатами от 55°40' до 58°30' с. ш. и от 141°5' до 153°5' в. д. На 80 траловых станциях (диапазон глубин — 100–250 м) исследовано 144 экз. щитоносного ската. Обработку содержимого желудков осуществляли согласно «Руководству по изучению питания рыб». Суточный рацион рыб рассчитывали по методике, принятой в ТИПРО. В районе исследований отсутствовал промысел минтая и сельди, а экземпляры этих видов, обнаруженные в желудках ската, не имели признаков, которые характерны для отходов промысла.

Длина особей щитоносного ската в уловах трала варьировала от 12 до 115 см (масса — от 90 до 11 200 г), и в размерном составе образовались три размерных когорты, послужившие основой для группировки материала. В уловах преобладали рыбы длиной тела более 80 см. При таком значении длины тела около 50 % самцов этого вида в Охотском море достигают половой зрелости. Наличие яйцевой капсулы отмечено у 15 % самок половозрелого размера. Соотношение самок и самцов у рыб размерной когорты 75–115 см составило 1 : 1,2, что согласуется с имеющимися данными. В летний период 2021 г. распределение щитоносного ската являлось типичным: отмечены незначительные скопления как молоди, так и взрослых особей, что также согласуется с результатами предыдущих исследований. Распределение щитоносного ската сопряжено, вероятно, с действием Северо-Охотского течения и Северо-Охотского противотечения: нами выделены западное и восточное скопления рыб, на долю которых приходится более 80 % случаев его поимок в съёмке.

У старшей размерной когорты ската (75–115 см) в питании доминировали неполовозрелая сельдь и минтай (59 % встречаемости кормовых объектов). Встречаемость креветки *Pandalus borealis* составляла 17 %, а *Neocrangon communis* и *Argis ochotensis* — суммарно 9 %. Скаты с размерами

26–50 см питались в равной степени и рыбой, и беспозвоночными. У младшей когорты щитоносного ската (до 20 см) в питании преобладали креветки (более 80 %). В питании всех размерных когорт ската присутствовала молодь рыб (слизеголов *Bothrocara* sp. и круглороты *Eumicrotremus* sp.), осьминогов и крабов. Пространственных и временных различий, характеризующих особенности питания щитоносного ската, выявить не удалось. Между тем частота встречаемости объектов питания в желудках ската имела некоторую зависимость от плотности их скопления (экз. на траление).

Частота встречаемости пустых желудков ( $n = 21$ , 14 % от исследуемых желудков) увеличивалась в вечерних тралениях. Вероятно, активное потребление пищи щитоносным скатом приходится на период, когда объекты его питания более подвижны, что повышает вероятность удачной атаки хищника за счёт их скоплений. Так, у минтая пики потребления корма чаще наблюдаются в тёмное время суток, а у сельди пищевая активность наблюдается также и ночью.

Полученные данные позволяют составить представление о пищевом поведении щитоносного ската. Выявлено, что абсолютно вся сельдь и минтай заглатываются скатом с головы жертвы. Случаи обнаружения в желудочно-кишечном тракте хищника двух рыб (сельдь) составили лишь 10 % от всех случаев питания рыбой. Эти особенности и вышеуказанная закономерность питания ската при повышенных плотностях жертв подчёркивают особую пищевую стратегию хрящевых рыб: не имея выдающихся плавательных способностей, скаты крайне экономно используют энергетические ресурсы организма для передвижения и охоты.

Предварительно рассчитанные значения суточного пищевого рациона (СПР) закономерно снижались по мере увеличения массы тела рыб. Для особей малого, среднего и крупного размера выделенных когорт щитоносного ската суточный пищевой рацион составил 2,5; 1,7 и 1,4 % соответственно, что близко к значениям, полученным для этого вида в Беринговом море. Трофический уровень (ТУ) щитоносного ската в базе данных <https://fishbase.org/> составляет в среднем ( $4,2 \pm 0,5$ ). Значение несколько отличается от результата наших расчётов (4,4), что указывает на важность корректировки этой базы с учётом роли вида в экосистеме той или иной акватории.

Объективные данные о численности популяции щитоносного ската, составе и рационах его питания во всей акватории Охотского моря откроют путь к получению величин потенциального выедания этим видом ценных промысловых рыб. Такая информация будет полезна для создания многовидовых моделей управления промысловыми запасами в Охотском море, что поспособствует развитию экосистемного подхода при управлении морским рыболовством.

## Почвообразующий потенциал территории пещерного города Тепе-Кермен

Сафонова М. С.<sup>1</sup>, Ергина Е. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ [mari\\_malashina@bk.ru](mailto:mari_malashina@bk.ru)

В настоящее время всё большее количество территорий подвергается антропогенному воздействию в той или иной степени, что заставляет обратить внимание на складывающуюся экологическую ситуацию и на способность преобразованных ландшафтов к самовосстановлению. Антропогенная деятельность оказывает значительное влияние на природные территориальные комплексы как прямым, так и косвенным образом. В первую очередь она затрагивает изменение почвенного и растительного покровов как компонентов ландшафта.

Воспроизводство почв — непрерывный процесс формирования и прогрессивного развития речентных почвенных свойств, в том числе ресурсов почвенного плодородия, под влиянием факторов почвообразования. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах — это природный процесс, который является следствием восстановления экологического баланса выведенных из равновесия геосистем, «отброшенных» по шкале внутреннего времени к предшествующим или даже к начальным стадиям развития.

Все факторы, влияющие на процесс ренатурализации, разделяют на две категории — природные и антропогенные. В целом к климатообразующим факторам, влияющим на восстановление ландшафта, относят рельеф, абсолютную высоту местности, континентальность климата, тип атмосферной циркуляции, количество солнечной радиации и выпавших осадков.

В качестве ключевого участка выбран пещерный город Тепе-Кермен, репрезентативный своим положением и наличием всех форм рельефа. Кроме того, на его территории встречаются основные типы природопользования, которые будут учитываться при дальнейших исследованиях. Он расположен в юго-западной части Крымского полуострова, в Бахчисарайском районе. Останцовая гора, на которой он находится, относится ко второй гряде и имеет высоту над уровнем моря 534 м.

Для определения возможностей экосистемы к самовоспроизводству почв и растительности в антропогенно нарушенных ландшафтах нами применялся метод математического и картографического моделирования биоэнергетического потенциала. Почвы — один из важнейших индикаторов состояния ландшафта. Одним из основных показателей восстановления почвенного покрова является предельная мощность гумусового горизонта, так как она наблюдается в состоянии климакса, в условиях равновесия факторов почвообразования и полной реализации почвообразующего потенциала этих факторов. При сравнении полученных в полевых условиях данных о состоянии почв с расчётными можно получить представление о степени восстановления почвенного профиля.

При установлении связей в системе почва — климат важно учитывать нелинейность влияния показателей тепла и влаги на эффективность почвообразующего процесса. Часто именно этой причиной можно объяснить невысокую результативность почвенно-климатических корреляций при использовании некоторых комплексных показателей, не говоря уже о более простых характеристиках тепло- и влагообеспечения почвенно-географических зон. В. Р. Волобуевым предложен биоэнергетический подход и разработан способ оценки эффективности почвообразовательного процесса с помощью функции величины затрат радиационной энергии на почвообразование. В расчётах предельной мощности гумусового горизонта в горных экосистемах основным показателем являлась энергия, затрачиваемая на почвообразование. Её расчёт отражает вклад гидротермических факторов в формирование гумусового горизонта почв.

На основе ранее описанных показателей рассчитывается скорость почвообразования; она характеризует процессы самовосстановления почв при различных комбинациях субстратно-фитоценологических условий. Расширенное воспроизводство почв достигается только при положительных скоростях почвообразования и обеспечивается сочетанием вклада био-, лито- и фитокомбинаций экосистемы, а также положительным трендом вещественно-энергетических потоков.

Используя соответствующие ранее упомянутым показателям формулы, была вычислена энергия, расходуемая на почвообразование, а на её основе — предельная мощность гумусового горизонта и скорости почвообразования на территории пещерного города Тепе-Кермен со склонами различной крутизны и экспозиции (северной, южной, восточной и западной). Затем результаты были наложены на карту местности.

Так как величина энергии зависит от количества поступающей солнечной радиации и осадков, мы закономерно получили наибольшие значения на вершине плато и на равнинных горизонтальных участках территории. Наименьшие значения зарегистрированы на затенённых северо-западных склонах и, несмотря на юго-западную ориентацию, на крутых оползневых склонах, не покрытых растительностью.

Распределение значений предельной мощности гумусового горизонта имеет схожий характер с таковым показателей энергетики — с максимальными значениями в лесах и на более равнинных участках. Минимальные значения фиксируются на крутых склонах.

При рассмотрении карты распределения скорости почвообразования на Тепе-Кермене отмечается, что на участках с уже сформированной растительностью и почвенным покровом её значения равномерно небольшие, так как мощность гумусового горизонта здесь достигает климатических значений. Значения закономерно возрастают на осыпях и на участках с маломощными почвами, но здесь положительный тренд возрастания гумусового горизонта нивелируется природными экзодинамическими процессами, развивающимися на склонах под действием гравитационных сил. Важным фактором является и количество солнечной радиации: оно также обуславливает относительно высокие значения на юго-западном склоне.

Ко всему изложенному следует добавить, что биоклиматические условия в целинных, ещё «до-земледельческих» условиях зависели от величин осадков и тепла в каждой конкретной точке поверхности склонового ландшафта. Именно поэтому не только нынешняя, но и исходная мощность гумусового горизонта почвы, содержание органического вещества в ней и другие её свойства были сугубо индивидуальными величинами для каждой точки целинного водораздела, склона любой экспозиции.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» (№ 121040100327-3).



## **Особенности распределения CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> по вертикальному разрезу осадков Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей**

**Севастьянов В. С., Федулов В. С., Федулова В. Ю., Кузнецова О. В., Наймушин С. Г.,  
Душенко Н. В., Кривенко А. П., Малова А. И., Ткаченко Е. А.**

Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия

✉ [vsev@geokhi.ru](mailto:vsev@geokhi.ru)

---

Изучено распределение CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> по вертикальному разрезу колонок морских осадков в различных частях трёх арктических морей — Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского — до 4 м ниже дна. Показано, что между этими газами существуют положительные и отрицательные корреляции, что является доказательством наличия микробиальных процессов генерации газов. Рассмотрены возможные реакции параллельного образования CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в процессе сульфатредукции, ацетогенного метаногенеза и метаногенеза с участием диметилсульфида.

Научные исследования органического вещества и газов в морских осадках арктических морей показывают, что процессы генерации газов в морских осадках до сих пор малопонятны. Автором Фёдоровым Ю. А. доказано, что в верхнем горизонте донных осадков протекают аэробные процессы, а ниже — анаэробные.

Углекислый газ и метан являются конечными продуктами распада органических веществ. В результате их неравномерного распределения в морской осадке возникают и поддерживаются градиенты концентраций, которые определяют существование диффузионных потоков CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> как в самих осадках, так и в системе донные отложения — придонная вода. Выделение углекислого газа и метана из донных отложений происходит во всех водных экосистемах. Это приводит к повышению концентрации CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> в атмосфере и сопровождается глобальным потеплением.

## Видовой состав и структура зоопланктона в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона (Балтийское море) в 2021 г.

Семенова А. С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия  
<sup>2</sup>Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

✉ [a.s.semenowa@mail.ru](mailto:a.s.semenowa@mail.ru)

Исследования зоопланктона были выполнены в 2021 г. на морской площадке Калининградского карбонового полигона, расположенной в Гданьской впадине Балтийского моря. Станция, на которой были проведены исследования, подвержена воздействию сразу нескольких процессов. С одной стороны, полигон находился под влиянием выноса вод со стороны Калининградского морского канала и трансформированных вод реки Висла из Вислинского залива — одной из самых крупных и высокопродуктивных лагун Балтийского моря. С другой стороны, площадка полигона расположена в Гданьской впадине в зоне крупной «метановой аномалии»: содержание метана на дне в этом районе почти в 10 раз превышает фоновые показатели; также происходит его диффузия в водную толщу, а часть органического вещества, выносимого из Вислинского залива и непосредственно создаваемого в водной толще этого района, напротив, захоранивается в грунтах и пополняет метанонасыщенный слой. Кроме того, полигон расположен в глубоководной части Гданьской впадины (глубины более 80 м), поэтому район находится под влиянием заточек вод из Северного моря в Балтийское. Эти заточки привносят в Балтийское море не только более холодные, солёные и насыщенные кислородом воды, но и свою специфическую флору и фауну. В итоге в зоне карбонового полигона происходит смешение трёх фаун — солоноватоводной из Вислинского залива, непосредственно фауны района исследования, то есть Балтийского моря, и попадающей с затоками из Северного моря.

Сбор и обработку проб зоопланктона выполняли по стандартным методикам. Пробы зоопланктона отбирали с апреля по ноябрь 2021 г. батометром на 8 горизонтах фотического слоя (0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20 и 25 м). Также дополнительно были отобраны пробы над термоклинном и галоклином, на 4 м выше дна (дно + 4 м) и у дна. Для установления доли мёртвых особей в зоопланктоне сразу после отбора пробы зоопланктона окрашивали нейтральным красным красителем. При обработке проб большинство организмов идентифицировали до вида (при невозможности — до более крупного таксона) с использованием современных российских и зарубежных определителей и атласов. Для расчёта весовых характеристик применяли формулы зависимости длина — масса или приравнивали фигуру организма к сходной геометрической фигуре. Таксономическая принадлежность идентифицированных беспозвоночных приведена в соответствии с World Register of Marine Species (WoRMS).

Всего с апреля по ноябрь 2021 г. в зоопланктоне в районе карбонового полигона отмечено 29 видов и таксонов более высокого ранга, характерных для этого региона. Число таксонов возросло от весеннего периода к началу лета с 16 до 21, оставалось примерно на том же уровне вплоть до начала октября и снижалось к концу октября — ноябрю до 16–12. Наибольшее видовое разнообразие во все сезоны было отмечено в поверхностных и средних горизонтах; к придонным горизонтам оно снижалось. Наиболее массовыми видами во все сезоны были веслоногие ракообразные *Acartia* spp. (в основном *A. longiremis*), *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus* и их науплии; локальные всплески развития весной и осенью давали *Synchaeta baltica*, *Evadne nordmanni* и *Fritillaria borealis*, летом — *Keratella quadrata* и *Bosmina (Eubosmina) coregoni*. В зоопланктоне района исследований в поверхностных горизонтах отмечены виды, которые привносились с пресноводным стоком из Вислинского залива; наиболее массовым из них была *Eurytemora affinis*, в придонных горизонтах это был вид — индикатор затока вод из Северного моря *Oithona similis*, а в летний период, при максимальном прогреве воды — виды-вселенцы *Cercopagis pengoi* и *Evadne anonyx*.

По численности и биомассе в весенний период доминировали коловратки, в летний сезон — ветвистоусые и веслоногие ракообразные, в осенний период — веслоногие ракообразные при высокой доле ветвистоусых ракообразных и коловраток в отдельные периоды и на отдельных горизонтах. Как

правило, наибольшая доля коловраток и ветвистоусых ракообразных была отмечена в поверхностных и средних горизонтах над термо- и галоклином, веслоногих — на средних и придонных горизонтах, ниже термо- и галоклина.

Численность и биомасса зоопланктона в слое 0–25 м были максимальными в апреле 2021 г. [(249,0 ± 53,9) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (1125 ± 225) мг·м<sup>-3</sup>], когда была отмечена весенняя вспышка развития коловраток *S. baltica*. К июню численность значительно снижалась, тогда как биомасса падала не столь значительно — до (91,8 ± 14,5) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (940 ± 106) мг·м<sup>-3</sup>. В этот период в зоопланктоне в массе развивались *B. (E.) coregoni*, *C. hamatus* и *T. longicornis*. К июлю численность и биомасса зоопланктона в слое 0–25 м изменялись незначительно [(75,5 ± 33,2) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (994 ± 385) мг·м<sup>-3</sup>] при доминировании того же комплекса видов. К концу августа численность и биомасса зоопланктона снижались (до (51,8 ± 15,3) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (399 ± 96) мг·м<sup>-3</sup>), в массе развивались *K. quadrata*, *Podon intermedius* и *Acartia* spp. В начале октября численность и биомасса зоопланктона в слое 0–25 м значительно снижались (до (6,5 ± 2,5) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (160 ± 50) мг·м<sup>-3</sup>) при доминировании *E. nordmanni* и *Acartia* spp.; к концу октября количественные показатели зоопланктона возрастали (до (16,0 ± 1,7) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (272 ± 47) мг·м<sup>-3</sup>) при доминировании тех же видов и *T. longicornis*. К концу ноября, с завершением вегетационного сезона, численность и биомасса зоопланктона в слое 0–25 м достигали своих минимальных значений [(4,9 ± 0,4) тыс. экз.·м<sup>-3</sup> и (74 ± 9) мг·м<sup>-3</sup>] при наиболее массовом развитии *T. longicornis*.

В весенний период 2021 г. максимум численности и биомассы был отмечен в поверхностном горизонте и на горизонте 2,5 м; в июне — в поверхностном горизонте и на горизонтах 5 и 10 м; в июле — в слое 0–10 м; в конце августа — на горизонтах 2,5, 7,5 и 10 м; в начале октября — на горизонте 2,5 м; в конце октября — в поверхностном горизонте и на горизонте 7,5 м. В конце ноября в слое 0–25 м распределение численности и биомассы зоопланктона было равномерным, пики численности и биомассы отмечены в зоне над термо- и галоклином и у дна.

Доля мёртвых особей с апреля по ноябрь 2021 г. в среднем для слоя 0–25 м изменялась в пределах 5–8%. Минимальные значения зарегистрированы в начале вегетационного периода, максимальные — в конце августа 2021 г., когда происходило массовое отмирание летнего комплекса теплолюбивых видов. Доля мёртвых особей была неравномерно распределена по горизонтам, скопления мёртвого зоопланктона были отмечены как в поверхностном горизонте в июле и предположительно связаны с воздействием цветения водорослей, так и в более глубоководных горизонтах и у дна в связи с оседанием умерших организмов, а также в зоне над термо- и галоклином как границах раздела, над которыми вследствие разницы плотности происходит накопление взвешенной органики.

Работа выполнена в рамках пилотного проекта по созданию полигонов для разработки и испытательных технологий контроля углеродного баланса (Приказ Минобрнауки России от 05.02.2021 № 74).

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/138.pdf>.



## Пространственная, видовая и трофическая структура сублиторальных и нижнелиторальных сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море)

Столяров А. П.

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

✉ [macrobenthos@mail.ru](mailto:macrobenthos@mail.ru)

Прибрежные лагуны относятся в основном к высокопродуктивным, динамичным и переходным экосистемам (от морских к солоноватоводным и пресноводным). В геологическом времени прибрежные лагуны являются неустойчивыми экосистемами. В течение относительно короткого временного периода они могут менять свою форму и размеры под воздействием климатических изменений, приливно-отливных явлений, процессов изменений гидрологических и солевых условий водоёма, а также под влиянием антропогенных факторов.

Цель настоящей работы состояла в изучении особенностей видового состава, разнообразия, пространственной и трофической структуры макробентоса сублиторали и нижнего горизонта литорали в пяти лагунных экосистемах Белого моря. Дополнительно в этой работе были изучены две лагуны с различной степенью изолированности от моря, что позволило более детально и полно проанализировать закономерности видовой, пространственной и трофической структуры макробентоса этих уникальных и сложных объектов.

Исследование проводили в Кандалакшском заливе Белого моря в районе Беломорской биологической станции МГУ в пяти лагунах летом 2016–2019 гг.

В изученных лагунных экосистемах было обнаружено 52 вида зообентосных животных и 6 видов морских трав и водорослей. Наибольшего видового разнообразия достигали полихеты (19 видов), моллюски (10 видов брюхоногих и 5 видов двустворчатых) и ракообразные (6 видов). Значительную роль в сообществе макробентоса играли солоноватоводные олигохеты (2 вида) и хириномиды (3 вида).

Проведённое исследование выявило, что в сублиторали наибольшим разнообразием, общей плотностью и биомассой видовых популяций характеризуется наименее отгороженная от моря лагуна, расположенная на выходе из кутовой области Кислой губы, где больше было встречено морских, менее эвригалинных видов. Наименьшее разнообразие видов отмечено в наиболее отгороженных и заиленных лагунах Никольской губы и Зелёного мыса, где преобладали солоноватоводные и морские эвригалинные виды. Промежуточное положение занимали лагуна Ермолинской губы и лагуна, расположенная возле Ершовского озера. В литоральной полосе общие показатели структуры сообщества макробентоса (общая плотность, биомасса и в меньшей степени видовое разнообразие), в отличие от показателей сублиторали, увеличивались от менее зарегулированных и открытых экосистем к более закрытым системам. Исключением является лагуна Никольской губы, значительное зарегулирование и заиление которой приводит к существенному уменьшению видового разнообразия и к снижению общей плотности и биомассы сообщества макробентоса.

Трофическая структура макробентосных сообществ исследованных лагунных экосистем характеризовалась сходной структурой: в сублиторали преобладала группа собирающих детритофагов (*Macoma balthica*, *Pectinaria koreni*, *Pontoporeia femorata*, *Terebellides stroemi* и *Hydrobia ulvae*) с тенденцией к увеличению от более открытых лагун (лагуны кутовой области Кислой губы — возле Ершовского озера и на выходе) к более отгороженным от моря лагунам (лагуны Ермолинской губы, Никольской губы и Зелёного мыса). В нижней литорали, более подверженной приливно-отливному воздействию по сравнению с сублиторалью, было встречено больше неподвижных (*Mytilus edulis*) и малоподвижных (*Mya arenaria*) сестонофагов, а также скоблильщиков-обгрызателей (*Littorina littorea*) с тенденцией к увеличению группы неподвижных сестонофагов (*M. edulis*) в сторону умеренно отгороженных от моря лагун (лагуна возле Ершовского озера и лагуна Ермолинской губы).

Таким образом, наши исследования, с одной стороны, свидетельствуют о специфических абиотических условиях в каждой экосистеме с характерными для них видовыми комплексами беспозвоночных животных, а с другой — подтверждают сходство видовой, пространственной и трофической структуры сообществ макробентоса в лагунах, имеющих сходную геоморфологию и водообмен с морскими водами.

## Бассейны рек северо-западного склона Крымских гор (Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Чёрная): современное состояние и преобразованность

Табунщик В. А.

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

✉ [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)

Анализ изменений природной среды под влиянием антропогенной деятельности с каждым годом приобретает всё больший размах. Не является исключением и территория Крымского полуострова, которая насчитывает более чем 2000-летнюю историю освоения. Особый интерес представляет изучение преобразованности территории в Юго-Западном Крыму — также в силу древнего освоения этого региона. Стоит отметить, что наиболее интенсивное освоение этой территории началось в XX в. В то же время нужно указать, что для сохранения эколого-ресурсного потенциала региона необходимо, чтобы естественные и квазиестественные ландшафты занимали не менее 60 % территории.

Пять протекающих в Юго-Западном Крыму наиболее крупных рек, которые несут свои воды в Чёрное море, — это Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек и Чёрная. Согласно районированию водотоков Крымского полуострова, эти реки относятся к рекам северо-западного склона Крымских гор. По нашим данным, рассчитанным с использованием цифровой модели рельефа SRTM, площадь бассейна реки Западный Булганак составляет 177,1 км<sup>2</sup>; Альма — 641,8 км<sup>2</sup>; Кача — 570,9 км<sup>2</sup>; Бельбек — 492,1 км<sup>2</sup>; Чёрная — 430,5 км<sup>2</sup>. Уточнённые данные по цифровой модели рельефа SRTM DEM, с пространственным разрешением 30 м, составляют: для бассейна реки Западный Булганак — 174,6 км<sup>2</sup>; Альма — 631,8 км<sup>2</sup>; Кача — 573,3 км<sup>2</sup>; Бельбек — 491,1 км<sup>2</sup>; Чёрная — 428,0 км<sup>2</sup>.

Для анализа преобразованности территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор — на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Чёрная — использованы космические снимки высокого разрешения (Landsat, Sentinel) и произведено их дешифрирование, в результате которого выделены основные типы природопользования, встречающиеся в пределах бассейнов рассматриваемых рек.

Количественная оценка преобразованности бассейнов включала использование методики расчёта коэффициента антропогенной преобразованности П. Г. Шищенко, а также коэффициентов абсолютной и относительной напряжённости напряжённости эколого-хозяйственного баланса территории по Б. И. Кочурову, рассчитанных с применением программного комплекса ArcGIS. Расчёт производился как для территории бассейна в целом, так и для сетки гексагональных ячеек 1 × 1 км.

В результате исследования установлено, что наибольшая преобразованность характерна для бассейна реки Западный Булганак. Значение коэффициента антропогенной преобразованности составляет 6,2, что в 1,6 раза больше, чем для бассейна реки Альма; в 1,8 раза больше, чем для бассейна реки Кача; в 2,0 раза больше, чем для бассейна реки Бельбек; в 2,5 раза больше, чем для бассейна реки Чёрная. Для бассейна реки Чёрная значение коэффициента антропогенной преобразованности составляет 2,5, и это наименьшее среди значений для пяти проанализированных бассейнов.

Коэффициент абсолютной напряжённости эколого-хозяйственного баланса для бассейна реки Западный Булганак составляет 11,98; Альма — 0,25; Кача — 0,33; Бельбек — 0,28; Чёрная — 0,07. Коэффициент относительной напряжённости эколого-хозяйственного баланса для бассейна реки Западный Булганак составляет 1,46; Альма — 0,33; Кача — 0,28; Бельбек — 0,17; Чёрная — 0,11.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121040100327-3.

## Заражение двустворчатых моллюсков *Anadara broughtonii* из Амурского залива Японского моря новым видом зелёной паразитической микроводоросли *Coccomyxa veronica* sp. nov.

Тумас А. В.<sup>1</sup>, Сокольникова Ю. Н.<sup>2</sup>, Стенкова А. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Институт Мирового океана, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», лаборатория ДНК-диагностики, Владивосток, Россия

✉ ayna.tumas@mail.ru

Симбиозы с участием микроводорослей широко распространены в природе, однако у двустворчатых моллюсков встречаются редко. До недавнего времени эндобиотические микроводоросли были найдены лишь у представителей семейств Cardiidae и Mytilidae. Только в 2010 г. зелёная микроводоросль *Coccomyxa parasitica* была обнаружена у гуидака *Panopea abbreviata*. А в 2019 г. в Амурском заливе Японского моря нами случайно были выловлены новые представители класса Bivalvia, заражённые зелёными микроводорослями, — *Anadara broughtonii*. Цель данной работы заключалась в идентификации эндобиотической микроводоросли из *A. broughtonii* и в определении её влияния на моллюска-хозяина.

Для оценки влияния микроводорослей на *A. broughtonii* проводили сравнительный гистологический анализ тканей и органов здоровых и заражённых моллюсков. При визуальном осмотре было установлено, что раковины заражённых особей приобретают форму округлённой трапеции, а сами створки слегка сплюсциваются. При слабой степени заражения микроводорослями тело моллюсков приобретает бледно-оранжевую окраску, лишь задний край мантии окрашивается в зелёный цвет. При более тяжёлой форме заражения зелёный окрас также приобретали задняя кишка и жабры. Именно в этих органах и тканях наблюдались наиболее выраженные гистопатологические изменения. В мантии заражённых моллюсков были выявлены интенсивная инфильтрация тканей гемоцитами и микроводорослями, уменьшение числа сосочков, но увеличение их размера (за счёт их слияния), инфильтрация гемальных синусов соединительной тканью, разрыхление и частичное замещение мышечных волокон вакуолярными клетками. Все ткани задней кишки также были сильно инфильтрированы микроводорослями и гемоцитами, эпителий был деформирован, мышечные волокна атрофированы, гемальные синусы расширены, но при этом слабо инфильтрированы. Бронхиальные синусы жабр были расширены, эпителий сплюснен, а число слизистых клеток сокращено. В гемолимфе даже при сильном заражении водоросли встречались редко. В других органах и тканях (задний мускул-аддуктор, нога, гонада, почки, пищеварительная железа, средняя кишка, желудок), кроме гемолитарной инфильтрации, выраженных гистопатологических изменений не обнаружено. По сравнению с самыми распространёнными патогенами, такими как *Perkinsus* и *Nematopsis*, которые инфицируют преимущественно пищеварительную железу, жабры, мантию и гонады анадар, зелёная микроводоросль вызывала более существенные патологии.

Для идентификации микроводорослей из *A. broughtonii* получали постоянную культуру. Для этого образцы мантии, окрашенные в зелёный цвет, механически гомогенизировали и центрифугировали в градиенте плотности Percoll с последующей фильтрацией через газ. Выделенные клетки микроводорослей добавляли в культуральную среду f/2 в концентрации 11 млн кл. · мл<sup>-1</sup> и культивировали при +20...+22 °С с фотопериодом 16 ч / 8 ч. Оценку роста и морфометрических параметров осуществляли с помощью гемоцитометра Горяева во флуоресцентном микроскопе каждые 2–7 суток. На разных стадиях культивирования проводили фиксацию аликвоты суспензии микроводорослей для их идентификации. Видовую принадлежность микроводорослей определяли на основе ультраструктурного и молекулярно-генетического анализа. Филогенетический анализ проводили на основе локусов 18S рДНК, ITS1 и 5,8S рДНК методом Neighbor Joining. Конечная последовательность составила 1840 п. н., её депонировали в базу данных GenBank под номером OM304844.



Анализ показал, что после добавления суспензии клеток микроводорослей в среду в течение первых 16 суток наступает лаг-фаза, в ходе которой клетки имеют округлую форму, а их численность снижается примерно в 3 раза, что связано, вероятно, с адаптацией фотобионта к новым условиям. С 17-х по 24-е сутки проходит экспоненциальная фаза роста: микроводоросли становятся более вытянутыми, число клеток и спор возрастает. Далее наблюдается самая продолжительная фаза — стационарная (она длится 57 суток): размер клеток увеличивается, клетки приобретают палочковидную форму. После 2,5 мес. культивирования наступает фаза отмирания. Кривая роста, в сравнении с таковой для *C. parasitica*, выделенной Сокольниковой и коллегами из *Modiolus kurilensis*, который также обитает в Японском море, имела ряд существенных отличий. Так, для получения культуры *C. parasitica* исходное число клеток в инокуляте было в 10 раз меньше — 1–2 млн кл. · мл<sup>-1</sup>. Продолжительность лаг-фазы и стационарной фазы у *Coccomyxa* из модиолуса была значительно меньше. К сожалению, более детального сравнительного анализа роста культур провести не представляется возможным, так как литературные данные касательно культуры *Coccomyxa* из моллюсков ограничиваются парой работ.

Анализ микрофотографий, полученных с помощью электронной микроскопии, показал присутствие в клетках микроводорослей из *A. broughtonii* характерного для зелёных водорослей набора органоидов. Клетки на всех этапах исследования содержали 1 ядро, 1 парietальный хлоропласт чашевидной формы, который у зрелых форм занимал около 50 % объёма клетки с крупными зёрнами крахмала, 2–3 митохондрии, 1–2 мультивезикулярных комплекса, 4–5 липидных капель. Клеточная стенка имела многослойное строение и была значительно более утолщённой у микроводорослей в мантии моллюсков. Размножение микроводорослей происходило путём образования ди- и тетраспор, которые часто не расходились внутри моллюска и формировали многоклеточные конгломераты. Между тем у *C. parasitica* таких ультраструктурных особенностей не наблюдается.

Филогенетический анализ, проведённый с использованием локусов 18S рДНК и ITS1, показал, что выделенный нами штамм микроводорослей принадлежит к роду *Coccomyxa* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). Попарное расстояние с другими видами *Coccomyxa* варьировало от 0,027 до 0,005, из которых *C. arvernensis* показывало минимальное расстояние — 0,005. На основании полученных данных исследуемая водоросль формирует новую, чётко обособленную кладу, как сестринскую ветвь *C. arvernensis* с высокими значениями начальной загрузки (80–100 %).

Таким образом, основываясь на данных филогенетического анализа и комплексного морфофизиологического описания, мы пришли к заключению, что *A. broughtonii* поражает новый вид зелёных паразитических микроводорослей; ему было присвоено видовое название *Coccomyxa veronica* sp. nov. В свете того, что появляется всё больше сообщений о заражении новых видов промысловых моллюсков, в долгосрочной перспективе существует некоторая угроза последующего распространения этого паразита, что требует более подробного изучения данного феномена и разработки соответствующих программ мониторинга.

## Телеметрический комплекс для изучения планктонных сообществ

Ушивцев В. Б., Галактионова М. Л., Сеницына Т. А., Котеньков С. А.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

✉ [v\\_ushivtsev@mail.ru](mailto:v_ushivtsev@mail.ru)

---

Для исследования планктонных сообществ используются различные конусные сети, которыми проводят вертикальные траления водной толщи. Полученные материалы позволяют определить видовой состав и биомассу объектов в точке наблюдений. Из поля зрения исследователя выпадает существенная часть информации о пространственном распределении объекта изучения, о границах его вертикального распространения в толще воды, об особенностях физических параметров водного столба и пр. С целью получения такого рода информации был создан экспериментальный образец телеметрического комплекса, который успешно прошёл испытания, расширил спектр наблюдений и предоставил существенный дополнительный материал для анализа. Применение бортового комплекса параллельно с отбором проб конусными сетями показало ряд преимуществ в методике изучения планктонных сообществ.

**Ход выполнения.** С бортового навесного блока на специальной системе стабилизации под воду на заданную глубину погружалась платформа, оборудованная: чёрным экраном, глубиномером, термометром, источниками освещения, телекамерой для наблюдений в режиме онлайн и видеокамерой с высоким разрешением (5К). После погружения платформы под воду в поле зрения наблюдателя на фоне чёрного экрана, обеспечивающего контрастность изображения, постоянно присутствовала часть водной толщи (объём — 1 м<sup>3</sup>) со всем содержимым. Платформа погружалась на предельную глубину изучаемого столба воды, а далее медленно, с остановками на определённых горизонтах, поднималась на борт судна. Таким образом, в режиме онлайн исследователь получал общую информацию о вертикальном распространении макропланктона в виде качественного изображения, фото-видеоматериал в высоком разрешении, а также записи для дальнейшего анализа объектов макро- и микропланктона на фоне глубины и температуры. На заданном горизонте совершалась остановка с экспозицией 3 минуты; численность и размерный состав жёлтелых визуально определяли в объёме воды 5 м<sup>3</sup>. Наблюдения проводили в светлое и тёмное время суток.

## Газогеохимические исследования в проливе Брансфилд (Южный океан)

Холмогоров А. О.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ [kholmogorov.ao@poi.dvo.ru](mailto:kholmogorov.ao@poi.dvo.ru)

Газогеохимическая съёмка позволяет проанализировать изменчивость содержания метана и ряда его гомологов (этана, пропана, бутана) в морской воде по горизонтам, выявить источники поступления газов и оценить их характер (биогенный, термогенный, антропогенный), а также получить информацию для дальнейшего изучения связи фоновых и аномальных газогеохимических полей с морфоструктурными и тектоническими элементами геологического строения.

Отбор воды с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» (рейс № 87, декабрь 2021 г. — апрель 2022 г.) осуществлялся 24-позиционной системой Rosette, оснащённой STD-зондом Idronaut (Италия). Отбор проб воды проводился кассетой батометров системы Niskin (23 батометра) на отдельных горизонтах с учётом вертикального распределения температуры, солёности и других выявленных в ходе STD-зондирования гидрологических параметров. Для анализа содержания метана во всех образцах воды использовался метод равновесных концентраций Head Space. Для анализа газового состава применялся газовый хроматограф «Кристалл Люкс 4000». Расчёт концентраций метана, растворённого в морской воде, производился по методике Yamamoto *et al.* в модификации Wiesenburg & Guinasso с использованием расчётных констант растворимости метана.

В проливе Брансфилд выполнено 3 поперечных разреза, включающих 24 газогеохимические станции (200 проб). Анализ проб морской воды, отобранной с батометров в диапазоне глубин 2–1767 м, выявил концентрации метана 2,47–10,95 нМ·л<sup>-1</sup>.

Максимальные концентрации метана (10,95 нМ·л<sup>-1</sup>) наблюдаются на склоне желоба пролива у Южных Шетландских островов на восточном и центральном разрезах на горизонтах 0–500 м. Здесь выявлено ядро повышенных концентраций метана с центром на глубине 400 м, имеющее горизонтальный масштаб около 10 км. Это может быть обусловлено переносом насыщенного метаном вод течением пролива Брансфилд, направленным на восток. Наличие этой струи, переносимой в себе повышенные концентрации метана, подтверждается данными температуры и солёности.

В поверхностном и подповерхностном (до глубины 200 м) водном слоях на центральном и восточном разрезах выделяется область повышенных концентраций (7,63 нМ·л<sup>-1</sup>), что также может быть связано с гидрологическим режимом — с существованием вихрей на центральной оси пролива.

Минимальные концентрации метана (2,47 нМ·л<sup>-1</sup>) обнаружены на дне пролива — в водном слое глубиной более 1000 м, что может быть вызвано транзитом глубинной воды пролива Брансфилд. Верхней границей её распространения считаются значения потенциальной температуры –1,0 °С и солёности 34,5 ПЕС.

Центральный разрез пролива территориально повторил разрез, выполненный в ходе рейса АМК79 в 2020 г. Согласно результатам газогеохимических исследований 2020 г., на дне пролива обнаружена зона повышенных концентраций метана, однако в рамках экспедиции АМК87 данная аномалия либо результаты её активности зарегистрированы не были. Нестабильность эндогенных источников пролива, вероятно, контролируется сейсмической обстановкой региона и нуждается в дальнейшем изучении.

На ст. 7299 (глубина — 1767 м) на оси пролива с помощью коробчатого пробоотборника (box corer) поднят осадок и взят керн длиной 40 см, из которого отобраны пробы на горизонтах 0, 10, 20, 30 и 40 см. При разрезании керна в лаборатории отмечался запах сероводорода. Концентрация метана в осадке увеличивалась с глубиной с 3,65 до 24,28 нМ·л<sup>-1</sup>. При этом концентрации метана на данной станции в воде не были аномальными и составили 2,47–7,63 нМ·л<sup>-1</sup>, что может говорить о медленной и равномерной эмиссии метана из литосферы и об эффективности «бактериального фильтра». На горизонте 15 см обнаружен образец породы с плохой окатанностью, напоминающий гранит по своим внешним признакам и твёрдости. Образец имел острые грани, что может исключать его перенос в данную точку течениями либо прочими внешними силами.

Распределение концентраций метана в проливе Брансфилд в значительной степени контролируется гидрологическим режимом; схема транзита метана на разных горизонтах через пролив подтверждается современными гидрологическими изысканиями, а также исследованиями российских и зарубежных коллег в предыдущие периоды. Выход породы и медленная эмиссия метана указывают на тектонические процессы, происходившие в данной области в прошлом. Относительно низкий уровень концентрации метана в осадке говорит о незначительной перспективе наличия активных источников газовой разгрузки и условий образования газовых гидратов.

Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А19-119122390017-4, FWMM-2022-0033

## Изучение морского обрастания искусственных субстратов: экспериментальный подход

Чава А. И.<sup>1,2</sup>, Коновалова О. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова», Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

✉ [a.chava@marine-rc.ru](mailto:a.chava@marine-rc.ru)

Проблема морского обрастания остаётся актуальной на протяжении многих сотен лет, которые насчитывает история взаимодействия человека с морем. Долгое время изучение сообществ обрастания различных антропогенных субстратов сводилось к разработке новых методов борьбы с организмами-обрастателями, а об их экологии было известно крайне мало. Со второй половины XX в. динамика и разнообразие сообществ морского обрастания обратили на себя внимание исследователей, и в результате был разработан ряд экспериментальных методик, позволяющих значительно расширить имеющиеся представления о развитии данных сообществ. На сегодняшний день один из наиболее популярных методов — это использование тестовых пластин из различных материалов: их погружают на разные глубины и отрезки времени в акватории, для которой нужно составить прогноз развития обрастания. Несмотря на широкую распространённость метода, единого стандарта подобного анализа до сих пор не существует, а во многих морях, в том числе в морях Российской Арктики, исследования отрывочны или вовсе не проводятся. Отдельной проблемой является изучение обрастания на глубинах более 50 м, и она на фоне активной экспансии антропогенных сооружений на шельф становится всё острее.

Наша работа посвящена созданию универсальной системы изучения сообществ обрастания. С одной стороны, мы тестируем методику точечного изучения обрастания с помощью экспериментальных пластин, которые можно прикреплять к любым донным и буйковым станциям (гидрометеорологическим, сейсмическим и т. д.), что упрощает попадание пластин на недоступные водолазам глубины. На сегодня мы располагаем данными из Карского и Охотского морей, а также из моря Лаптевых. Наиболее интересны результаты, которые были в Охотском море, на 50 км восточнее острова Сахалин, на пластинах 21 × 29,7 см из метилакрилата, экспонировавшихся на глубинах 45, 150 и 240 м в течение трёх месяцев. На пластинах с 45 м не найдено никаких признаков макро- и микрообрастания, которое можно было бы увидеть с помощью методов световой микроскопии. На пластинах с глубин 150 и 230 м были обнаружены различные представители типа Ciliophora (Ciliata), подклассов Suctorina и Peritrichia.

С другой стороны, мы разрабатываем модель установки, которая позволила бы вести долгосрочные регулярные наблюдения за развитием обрастания на пластинах из любых, в том числе коммерчески важных, материалов в любой акватории на водолазных глубинах до 50 м. В настоящий момент мы проводим тестирование этой установки в Белом море и располагаем данными по ежемесячному мониторингу макрообрастания в районе Беломорской биологической станции МГУ (Кандалакшский залив, Ругозерская губа, пролив Великая Салма) с июня 2022 г. Экспериментальные установки с пластинами 15 × 15 см из высокопрочного полистирола (high impact polystyrene, HIPS) экспонируются на глубинах 21 и 10,7 м. Ежемесячно производится замена пластин — для оценки количественных и качественных характеристик обрастания, а также для изучения помесечной динамики этих показателей.

## Применение технологии анализа изображений для изучения популяционной структуры рыб

Чесалин М. В., Никольский В. Н.

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

✉ [chesalin.mikhail@yandex.ru](mailto:chesalin.mikhail@yandex.ru)

Внедрение современных алгоритмов и программ распознавания изображений, а также их математической обработки в практику рыбохозяйственных исследований позволяет повысить надёжность и точность получаемых результатов. Системы анализа изображений применяются для идентификации и классификации рыб, измерения их морфометрических параметров, оценки качества рыбной продукции, выявления заболеваний, определения возраста. В последнее время методы анализа изображений широко используются для изучения популяционной структуры рыб.

Выделение локальных популяций, являющихся единицами запаса, лежит в основе успешной эксплуатации рыбных ресурсов. Современные генетические исследования не показали существенных отличий между популяциями у многих видов активно мигрирующих морских рыб, в частности у азово-черноморской хамсы. Другие исследования (биохимические, физиологические, паразитологические) оказались сложны и малопригодны для оперативной идентификации популяционной принадлежности хамсы, особенно в смешанных скоплениях. В настоящее время для изучения популяционной структуры рыб рекомендуется применять разные методы, среди которых наиболее важным остаётся морфометрический. При этом традиционные биометрические измерения рыб, эффективные для идентификации видов, не являются таковыми при изучении внутривидовой структуры, так как ограничены измерениями отдельных частей тела, в основном плавников, и слабо описывают форму тела рыбы, изменения которой сильно реагируют на изменчивость условий обитания.

В последнее время резко увеличилось количество работ, особенно среди зарубежных исследователей, связанных с изучением популяционной структуры рыб на основе анализа формы их тела или формы отолитов. Предложены специальные системы и компьютерные программы оцифровки формы тела рыбы по гомологичным контрольным точкам (landmarks) и расчёта расстояний между этими точками (MorphoJ, TpsDIG, Morphologika2 и TMorphGen), а также реконструкции замкнутого контура отолитов с помощью эллиптического преобразования Фурье или вейвлет-функции (Shape 1.3, ShapeR).

Нами проведены исследования формы тела и формы отолитов хамсы из разных районов Азовского и Чёрного морей с целью определения различий между азовским и черноморским подвидами. Форма тела хамсы анализировалась по 12 контрольным точкам, расставленным вокруг тела рыбы. Оцифровку координат точек проводили в программе анализа изображений ImageJ. Для определения расстояний между этими контрольными точками по их координатам была разработана специальная программа в виде макроса Excel. Для сравнения выборок использовали методы многомерного статистического анализа. Установлено, что форма тела хамсы существенно изменяется в течение года, поэтому в сравнительных популяционных исследованиях необходимо учитывать сезонную изменчивость. Более того, форма тела рыбы может сильно изменяться в результате высыхания, замораживания или фиксации в формалине.

В настоящее время в популяционных исследованиях различных видов рыб одним из наиболее часто применяемых и успешно используемых методов стал анализ формы отолитов (Otolith shape analysis). С помощью программного пакета ShapeR нами были получены контуры нескольких тысяч отолитов хамсы и для каждого отолита рассчитаны 48 коэффициентов Фурье и 64 коэффициентов вейвлета. Эти коэффициенты анализировались на их зависимость от длины рыбы и между собой; значимо коррелирующие коэффициенты исключались из дальнейшего анализа.

Математическую обработку данных проводили в статистических программах R 4.1.0, PAST 4.03 и Statistica 10. Используются методы многомерной статистики — анализ главных компонент (PCA), дисперсионный анализ (ANOVA и PERMANOVA), иерархический кластерный анализ (HCA) и линейный дискриминантный анализ (LDA). Предварительно были проанализированы онтогенетическая, половая и межгодовая изменчивость формы отолитов хамсы. Установлены различия в форме отолитов молоди и взрослых рыб, поэтому для анализа географической изменчивости отбирались

только рыбы крупнее 9 см. Различий по форме отоликов взрослых самцов и самок, а также рыб из уловов в одном районе в разные годы не обнаружено. Несмотря на высокое разнообразие формы отоликов хамсы, все выборки объединялись в две основные группы. В одну входили рыбы из Азовского моря, Керченского пролива и Северного Кавказа, а в другую — рыбы, отловленные у западного и южного берега Крыма, а также у Анатолийского побережья Турции. Различия внутри этих групп между пробами были несущественны, хотя в отдельных случаях статистически значимые отличия обнаружены между наиболее удалёнными пробами. Гораздо большие отличия установлены между всеми пробами из этих двух групп. Полученный результат полностью соответствует современным представлениям о пространственном распределении азовского и черноморского подвидов хамсы. По форме контура было выделено два морфотипа отоликов. К первому относятся широкие, с коротким рострумом и слабо выраженной выемкой (*excisura major*) между рострумом и антирострумом; к второму — узкие, с длинным рострумом и хорошо выраженной выемкой. Первый морфотип отоликов характерен для азовской хамсы, а второй — для черноморской. Успех классификации по форме отоликов двух подвидов при линейном дискриминантном анализе по методу складного ножа варьировал от 75 до 84 %. Таким образом, результаты наших исследований показывают эффективность использования метода анализа контура отоликов для дифференциации запасов азовской и черноморской хамсы.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1).



## Нелинейность взаимосвязей в водной экологии и изменчивость экологических «констант»

Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В.

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

✉ [snickolai@yandex.ru](mailto:snickolai@yandex.ru)

Считается, что понимание сложности в количественной экологии и биологии началось с установления нелинейности связи структурных и функциональных характеристик на различных уровнях организации. Нелинейные уравнения, в частности аллометрические/степенные, стали обычным инструментом при изучении различных структур и процессов. При этом на стадии усреднения коэффициенты этих уравнений часто рассматривались как константы, например при анализе зависимостей длина — масса, масса — обмен и т. д. Нередко это порождало видимость адекватного количественного описания экологических систем и процессов, однако мешало понимать функционирование и динамику реальных популяций и экосистем. В экологии стали говорить о существовании неких экологических мировых констант, например среднепопуляционного  $K_2$ , равного 0,26. Уже в 1970-е гг. И. В. Ивлевой с соавторами было показано, что  $K_2$  в принципе не может быть константой и зависит, в частности, от температуры и условий питания. Это обусловлено в том числе тем, что в степенных уравнениях масса тела — обмен и масса тела — потребление/ассимиляция пищи оба коэффициента не являются константами, а в той или иной степени зависят от температуры и условий питания. Это легко показать анализом балансового уравнения зависимости скорости индивидуального роста от массы тела:

$$dW/dt = A - R = a_1 W^{b_1} - a_2 W^{b_2}, \quad (1)$$

где  $dW/dt$  — скорость роста;

$A$  — ассимилированная энергия;

$R$  — суммарные траты на обмен;

$W$  — масса тела;

$a_1, b_1, a_2, b_2$  — коэффициенты.

Уравнение (1) можно проинтегрировать с учётом продолжительности развития и влияния температуры и условий питания, получив набор значений дефинитивной массы при разных значениях этих характеристик среды. Разброс значений будет большим, что говорит о недопустимости использования средних масс тела вида, взятых из литературы, в конкретных расчётах. Вероятно, понимание того, что коэффициенты в таких уравнениях для реальных систем не могут быть константами, началось в 1950–1970-е гг. Активно стали проводиться исследования по установлению влияния различных факторов на коэффициенты уравнений и на сам характер зависимости. В настоящее время показано наличие зависимости всех коэффициентов от различных факторов. Масса тела животного является важной характеристикой организма и определяет интенсивность процессов в нём и место в трофических сетях. В практических экологических исследованиях массу часто рассчитывают исходя из длины тела, которую определить легче. При этом используют следующее уравнение:

$$W = cL^d, \quad (2)$$

где  $W$  — масса тела;

$L$  — длина тела;

$c$  и  $d$  — коэффициенты.

В течение некоторого времени считали, что коэффициенты этого уравнения невидоспецифичны и могут рассматриваться как константные величины для отдельных таксонов. Однако постепенно стали накапливаться данные, которые показали, что они видоспецифичны. В то же время растёт количество сведений о том, что они не являются константами для определённых видов. Так, в наших исследованиях показано, что у личинок хирономид одного вида на величину коэффициента могут влиять условия питания и солёность.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (проект № 18-16-00001).

## Структура и распределение зоопланктона Среднего Каспия в зимний период

Шарапова Л. И.

ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Алматы, Казахстан

✉ [l.i.sharapova@mail.ru](mailto:l.i.sharapova@mail.ru)

Зоопланктон Среднего Каспия претерпел значительные изменения в связи с инвазией гребневики *Mnemiopsis leidy*, потребляющего планктофауну моря. Именно в Среднем Каспии обитает более половины популяции вселенца (62 %) относительно южной части, репродуктивной для вида. Низкие температуры воды в суровые зимы (менее +5 °С) сужают его ареал до южной акватории моря и понижают концентрацию особей. Термические условия тёплой зимы (более +8 °С) усиливают развитие мнемииопсиса, увеличивая выедание зоопланктёров. Касалось это наиболее массовых, автохтонных и холодолюбивых представителей ценоза (*Eurytemora grimmeri* и *Limnocalanus grimaldii*), а также *Acartia* sp. Однако с лета 2004 г. отмечалось значительное снижение запасов автохтонных планктёров, и в 2006 г. *E. grimmeri* и *Calanipeda aquaedulcis* в пробах уже не встречены. К 2016 г. наиболее массовыми (до 90 %) становятся акклиматизант *Acartia tonsa*, *Evadne anonyx* и *Pleopis polyphemoides*.

Целью данной работы является оценка современного состояния и распределения зоопланктона в зимний период — в декабре 2020 и 2021 гг. — в восточной части Среднего Каспия.

Зоопланктон обследовался сетью Джеди (диаметр 37 см) totally по 5 разрезам (на 3–4 станциях каждого) в пределах глубин 88–157 м и в поверхностном слое толщиной 35–95 м. Сбор и обработка материала по общепринятым методикам.

**Состав** планктофауны зимой в оба года был представлен сходным числом (по 13 таксонов организмов). Входили в него гребневики (2 вида, по 1 ежегодно), коловратки (2), ветвистоусые рачки (5, по 4 в год), веслоногие (1) и меропланктон (4 или 5 представителей по годам). Присутствовали в составе планктофауны и личинки рыб. Необычным было обнаружение в декабре 2020 г. ещё одного гребневика — *Beroe ovata*. Распространение его особей было приурочено к глубинам свыше 100 м. Информация о нахождении *B. ovata* в Каспийском море появлялась также 10 ноября 2020 г., в период работы совместной экспедиции Южного научного центра РАН и Каспийского филиала Института океанологии РАН в районе Махачкалы.

Характерным для зимнего состава, в отличие от такового в мае и августе 2020 г., является присутствие коловраток *Synchaeta littoralis* и *S. stylata* при отсутствии этой группы в глубинных биотопах. Повсеместным и стабильным распространением по акватории Среднего Каспия в оба года выделялись *Acartia tonsa* и *Podon intermedius*. В декабре 2021 г. в ядро зоопланктона вошли также *P. polyphemoides* и *Evadne nordmanni*. Последний пополнил число вселенцев в каспийской планктофауне. Данный вид указывался только для Чёрного моря из южных морей. Периодически в числе широко распространённых по большому глубинам (115–155 м) встречалась *E. anonyx*, причём совместно с редкой для акватории *Evadne prolongata* (12 % встречаемости). Распространены в зимнем планктоне в оба года также личинки донных усоногих рачков, науплии и циприсы. Двустворчатые моллюски личиночных стадий были редкими в 2020 г., в отличие от 2021 г., как молодёжь полихет и личинки рыб.

Относительно современных данных можно сказать, что зоопланктон восточной части Среднего Каспия зимой 2004 г. был менее разнообразен по ветвистоусым. В нём широко присутствовали *Acartia* и личинки усоногих рачков; зарегистрировано также наличие одного вида кладоцер (*P. polyphemoides*) и коловраток *Synchaeta* sp., личинок моллюсков и мнемииопсиса.

**Количественные показатели.** В тотальном слое воды в декабре 2020 г. численность зоопланктона снизилась от 289 до 114 экз.·м<sup>-3</sup> при переходе от максимальных глубин (150–155 м) к меньшим (88–103 м). Основу ценоза (198 экз.·м<sup>-3</sup>) формировал *A. tonsa*, составляя от 86,8 до 91,0 % общего показателя по разным глубинам. Все 4 вида ветвистоусых рачков характеризовались малой суммарной представленностью (16 экз.·м<sup>-3</sup>). Среди них выделялось присутствие *P. intermedius* и *E. anonyx*: значения составили 7 и 6 экз.·м<sup>-3</sup> соответственно. Численность берое колебалась от 1 до 8 экз.·м<sup>-3</sup>

при среднем показателе 3 экз. · м<sup>-3</sup>. Соответственно малой численности формировалась и низкая биомасса планктона, незначительно нарастающая с понижением глубин (с 8,6 до 14,6 мг · м<sup>-3</sup>). Доля акарции варьировала от 35,7 до 42,0 % от общей (при субдоминировании ветвистоусых рачков). Среди них преобладал *P. intermedius* (10,7–32,3 %) или группа Others (27,33–51,7 %) с более крупнотелым берое.

В среднем по акватории численность в тотальном слое воды составляла 223 экз. · м<sup>-3</sup>, биомасса — 11,71 мг · м<sup>-3</sup>. Лидировала акарция — 88,8 и 38,1 % от общих показателей. Доля ветвистоусых (23,1 %) была заметной только по биомассе — 2,7 мг · м<sup>-3</sup>; суммарный показатель меропланктона с гребневиком был выше — 4,6 мг · м<sup>-3</sup> (39 %).

В декабре 2021 г. при температуре воды +6,7...+8,4 °С средняя плотность особей зоопланктона для всей толщи воды составляла 474 экз. · м<sup>-3</sup>, что вдвое выше показателя на сходных глубинах в 2020 г. (94–124 м). Масса ценоза в среднем по акватории также увеличилась вдвое, до 20 мг · м<sup>-3</sup>. Основу численности создавала акарция, но в формировании биомассы в большей степени, чем в 2020 г., участвовали ветвистоусые рачки. Лидировал *P. polyphemoides* — при 129 экз. · м<sup>-3</sup> (высокая плотность особей) на больших глубинах и 41 экз. · м<sup>-3</sup> на относительно меньших.

В поверхностных слоях воды в декабре 2020 г. численность планктёров в среднем по акватории составляла 189 экз. · м<sup>-3</sup>, понижаясь при уменьшении глубин с 368 до 69 экз. · м<sup>-3</sup>. Основа формировалась акарцией — 84,6 %; на долю ветвистоусых приходилось 10,6 %, на меропланктон — 4,8 % от общего показателя. Среди 4 видов кладоцер доминировал *P. intermedius*, составляя в среднем 12 экз. · м<sup>-3</sup> и концентрируясь до 32 и 59 экз. · м<sup>-3</sup> на отдельных малых глубинах (32 и 78 м). Только на глубине 35 м присутствовал *P. polyphemoides* со значительной плотностью особей (48 экз. · м<sup>-3</sup>). Концентрация берое была разреженной — не более 1–3 экз. · м<sup>-3</sup> на половине станций.

Среднюю биомассу зоопланктона по акватории — 10,08 мг · м<sup>-3</sup> — почти в равной степени создавали акарция и ветвистоусые рачки (3,73 и 3,86 мг · м<sup>-3</sup> соответственно) при биомассе меропланктона с гребневиком 2,49 мг · м<sup>-3</sup>.

Зимой 2021 г. в поверхностном слое воды средние количественные показатели беспозвоночных были более высокими — 1247 экз. · м<sup>-3</sup> и 69,52 мг · м<sup>-3</sup>. Средняя плотность акарции по двум створам глубин (от 46 до 64 м) повысилась до 662 экз. · м<sup>-3</sup> (53,1 %) при росте концентрации ветвистоусых до 386 экз. · м<sup>-3</sup> (31,0 %). Доминирующим видом среди последних стал *P. polyphemoides*, снижающий численность с 507 до 134 экз. · м<sup>-3</sup> при нарастании толщи воды. На отдельных станциях плотность его особей достигала 1305 экз. · м<sup>-3</sup>.

Численность и биомасса зоопланктона тотального столба воды и его поверхностного слоя в декабре 2020 г. выражались примерно сходными величинами — 223 и 189 экз. · м<sup>-3</sup>; 11,71 и 10,08 мг · м<sup>-3</sup>. В 2021 г. зимний планктоценоз был продуктивнее в 3 раза у поверхности (1247 экз. · м<sup>-3</sup> и 69,52 мг · м<sup>-3</sup>) относительно показателей для всей толщи воды (474 экз. · м<sup>-3</sup> и 20,0 мг · м<sup>-3</sup>). Концентрация планктона в 2004 г. отличалась высокой численностью — 4262 экз. · м<sup>-3</sup> — за счёт лидерства усонюгих (63,8 %), но имела массу 21,7 мг · м<sup>-3</sup>, как и в 2021 г.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/23.pdf>.





Экологическая  
микробиология и  
альгология

## Микробиоценоз донных отложений Северного Каспия

Дьякова С. А.<sup>1</sup>, Сопрунова О. Б.<sup>2</sup>, Галяутдинова Е. Р.<sup>1</sup>, Менькова А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

✉ [djakova.s.a@gmail.com](mailto:djakova.s.a@gmail.com)

Каспийское море — уникальный водоём, не имеющий связи с Мировым океаном. Особо значимой является северная часть Каспийского моря: здесь происходит нагул морских, проходных и полупроходных видов рыб, а также сосредоточены месторождения углеводородного сырья, активное освоение которых может привести к изменениям в экосистеме этого природного водоёма.

Донные отложения — аккумулятор не только органического вещества, но и поступающих в акваторию поллютантов, в том числе нефтяных углеводородов. Одними из показателей благополучия донного экотопа являются численность и соотношение групп гетеротрофных микроорганизмов, в частности сапротрофов и углеводородокисляющих бактерий (далее — УОБ). Именно они играют решающую роль в минерализации органического вещества и круговороте биогенов, а также активно участвуют в процессах самоочищения моря.

Пробы донных отложений отбирали в 2013–2018 гг. в весенний, летний и осенний периоды в северной части Каспийского моря. Для определения численности гетеротрофных микроорганизмов использовали метод предельных разведений с последующим высевом их на плотные питательные среды — на питательный агар для сапротрофов и среду Теппера с добавлением нефти для УОБ.

Результаты исследований показали, что самой многочисленной группой в гетеротрофном бактериальном сообществе являлись сапротрофы. Их концентрация в донных отложениях Северного Каспия в период исследований изменялась от 0,72 до 610,00 тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup>.

Максимум численности сапротрофных бактерий в донных отложениях отмечен в 2013 г. — (184,81 ± 67,02) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup>. В 2014 и 2015 гг. регистрировали снижение концентрации сапротрофов до (57,57 ± 15,31) и (46,49 ± 14,95) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup> соответственно. В 2016 г. фиксировали второй пик численности сапротрофов — (184,53 ± 42,39) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup>. В 2017 и 2018 гг. концентрация сапротрофов в грунте Северного Каспия снизилась до (49,49 ± 8,57) и (66,12 ± 23,58) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup> соответственно. При этом ежегодно отмечали неоднородность распределения бактериобентоса в обследованной акватории, что связано как с характером донных отложений (ракушка, ил), так и с гидрохимическими факторами (теплозапас, наличие зон гипоксии и др.). Ежегодно фиксировали циклическое изменение численности сапротрофного бактериобентоса; количество сапротрофов достигало максимума в весенние сезоны, что связано с массовым притоком органического вещества и аллохтонной микробиоты во время половодья. Летом из-за процесса самоочищения численность бактериального населения донных отложений сокращалась. Осенью численность бактерий возрастала на фоне седиментации образовавшегося за период вегетации органического вещества и сохранившегося высокого теплозапаса, обеспечивающего оптимальные условия для развития мезофильной микробиоты.

Концентрация УОБ в донных отложениях Северного Каспия уступала таковой сапротрофов на протяжении всего периода исследований. Количество УОБ в донных отложениях Северного Каспия изменялось в пределах 0,17–102,00 тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup>. При этом динамика численности УОБ несколько отличалась от таковой сапротрофов. Так, концентрация УОБ в донных отложениях снизилась в период с 2013 по 2015 г., составив (19,47 ± 8,78), (17,5 ± 4,94) и (11,19 ± 4,96) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup> соответственно. В 2016 г. численность УОБ возросла более чем втрое и достигла максимума за период исследований — (37,53 ± 7,85) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup>. В 2017 и 2018 гг. количество УОБ в донных отложениях уменьшилось до (11,98 ± 2,45) и (11,72 ± 3,43) тыс. КОЕ·г<sup>-1</sup> соответственно.

В отличие от численности сапротрофов, численность углеводородокисляющего бактериобентоса не имела чёткой сезонной направленности, что сказывалось на соотношении данных групп бактерий. Соотношение УОБ и сапротрофов в донных отложениях, выраженное коэффициентом Ку, в обследованной акватории по сезонам изменялось от 6,71 до 57,92 %. При этом среднегодовые значения соотношения УОБ и сапротрофов были достаточно стабильными и находились на уровне 23,12–29,43 %.

Таким образом, в донных отложениях Северного Каспия в период исследований отмечали сезонную цикличность численности сапротрофов, которую обеспечивал комплекс гидролого-гидрохимических факторов. Так, речной сток оказывал наибольшее влияние на бактериобентос в весенние сезоны, во время максимального поступления в акваторию моря волжских вод в период половодья. Снижение численности бактериобентоса в летний сезон происходило в результате процесса самоочищения морской среды от аллохтонной микробиоты. Повышение концентрации бактерий к осени было обусловлено сохранившимся теплозапасом и высоким содержанием органического вещества, образовавшегося в период вегетации. Стабильное среднегодовое соотношение численности УОБ и сапротрофов в бактериобентосе указывало на адаптивность донного бактериоценоза к нефтяным углеводородам и на потенциальную способность микробиоты к деградации нефтяного загрязнения.

## Микробиоценоз слизистых оболочек радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и водной среды в условиях садкового хозяйства Ярославской области

Зайцева Ю. В.<sup>1</sup>, Злобин И. В.<sup>1</sup>, Доколин Д. А.<sup>1</sup>, Флёрова Е. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

<sup>2</sup>Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал ФНЦ ВИК имени В. Р. Вильямса, Михайловский, Россия

✉ [zjv9@mail.ru](mailto:zjv9@mail.ru)

Аквакультура является самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания во всём мире. Выполнившиеся в течение десятилетий исследования физиологии питания и поведения животных заложили основы передовой практики разведения рыбы. Однако возникающие вспышки инфекций препятствуют высокотехнологичному производству товарной рыбы и устойчивому экономическому развитию предприятий, а также могут иметь негативное воздействие на здоровье населения. Для многих бактериальных заболеваний протоколы вакцинации объектов аквакультуры отсутствуют, а чрезмерное использование антибиотиков и других химических веществ вызывает серьёзную озабоченность. Более привлекательной выглядит стратегия защиты рыбы от возникающих болезней за счёт создания и поддержания «здорового» микробиома. Микрофлора кожи и кишечника рыб тесно связана со здоровьем организмов, с возникновением и развитием заболеваний. Изучение структуры ассоциированных с рыбой микробных сообществ послужит ориентиром для исследования этиологии и патогенеза заболеваний. Знание микробного разнообразия и химических параметров водоёмов также важно для понимания экологии водных бактерий в аквакультуре и объяснения потенциальной роли микроорганизмов в биосфере. Необходимы фундаментальные исследования разнообразия и пространственно-временной динамики микробных сообществ, связанных с рыбами, и их влияния на рост и здоровье их водных хозяев.

Данная работа посвящена изучению бактериологического профиля водной экосистемы, а также слизи кожи и стенки кишечника рыб из фермерского хозяйства «Ярославская форель», в структуре товарной продукции которого наибольшую долю занимает радужная форель.

В ходе настоящего исследования было проанализировано в общей сложности 6 проб воды и 20 проб слизи кожи и пристеночной слизи кишечника половозрелых особей форели. Пробы воды были собраны в апреле 2022 г. в том же садке, в котором находились изучаемые особи. Отбор проб воды и вылов рыбы происходили одновременно. Пробы слизи кожи отбирались непосредственно после вылова рыбы, пробы пристеночной слизи кишечника — в лаборатории. Использовался стандартный протокол вскрытия рыбы в стерильных условиях. Все образцы слизи были гомогенизированы в 0,9%-ном растворе хлорида натрия с помощью ультразвукового гомогенизатора Sonicator Q55 (QSonica) в соотношении 1/10. Из исходного гомогената выполняли десятичные разведения в 0,9%-ном растворе хлорида натрия; аликвоты по 0,05 мл высевали на твёрдые среды — агар Эндо-ГРМ и МПА (обеднённая). Инкубацию чашек Петри проводили в аэробных условиях до 48 ч при +28 °С для посевов на обеднённой среде МПА и при +37 °С — для агара Эндо-ГРМ. Для выделенных бактериальных изолятов проводили микроскопическое исследование клеток, окрашенных по Граму, а также каталазные, оксидазные и биохимические тесты. Для дальнейшей идентификации отобранных штаммов использовали метод анализа последовательности гена 16s рРНК.

Слизистые оболочки рыб находятся в непосредственном контакте с окружающей водной средой и, таким образом, являются первыми точками контакта микроорганизмов с их хозяином. Общая бактериальная обсеменённость кишечника и кожи рыб составила  $8,1 \times 10^3$  КОЕ·г<sup>-1</sup> и  $2,9 \times 10^5$  КОЕ·г<sup>-1</sup> соответственно. Состав культивируемых микробных сообществ кожи и пристеночной слизи кишечника различен. Микробиота кишечника радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) содержала в основном представителей филумов Proteobacteria (роды *Pseudomonas*, *Psychrobacter* и *Moraxella*) и Actinobacteria (*Rhodococcus*, *Micrococcus* и *Microbacterium*), тогда как в микробном сообществе кожи преобладали Bacteroidetes (*Kaistella*, *Chryseobacterium*, *Algoriella* и *Sphingobacterium*).



Наши исследования показывают, что микробиом кожи радужной форели был разнообразнее микробиома кишечника. В нём встречались также представители филумов Firmicutes (*Enterococcus*), Proteobacteria (*Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Rahnella*, *Stenotrophomonas*, *Pantoea*, *Psychrobacter* и *Shewanella*) и Actinobacteria (*Micrococcus*).

Общее количество микроорганизмов в воде составило  $1,9 \times 10^2$  КОЕ·мл<sup>-1</sup>. Микробиомы слизистых оболочек рыб были значительно более разнообразными, чем в образцах воды. Микробиоценоз воды в садке был представлен в основном филумом Proteobacteria (*Aeromonas*, *Pseudomonas* и *Comamonas*); в незначительном количестве встречались Bacteroidetes (*Flavobacterium* и *Kaistella*). Представители родов *Aeromonas* и *Pseudomonas*, которые составляли основную часть микробного сообщества воды, являются одними из ключевых патогенов рыб. Интересно, что состав сообществ кожи значительно отличался от проб воды, а аэромонады и псевдомонады присутствовали лишь в незначительном количестве. По-видимому, слизь, покрывающая эти ткани, может рассматриваться как первичный защитный барьер от внешних воздействий окружающей среды и от вторжения патогенов.

Ткани слизистых оболочек находятся в непосредственном контакте с окружающей средой. Различия в микробном составе кожи и окружающих водных сообществ предполагают наличие в слизи факторов, способствующих выживанию и колонизации определённых видов микроорганизмов. Известно, что слизь содержит различные иммунные компоненты, такие как иммуноглобулины, лектины и белки комплемента, а также антимикробные пептиды, муцины и множество ферментов, включая лизоцимы и протеазы. Влияние этих факторов на структуру микробных сообществ ещё предстоит выяснить окончательно, и это важная задача в области микробиома рыб.

Исследование выполнено за счёт гранта РФ (проект № 22-26-20123).

## Особенности изменения минерального состава бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Turn.) C. Ag., связанные с глубиной произрастания

Камнев А. Н.<sup>1,2,3</sup>, Стуколова И. В.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Россия

<sup>4</sup>Редакция журнала «Вопросы современной альгологии», Москва, Россия

<sup>5</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А. В. Топчиева, Москва, Россия

✉ [info@algology.ru](mailto:info@algology.ru)

Перспективность использования бентосных макрофитных водорослей как биоиндикаторов загрязнения морской воды различными элементами, в том числе тяжёлыми металлами, определяется способностью водорослей активно накапливать в своём составе многие элементы, растворённые в воде. При этом специфические химические вещества водорослей часто связывают многие токсичные для других организмов элементы, например свинец, и способствуют их дезактивации, что позволяет водорослям накапливать данные элементы в достаточно больших количествах. Это может быть использовано не только для оценки загрязнения, но и для очистки морских вод и даже для получения из биомассы водорослей ценных элементов, таких как редкоземельные металлы. Для этого необходимо подробно изучить закономерности и физиологические особенности минерального питания макроводорослей, включая влияние различных факторов среды на их обмен.

Нами проведено исследование изменения накопления различных металлов в макроводоросли *Cystoseira barbata* (Turn.) C. Ag. — одного из массовых видов бурых водорослей Чёрного моря — в зависимости от глубины её произрастания. Материал собран летом 2018 г. на краснодарском побережье Чёрного моря в районе г. Анапы на двух станциях с различными экологическими условиями: ст. 1 (условно чистая) — в районе заповедника, удалённая от поселений и речных стоков; ст. 2 (условно загрязнённая) — в зоне влияния вод устья реки Сукко, загрязнённой хозяйственно-бытовыми стоками. Пробы отбирали с глубин 2, 4, 6 и 8 м. У растений определяли возраст и формировали пробу из 7–10 одновозрастных (7–8-летних) экземпляров. Пробы для исследования готовили по стандартной методике. Содержание элементов в пробах определяли с использованием метода нейтронно-активационного анализа либо атомно-адсорбционной спектроскопии (для Cu и Pb).

По результатам исследования, значения содержания изучаемых минеральных элементов в одновозрастных талломах водорослей (то есть сходных по возрастным метаболическим процессам) могут колебаться в 1,52–12 раз. При этом для микроэлементов (Fe, Mn, Zn, Cu и Cr) отмечены колебания в диапазоне от 1,96 до 6,2 раза; для физиологически незначимых элементов — в диапазоне от 1,52 (Ba) и 1,58 (Rb) до 11,9(Pb) и 12 (Au) раз.

Также можно выделить группы минеральных элементов, накопление которых в изучаемой водоросли зависит от глубины местообитания. Содержание Ni и U в талломах *C. barbata* уменьшается с глубиной. Для Fe, Cu, Zn, Co, Th, Au, Sc, Rb, La и Вг в большей или меньшей степени проявляется тенденция увеличения содержания с глубиной. На накоплении Ba, As и Sb глубина не сказалась (закономерности не выявлены). Для Pb и Cr также отмечено отсутствие значимых различий для растений на ст. 1; при этом на ст. 2 (условно загрязнённой) с глубиной отмечается уменьшение содержания Pb и, напротив, повышение содержания Cr.

Причинами выявленных тенденций могут быть как физиологический отклик водоросли на присутствие конкретного элемента в воде, так и влияние набора других факторов среды обитания (солёность, pH, гидрофизические факторы и др.), что даёт большой материал для различных предположений о путях и механизмах попадания этих элементов в организм, построения моделей и дальнейшего исследования процессов накопления элементов макроводорослями.

## Первые данные о сообществе бактерий и архей пресноводного моллюска дрейссены (*Dreissena polymorpha*) из бассейна реки Волга

Кисиль О. Я.<sup>1</sup>, Аксёнов А. С.<sup>1,2</sup>, Аксёнова О. В.<sup>2</sup>, Беспалая Ю. В.<sup>2</sup>, Травина О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова  
УрО РАН, Архангельск, Россия

✉ [a.s.aksenov@narfu.ru](mailto:a.s.aksenov@narfu.ru)

Микробиота кишечника моллюсков играет важную роль в ряде физиологических функций, включая иммунную регуляцию, метаболизм питательных веществ, развитие, поведение и устойчивость к патогенам. На состав микробных сообществ моллюсков влияют экзогенные и эндогенные факторы, такие как видовые различия, стадия развития, состав рациона, среда обитания и окружающая среда (например, температура и солёность воды), условия роста, а также филогенетическое положение. Дисфункция микрофлоры может вызывать многочисленные заболевания у моллюсков и тем самым оказывать влияние на экосистемы в целом.

Дрейссена полиморфная, или речная дрейссена (*Dreissena polymorpha*), — один из самых агрессивных и активных видов-инвайдеров, который широко расселился в мире. Согласно научным данным, этот вид интенсивно распространился из Каспийского региона практически по всей Европе и Северной Америке. Моллюск, прежде обитавший в более южных районах, смог адаптироваться к суровым условиям среды, несмотря на то что для размножения ему нужна температура около +15 °С. Как и другие двусторчатые моллюски, дрейссена содержит большое количество микроорганизмов, играющих важную роль в её росте и выживании, в том числе потенциально патогенные виды.

Целью работы являлась идентификация таксономического состава микробиоты дрейссены из бассейна реки Волга путём амплификации и высокопроизводительного секвенирования последовательностей маркерного гена 16S рРНК.

Образцы дрейссены были собраны из реки Волга в районе города Углича в 2021 г. Для выделения ДНК из образцов мягких тел моллюсков (3 параллельных образца) был использован модифицированный СТАВ-метод. Разрушение клеточных стенок микроорганизмов осуществляли с помощью шарикового гомогенизатора Precellys 24 (Bertin Technologies, Франция). Препараты ДНК после очистки использовались для создания библиотек фрагментов гена 16S рРНК методом ПЦП с применением универсальных праймеров на переменный участок V4 — F515/R806 (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA/GGACTACVSGGGTATCTAAT). Подготовка библиотек и секвенирование проводились в соответствии с рекомендациями производителя для работы на приборе Illumina MiSeq (Illumina, США) с использованием набора реагентов MiSeq® Reagent Kit v3 (600-cycle) с двусторонним чтением (2 × 300 н). Обработка полученных данных выполнялась с помощью программного обеспечения компании Illumina (США), программных пакетов dada2, phyloseq и DECIPHER; работа осуществлялась в программной среде R. Для представления данных таксономического анализа использовались средства программного пакета QIIME.

В результате молекулярно-генетического анализа было получено 10192–23345 вариантов последовательностей ампликона 16S рРНК. К бактериям в среднем было отнесено 98,3 % всех класифицированных последовательностей генов 16S рРНК; остальные последовательности принадлежали археям. Почти все обнаруженные археи были представлены родами *Methanobacterium* (0,3–0,7 %) и *Methanosarcina* (0,4–0,9 %). Большинство бактерий составляли филумы Actinobacteriota (14,2–52,8 %), Firmicutes (10,9–23,6 %) и Proteobacteria (12,0–15,1 %). Эти результаты сходны с данными, полученными на основе флуоресцентной гибридизации *in situ* и метагеномного анализа. Доминирование этих таксонов в кишечнике дрейссены предполагает функциональную связь с хозяином, такую как участие микробов в метаболизме его питательных веществ. Важно и то, что некоторые из преобладающих таксонов в кишечнике дрейссены состоят из видов, которые, как известно, являются патогенами. Например, около 1 % представителей Proteobacteria, а именно Enterobacterales

и *Pseudomonas*, потенциально патогенны. Эти результаты имеют большое значение, поскольку двустворчатые моллюски способны влиять на передачу патогенов в водной среде. Моллюски могут снижать содержание патогенов в воде за счёт активной или пассивной фильтрации либо же увеличивать их количество, когда моллюск-хозяин выступает в качестве резервуара для патогенов или пассивным, или активным образом.

Таким образом, нами впервые получены данные о составе микробиоты дрейссены полиморфной, обитающей в бассейне реки Волга. Результаты исследований могут стать основой для создания новых инструментов в биомониторинге пресноводных экосистем.

Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 21-74-10155.

## Состояние кишечного микробиома техасского белого перепела на фоне приёма пробиотиков

Скворцова Е. Г., Филинская О. В., Чешун К. А.

Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия

✉ [e.skvorcova@yarcx.ru](mailto:e.skvorcova@yarcx.ru)

После внутриутробного периода организм любого животного вступает в контакт с микроорганизмами, которые проникают через дыхательные и пищеварительные пути и заселяют весь организм. Вопрос о том, нужны ли пробиотики в животноводстве, является крайне актуальным на сегодняшний день. С одной стороны, многократно доказано их положительно влияние на пищеварение, обмен веществ, выживаемость и скорость роста животных, в том числе птиц. С другой стороны, до сих пор хозяйств, не применяющих пробиотики, в РФ больше, чем применяющих, и при соблюдении зооигиенических и санитарных норм кишечный микробиом благополучно формируется без применения дополнительных препаратов. Что же важнее при формировании здоровой микробиоты желудочно-кишечного тракта — генетическая предрасположенность организма, соблюдение зооигиенических и санитарных норм, применение витаминных, пребиотических или пробиотических препаратов? Было проведено исследование на кишечниках техасских белых перепелов. Всего в исследовании участвовало 15 опытных птиц (три головы, с порядковыми номерами с 1 по 3 — контрольная группа; три головы, с 4 по 6 — опытная группа, принимавшая препарат «ЭМ-Курунга»; три головы, с 7 по 9 — препарат «Яросил» в дозировке  $0,6 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1}$ ; пять голов, с 10 по 15 — препарат «Яросил» в дозировке  $0,2 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1}$ ), из тушек которых были извлечены слепые отростки кишечника. Фрагменты слепых отростков были помещены в пробирки с жидкой питательной средой MRS и проинкубированы в термостате при температуре  $+43 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. Через сутки оценили, насколько хорошо произошло развитие микроорганизмов. Во всех исследованных пробах произошло развитие молочных микроорганизмов. В основном это кокки и диплококки, включая цепочки; были обнаружены и единичные палочки. Препарат № 2 из контрольной группы и № 6 из первой опытной показывают многочисленные кокки и диплококки, а также их скопления и цепочки; имеются немногочисленные палочки. Проба № 5 из первой опытной группы, принимавшей препарат «ЭМ-Курунга», имеет исключительно кокки и диплококки без скоплений и цепочек; палочки отсутствуют. Проба № 11 из третьей опытной группы содержит лишь небольшое количество кокков и диплококков; палочки, цепочки и скопления отсутствуют. Проба № 13 показывает хорошую обсеменённость кокками и диплококками, а также их скоплениями и цепочками; присутствуют единичные палочки. После перевивки и инкубации при  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  оценивали препараты на время свёртываемости. Было обнаружено присутствие исключительно коротких толстых палочек (иногда кокковидных палочек). Перевивка препаратов и их инкубация в разных термостатах при температуре  $+10$ ,  $+15$  и  $+45 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 7 суток показали, что на  $+10$  и  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$  пробы не свёртывают молоко. На  $+45 \text{ }^\circ\text{C}$  все экземпляры показали отличное свёртывание. Из этого можно сделать вывод, что выделенные из слепых отростков кишечника техасского белого перепела микроорганизмы являются термофильными. В пробирках «Петушок» через 10 суток культуры не проявили газообразования; следовательно, выделенные культуры, скорее всего, являются молочнокислыми палочками. Таким образом, при использовании методов посева и микроскопирования не обнаружено значительной разницы в микробиоме техасских белых перепелов, получавших и не получавших пробиотические препараты. Молочнокислые бактерии присутствовали и у птиц контрольной группы. Для выявления более тонких отличий из слепых отростков кишечника птицы выделена ДНК; планируется проведение метагеномного анализа кишечного микробиома.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/177.pdf>.



## Сравнение состава и активности аэробного микробного метанового фильтра в естественных и антропогенно нарушенных осадках Карского моря

Тихонова Е. Н., Кадников В. В., Русанов И. И., Пименов Н. В.

Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

✉ [katerina\\_inmi@mail.ru](mailto:katerina_inmi@mail.ru)

Метанотрофы — физиологически и биохимически специализированная группа аэробных прокариот, использующих метан в качестве источника углерода и энергии. В водных экосистемах метанотрофы образуют биофильтры, препятствующие поступлению  $\text{CH}_4$  в атмосферу. Филогенетическое разнообразие аэробных метанотрофов в донных осадках арктических морей активно изучается, однако данные о структуре аэробного метанового фильтра в антропогенно нарушенных поверхностных отложениях отсутствуют.

Пробы донных осадков были отобраны в сентябре — октябре 2020 г., в ходе рейса НИС «Виктор Буйницкий», в ямальской акватории юго-западной части Карского моря. Участок отбора образцов был ограничен по широте и долготе ( $72.6^\circ\text{N}$  и  $73.6^\circ\text{N}$ ,  $64.4^\circ\text{E}$  и  $68.4^\circ\text{E}$ ). Акватория отбора проб располагается западнее северной половины полуострова Ямал на несколько сотен километров. Образцы донных отложений (приповерхностный слой, 1–3 см) отбирали в устьях законсервированных скважин, образовавшихся при проведении газоразведывательного бурения. Устья представляли собой выходящие к поверхности дна трубы диаметром около 70 см, залитые бетонной смесью. Предполагается, что происходит капиллярное подтравливание газа из труб, что обеспечивает некоторую концентрацию газа непосредственно рядом с залитой бетоном скважиной по сравнению с фоновым отбором. Для каждой скважины была взята контрольная точка на удалении 1 км против придонного течения. Диапазон глубин над скважинами составлял 29–108 м. Точки отбора находились в разной удалённости от берега в рамках указанного координатами региона.

В работе использован комплекс радиоизотопных, газеохимических, микробиологических и молекулярно-биологических методов для изучения разнообразия аэробных метанооксилирующих бактерий в поверхностных осадках Карского моря. Сразу после отбора образцов проводилось измерение содержания и скорости окисления метана. В лабораторных условиях проведены инкубационные эксперименты по влиянию температуры на активность метанооксилирующих бактерий. Из нативных осадков и накопительных культур выделена тотальная ДНК.

Содержание растворённого метана в осадках варьировало от 9 до 80 нмоль·дм<sup>-3</sup>, среднее значение составляло 40 нмоль·дм<sup>-3</sup>. Достоверных различий между скважинами и контрольными точками не отмечено, за исключением Нярмейской, где содержание метана в 10 раз превышало концентрацию в фоновой точке (9 и 90 нмоль·дм<sup>-3</sup> соответственно). Скорость окисления метана также была достаточно низкой (0,07–5,5 мкмоль  $\text{CH}_4$ ·дм<sup>-3</sup>·сут<sup>-1</sup>), без достоверных различий между скважинами и фоновыми станциями для 5 точек. Для Нярмейской скважины величина интенсивности окисления метана (11,1 мкмоль  $\text{CH}_4$ ·дм<sup>-3</sup>·сут<sup>-1</sup>) была выше, чем для остальных точек, и заметно отличалась от значений на фоновой станции (1,6 мкмоль  $\text{CH}_4$ ·дм<sup>-3</sup>·сут<sup>-1</sup>). Основными продуктами микробного окисления метана являлись углекислота и  $\text{PO}_4$  (растворённый органический углерод), в биомассу включалось незначительное количество.

Проведён анализ разнообразия метанотрофных микроорганизмов методом высокопродуктивного секвенирования гена 16S рРНК. Последовательности, полученные в ходе секвенирования, принадлежали представителям *Methylococcales* класса *Gamma*proteobacteria. Таксономическое разнообразие метанотрофов было невелико, выявлены представители *Methylococcaceae*, близкие к роду *Methyloprofundus* и отнесённые в 2 ОТЕ (операционные таксономические единицы). Их доля составляла 0,01–0,06 % от общего числа прочтений всех прокариот.

Проведён анализ разнообразия метанотрофных микроорганизмов методом высокопродуктивного секвенирования гена *pmoA* (метанмонооксигеназа, ключевой фермент процесса окисления метана). Ввиду специфичности и избирательности анализа выявлено большее разнообразие организмов, отнесённых в 7 ОТЕ. Среди них представители *Methylococcales* класса *Gamma*proteobacteria родов

*Methyloprofundus*, *Methylomonas* и *Methylobacter*, а также Alphaproteobacteria рода *Methylocystis*. Достоверных различий в составе метанотрофов, детектированных в естественных и антропогенно нарушенных осадках, не выявлено.

В инкубационных экспериментах проведена оценка воздействия температуры на активность окисления метана, количество и таксономическое разнообразие метанотрофов в исследуемых осадках. Для проведения эксперимента 5 г осадка помещали в 120-миллилитровые флаконы, приливали 5 мл минеральной среды, в газовую фазу добавляли 5 % метана (10 000 ppm), инкубирование проводили при +4 и +20 °C в течение 30 суток. Убыль метана оценивали методом газовой хроматографии. После окончания эксперимента из образцов выделена тотальная ДНК для проведения анализа метабеномных библиотек *pmoA* методом высокопроизводительного секвенирования (HiSeq, Illumina) и количественной ПЦР. Во всех образцах отмечена убыль метана, за время эксперимента его количество снизилось до 100–30 ppm. Максимальные величины метанооксилюющей активности были получены при инкубации образцов при температуре +20 °C. Методом ПЦР в реальном времени установлено, что количество копий генов *pmoA* в нативных образцах составляло от  $4 \times 10^3$  до  $4 \times 10^5$ . После инкубирования с метаном достоверного увеличения количества копий гена метанмонооксигеназы не произошло. Количественные характеристики общей численности (количество копий *pmoA*) метанотрофного сообщества нативных образцов и образцов после проведения инкубационных экспериментов свидетельствуют о том, что в ходе эксперимента не происходило увеличение количества клеток. В то же время активность процесса окисления метана возрастала с повышением температуры.

Таким образом, данные высокопроизводительного секвенирования (генов 16S рРНК и *pmoA*) свидетельствуют об аналогичном составе метанового фильтра для нарушенных и естественных мест отбора. В инкубационных экспериментах показано, что при повышении температуры происходит увеличение активности метанотрофных бактерий, но не их количества.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-04-00126, а также из средств государственного задания ФИЦ Биотехнологии РАН.



## Влияние наночастиц оксида меди на структурно-функциональные характеристики микроводорослей *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) Dodge и *Dunaliella salina* Teod.

Шоман Н. Ю., Соломонова Е. С., Акимов А. И., Рылькова О. А.

n-zaichenko@yandex.ru



Инженерные наночастицы (далее — НЧ) являются новыми материалами, широко применяемыми во всех областях деятельности человека. Рост объёмов их производства и успешное внедрение вызывают естественные опасения по поводу проявления специфических наноразмерных эффектов для живых организмов, в частности микроводорослей, которые являются базовым компонентом водных экосистем и определяют продуктивность всех звеньев трофической цепи. Отдельные эксперименты по оценке токсичности НЧ на микроводоросли трудно сравнимы между собой как по видовой специфике объекта исследования, так и по свойствам самих НЧ, вследствие чего полученные результаты неоднозначны, а иногда и противоречивы. Между тем установление допустимых диапазонов концентрации, проведение полной оценки рисков применения НЧ и выяснение их биологической безопасности с учётом всех физико-химических свойств и иных характеристик — актуальная и важная задача. Из всего разнообразия НЧ металлов особое внимание уделяется НЧ оксида меди. Это обусловлено тем, что они входят в состав более чем 95 % противообрастающих красок, из которых высвобождаются в воду в большом количестве. Кроме того, НЧ оксида меди активно используются для борьбы с патогенами — грибами и бактериями.

В представленном исследовании проведена сравнительная оценка стрессовых реакций динофлагелляты *Prorocentrum cordatum* и зелёной микроводоросли *Dunaliella salina*, существенно различающихся как по клеточному строению, так и по ареалу обитания, на присутствие в среде НЧ оксида меди в разной концентрации. Установлено, что воздействие НЧ CuO на два исследуемых вида микроводорослей носило схожий характер. Токсический эффект влияния поллютанта проявлялся в прогрессирующем увеличении продукции активных форм кислорода в клетках водорослей на фоне снижения их удельной скорости роста, что объясняется, вероятно, высвобождением ионов меди  $Cu^{2+}$  из оксида или интерполяцией отдельных наночастиц внутрь клеток. При механическом воздействии НЧ наблюдались деформация клеточных оболочек и их агрегация на поверхности клеток. Присутствие токсиканта в культуральной среде приводило к достоверному увеличению клеточных объёмов и перфорации плазмалеммы, а также к преобладанию деформированных клеток в культурах микроводорослей.

В то же время получено, что эти два вида сильно различаются по степени устойчивости к воздействию НЧ CuO, что связано как со строением их клеточных оболочек, так и с метаболитами, выделяемыми клетками в среду в качестве защиты от воздействия НЧ CuO. Как вид, ареал которого охватывает и экстремальные экосистемы, *D. salina* оказалась более устойчивой к воздействию поллютанта, чем *P. cordatum* — динофитовая микроводоросль, типичный представитель фитопланктона Чёрного моря. Так, через 72 ч после внесения нанопорошка 50%-ное снижение численности *P. cordatum* относительно контроля отмечено при концентрации НЧ CuO  $280 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Между тем для *D. salina* эта величина была на порядок выше —  $2500 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Сублетальные и летальные концентрации НЧ CuO для *P. cordatum* были равны 400 и  $520 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ , а для *D. salina* — 3000 и  $3750 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$  соответственно.

Морфометрические исследования показали, что наличие плотного армированного целлюлозного панциря у *P. cordatum* не обеспечивало клеткам большую устойчивость к механическому воздействию НЧ, чем у *D. salina* с ультратонкой клеточной оболочкой. Такой результат опровергает существующую гипотезу о том, что клеточная стенка выполняет роль «защитного барьера» от механического воздействия металлических наночастиц. Вероятно, устойчивость *D. salina* в данном случае обусловлена её способностью в стрессовых условиях роста секретировать в большом количестве органическое вещество — внеклеточные полимерные соединения — для формирования вокруг клетки защитного слоя, предотвращающего взаимодействие микроводоросли с НЧ.

Таким образом, динофлагеллята *P. cordatum* может эффективно применяться в качестве модельного организма для оценки качества морской воды в результате её загрязнения НЧ оксида меди. Между тем зелёная микроводоросль *D. salina* является перспективным видом, который можно использовать в биоремедиации вод, загрязнённых тяжёлыми металлами.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121041400077-1 («Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом») и № 121030300149-0 («Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса»).



Физиология  
и биохимия  
адаптационных  
процессов  
гидробионтов

## Диссимиляционная тиосульфатредукция у бесцветных серобактерий рода *Thiothrix* — *Thiothrix litoralis* AS<sup>T</sup>

Алёмова А. С., Москвитина М. И., Руденко Т. С., Грабович М. Ю.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

✉ [sima\\_coffee@mail.ru](mailto:sima_coffee@mail.ru)

Недавний анализ геномов всех видов *Thiothrix* показал у большинства представителей рода (*T. fructosivorans* Q<sup>T</sup>, *T. caldifontis* G1<sup>T</sup>, *T. lacustris* BL<sup>T</sup>, *T. litoralis* AS<sup>T</sup>, *T. nivea* JP2<sup>T</sup>, *T. unzii* A1<sup>T</sup>, *T. subterranea* Ku-5<sup>T</sup>, *T. winogradskyi* CT3<sup>T</sup>, MAG of *Thiothrix* sp. 207, ‘*Ca. Thiothrix anitrata*’ A52, ‘*Ca. Thiothrix sulfatifontis*’ KT и ‘*Ca. Thiothrix moscovensis*’ RT) наличие генов, которые кодируют три субъединицы тиосульфатредуктазы (*phsA*, *phsB* и *phsC*) — основного фермента, осуществляющего анаэробное восстановление тиосульфата как конечного акцептора электронов. Ранее для *Thiothrix lacustris* BL<sup>T</sup>, *Thiothrix litoralis* AS<sup>T</sup>, *Thiothrix caldifontis* G1<sup>T</sup> и *Thiothrix unzii* A1<sup>T</sup> уже был показан анаэробный рост при наличии нитратов в качестве терминального акцептора электронов.

Для верификации геномных данных был проведён ряд последовательных пассажей *T. litoralis* AS<sup>T</sup> в анаэробных условиях с лактатом в качестве донора электронов и тиосульфатом в качестве терминального акцептора электронов. Результаты показали стабильный прирост белка, составивший в среднем 14 мг·л<sup>-1</sup>.

Для подтверждения функционирования тиосульфатредуктазы в анаэробных условиях у *T. litoralis* AS<sup>T</sup> был определён относительный уровень транскриптов трёх субъединиц тиосульфатредуктазы. В результате было показано, что при анаэробном культивировании экспрессия генов *phsA*, *phsB* и *phsC* увеличивается приблизительно в 15 раз по сравнению с таковой при аэробных условиях, что подтверждает способность *T. litoralis* к анаэробному дыханию на тиосульфате.

Методом йодометрического титрования была показана динамика восстановления тиосульфата и образование сульфита и сульфида как основных продуктов восстановления тиосульфата.

С помощью биохимических и молекулярных методов впервые для представителя рода *Thiothrix* — *T. litoralis* AS<sup>T</sup> — была показана способность к анаэробному росту на тиосульфате в качестве терминального акцептора электронов. Это имеет большое экологическое значение. В сероводородных биотопах, где устанавливаются динамические градиенты молекулярного кислорода и сероводорода и где всегда присутствует химически образованный тиосульфат, представители рода *Thiothrix* способны выживать в анаэробных условиях, используя последний в качестве терминального акцептора электронов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-14-00137.

## Клеточный иммунитет двустворчатых моллюсков в контексте адаптации к дефициту кислорода

Андреева А. Ю., Кладченко Е. С.

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

✉ [andreevaal@gmail.com](mailto:andreevaal@gmail.com)

Гипоксия является распространённым явлением в шельфовой зоне Мирового океана, оказывающим существенное негативное воздействие на прибрежные морские экосистемы. Недостаток кислорода может косвенным образом влиять на интенсивность энергетического обмена гидробионтов путём индукции окислительного стресса во время гипоксии и реоксигенации, а также повышения энергетических потребностей клеток в период восстановления нормального кислородного режима. У позвоночных животных первичным ответом на стрессовые факторы различной природы является выброс нейроэндокринных мессенджеров, осуществляющих перераспределение ресурсов энергии в организме в направлении поддержания жизненно необходимых процессов. При этом происходит угнетение роста, процессов размножения, а также иммунного статуса. У беспозвоночных иммунная защита также является энергозатратным процессом, требующим реорганизации метаболизма и перераспределения потоков энергии с различных тканей на иммунную систему. Вместе с тем взаимосвязь эффективности иммунного ответа и процесса адаптации водных беспозвоночных к неблагоприятным условиям среды исследована довольно слабо.

В настоящей работе изучена взаимосвязь состояния клеточного иммунитета двустворчатых моллюсков и границ их адаптивного потенциала к кратковременному недостатку кислорода.

Объектами исследования являлись промысловые двустворчатые моллюски, имеющие различную степень чувствительности к недостатку кислорода, — *Magillana gigas*, *Mytilus galloprovincialis* и *Anadara broughtonii*. Для решения поставленных задач моллюски были подвергнуты экспериментальной гипоксической нагрузке. Экспериментальная гипоксия создавалась в 80-литровых герметичных пластиковых аквариумах. Моллюски размещались в аквариумах с плотностью посадки 3–5 особей на 10 л воды. Гипоксические условия создавали путём продувки морской воды в аквариумах газообразным азотом до достижения концентрации кислорода 1,5–2,2 мг·л<sup>-1</sup>. Каждый вид моллюсков подвергался воздействию гипоксии в указанной концентрации кислорода в краткосрочный (24 ч) и длительный (72 ч) периоды. Концентрация кислорода в воде контролировалась в течение всего времени эксперимента и поддерживалась на постоянном уровне за счёт периодической аэрации. По окончании экспериментального периода проводился забор гемолимфы. Все манипуляции с клетками проводили при температуре +4 °С для предотвращения склеивания и агрегации гемоцитов. Клетки трижды отмывали от плазмы в эквивалентном объёме стерильной морской воды. Клетки ресуспендировали в стерильной морской воде, концентрация гемоцитов в пробе составляла от  $2 \times 10^6$  до  $4 \times 10^6$  кл·мл<sup>-1</sup>. Маркеры клеточного иммунного ответа моллюсков анализировали при помощи метода проточной цитометрии. Клеточный состав гемолимфы определяли на суспензиях, окрашенных SYBR Green I на основании распределения клеток по прямому (forward scatter, FS) и боковому рассеянию (side scatter, SS). Уровень спонтанной продукции АФК гемоцитами моллюсков анализировали на основании интенсивности окрашивания клеток красителем DCF-DA (2',7'-дихлорфлуоресцеин диацетат) (финальная концентрация красителя в пробе — 10 мкМ·л<sup>-1</sup>). Уровень смертности гемоцитов определяли при помощи окрашивания клеток йодистым пропидием (propidium iodide, PI). Величина мембранного потенциала митохондрий определялась на основании оценки уровня флуоресценции гемоцитов, окрашенных флуоресцентным зондом «Родамин 123» (Rhodamine 123, Rh123) (финальная концентрация красителя в пробе — 0,1 мг·мл<sup>-1</sup>). Интенсивность фагоцитоза оценивали согласно протоколу производителя. В 90 мкл стерильной морской воды разводили 10 мкл суспензии гемоцитов и инкубировали с раствором зимозана (40 мкл) в течение 90 минут при +20 °С в темноте.

Суточная гипоксия не вызывала достоверных изменений в клеточном составе гемолимфы устриц, в то время как при длительном недостатке кислорода отмечен рост количества агранулоцитов до  $(71,1 \pm 1,2)$  %. Доля гиалиноцитов сократилась более чем в 2 раза по сравнению с показателями

нормоксии; доля гранулоцитов достоверно увеличилась до  $(15,8 \pm 2,3) \%$ . Спустя сутки экспериментальной нехватки кислорода у мидий отмечено достоверное увеличение доли гранулоцитов в пробах с  $(1,9 \pm 0,8)$  до  $(7,4 \pm 1,8) \%$  от общего числа гемоцитов в суспензии ( $p < 0,05$ ). Спустя 72 ч гипоксии доля гранулоцитов снизилась до  $(4,4 \pm 0,6) \%$ , однако не достигла уровня контроля. В результате воздействия гипоксии в гемолимфе *A. broughtonii* отмечалась тенденция к снижению доли амёбоцитов в суспензиях клеток, но различия между экспериментальными группами были недостоверны.

Инкубация в условиях гипоксии не приводила к увеличению доли мёртвых гемоцитов в суспензиях гемолимфы всех трёх исследованных видов моллюсков. Спустя 24 ч воздействия гипоксии уровень внутриклеточного содержания активных форм кислорода (далее — АФК) у всех типов гемоцитов устриц вырос, а после 72 ч воздействия недостатка кислорода внутриклеточная концентрация АФК достоверно снизилась и у гранулярных, и у агранулярных клеток ( $p \leq 0,05$ ,  $n = 10$ ). В отличие от гемоцитов устриц, в гемоцитах мидий *M. galloprovincialis* в условиях дефицита кислорода достоверных изменений в интенсивности спонтанной продукции АФК не наблюдалось. У анадар *A. broughtonii*, находящихся под воздействием кратковременной гипоксии (24 ч), отмечалось значительное снижение уровня флуоресценции DCF-DA и у агранулярных клеток, и у эритроцитов ( $p \leq 0,05$ ). В условиях гипоксической нагрузки отмечена тенденция к снижению общей способности гемоцитов устриц к фагоцитозу, однако различия между опытными группами не были достоверны. Общая фагоцитарная активность клеток гемолимфы анадары Броутона снижалась спустя 24 ч воздействия недостатка кислорода. У особей, содержащихся при 72-часовой гипоксии, дальнейшего снижения интенсивности фагоцитоза не отмечалось. Спустя 24 ч гипоксического воздействия в агранулярных гемоцитах устриц регистрировалось небольшое увеличение мембранного потенциала митохондрий. При длительном гипоксическом воздействии (72 ч) фиксировалось достоверное снижение величины мембранного потенциала митохондрий у всех типов гемоцитов устриц. У мидий кратковременная гипоксия оказывала сходный эффект на величину мембранного потенциала митохондрий, однако изменения носили характер тенденции. Длительная гипоксия (72 ч) привела к снижению флуоресценции Rh123 у всех типов гемоцитов. У гранулоцитов величина мембранного потенциала митохондрий сократилась примерно на 30 %. У анадары гипоксия оказывала дозозависимый угнетающий эффект на величину мембранного потенциала митохондрий у гемоцитов.

Таким образом, эффективность клеточного иммунитета двустворчатых моллюсков в условиях гипоксии определяется границами адаптивного потенциала вида. Состояние иммунной защиты гемоцитов у чувствительных к гипоксии видов в значительной степени зависит от интенсивности клеточного дыхания. При снижении интенсивности окислительного фосфорилирования в клетках происходит угнетение иммунных функций гемоцитов. У толерантных к гипоксии видов снижение иммунного статуса гемоцитов отмечается в период реорганизации метаболизма, в то время как при достижении нового гомеостаза происходит частичное восстановление иммунного статуса клеток в условиях анаэробноза.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности организации иммунной системы промысловых гидробионтов и исследование влияния факторов внешней среды на функционирование их защитных систем» (№ 121102500161-4).

## Филогенетический состав микробного сообщества респираторных поверхностей двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в условиях острой гипоксии и сероводородного заражения

Брюханов А. Л.<sup>1</sup>, Солдатов А. А.<sup>2</sup>, Рычкова В. Н.<sup>2</sup>, Головина И. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [brjuchanov@mail.ru](mailto:brjuchanov@mail.ru)

Природа устойчивости некоторых гидробионтов к присутствию сульфидов в воде до конца не определена. Обсуждаются участие сульфидоокисляющей микрофлоры, поселяющейся на респираторных поверхностях, и её участие в нейтрализации сероводородной нагрузки, а также способность ряда организмов переводить сульфиды в тиосульфаты. В некоторых публикациях отмечается присутствие в гемолимфе моллюсков особого транспортного белка, наличие нечувствительных к сероводороду гемоглобинов, а также присутствие в эритроцитах ряда видов особых зернистых включений, содержащих гематин, которые способны окислять сульфиды.

Объектом настоящего исследования является двустворчатый моллюск-вселенец *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). В условиях эксперимента он показал устойчивость не только к острым формам гипоксии и аноксии, но и к сероводородной нагрузке. В эритроцитах данного вида ранее были описаны зернистые включения; по данным светооптической микроскопии было показано их участие в процессах адаптации вида к повышенным концентрациям сульфидов. В настоящей работе представлена информация по качественному составу микрофлоры жабр моллюска с учётом содержания кислорода и присутствия сульфидов в морской среде.

Для анализа филогенетического состава микробных сообществ использовали высокопроизводительное секвенирование фрагментов гена 16S рРНК, которые содержат переменный регион V3–V4, с использованием в качестве ПЦР-матрицы тотальной ДНК, выделенной из образцов жабр моллюска. Секвенирование осуществляли на геномном анализаторе MiSeq (Illumina, США) с применением набора MiSeq Reagent Kit v3 (600 циклов, чтение с двух концов). Парные пересекающиеся чтения объединяли с помощью программы Flash. Для определения размера кластеров (оперативных таксономических единиц, далее — ОТЕ) в каждом образце все исходные объединённые чтения накладывались на репрезентативные последовательности ОТЕ с минимальной идентичностью 97 % по всей длине с помощью программы Usearch v11. Таксономическую классификацию полученных ОТЕ проводили по базе последовательностей 16S рРНК RDP (Ribosomal Database Project).

В тканях жабр контрольной группы моллюсков *A. kagoshimensis* (содержание O<sub>2</sub> в воде 6,9–8,2 мг·л<sup>-1</sup>; температура +18...+21 °С; экспозиция 48 ч) наиболее распространёнными микроорганизмами оказались бактерии рода *Stenotrophomonas* (семейство *Xanthomonadaceae* порядка *Xanthomonadales* класса *Gamma*proteobacteria филума *Proteobacteria*), на которых приходилось 86,58 % от всех чтений. Это аэробные, каталазоположительные, подвижные гидролитические бактерии, широко распространённые в морской и пресной воде, почвах и ризосфере растений, некоторые вызывают внутрибольничные инфекции. Они способны метаболизировать чрезвычайно широкий спектр органических соединений, фиксировать азот и окислять элементарную серу. Также были обнаружены некультивируемые бактерии семейства *Arcobacteraceae* (порядок *Campylobacteriales* класса *Campylobacter* филума *Campylobacterota*) — 4,87 %; семейства *Spirochaetaceae* (порядок *Spirochaetales* класса *Spirochaetia* филума *Spirochaetota*) — 1,97 %; рода *Rhodococcus* (семейство *Nocardiaceae* порядка *Corynebacteriales* класса *Actinobacteria* филума *Actinobacteriota*) — 1,17 %.

Ткани жабр моллюсков, подвергнутых гипоксии (содержание O<sub>2</sub> в воде 0,22–0,50 мг·л<sup>-1</sup>; температура +18...+21 °С; экспозиция 48 ч), имели совершенно иной качественный и количественный состав микробного сообщества. Высокая численность приходилась на бактерии родов *Vibrio* и *Photobacterium* (семейство *Vibrionaceae* порядка *Enterobacteriales* класса *Gamma*proteobacteria филума *Proteobacteria*) — 42,88 и 8,83 % от всех чтений соответственно. *Vibrio* spp. — факультативно анаэробные подвижные бактерии, способные переключаться на бродильный тип метаболизма



и широко распространённые в водоёмах, в том числе в качестве симбионтов глубоководных морских животных. Доля представителей семейства *Arcobacteraceae* выросла до 17,54 %, а доля семейства *Xanthomonadaceae* резко снизилась — до 2,79 %. Кроме того, были обнаружены некультивируемые бактерии семейств *Porticoccaceae* (порядок *Pseudomonadales* класса *Gammaproteobacteria* филума *Proteobacteria*) — 7,26 %; *Zixibacteria* (порядок *Zixibacteria* класса *Zixibacteria* филума *Zixibacteria*) — 5,37 %; *Helicobacteraceae* (порядок *Campylobacterales* класса *Campylobacteria* филума *Campylobacterota*) — 2,47 %; *Mycoplasmataceae* (порядок *Mycoplasmatales* класса *Bacilli* филума *Firmicutes*) — 1,45 %; *Shewanellaceae* (порядок *Enterobacteriales* класса *Gammaproteobacteria* филума *Proteobacteria*) — 1,03 %.

Ткани жабр моллюсков, подвергнутых гипоксии с внесением  $H_2S$  в концентрации  $6 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  (содержание  $O_2$  в воде  $0,1\text{--}0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ; температура  $+18\text{...}+21 \text{ }^\circ\text{C}$ ; pH 8,2; экспозиция 48 ч), содержали гораздо больше бактерий семейства *Arcobacteraceae* (роды *Pseudarcobacter*, *Halarcobacter* и *Arcobacter*) — 79,32 % от всех чтений (в 4,5 раза больше по сравнению с гипоксическим вариантом и в 16,2 раза больше по сравнению с контролем). Представители семейства *Arcobacteraceae* обитают в различных экотопах, включая морские осадки и водную толщу; некоторые являются патогенами животных и растений. Преимущественно микроаэрофилы; ряд видов способен к окислению сульфида. В данном сообществе по сравнению с микробным сообществом жабр моллюсков, подвергнутых только гипоксии, резко снизились доли представителей семейства *Vibrionaceae* (до 8,67 %) и семейства *Xanthomonadaceae* (до 1,44 %; значение в 60 раз ниже, чем в контрольном варианте).

Таким образом, впервые был изучен филогенетический состав микробного сообщества жабр моллюска *A. kagoshimensis* и показаны значительные и очень быстрые изменения в его качественном и количественном составе в зависимости от содержания кислорода и присутствия сероводорода в окружающей среде.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ИнБИОМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1) и по проекту РФФИ (№ 20-04-00037А).

## Влияние экспрессируемых при регенерации тканей белков целомической жидкости на оксидантную активность фагоцитов у голотурий *in vitro*

Долматова Л. С.<sup>1</sup>, Караулова Е. П.<sup>2</sup>, Тимченко Н. Ф.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г. П. Сомова Роспотребнадзора,  
Владивосток, Россия

✉ [dolmatova@poi.dvo.ru](mailto:dolmatova@poi.dvo.ru)

Восстановление тканей и регенерация органов являются одной из ключевых проблем биологии и медицины. Важную роль в механизмах регенерации играют клетки иммунной системы, регулирующие активность восстановления тканей на разных этапах. При этом макрофаги, которые могут присутствовать в тканях в М1 или М2 статусе, поляризуются преимущественно в М1 тип на ранней стадии заживления, а в М2 тип — на стадии восстановления. Многие механизмы, участвующие во взаимодействии иммунных клеток с тканями, остаются неясными. Известно, что при воспалительных состояниях, часто сопровождающих заживление ран при бактериальном загрязнении, состав белковых фракций крови существенно меняется. Предполагается, что изменения происходят в том числе с продукцией цитокинов. При этом у млекопитающих способность к регенерации выражена слабо.

Голотурии (Holothuroidea, Echinodermata) — одни из наиболее способных к регенерации животных, и они привлекают внимание исследователей как модельный объект для изучения механизмов регенерации. Фагоциты голотурий являются аналогами макрофагов и, подобно им, разделяются на Ф1 и Ф2 типы, имеющие соответствующие маркеры — высокий уровень NO в Ф1 фагоцитах и высокая активность аргиназы в Ф2 фагоцитах. Ранее из целомической жидкости голотурий *Eupentacta fraudatrix* (Djakonov et Baranova, 1958) (Holothuroidea: Dendrochirotida) через сутки после повреждения (поверхностный разрез) кожного покрова были выделены фракции белков, концентрация которых изменялась в наибольшей степени при введении экстракта из голотурий (далее — ЭГ) (его ранозаживляющие свойства были отмечены ранее). Предварительные исследования показали, что в регенерацию голотурий вовлечены несколько фракций белков, и некоторые из них противоположным образом влияли на активность антиоксидантных ферментов в Ф1 и Ф2 фагоцитах голотурии *in vivo*.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния белков, экспрессирующихся при заживлении поверхностной раны у голотурии *E. fraudatrix*, на оксидантную активность и жизнеспособность Ф1 и Ф2 фагоцитов *in vitro* при воздействии фактора патогенности *Yersinia pseudotuberculosis*, термостабильного летального токсина (ТсТУр).

**Материал и методы.** Голотурии были собраны в весенний период с помощью легководолазного снаряжения в бухте Алексеева (залив Петра Великого Японского моря), в локации научно-образовательного центра инновационных методов исследования и мониторинга морской среды ТОИ ДВО РАН (морская экспериментальная станция «Остров Попова»). На I этапе эксперимента животным наносили поверхностную рану (надрез скальпелем); в ряде случаев одновременно вводили ЭГ. Через сутки получали целомическую жидкость, в которой исследовали распределение белков по молекулярной массе, и отбирали белки, содержание которых значительно изменилось в процессе заживления раны при использовании ЭГ. На II этапе эксперимента выделенные белки и бычий сывороточный альбумин (далее — БСА) в трёх концентрациях (сопоставимых для разных белков) добавляли к свежевыделенным фагоцитам голотурии и инкубировали вместе с ТсТУр (0,15 мг·мл<sup>-1</sup>) при комнатной температуре в течение 24 ч.

Целомическую жидкость получали путём надреза стенки тела, добавляли к равному объёму антикоагулирующего раствора. Фракции фагоцитов Ф1 и Ф2 выделяли из целомической жидкости с помощью центрифугирования в градиенте фиколл-верографина. Для определения молекулярной массы белков использовали метод гель-проникающей хроматографии (хроматограф Agilent Technologies 1260 Infinity (США) с диодно-матричным детектором при 280 и 254 нм). Содержание нитросиногемоглобина

тетразолия (далее — НСТ), по которому судили об оксидантной активности фагоцитов, определяли спектрофотометрическим методом. Концентрацию белка измеряли методом Брэдфорда. Статистическую обработку материала проводили методом одновариантного анализа (one-way ANOVA) с помощью программы GraphPad Prism v. 6.01 (GraphPad Software Inc.).

**Результаты и обсуждение.** Хроматографическое разделение белков целомической жидкости на I этапе эксперимента выявило среди прочих два белка с молекулярной массой в диапазоне между 5 и 50 кДа (белок А с большей массой и белок В с меньшей массой) и пептид С с молекулярной массой менее 3 кДа. Эти белки экспрессировались при заживлении раны при использовании ЭГ. На II этапе установлено, что продукция НСТ была одинаковой в двух типах фагоцитов в контроле. При воздействии ТсТур отмечена тенденция к её росту в Ф1 фагоцитах, но не Ф2 фагоцитах, на 14 %, что сопровождалось снижением жизнеспособности Ф1 фагоцитов на 35 %. Инкубация фагоцитов с белком А приводила к повышению уровня НСТ в Ф1 фагоцитах только при наименьшей из используемых концентраций, при отсутствии изменений при других концентрациях, и к возрастанию в Ф2 фагоцитах в прямой концентрационной зависимости по сравнению с действием одного ТсТур. Белок В вызывал снижение уровня НСТ в сравнении с действием одного ТсТур в Ф1 фагоцитах в наибольшей из исследованных концентраций, однако в Ф2 фагоцитах он повышал уровень НСТ в прямой концентрационной зависимости. Пептид С подавлял продукцию НСТ в Ф1 фагоцитах в значительно большей степени, чем белок В, и повышал в Ф2 фагоцитах в прямой концентрационной зависимости. При этом пептид, как и белок В, существенно повышал жизнеспособность Ф1 фагоцитов, практически возвращая её к уровню контроля. БСА снижал продукцию НСТ в Ф1 фагоцитах, но повышал в Ф2 фагоцитах вне зависимости от концентрации белка, что обусловлено, по-видимому, его способностью связывать кислородные радикалы (без взаимодействия с поверхностными рецепторами клеток). Учитывая, что активные формы кислорода (АФК) являются модуляторами активной воспалительной фазы регенеративного процесса, в регуляции которой у млекопитающих ведущую роль играют М1 макрофаги, снижение продукции НСТ, индуцированное ТсТур, в Ф1 фагоцитах под влиянием белка В и пептида, но не белка А, позволяет заключить, что эти белки могут подавлять воспалительный ответ. В то же время эти белки и белок А стимулируют продукцию НСТ в Ф2 фагоцитах, которые аналогичны М2 макрофагам, участвующим в регенерации у млекопитающих. В связи с этим можно предполагать, что указанные белки и пептид способствуют активации клеток, регулирующих противовоспалительное заживление раны. Дальнейшая идентификация этих белков и исследование их участия в регенеративных процессах могут лечь в основу получения новых лекарственных средств для эффективного заживления тканей.

## К вопросу об особенностях метаболизма у серых тюленей в период молочного питания

Ерохина И. А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [irina.erohina58@mail.ru](mailto:irina.erohina58@mail.ru)

Атлантический серый тюлень (*Halichoerus grypus grypus* Fabricius, 1791), обитающий в прибрежной зоне Баренцева моря, является одним из редких и малоизученных видов ластоногих России. В международном охранном статусе серый тюлень имеет низкую степень угрозы существованию. Между тем в России и в нескольких штатах США он является охраняемым видом, а в Мурманской области РФ подлежит полной охране.

У серых тюленей, как и у других ластоногих, первый год жизни является критическим: в силу разных причин смертность животных в это время выше, чем в старшем возрасте. Наиболее уязвимы животные в первый месяц жизни, причём среди причин гибели более 50 % составляют проблемы, связанные с питанием. Серый тюлень имеет короткий период молочного вскармливания (около 15 дней), и после него щенки проходят период голодания в течение 1–4 недель. В это время более 90 % их энергетических затрат обеспечивается катаболизмом липидов, запасённых в период молочного питания. Предполагается, что ограничивают время выживания у голодающих щенков тюленей не запасы жира, а белок. В связи с этим при оценке эффективности периода молочного вскармливания важно учитывать не одни лишь показатели прироста массы тела, но и характеристики липидного и белкового метаболизма.

В период размножения серых тюленей (ноябрь — декабрь) на острове Большой Айнов (Баренцево море) были обследованы животные от рождения до завершения молочного вскармливания. В группу новорождённых тюленей отнесли животных в возрасте 0–1 неделя ( $n = 6$ ); группу активно питающихся молоком составили щенки в возрасте 2–3 недели ( $n = 8$ ), а группу завершивших молочное питание — животные 4–6-недельного возраста ( $n = 6$ ). У тюленей определяли массу тела, а в плазме их крови — основные показатели метаболизма белков, углеводов, липидов и минеральных веществ. Мечение животных позволило получить индивидуальные характеристики прироста массы тела и сопоставить их с изменениями в метаболических параметрах в период молочного питания.

Масса тела изученных щенков тюленей к концу периода молочного вскармливания в среднем удваивалась. Прирост массы тела во время активного питания составлял от 1,2 до 2,28 кг·сут<sup>-1</sup> (в среднем 1,8 кг·сут<sup>-1</sup>), что сопоставимо с данными для канадских серых тюленей — от 1,25 до 2,1 кг·сут<sup>-1</sup> [(2,10 ± 0,60) кг·сут<sup>-1</sup>].

Среди изученных параметров плазмы крови в данном сообщении обращается внимание на активность ферментов [щелочной фосфатазы и гамма-глутамилтрансферазы (далее — ЩФ и ГГТ соответственно)] как индикаторов физиологического состояния животных. Активность ЩФ рассматривается в качестве показателя упитанности животных. Так, есть данные о том, что уровень ЩФ в плазме крови морских млекопитающих положительно коррелирует с интенсивностью анаболических процессов в организме, на основании чего концентрация фермента может использоваться как показатель упитанности животных, а также дифференциации катаболических и анаболических состояний. Аналогичные характеристики ЩФ приводятся и для других животных, например птиц.

Активность ЩФ у морских млекопитающих по сравнению с таковой наземных выше во все возрастные периоды. У новорождённых серых тюленей обнаруживается низкая активность ЩФ, которая статистически значимо ( $p < 0,05$ ) увеличивается только к концу периода молочного вскармливания. Показана положительная корреляция уровня фермента с массой тела щенков тюленей во время активного питания молоком ( $r = 0,7938$ ). При этом отмечены индивидуальные особенности проявления этого свойства. Все шесть обследованных животных возрастной группы 0–1 неделя имеют близкие значения активности ЩФ, но в период активного питания молоком (2–3 недели) уровень данного показателя существенно различается. Так, максимальное значение активности ЩФ в этой группе — 96,10 МЕ·л<sup>-1</sup>, минимальное — 65,2 МЕ·л<sup>-1</sup>. С учётом того, что ЩФ является маркером онтогенетической зрелости и более высокая активность ЩФ означает более свободный и мощный фосфатный (энергетический) потенциал организма, индивидуальные особенности в уровне этого по-

казателя можно рассматривать в качестве характеристики эффективности молочного вскармливания. В дальнейшем, в период завершения молочного питания (4–6 недель), активность ЩФ продолжает расти и достигает значения  $(112,10 \pm 11,23) \text{ ME} \cdot \text{л}^{-1}$ . В это время также наблюдается положительная корреляция уровня фермента с массой тела ( $r = 0,9965$ ).

В отличие от ЩФ, ГТТ связана с процессами катаболизма. В условиях дефицита глюкозы (основного энергетического субстрата) запускается механизм глюконеогенеза — синтеза глюкозы из собственных аминокислот. При истощении кровяного пула свободных аминокислот подключается клеточный пул, и эту функцию транспорта аминокислот выполняет ГТТ. Установлено, что наиболее активна ГТТ у новорождённых тюленей; в период завершения молочного питания её активность снижается почти втрое ( $p < 0,05$ ). Кроме выполнения функции транспорта аминокислот, ГТТ может служить маркером пассивного переноса иммуноглобулинов у новорождённых морских млекопитающих, поскольку молозиво и молоко лактирующих самок характеризуются высокой активностью ГТТ. Аналогичные данные были получены для наземных домашних млекопитающих, однако значения активности ГТТ для них более чем в 10 раз превышают таковые для новорождённых серых тюленей в нашем исследовании, а также показатели, полученные при изучении щенков гренландского тюленя и тюленя-хохлача. Отсюда следует, что формирование пассивного иммунитета за счёт иммуноглобулинов матери у ластоногих происходит с меньшей интенсивностью, чем у наземных млекопитающих. Применительно к нашему исследованию стоит отметить, что уровень формирования пассивного иммунитета у обследованных щенков тюленей значительно снижается в период завершения молочного питания. Следовательно, в это время животные чувствительны к разного рода патогенам, поскольку синтез собственных иммуноглобулинов начинается позже, с началом самостоятельного питания в морской среде.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/165.pdf>.



## Катехоламинергические регуляторные системы представителей полихет из Чёрного моря

Зайцева О. В.<sup>1,2</sup>, Петров С. А.<sup>1</sup>, Копий В. Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический университет» Минздрава России,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [ovzaitseva@inbox.ru](mailto:ovzaitseva@inbox.ru)

Катехоламинергические регуляторные системы в последнее время привлекают всё большее внимание биологов разного профиля. Катехоламины вместе с серотонином относятся к группе моноаминов — регуляторных веществ, способных, по всей видимости, у многоклеточных организмов разного уровня организации регулировать основные формы поведения, то есть вызывать так называемое нейротрансмиттерзависимое поведение. Моноаминергические нейроны одними из первых появляются в ходе эволюции и онтогенеза животных и играют важную роль в их морфогенезе. Распределение серотонинергических клеток и действие на организмы серотонина исследуются в настоящее время очень интенсивно. В то же время катехоламинергические системы остаются мало изученными, особенно в эволюционном плане. Наиболее распространёнными катехоламинами являются дофамин, адреналин, норадреналин и октопамин. Показано, что у насекомых катехоламины оказывают на организм в целом мобилизирующее действие и необходимы для активного движения, в частности полёта. Важную роль катехоламины играют в процессе развития стресса и в формировании адаптивных реакций. Однако их сильное и продолжительное воздействие может привести к нежелательным последствиям (в частности, вероятно развитие дистресса и в конечном счёте гибель животного). Таким образом, изучение особенностей организации и общих закономерностей формирования катехоламинергических систем у многоклеточных организмов важно для понимания их физиологических и биохимических возможностей к адаптации и может способствовать сохранению биоразнообразия животных.

Полихеты представляют собой многочисленную группу беспозвоночных, являющихся важным компонентом морских сообществ. Многие из них служат кормовой основой для других морских обитателей. Об их катехоламинергических системах до сих пор ничего не было известно, как, впрочем, и об этих системах у других представителей аннелид. В качестве объектов для сравнительного изучения катехоламинергических систем в настоящей работе были выбраны четыре вида полихет разных семейств из Чёрного моря, собранных в прибрежной акватории Крыма, — *Ficopomatus enigmaticus* (ранее известный как *Mercierella enigmatica*), *Saccocirus papillosa*, *Polygordius neapolitanus ponticus* и *Protodrilus flavocapitatus*. Первый вид был отобран в прибрежной акватории Керченского пролива недалеко от Аршинцевской косы, где он образует массовые колониальные поселения. Остальные виды были собраны в бухтах в районе города Севастополя и посёлка Новый Свет.

Катехоламины выявляли гистохимическим методом GIF с использованием глиоксиловой кислоты. Сенсорные элементы дополнительно исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии. Анализ и фотографирование препаратов проводили с помощью конфокального микроскопа Leica TCS SP5 и электронного микроскопа FEI Quanta 250 центра коллективного пользования «Таксон» ЗИН РАН (<http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/>). В работе частично использован фиксированный материал и приготовленные из него препараты полихет из коллекций аннелид ФИЦ ИнБЮМ и ЗИН РАН (УФК ЗИН РАН). Всего в работе использовано около 40 животных.

Проведённое исследование показало: несмотря на принадлежность к разным систематическим группам, разную форму тела и сенсорных образований, а также разный образ жизни, у всех животных катехоламинергические системы были представлены сходными элементами. Большая их часть располагалась на периферии и представляла собой многочисленные первичночувствующие сенсорные клетки в кожных покровах всего тела, вокруг рта, в пальцах или в их модификациях (жабры сидячей фильтрующей *Ficopomatus enigmaticus*), в параподиях (при их наличии) и в эпителии всего пищеварительного тракта. Характер распределения катехоламинергических сенсорных клеток и наличие

у них жёстких цилей позволили предположить их механосенсорную функцию. В пользу этого предположения свидетельствует и их отсутствие в выполняющих хемосенсорную функцию нухальных органах исследованных полихет. Значительное количество катехоламинергических нейронов было выявлено также в церебральном ганглии и по ходу брюшной нервной цепочки. Отдельные катехоламинергические рецепторные клетки были обнаружены среди эпителиальных клеток вентральной цилиарной полоски.

Обобщение полученных в настоящей работе данных с результатами наших более ранних аналогичных исследований, проведённых на брюхоногих моллюсках и немертинах, показывает значительный консерватизм катехоламинергических систем, их возможное активное участие в регулировании сенсорных функций, сокращения мускулатуры и пищеварительных функций, а также участие в инициации защитно-оборонительного поведения у животных разного уровня организации и филогенетического положения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЗИН РАН № 122031100281-5 и ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0.



## Адаптивный потенциал двустворчатых моллюсков к изменению солёности

Кладченко Е. С., Гостюхина О. Л., Рычкова В. Н., Андреева А. Ю.

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

✉ [kladchenko\\_ekaterina@bk.ru](mailto:kladchenko_ekaterina@bk.ru)

Двустворчатые моллюски являются основными объектами массового выращивания в аквакультуре, для них особенно важен подбор оптимальных значений солёности. Избыточный осмотический стресс вызывает повреждение клеток, выработку активных форм кислорода (далее — АФК) и изменения в состоянии антиоксидантных ферментов. Несмотря на очевидную актуальность исследования, границы адаптивного потенциала при изменении солёности коммерчески значимых и перспективных объектов марикультуры остаются неизученными. К таким объектам относится двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis*.

Настоящая работа посвящена влиянию гипоосмотического (14 и 8 ‰) и гиперосмотического стресса (35 и 45 ‰) на антиоксидантный статус жабр и функциональные параметры гемоцитов (уровень внутриклеточных АФК, мембранный потенциал митохондрий и осмотическую стойкость) черноморской анадары *A. kagoshimensis*.

Исследовано 50 особей массой ( $14,6 \pm 1,6$ ) г и диаметром створки ( $25,5 \pm 1,3$ ) мм. Моллюсков собирали осенью 2021 г. в прибрежной акватории Севастополя (температура воды —  $+15 \dots +20$  °С; солёность — 17–18 ‰; содержание кислорода —  $7,2\text{--}8,5$  мг·л<sup>-1</sup>). Для оценки диапазонов солёностной адаптации моллюсков разделили на 5 групп по 10 особей в каждой. Контрольная группа содержалась при солёности 18 ‰, экспериментальные — при низкой (8 и 14 ‰) и высокой солёности (35 и 45 ‰). Экспериментальное снижение солёности (точки 14 и 8 ‰) достигалось путём разбавления морской воды дистиллированной со скоростью ( $1,5 \pm 0,5$ ) ‰ в сутки. Моллюсков выдерживали в заданных экспериментальных условиях 2 дня. Для достижения солёности 35 и 45 ‰ в экспериментальные аквариумы постепенно добавляли соль (Red Sea Salt, Франция). Солёность повышалась со скоростью ( $1,0 \pm 0,2$ ) ‰ в день. После достижения солёности 35 ‰ (через 6 дней, без учёта периода акклиматизации) и 45 ‰ (ещё через 4 дня) экспозиция составляла 2 дня. По окончании экспозиции у каждой группы моллюсков отбирали гемолимфу и ткани для дальнейшего анализа.

Снижение солёности привело к увеличению общего АФК в гемоцитах анадары. При солёности 8 ‰ данный показатель был выше контрольных значений более чем втрое. Повышение солёности до 35 ‰ привело к подавлению способности гемоцитов анадары продуцировать АФК: общая флуоресценция DCF-DA снизилась в 1,6 раза и составила ( $447,5 \pm 39,1$ ) у. е. После повышения солёности до 45 ‰ общая флуоресценция DCF-DA соответствовала уровню контроля — ( $825,2 \pm 40,2$ ) у. е.

Гипоосмотическая нагрузка сопровождалась увеличением мембранного потенциала митохондрий гемоцитов анадары. Наиболее выраженный эффект зафиксирован у группы моллюсков, содержащейся при солёности 8 ‰: флуоресценция Rh123 увеличилась более чем в 1,2 раза и составила ( $169,0 \pm 9,3$ ) у. е. Гиперосмотическая нагрузка также приводила к усилению общей флуоресценции Rh123, и при солёности 45 ‰ значение составило ( $319,6 \pm 16,2$ ) у. е.

Активность антиоксидантных ферментов в условиях разной солёности менялась неодинаково. Активность СОД существенно снижалась по сравнению с контролем при солёности 8; 35; 45 ‰ — в 2,4; 2,2; 1,6 раза соответственно ( $p \leq 0,01$ ). Активность КАТ также уменьшалась при солёности 8 и 35 ‰ — в 1,4 и 1,7 раза соответственно ( $p \leq 0,01$ ). Однако в условиях повышения солёности до 45 ‰ активность КАТ, напротив, возрастала почти до контрольного уровня. При солёности 14 ‰ в активности обоих ферментов достоверных отличий от контрольных значений не было.

Широкий диапазон солёностной толерантности двустворчатых моллюсков обеспечивается преимущественно клеточными механизмами адаптации. Для характеристики реакции гемоцитов на гипоосмотический шок после акклиматизации в условиях высокой и низкой солёности применяли метод лазерной дифракции по ранее описанной методике. Для количественной характеристики осмотической хрупкости эритроцитов использовали точки Н10, Н50 и Н90, отражающие осмолярность, при которой происходит лизис 10, 50 и 90 % клеток соответственно.

Инкубация моллюсков в гипоосмотических условиях значительно снижала осмотическую хрупкость клеток; другими словами, она повышала жёсткость гемоцитов. Значение Н50 для моллюсков, инкубированных при солёности 14 ‰, составило  $(33,2 \pm 5,0)$  мОсм·кг<sup>-1</sup> ( $p > 0,05$ ), а при 8 ‰ —  $(15,7 \pm 2,0)$  мОсм·кг<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ). После воздействия гиперосмотических условий (солёность 35 и 45 ‰) гемоциты были более осмотически хрупкими по сравнению с контролем. В экспериментальной группе, инкубированной при 35 ‰, значение Н50 было равно  $(93,6 \pm 10,4)$  мОсм·кг<sup>-1</sup>, а после воздействия 45 ‰ —  $(124,0 \pm 9,1)$  мОсм·кг<sup>-1</sup>. В контрольной группе моллюсков значение Н90 было равно  $(15,4 \pm 3,3)$  мОсм·кг<sup>-1</sup>. Гипоосмотический стресс приводил к снижению значения этого показателя: при солёности 14 ‰ оно составляло  $(7,7 \pm 1,9)$  мОсм·кг<sup>-1</sup>, а при 8 ‰ —  $(3,4 \pm 0,7)$  мОсм·кг<sup>-1</sup>.

Обратная тенденция наблюдалась в группе моллюсков, инкубированных в гиперосмотических условиях. После воздействия солёности 35 и 45 ‰ значение Н90 было равно  $(36,6 \pm 6,2)$  и  $(58,5 \pm 8,9)$  мОсм·кг<sup>-1</sup> соответственно. Известно, что АФК способны повреждать фосфолипиды клеточной мембраны и белки, а следовательно, влиять на их свойства. Согласно данной теории, выявленный нами окислительный стресс при солёности 8 ‰ должен приводить к снижению осмотической стойкости гемоцитов. Вместе с тем в нашем исследовании увеличение уровня внутриклеточных АФК (при солёности) не сопровождалось увеличением хрупкости эритроцитов: значение Н50 было в 10–12 раз ниже осмолярности гемолимфы в каждой из исследуемых групп. Отсутствие изменений в свойствах мембраны может объясняться нейтрализацией АФК антиоксидантной системой гемоцитов. В свою очередь, сдвиг кривой осмотической стойкости связан с изменением солёности окружающей среды, в которой инкубировались моллюски. Вероятно, гемоциты анадары способны адаптироваться к осмотическому стрессу на клеточном уровне, изменяя свойства мембраны в зависимости от солёности окружающей среды.

Результаты настоящей работы наглядно демонстрируют широкий адаптивный потенциал *A. kagoshimensis* к гиперосмотическому стрессу. Компенсаторные ответы на изменения солёности достигались за счёт снижения активности антиоксидантных ферментов (СОД и КАТ) и снижения уровня АФК при солёности 35 ‰. Увеличение мембранного потенциала митохондрий в условиях гипо- и гиперосмотического стресса свидетельствует об умеренном солёностном стрессе. Кроме того, широкая галотолерантность анадары подтверждается результатами исследования влияния солёностного стресса на осмотическую хрупкость гемоцитов. Инкубация моллюсков в условиях солёностного стресса привела к сдвигу кривой осмотической стойкости гемоцитов, а следовательно, к переключению стратегии клеточной адаптации к изменению солёности.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 22-26-00165 «Функциональный и иммунный статус двустворчатых моллюсков — объектов марикультуры в условиях действия факторов глобальных изменений климата».

## Оценка физиологических и биохимических параметров крови инвазивного вида амфибий [*Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)] водных экосистем Среднего Урала

Ковальчук Л. А.<sup>1</sup>, Черная Л. В.<sup>1</sup>, Мищенко В. А.<sup>1</sup>, Микшевич Н. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет», Екатеринбург, Россия

✉ kovalchuk@ipae.uran.ru

Одним из ярких представителей видов-вселенцев в водных экосистемах Среднего Урала является озёрная лягушка *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771), которая была случайно интродуцирована в 1970-е гг. при зарыблении водохранилищ-охладителей тепловых станций мальками рыб. К настоящему времени накоплен значительный научный материал по биологии развития озёрной лягушки (далее — ОЛ). Для обеспечения оперативной оценки экологической безопасности гидробионтов и создания достаточных условий их устойчивого развития требуются непрерывные и надёжные технологии диагностики физиологического состояния животных и среды их обитания, для чего возможно использование физиологических и биохимических биомаркеров, предоставляющих в этом плане существенную информацию.

Цель исследования — оценить физиологические и биохимические параметры крови инвазивного вида ОЛ, обитающей в водоёмах Среднего Урала. В работе использованы взрослые особи самцов и самок *P. ridibundus* ( $n = 54$ ), отловленных весной и летом в термальных водах реки Тагил, на участке сброса воды из Верхнетагильского водохранилища (восточный склон Уральских гор, Свердловская область). Исследование периферической крови ОЛ показало, что в период размножения у самцов содержание гемоглобина в 1,7 раза выше, чем у самок. Лейкоцитарный состав крови ОЛ, как и всех позвоночных, представлен двумя группами клеток: гранулоциты (гетерофилы, эозинофилы) ответственны за проявление реакции врождённого иммунитета, а агранулоциты (моноциты, лимфоциты) — за проявление реакции адаптивного иммунного ответа. ОЛ характеризуются высоким содержанием лимфоцитов, обеспечивающих значительную эффективность клеточного иммунитета в весенний и летний сезон как у самцов (69,1–69,7%), так и у самок (68,4–70,4%). Репрезентативным показателем усиления антропогенного пресса на организм является высокий уровень в крови агранулоцитов (73,3–77,1%), обеспечивающих иммунный надзор и специфическую мощную реактивность организма (адаптивный иммунитет). Гендерные значимые различия наблюдались только в отношении моноцитов, доля которых увеличена в крови самок по сравнению с таковой самцов в 2,1 раза в краткосрочный весенний период биологического цикла. Повышенная активация моноцитов, выполняющая фагоцитарную роль, продуцирует и эндогенные регуляторы иммунного ответа — провоспалительные цитокины. Лимфоцитарно-гранулоцитарный состав периферической крови амфибий характеризуется невысокой долей гранулоцитов (23,0–26,7%). У самок, в сравнении с самцами, отмечены статистически значимые различия по содержанию в крови всех форм гранулоцитов (гетерофилы, эозинофилы) в весенний и летний периоды. Также зарегистрирована разнонаправленность сезонной динамики подклассов нейтрофилов. Совокупность клеток, среди которых большую долю составляют нейтрофильные гранулоциты, обеспечивает реакции неспецифической защитной системы организма весной, в период репродуктивной активности, как у самцов ( $p = 0,002$ ), так и у самок ( $p = 0,01$ ). Лейкоцитарный состав крови ОЛ весной характеризуется значимо повышенным содержанием гетерофилов за счёт увеличения числа зрелых сегментоядерных форм у самцов ( $p < 0,001$ ) и самок ( $p = 0,004$ ), что обеспечивает активную неспецифическую защиту организма от инфекций и от токсических воздействий. Интегральный лейкоцитарный индекс (далее — ИСЛ) отражает формирование устойчивого функционирования адаптивных реакций, способствующих поддержанию высокой численности инвазивного вида при освоении новых мест обитания даже при перманентном воздействии различных поллютантов в условиях теплового загрязнения. В летний период не отмечено значимых различий по ИСЛ между самцами (0,31) и самками (0,30). Весной величина ИСЛ у самок составляет 0,29; у самцов она завышена, но не достигает уровня патологии (0,36). Исследованные особи ОЛ весной и летом имеют величину ИСЛ в диапазоне 0,29–0,36, что соответствует условной норме физиологического состояния организма и их адаптивному потенциалу (0,19–0,38). Известно, что

одним из наиболее информативных и адекватных биохимических показателей физиологического состояния эндотермных и эктотермных животных и их адаптивных возможностей является уровень аминокислотного обмена в тканях. У ОЛ, как и у теплокровных животных, присутствует полный спектр функционально значимых заменимых и эссенциальных аминокислот (далее — АК). Аминокислотный фонд представлен 25 АК. *P. ridibundus* обеспечивается высоким содержанием гликогенных и незаменимых аминокислот, участвующих как в гормональной и энергетической поддержке, так и в процессах детоксикации и элиминации в весенний период. Повышенное содержание гидрофобных аминокислот (аланин, лизин, лейцин, валин, глицин, пролин, фенилаланин) предполагает, кроме их участия в процессах синтеза эластина и коллагена, активацию биохимических ресурсов размножения и метаморфоза животных в краткосрочный весенний период. Лизин, который доминирует в общем пуле АК в весенне-летнем периоде (18–29 %) и выступает в качестве антиоксиданта, участвует в регуляции иммунологических функций и в процессах детоксикации ксенобиотиков. Гистидин и аргинин участвуют в процессах детоксикации и элиминации токсичных микроэлементов в тканях животных. Триптофан, модулируя иммунологические функции в краткосрочный период, участвует в синтезе альбуминов и глобулинов и в метаболизме гормона роста; также он влияет на углеводный обмен в организме. Триада АК с разветвлённой углеродной цепью (валин, лейцин, изолейцин) участвует, помимо стимуляции биосинтеза белка, в детоксикации ксенобиотиков. Заслуживает внимания повышенное суммарное содержание в плазме крови глицина вместе с глутаминовой кислотой и цистеином весной у самцов и летом у самок, обеспечивающее ОЛ биосинтез трипептида глутатиона, участвующего как в детоксикации продуктов метаболизма, так и в процессах размножения животных. Показано, что для аминокислотного спектра плазмы крови *P. ridibundus* характерна половая и сезонная изменчивость. При этом половые различия наиболее ярко проявляются весной, в период выхода ОЛ из продолжительного зимнего анабиоза и активизации в первую очередь репродуктивных процессов.

Результаты проведённых исследований впервые позволили оценить гематологические и биохимические параметры гомеостаза озёрной лягушки *Pelophylax ridibundus*, сформировавшей устойчивые популяции в водоёмах Среднего Урала. Изучение эколого-физиологических особенностей амфибий представляет несомненный теоретический интерес, привнося существенный вклад в понимание механизмов адаптации инвазивных видов животных к обитанию в новых условиях среды, и может найти широкое практическое применение при разработке природоохранных мероприятий в системе мониторинга водных экосистем.

## Тканевая специфика активности альдолазы (фруктозо-1,6-бисфосфата альдолазы) и уровень экспрессии соответствующего гена у мидии *Mytilus galloprovincialis*

Кохан А. С.<sup>1</sup>, Лантушенко А. О.<sup>2</sup>, Водясова Е. А.<sup>1,2</sup>, Солдатов А. А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

✉ [kohan-alena@inbox.ru](mailto:kohan-alena@inbox.ru)

Фруктозо-1,6-бисфосфата альдолаза (далее — FBA) относится к классу лиаз, катализирует обратимую реакцию распада фруктозо-1,6-дифосфата на диоксиацетонфосфат и глицеральдегидфосфат в процессе гликолиза. По структуре и механизму каталитического действия данный фермент разделяют на два класса (альдолаза I и альдолаза II). Альдолаза II встречается в бактериях, грибах, дрожжах и синезелёных водорослях. Альдолаза I класса характерна для животных, высших растений, зелёных водорослей, простейших, кишечнополостных и некоторых видов бактерий. В FBA I класса выделяют несколько изоформ — А (мышечный тип), В (печёночный тип) и С (мозговой тип). Ранее в исследованиях Чао Ванга с соавторами на мидиях *Meretrix meretrix* был выявлен ген альдолазы I типа. При этом наиболее выраженную экспрессию зафиксировали в стопе и аддукторе, что позволило идентифицировать данный фермент как альдолазу мышечного типа.

В настоящей работе изучали тканевую специфику активности FBA и уровень экспрессии соответствующего гена у мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). Моллюсков отбирали в летний период с коллекторных установок рыбодобывающего предприятия «Дон-Комп» (бухта Стрелецкая, г. Севастополь). В работе использовали 10 особей (чёрная морфа). После транспортировки была проведена акклиматизация для нивелирования реакции стресса. Активность FBA (ЕС 4.1.2.13) определяли по методу Товарницкого — Валуйской. Измерения проводили на двухлучевом спектрофотометре СФ-26 при длине волны 540 нм. Уровень экспрессии определяли с помощью количественного ОТ-ПЦР-анализа (RT-qPCR) с использованием термоциклера CFX96 Real-Time PCR System (Bio-Rad, США) и набора реактивов qPCRmix-HS kit («Евроген», Россия). Уровень экспрессии был нормализован наиболее стабильным референсным геном (*ef1-α*). Относительный уровень экспрессии альдолазы в трёх тканях (нога, жабры, гепатопанкреас) по отношению к экспрессии в мантии определяли методом ΔΔCt. Статистическую значимость показателей оценивали при помощи параметрического U-критерия Манна — Уитни.

В ходе исследования были выявлены достоверные отличия уровня экспрессии FBA в тканях моллюсков. Максимальный уровень экспрессии наблюдался в мантийном крае — ( $1 \pm 0,634$ ). Близкие показатели были получены для ноги — ( $0,753 \pm 0,335$ ). Минимальные значения зафиксировали для жаберной ткани — ( $0,315 \pm 0,077$ ) — и гепатопанкреаса — ( $0,284 \pm 0,134$ ). Это совпадает с ранее полученными результатами для моллюска *M. meretrix*. Относительный уровень mRNA в ноге был в 2,5 раза ( $p < 0,05$ ) выше, чем в жабрах и гепатопанкреасе. Эта закономерность и филогенетический анализ подтверждают, что исследуемый фермент относится к FBA I, который, в свою очередь, является предшественником альдолазы мышечного типа у позвоночных. Не исключается наличие нескольких тканеспецифичных изоформ FBA для данных моллюсков.

Показатели активности не имели столь выраженной тканевой специфики. Минимальные значения приходились на мантийный край [( $0,275 \pm 0,003$ ) мкмоль FDP·мин<sup>-1</sup>·мг<sup>-1</sup> белка], максимальные наблюдались в жабрах [( $0,344 \pm 0,020$ ) мкмоль FDP·мин<sup>-1</sup>·мг<sup>-1</sup> белка]. Различия составили более 25 % ( $p < 0,01$ ). При проведении корреляции была выявлена отрицательная связь между показателями активности изучаемого фермента и уровнем его экспрессии ( $r = 0,748$ ).

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что максимальные значения экспрессии наблюдались в мантии и ноге, а минимальные были зафиксированы в жабрах и гепатопанкреасе. Высокие показатели экспрессии в мантии, по-видимому, объясняются присутствием в ней мышечной ткани (мускулов-ретракторов), с помощью которых мантийный край втягивается в раковину. Настоящие результаты совпадают с данными ранее проведённых исследований Wang *et al.* на мидиях.

Показатели активности FBA отражают противоположную закономерность. Так, максимальная активность зарегистрирована в жабрах, минимальная — в мантийном крае. Отрицательная связь между активностью FBA и уровнем экспрессии соответствующего гена может объясняться различиями в интенсивности окислительных процессов в тканевых структурах моллюска.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1), по проекту РФФИ (№ 20-04-00037А) и при поддержке программы «Приоритет-2030» Севастопольского государственного университета (№ 121121700318-1).

## Совместное применение токсикологических и биохимических показателей печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) для оценки качества водных объектов

Скуратовская Е. Н., Сигачева Т. Б.

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

✉ skuratovskaya@ibss-ras.ru

Аккумуляция химических элементов (далее — ХЭ) в тканях гидробионтов приводит к широкому спектру негативных биохимических реакций: ингибированию активности отдельных ферментов и ферментативных комплексов, повреждению мембранных структур, смещению прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону свободнорадикального окисления биомолекул, изменению показателей белкового метаболизма и специфических маркеров присутствия ХЭ в морской среде. В связи с этим в качестве информативных биомаркеров, позволяющих получить адекватную информацию об экологическом статусе акваторий, рекомендовано использовать физиолого-биохимические параметры рыб. В настоящее время достаточно полно описаны негативные эффекты отдельных ХЭ или их комплексов на биохимические показатели рыб в лабораторных условиях. При этом примеры токсических эффектов ХЭ на природные популяции рыб в литературе ограничены. В то же время широкое географическое распространение бычка-кругляка и его высокая промысловая значимость в отдельных водоёмах требуют детального изучения биохимических и токсикологических параметров этого вида для разработки универсальной системы оценки качества водной среды / рыбной продукции.

Таким образом, цель работы — изучение токсикологических и биохимических показателей печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из районов Азовского моря с разным уровнем загрязнения ХЭ.

Объект исследования — бычок-кругляк *N. melanostomus* — был получен в результате траловой съёмки на рыболовецком сейнере «Илия» в октябре 2019 г. Рыбу отбирали в предпроливной и открытой частях Азовского моря (далее — ПП и ОМ соответственно), а также в центральной восточной части Таганрогского залива (далее — ТЗ). Токсикологические и биохимические исследования проводили на унифицированной выборке рыб (33 экз.) — на самцах (Т1 11,5–16,8 см, Тср (14,06 ± 0,35) см) доминантной в улове возрастной группы (0+), со стадией зрелости гонад 2–3.

ХЭ — ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, железо, медь и цинк — определяли в печени бычка-кругляка на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena AG, Германия) на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Материалом для биохимических исследований служила печень 12, 11 и 10 экз. бычка-кругляка из ПП, ОМ и ТЗ соответственно. Печень несколько раз промывали холодным 0,85%-ным физиологическим раствором, после чего гомогенизировали в калий-фосфатном буфере (50 мМ, pH 7,2) с добавлением 1 мМ ЭДТА. Для получения супернатантов гомогенаты центрифугировали 15 мин при 10 000 g и температуре 0...+4 °C в рефрижераторной центрифуге MPW-352R (MPW Med. Instruments, Польша). Все биохимические показатели определяли в супернатантах.

Уровень окислительной модификации белков анализировали по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином; содержание продуктов перекисного окисления липидов — ТБК-активных продуктов — по реакции с тиобарбитуровой кислотой. Активность супероксиддисмутазы анализировали в системе нитросиний тетразолиевый — феназинметасульфат — никотинамиддинуклеотид; активность каталазы — по реакции взаимодействия перекиси водорода с молибдатом аммония; активность пероксидазы — бензидиновым методом. Активность холинэстеразы определяли с использованием стандартных наборов реагентов «ДиаВетТест» (Россия). Активность аспаратаминотрансферазы (далее — АСТ) и аланинаминотрансферазы, содержание альбумина и белка определяли с использованием стандартных наборов реагентов «Ольвекс Диагностикум» (Россия). Достоверность различий между выборками оценивали с применением *U*-критерия Манна — Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ . Статистический анализ проводили с использованием компьютерных программ Past 3 и Microsoft Excel 2016.



Результаты токсикологических исследований позволили установить, что содержание ХЭ в печени бычка-кругляка из трёх районов Азовского зависит от локализации/характера техногенных источников загрязнения, гранулометрического состава донных отложений и содержания органических веществ в них. Содержание ХЭ в печени рыб из трёх локаций не превышало ПДК, за исключением меди. Концентрация меди составляла 1,4, 1,7 и 9,5 ПДК в печени рыб из ПП, ОМ и ТЗ соответственно.

Содержание ХЭ в печени рыб снижалось в следующем ряду локаций: ПП → ОМ → ТЗ; это согласуется с данными биохимических исследований. Ингибирование активности супероксиддисмутазы, разбалансировка процессов обезвреживания перекисей и смещение прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону перекисного окисления липидов в печени рыб из ТЗ свидетельствуют о токсическом влиянии ХЭ и менее экологически благополучном состоянии этой локации по сравнению с ПП и ТЗ. В то же время высокие концентрации ртути и других митохондриальных ядов в печени рыб из ТЗ приводят, вероятно, к увеличению их содержания в митохондриях и снижению в цитоплазме клеток. Сделанное предположение подтверждают высокие значения содержания альбумина и активности холинэстеразы, синтезирующихся в эндоплазматическом ретикулуме цитоплазмы, и низкая активность митохондриальной АСТ в печени рыб из ТЗ.

Установлены наиболее информативные биомаркеры для оценки токсичности ХЭ — показатели прооксидантно-антиоксидантной системы печени, АСТ и альбумин. При этом анализ активности холинэстеразы в печени, вероятно, отражает интенсивность белок-синтетических процессов, а не нейротоксичность водной среды.

Показана высокая информативность совместного применения токсикологических и биохимических показателей печени бычка-кругляка для оценки качества морских акваторий с разным уровнем загрязнения химическими элементами. Полученные результаты могут быть использованы при проведении биоиндикационных исследований в водоёмах естественного обитания этого вида и за его пределами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 121030100028-0.

## Микроанатомия нефрона *Polypterus senegalus*

Флёрова Е. А.<sup>1,2</sup>, Евдокимов Е. Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал ФНЦ ВИК имени В. Р. Вильямса, Михайловский, Россия

<sup>2</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

✉ [katarinum@mail.ru](mailto:katarinum@mail.ru)

В сравнительно-эволюционном аспекте весьма важным является изучение структурно-функциональных особенностей нефрона, играющего ключевую роль в поддержании гомеостаза на уровне осморегуляции. В этом аспекте весьма актуально исследование видов, которые относятся к уникальной группе лучепёрых рыб, объединённых в семейство многопёровых (Polypteridae). Они имеют общие признаки с двоякодышащими рыбами, которые возникли конвергентно. Для полиптерид характерно наличие асимметричных двудольных лёгких, которые в существенных чертах своего строения схожи с лёгкими позвоночных, а также адаптированной системы регулирования экскреции метаболитов к временным условиям пребывания в наземно-воздушной среде. Обитание в наземно-воздушной среде стало одним из поворотных этапов в эволюции позвоночных, что сказалось на всех системах организма, в том числе на системе выделения. Можно предположить, что нефрон многопёровых в процессе эволюции приобрёл уникальные признаки, характерные для земноводных. Насколько нам известно, комплексных исследований особенностей микроанатомии и ультраструктуры нефронов почек многопёровых не проводилось.

Цель настоящей работы — изучение микроанатомии нефрона *Polypterus senegalus* Cuvier, 1829.

В работе использовалась выборка половозрелых диплоидных особей *P. senegalus* в возрасте 2+. Для изучения микроанатомии орган был условно разделён на 5 сегментальных частей; их нумерация начинается от участка мезонефроса, расположенного у жаберных дуг (краниальная часть), и заканчивается участком мезонефроса, расположенным в каудальной части тела. В работе использована третья (медиальная) часть. Серийные срезы медиальной части выполнялись во фронтальной плоскости. Для удобства анализа и сравнения результатов полученные серии срезов для каждой части почки были разделены на 6 фронтальных слоёв. Нумерация слоёв начинается от дорсальной части мезонефроса и заканчивается вентральной. Срезы были размещены на предметных стёклах, депарафинизированы и окрашены гематоксилин-эозином. При помощи светового микроскопа Micromed-6 (Россия) с цифровой камерой TourCam 5.1 для каждого среза получали серию цифровых фотографий. Морфометрический анализ проводили с помощью программного обеспечения JMicroVision 1.2.7. На серийных срезах выявляли срез почечного тельца наибольшего диаметра; далее с помощью стандартной формулы площади поверхности шара рассчитывали площадь внешней поверхности почечных телец, допуская, что форма почечного тельца приближена к форме сферы. На серийных срезах измеряли расстояние между двумя соседними капсулами, учитывали количество почечных телец на каждом фронтальном слое мезонефроса. Плотность почечных телец рассчитывали как отношение количества почечных телец к общей площади среза. Трёхмерную реконструкцию расположения сосудистого русла и почечных телец проводили с помощью программного обеспечения Nicolas Roduit, Reconstruct. Для этого загружали цифровые фотографии срезов от дорсального к вентральному полюсу органа, выделяли нужные структуры и формировали изображение.

С помощью трёхмерной реконструкции медиальной части мезонефроса установлено, что почечные тельца, образующие начало нефрона, преимущественно располагаются в участке почки, который прилегает к позвоночному столбу, дистальнее магистрального кровеносного сосуда, формируя фильтрационное поле вокруг них. Почечные тельца окружены канальцевой частью нефрона. Следует отметить, что большинство канальцев локализируются на латеральных полюсах мезонефроса.

Общее количество почечных телец, средним диаметром ( $51,0 \pm 0,21$ ) мкм, в медиальной части мезонефроса составляет ( $4784 \pm 1,30$ ) шт. От вентрального к дорсальному полюсу количество почечных телец увеличивается. Наименьшее количество почечных телец наблюдается в 1-м фронтальном слое, наибольшее — в 5-м. Площадь поверхности почечных телец от вентрального к дорсальному полюсу постепенно уменьшается; в 4-м фронтальном срезе значение минимально; в 5–6-м фронтальных слоях наблюдается увеличение площади поверхности почечных телец. Наиболее крупные почечные

тельца обнаружены в 1-м и 2-м фронтальных слоях. Максимальное расстояние между двумя соседними почечными тельцами зарегистрировано во 2-м фронтальном слое, минимальное — в 4-м. Следует отметить, что с увеличением расстояния между двумя соседними почечными тельцами уменьшается плотность почечных телец.

За почечным тельцем следует проксимальный каналец, начало которого образует участок, состоящий из реснитчатых клеток, — шеечный сегмент. Его средний диаметр —  $(13,7 \pm 0,55)$  мкм. Внешний диаметр проксимального канальца увеличивается до  $(22,9 \pm 0,07)$  мкм при переходе к следующему участку канальца, состоящему из цилиндрического эпителия, апикальный полюс которого образует щётчатую каёмку. За проксимальным канальцем следует дистальный каналец, с внешним диаметром  $(19,9 \pm 0,10)$  мкм. Следующее увеличение внешнего диаметра — до  $(28,0 \pm 0,60)$  мкм — наблюдается при переходе дистального канальца в связующий каналец. Доля нефрогенных тканей почки составляет  $(77,8 \pm 4,07)$  % от общей площади среза.

Сравнительный анализ микроанатомии *P. senegalus* с таковой нескольких других пресноводных костистых, двоякодышащих и земноводных видов показал, что диаметр боуменовых капсул, хорошо развитый шеечный сегмент и проксимальный каналец являются анцестральными признаками современной популяции полиптеруса, связанными с условиями жизни в водной среде. Внешний диаметр канальцев и большая площадь нефрогенной ткани — прогрессивные признаки современной популяции этого вида, связанные с адаптацией к воздушному дыханию и к периодическим наземным миграциям, которые были сформированы на ранних стадиях эволюции *P. senegalus* конвергентно с двоякодышащими и земноводными.

## Ультраструктура клеток интерстиция почек карпообразных рек Казахстана на примере *Iskandaria kuschakewitschi*, *Nemacheilus stoliczkai* и *Schizothorax intermedius*

Флёрова Е. А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал ФНЦ ВИК имени В. Р. Вильямса, Михайловский, Россия

<sup>2</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

✉ [katarinum@mail.ru](mailto:katarinum@mail.ru)

В изменяющихся под влиянием различных факторов условиях окружающей среды особую значимость приобретает изучение функционального состояния организма как в пределах нормы реакции, так и при возникающих патологиях. Почка рыб является одним из наиболее полифункциональных органов, но вся его деятельность подчинена одной цели — стабилизации состава внутренней среды, гомеостазу. Интерстиций почки состоит из ретикулярной ткани, в которой диффузно располагаются клетки кроветворной ткани. Кроветворная ткань тесно связана со стенками сосудов и канальцами нефронов и образует интерстиций мезонефроса. В сравнительно-эволюционном аспекте важным является исследование дивергенции клеток интерстиция, в первую очередь лейкоцитов, как одного из механизмов приспособления различных видов рыб к условиям среды обитания. Для сравнительной иммунологии большую ценность представляют данные об ультраструктуре клеток интерстиция малоизученных представителей ихтиофауны. Особый интерес вызывает Азиатский регион — центр видообразования многих позвоночных животных.

Экземпляры гольца Кушакевича *Iskandaria kuschakewitschi* (Herzenstein 1890) (семейство Balitoridae;  $n = 5$ ;  $L = 6,7...7,1$  см) и обыкновенной маринки *Schizothorax intermedius* McClelland, 1842 (семейство Cyprinidae;  $n = 7$ ;  $L = 15,1...15,6$  см) отловлены в реке Арысь (бассейн реки Сырдарья) ( $42^{\circ}33'58.2''N$ ,  $70^{\circ}07'25.1''E$ ). Экземпляры тибетского гольца *Nemacheilus stoliczkai* (Steindachner, 1866) (семейство Cobitidae;  $n = 3$ ;  $L = 8,1...8,3$  см) отловлены в реке Талас ( $42^{\circ}56'46.5''N$ ,  $71^{\circ}27'59.6''E$ ).

Образцы фиксировали в растворе глутаральдегида и постфиксировали в 1%-ной четырёхокиси осмия в течение 1 ч, обезвоживали в этаноле и пропиленоксиде и заливали в эпон-аралдит (Electron Microscopy Sciences, США). Ультратонкие срезы изготавливали на приборе Leica EM UC7 Ultracut (Германия). Срезы окрашивали уранилацетатом и цитратом свинца и анализировали на просвечивающем электронном микроскопе JEM-1011 (Япония). Для каждого среза было получено цифровое изображение. Измерения площадей клеток, органелл и включений проводили на цифровых изображениях с помощью программы ImageTool 3.0. Для анализа данных использовали программное обеспечение Statgraphics Plus. Определение статистически значимых различий между средними значениями групп проводили с помощью непараметрического однофакторного дисперсионного анализа ( $H$ -критерий Краскела — Уоллиса) и попарных апостериорных сравнений (тест Данна). Уровень значимости был установлен на  $0,05$  ( $p < 0,05$ ).

Интерстиций мезонефроса сформирован в большей степени кроветворной тканью. Лимфоциты площадью  $6–11$   $\mu\text{m}^2$  имеют центральное ядро, занимающее почти весь объём клетки. Цитоплазма содержит  $3–5$  митохондрий площадью  $0,05–0,06$   $\mu\text{m}^2$ , свободные рибосомы и отдельные цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума, клеточный центр. Плазматические клетки (площадь —  $21–31$   $\mu\text{m}^2$ ) овальной формы с эксцентрично расположенным округлым ядром. Цитоплазма содержит шероховатый эндоплазматический ретикулум, свободные рибосомы,  $6–7$  митохондрий площадью  $0,06–0,12$   $\mu\text{m}^2$ , лизосомы. Площадь митохондрий в цитоплазме лимфоцитов гольца Кушакевича больше таковой обыкновенной маринки. Макрофаги — это клетки площадью  $46–70$   $\mu\text{m}^2$  с эксцентрично расположенным ядром. Цитоплазма содержит  $8–10$  крупных фагосом, канальцы шероховатого эндоплазматического ретикулума, свободные рибосомы, лизосомы,  $4–5$  митохондрий площадью  $0,12–0,67$   $\mu\text{m}^2$ . Площадь митохондрий в цитоплазме лимфоцитов гольца Кушакевича и тибетского гольца больше таковой обыкновенной маринки. Эозинофилы — клетки площадью  $22–53$   $\mu\text{m}^2$ . Площадь клеток тибетского гольца больше площади клеток гольца Кушакевича

и обыкновенной маринки. Ацентричные ядра палочковидной формы. Цитоплазма содержит шероховатый эндоплазматический ретикулум, лизосомы, специфические гранулы, 4–6 митохондрий площадью 0,16–0,88 мкм<sup>2</sup>. Площадь митохондрий тибетского гольца больше таковой гольца Кушакевича и обыкновенной маринки. Специфические гранулы тибетского гольца и гольца Кушакевича полигональной формы. Специфические гранулы обыкновенной маринки округлые, с более плотной сердцевиной. Количество специфических гранул обыкновенной маринки в 2 раза больше, чем у тибетского гольца и гольца Кушакевича. Нейтрофилы — клетки площадью 29–31 мкм<sup>2</sup> с палочковидным или сегментовидным ядром. Цитоплазма содержит 5 митохондрий площадью 0,06–0,12 мкм<sup>2</sup>, каналцы шероховатого эндоплазматического ретикулума, специфические гранулы с электронно-плотным кристаллоидом. Клетки с радиально расположенными везикулами площадью 6–13 мкм<sup>2</sup>. Цитоплазма содержит гладкий эндоплазматический ретикулум, 5–6 митохондрий площадью 0,05–0,08 мкм<sup>2</sup>, 22–26 везикул. В интерстиции мезонефроса исследованных видов обнаружены палочковые клетки, находящиеся на 3-й стадии зрелости. Ионтранспортирующие клетки площадью 83 мкм<sup>2</sup> локализуются в непосредственной близости от канальцев нефрона мезонефроса. Цитоплазма клеток содержит 12–14 митохондрий площадью 0,8 мкм<sup>2</sup>.

Таким образом, ультраструктура лимфоцитов, плазматических клеток, макрофагов, клеток с радиально расположенными везикулами, палочковых и ионтранспортирующих клеток исследованных видов аналогична таковой ранее изученных карпообразных. Показано, что структура гранул нейтрофилов гольца Кушакевича принципиально отличается от таковой нейтрофилов представителя семейства Balitoridae — усатого гольца *Barbatula barbatula* (L.). Округлых специфических гранул с более электронно-плотной сердцевиной, а также гранул полигональной формы в эозинофилах карпообразных не обнаружено. Количество митохондрий на срезах лейкоцитов исследованных видов ближе к таковому для морских рыб.

## Роль свободных аминокислот в адапционных процессах медицинских пиявок из природных популяций

Черная Л. В.<sup>1</sup>, Ковальчук Л. А.<sup>1</sup>, Микшевич Н. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет», Екатеринбург, Россия

✉ [chernaya\\_lv@mail.ru](mailto:chernaya_lv@mail.ru)

Исследования адапционных процессов гидробионтов в изменяющихся условиях среды и поиск биохимических маркеров состояния их физиологического благополучия в природных водоёмах актуальны в свете решения проблемы сохранения редких и исчезающих видов, в число которых входят медицинские пиявки (далее — МП). Обитающие на территории России и Европы два вида МП в настоящее время имеют охраняемый статус. Так, европейская, или лечебная, пиявка *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758 классифицируется как «находящийся под угрозой исчезновения» таксон в Красном списке МСОП (Международный союз охраны природы и природных ресурсов), включённый в приложение III к Бернской конвенции, приложение II к CITES. А средиземноморская, или аптечная, пиявка *Hirudo verbana* (Cargna, 1820) отмечается как «редкий, уязвимый или низкого риска угрозы исчезновения вид» для отдельных регионов России. Наиболее значимыми факторами, лимитирующими численность и распространение МП, являются антропогенное загрязнение водоёмов и неблагоприятные условия на северной границе ареала. Создание научных основ экологического мониторинга природных популяций МП естественным образом полагает исследование адапционно-компенсаторных механизмов, формирующихся в их организме при сочетанном влиянии абиотических и биотических факторов. К числу наиболее информативных показателей физиологического состояния гидробионтов и их адаптивных возможностей относятся уровень аминокислотного обмена и содержание отдельных свободных аминокислот (далее — АК) в тканях. Известно, что на уровень обеспеченности тканей свободными АК у различных видов гидробионтов оказывают существенное влияние климатические, сезонные и антропогенные факторы, степень трофической обеспеченности, энергетические потребности, а также ряд других онтогенетических, экологических и филогенетических особенностей организма.

Цель настоящего исследования — оценить роль свободных АК в адапционных процессах МП, обитающих в оптимальных и периферийных частях ареала.

В исследованиях использованы взрослые особи лечебной (*H. medicinalis*) и аптечной (*H. verbana*) пиявок из восьми водных объектов различных климатогеографических зон Евразии. В шести из них отловлены особи *H. medicinalis* ( $n = 60$ ); это озеро Горелое и река Уды (Харьковская обл.), озеро Глубокое (Луганская обл.), река Лесной Воронеж (Тамбовская обл.), озеро Дамба и река Тогул (Алтайский край). В трёх водных объектах отловлены особи *H. verbana* ( $n = 30$ ); это озеро Горелое (Харьковская обл.), ерик Судомойка (Волгоградская обл.) и река Челбас (Краснодарский край). Концентрацию свободных АК в кожно-мышечной ткани пиявок определяли методом ионообменной хроматографии с помощью автоматического анализатора аминокислот ААА 339 М (Mikrotechna, Чехия). Экспериментальные данные обрабатывали с использованием пакета лицензионных прикладных программ Statistica v. 7.0 (StatSoft, Inc.).

Методом ионообменной хроматографии определено 23 АК и их производных в тканях МП независимо от вида и географической приуроченности. Установлено, что вне зависимости от видовой принадлежности МП наиболее высокая географическая вариабельность концентраций в их тканях характерна для глутаминовой кислоты и глутамина, пролина, гистидина, аргинина, а наименьшая — для глицина и лейцина ( $p < 0,001$ ). При изучении влияния экологических факторов на формирование аминокислотного спектра тканей для нас особый интерес представляли особи МП, обитающие на границах ареала (климатический фактор) и на промышленно развитых территориях (антропогенный фактор). В данном контексте следует отметить высокий уровень аминокислотного обмена у МП, обитающих в неблагоприятных климатических условиях на восточной и северной границах ареала, а также в экосистемах, отличающихся повышенным содержанием тяжёлых металлов.

Так, аминокислотный фонд тканей особей *H. medicinalis* алтайских популяций [(2166,5 ± 36,4) и (2051,6 ± 28,4) мкмоль·100 г<sup>-1</sup>], обитающих в экстремальных климатических условиях (суровые

зимы, короткий безморозный период, глубокое промерзание грунта при среднегодовой температуре среды +2,6 °С), существенно повышен за счёт аспарагиновой кислоты и незаменимых АК (валин, изолейцин, лейцин, лизин, гистидин, аргинин) ( $p < 0,001$ ). Высокое содержание этих АК, связанных с энергетическими процессами и обеспечивающих криозащиту клеточных мембран, представляется как специфический фактор в обеспечении механизмов низкотемпературной адаптации и, следовательно, возможности существования МП в условиях холодного климата Сибири. Подобное было отмечено и у аптечной пиявки *H. verbana* на северной границе ареала (Харьковская обл.).

Обнаружено, что лечебные пиявки, обитающие на территории промышленного Донбасса (Луганская обл.), отличаются от особей *H. medicinalis* других популяций более высоким содержанием в тканях глутаминовой кислоты и глутамина, пролина и глицина, обладающих иммуномодулирующими и детоксикационными свойствами, а также  $\gamma$ -аминомасляной кислоты, участвующей в тканевом дыхании ( $p < 0,001$ ). Особи *H. verbana*, обитающие в индустриально развитом регионе (Волгоградская обл.), содержат относительно аптечных пиявок из других регионов, максимальные тканевые концентрации активных антиоксидантов — глутаминовой кислоты и глутамина, цистеина, изолейцина, лейцина, тирозина, гистидина, аргинина, а также аланина, участвующего в синтезе глюкозы, и серосодержащих АК с высокой детоксикационной способностью ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, показана роль свободных аминокислот в адапционных процессах медицинских пиявок *H. medicinalis* и *H. verbana* из природных популяций различных климатогеографических зон Евразии. Установлено, что аминокислотный состав тканей МП в значительной степени обусловлен физиологическим состоянием особей, обитающих в оптимальных и периферийных частях ареала. В тканях лечебных и аптечных пиявок, обитающих в неблагоприятных климатических условиях и в водных экосистемах промышленных регионов, повышен уровень аминокислотного фонда за счёт существенного роста концентраций АК, обладающих энергообеспечивающими, иммуномодулирующими и детоксикационными свойствами. Результаты проведённых исследований позволяют заключить, что количественные изменения аминокислотного спектра тканей МП при влиянии экологических факторов адекватно отражают их физиологический и адаптивный статус и могут служить критерием состояния физиологического благополучия особей этих ценных гидробионтов в водных экосистемах естественных ландшафтов.



## Сравнительный анализ показателей состояния окислительного стресса у пресноводных двустворчатых моллюсков семейств *Dreissenidae* и *Unionidae*

Чуйко Г. М.<sup>1</sup>, Холмогорова Н. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>2</sup>Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

✉ [gchuiko@ibiw.ru](mailto:gchuiko@ibiw.ru)

Одними из наиболее перспективных биомаркеров для оценки состояния гидробионтов и среды их обитания в последнее время считаются показатели состояния окислительного стресса (далее — СОС), поскольку установлено, что многие загрязняющие вещества, такие как тяжёлые металлы, стойкие органические загрязнители, полициклические ароматические углеводороды и др., стимулируют образование активных форм кислорода (далее — АФК), что приводит к развитию СОС. Окислительный стресс — это состояние клетки, характеризующееся накоплением продуктов перекисной модификации основных жизненно важных биомолекул (белки, липиды и нуклеиновые кислоты) в результате их взаимодействия с АФК на фоне одновременного снижения эффективности работы компонентов системы антиоксидантной защиты (АОЗ). Первые указывают на уровень АФК в организме и на эффективность детоксикации их избыточного количества системой антиоксидантной защиты, вторые — на активность и напряжённость этой системы.

Показатели СОС являются неспецифическими биомаркерами эффекта, так как реагируют на большинство известных загрязняющих веществ и отражают общее физиологическое состояние гидробионтов, подверженных влиянию токсикантов. Биомаркеры СОС предоставляют полную и биологически релевантную информацию о воздействии токсичных загрязняющих веществ на состояние организма.

В экотоксикологическом биомониторинге состояния водной среды широко используют двустворчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов, поскольку они ведут малоподвижный или прикрепленный образ жизни и являются активными биофильтраторами и биоаккумуляторами, но при этом загрязняющие вещества в их организме относительно медленно подвергаются метаболической биотрансформации и выведению. Это позволяет проводить долгосрочные наблюдения за загрязнением водных объектов. Важно и то, что двустворчатые моллюски — одно из первичных звеньев в передаче загрязняющих веществ по трофическим цепям.

В настоящее время двустворчатые моллюски интенсивно исследуются для определения возможности использования биомаркеров СОС для оценки состояния окружающей водной среды. За последние годы в литературе накоплено достаточно данных об особенностях СОС у различных видов морских двустворчатых моллюсков. Вместе с тем по пресноводным моллюскам такая информация носит разрозненный, а иногда и противоречивый характер. Среди самых перспективных групп пресноводных двустворчатых моллюсков с этой точки зрения наибольший интерес представляют виды семейств *Unionidae* и *Dreissenidae*. Одной из первых задач, возникающих при использовании биомаркеров, является установление нормы реакции или гомеостатического диапазона их варьирования в нормальных природных условиях в зависимости от биологических факторов (вид, пол, размер, возраст, органо-тканевая специфичность) и климатогеографических особенностей мест обитания.

Цель работы — проанализировать и обобщить собственные данные о показателях СОС у пресноводных двустворчатых моллюсков *Unionidae* и *Dreissenidae*.

Исследовались моллюски семейств *Unionidae* — родов *Unio* (*U. pictorum* Linnaeus, 1758) и *Anodonta* (*A. cygnea* Linnaeus, 1758 и *A. anatina* Linnaeus, 1758) — и *Dreissenidae* — рода *Dreissena* (*D. polymorpha* Pallas, 1771 и *D. bugensis* Andrusov, 1897). Моллюски отлавливались в июне — августе в период с 2011 по 2021 г. в Рыбинском водохранилище (Ярославская область) и в реке Иж (Удмуртская Республика). У дрейссенид для биохимических исследований использовали мягкие ткани полостью, а тело унионид разделяли на органы (мантия, жабры, нога, гонады, гепатопанкреас и остаток тела). В мягких тканях моллюсков изучались следующие показатели СОС: содержание общего водорастворимого белка, восстановленного глутатиона (ГЛТ) и малонового диальдегида (МДА), а также

активность ферментов системы АОЗ — каталазы (КАТ), глутатион-S-трансферазы (ГСТ), глутатион-редуктазы (ГР). Методы определения биохимических показателей были описаны ранее. Статистическую значимость различий оценивали методом дисперсионного анализа при  $p = 0,05$  (ANOVA), коэффициент ранговой корреляции Спирмена рассчитывали при  $p < 0,05$ .

Установлено, что у Dreissenidae Рыбинского водохранилища не было статистически значимой зависимости значений исследуемых биомаркеров от размера моллюсков в диапазоне 15–35 мм. Средние значения биомаркеров были следующими у *D. polymorpha* и *D. bugensis* соответственно: активность КАТ —  $(103,1 \pm 3,3)$  и  $(263,5 \pm 12,2)$  нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup> (различия статистически значимы), ГСТ —  $(3,0 \pm 0,5)$  и  $(9,7 \pm 1,9)$  нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup> (различия статистически значимы), ГР —  $(2,2 \pm 0,2)$  и  $(2,1 \pm 0,5)$  нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup>; содержание ГЛТ —  $(1,9 \pm 0,4)$  и  $(1,7 \pm 0,2)$  пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка, МДА —  $(2,6 \pm 0,3)$  и  $(4,5 \pm 0,9)$  пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка.

Для Unionidae из реки Иж выявлена статистически значимая прямая зависимость ( $r = 0,68...0,94$ ) значений биомаркеров от размера моллюска в диапазоне 52–95 мм у *A. anatina* и 42–88 мм у *Unio pictorum*. Для *A. cygnea* из Рыбинского водохранилища в размерном диапазоне 67–141 мм зависимость была слабой ( $r = 0,17...0,2$ ) или отсутствовала.

Для унионид из реки Иж средние значения биомаркеров в мантии, жабрах, ноге, гепатопанкреасе и остатке мягких тканей варьировали в следующих пределах у *U. pictorum* и *A. anatina* соответственно: активность КАТ — 43,2–134,3 и 71,7–211,2 нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup>, ГСТ — 0,56–0,96 и 0,2–3,0 нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup>, ГР — нет данных; содержание ГЛТ — 0,3–4,0 и 13,1–32,0 пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка, МДА — 9,4–21,9 и 1,5–7,8 пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка.

Для унионид из Рыбинского водохранилища средние значения биомаркеров в мантии, жабрах, ноге, гонадах и гепатопанкреасе варьировали в следующих пределах у *U. pictorum* и *A. cygnea* соответственно: активность КАТ — 32,1–428 и 20,5–43,0 нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup> (различия статистически значимы), ГСТ — 0,84–8,8 и 1,8–3,0 нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup>, ГР — 2,2–8,8 и 0,6–2,2 нмоль·мкг<sup>-1</sup> белка·мин<sup>-1</sup>; содержание ГЛТ — 2,2–9,8 и 3,4–6,0 пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка, МДА — 0,6–5,6 и 0,8–1,5 пкмоль·мкг<sup>-1</sup> белка.

Сравнение полученных данных показывает, что выраженная прямая корреляция между значениями биомаркеров СОС и размером моллюска выявлена только для *U. pictorum* и *A. anatina* из реки Иж. Заметных половых различий у всех исследованных видов моллюсков не обнаружено. Статистически значимые межвидовые различия получены для Dreissenidae по активности КАТ и ГСТ и для Unionidae (*U. pictorum* и *A. cygnea*) — по КАТ. Установлены межорганные различия в значениях биомаркеров у представителей Unionidae. Наибольшие значения отмечены в гепатопанкреасе и жабрах, а наименьшие — в ноге.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121050500046-8, при частичной поддержке гранта РФФИ № 12-05-00572.

## Сезонные вариации уровней экспрессии мРНК генов мышечных белков у молоди атлантического лосося *Salmo salar* L., выращенного при воздействии дополнительного освещения в условиях искусственного воспроизводства

Шульгина Н. С., Кузнецова М. В., Крупнова М. Ю., Немова Н. Н.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

✉ [shulgina28@yandex.ru](mailto:shulgina28@yandex.ru)

Известно, что ряд факторов, таких, например, как температура, питание и фотопериод, могут влиять на экспрессию генов, кодирующих белки — миогенные регуляторные факторы (далее — МРФ), которые регулируют формирование и рост мышц у рыб. Семейство МРФ включает транскрипты генов *MyoD*, *Myf5*, миогенина (*MyoG*) и *MRF4*. Дифференциальная экспрессия МРФ контролирует процессы гиперплазии (увеличение количества) и гипертрофии (увеличение размера) мышечных волокон у рыб на протяжении всего жизненного цикла. Было показано, что члены семейства МРФ выполняют разные, но зачастую совпадающие функции в развитии мышц. Так, *MyoD* и *Myf5* контролируют детерминацию миогенных клеток, а также регулируют активацию и пролиферацию миобластов. *MyoG* и *MRF4* действуют на стадии дифференцировки миобластов, когда мышечные трубки сливаются с образованием новых миофибрилл. Последовательная экспрессия миогенных регуляторных факторов приводит к экспрессии генов структурных мышечных белков, включая ген тяжёлой цепи миозина (*MyHC*). Тяжёлая цепь миозина — важный функциональный и структурный домен молекулы наиболее распространённого мышечного белка миозина; как следствие, экспрессия *MyHC* является одним из ключевых факторов, определяющих развитие скелетных мышц. Изучение характера экспрессии вышеперечисленных генов в мышцах рыб, выращенных в условиях вариативности внешних факторов — фотопериода и температуры среды, позволит в определённой степени понять молекулярные механизмы, лежащие в основе регуляции мышечного роста рыб и, следовательно, их темпов роста при адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды.

Уровни экспрессии мРНК генов *MyHC*, *MyoG*, *Myf5*, *MyoD1a*, *MyoD1b*, а также *MyoD1c* определяли методом ПЦР в режиме реального времени в мышцах разновозрастной молоди атлантического лосося, выращенного на Выгском рыболовном заводе (Республика Карелия, Беломорский район), где были проведены три эксперимента. В первый год сеголеток (0+) и двухлеток (1+) лосося содержали в группах с постоянным освещением (24 ч · сут<sup>-1</sup>) (контрольные группы — без дополнительного освещения) в период с начала июля/августа до конца октября. Во второй год двухлетки, которые, будучи сеголетками в предыдущем эксперименте, росли без дополнительного освещения, были разделены на две группы — экспериментальную (с постоянным освещением) и контрольную — и содержались в них в период с середины мая до середины октября. Во всех экспериментах рыб выращивали в условиях проточного водоснабжения при естественных колебаниях температуры окружающей среды, характерных для летне-осеннего периода в умеренных широтах северных регионов.

Согласно полученным данным, круглосуточное освещение оказало положительное воздействие на темпы роста рыб и способствовало их более продолжительному росту в осенний период. Установлены достоверно более высокие значения экспрессии мРНК генов *MyHC*, *MyoG*, *MyoD1a* и *MyoD1b* у сеголеток и двухлеток лосося (из обоих экспериментов) в группах с постоянным освещением по сравнению с таковыми у особей из контрольных групп (без дополнительного освещения). Полученные данные могут указывать на различия в механизмах регуляции мышечного роста у рыб и, следовательно, в процессах их роста в зависимости от условий освещения.

По результатам проведённого анализа были выявлены закономерности в сезонной динамике уровней экспрессии исследуемых генов, схожие для групп разновозрастной молоди лосося из разных экспериментов. Так, уровни экспрессии мРНК *MyoG* возрастали осенью по сравнению с уровнями летнего периода у рыб во всех экспериментах. В мышцах сеголеток и двухлеток (во втором эксперименте) подобное увеличение экспрессии было характерно для генов *MyHC* и *MyoD1a*. В то же время у рыб во всех экспериментах наблюдалось совместное снижение уровней экспрессии мРНК генов

*Myf5*, *MyoD1b*, а также *MyoD1c* в осенний период. Вероятно, различия в одновременной экспрессии вышеуказанных генов на протяжении экспериментального периода отражают их дифференциальную роль в регуляции мышечного роста у рыб при их адаптации к сезонному изменению температуры воды.

Таким образом, выявленные различия в экспрессии исследуемых генов связаны с воздействием на рыб как искусственно увеличенной длины светового дня, так и сезонных изменений температуры окружающей среды.

В настоящее время начаты исследования на молоди атлантического лосося, рост и развитие которой проходит при круглосуточном освещении ( $24 \text{ ч} \cdot \text{сут}^{-1}$ ) в условиях искусственного выращивания на рыбноводном хозяйстве в регионе Северной Осетии — Алании. Высокие летние температуры воздуха, световой режим без периода «белых ночей», гидрохимические параметры воды в виде высокого рН, значительная минерализация и высокая степень насыщения кислородом формируют другой (отличный от набора северных регионов) набор экологических факторов. Предполагается сравнить вариации уровней экспрессии мРНК генов мышечных белков у молоди лосося, выращенной в разных регионах в условиях стандартной технологии и при введении дополнительного круглосуточного освещения.

Работа выполнена на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН при финансовой поддержке Российского научного фонда, проекты № 19-14-00081 и № 19-14-00081П «Влияние физических факторов на эффективность искусственного (заводского) воспроизводства молоди атлантического лосося *Salmo salar*: физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика».



Молекулярная  
биология  
и генетика  
гидробионтов

## Обнаружение маркеров стрессового состояния у *Ulnaria acus* методом ПЦР в реальном времени

Байрамова Э. М., Морозов А. А., Марченков А. М., Захарова Ю. Р., Бедошвили Е. Д.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

✉ [bairamovaelvira@gmail.com](mailto:bairamovaelvira@gmail.com)

Диатомовые водоросли — повсеместно распространённые одноклеточные эукариотические организмы, которые играют значительную роль в глобальном круговороте углерода и кремния, а также в функционировании экосистем. Диатомей *Ulnaria acus* (Kützing) являются одним из доминирующих видов фитопланктона в озере Байкал. При всей значимости этого вида молекулярные механизмы его адаптации к стрессовым условиям не ясны. Целью данного исследования являлось определение динамики экспрессии нескольких генов, связанных с реакцией на стресс, у аксеничной пресноводной диатомовой водоросли *U. acus* при культивировании в различных условиях.

Так как гибель клеток связана с окислительным стрессом, для анализа был выбран ряд генов, кодирующих участников антиоксидантной системы защиты, — ALDH (aldehyde dehydrogenase), GOX (glycolate oxidase) и GHGS (glutathione synthetase). Также для работы были выбраны гены DSP (death-specific protein) и HSP60 (heat shock protein 60). Функциональная роль DSP в клетках диатомей полностью не известна, однако исследователями было показано, что его повышенная экспрессия является маркером окончания цветения диатомей. HSP60 как один из белков теплового шока играет важную роль при адаптации клеток к стрессовым условиям.

Последовательности описанных генов были обнаружены с помощью геномных и транскриптомных данных *U. acus*, полученных ранее, а также референсных последовательностей этих генов у морских видов диатомей с известным геномом в базе данных NCBI.

Клетки *U. acus* в экспоненциальной фазе роста культивировали при различных условиях: контроль (клетки в экспоненциальной фазе роста); альгицидное воздействие (с первого по третий день культивирования с фильтратом *Bacillus mycooides* BS 2-15); старение культуры (культивирование в течение 30 и 45 дней). Из полученной биомассы была выделена РНК, затем синтезирована кДНК. В качестве референсного использовался ген 18S рРНК. После проводилась реакция ПЦР в реальном времени с применением интеркалирующего красителя SYBR Green. Основываясь на анализе  $\Delta\Delta Ct$ , мы оценили экспрессию целевых генов.

Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют предположить, что при старении культуры, спустя 30 дней после выхода на экспоненциальную фазу роста, клетки *U. acus* начинают испытывать окислительный стресс. На это указывает рост уровня экспрессии ALDH и GOX. Также подтвердились данные литературы о том, что высокий уровень экспрессии DSP характерен для окончания цветения диатомей: его экспрессия значительно возросла при длительном культивировании водоросли.

Ранее нами было показано, что спустя три дня культивирования с *B. mycooides* клетки *U. acus* стремительно гибнут. В настоящей работе выяснилось, что в первые три дня культивирования с бактериальным фильтратом клетки диатомей сталкиваются с окислительным стрессом и нарушением в фолдинге белка, на что указывает рост экспрессии GSHG и HSP60.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ФГБУН ЛИН СО РАН № 0279-2021-0008 «От клетки — к экосистеме: исследование ультраструктуры гидробионтов и их сообществ в эволюционно-экологическом аспекте методами клеточной биологии и геномики» (руководитель — Е. В. Лихошвай).

## Оценка современного генетического разнообразия русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833) донской популяции по микросателлитным ядерным маркерам

Воробьева А. В., Головинов И. В., Небесихина Н. А.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

✉ [ada180699@mail.ru](mailto:ada180699@mail.ru)

Осетрообразные рыбы являются древнейшими среди ныне живущих позвоночных животных. До недавнего времени ареал осетровых был огромным — охватывал почти всё Северное полушарие.

В период с середины 1950-х гг. активное строительство гидротехнических сооружений ограничило пути миграции русского осетра к местам нереста и привело к сокращению численности естественной популяции. За счёт введения искусственного воспроизводства промысловую численность удалось восстановить. Однако уже с середины 1990-х гг. неконтролируемый браконьерский вылов послужил причиной критического сокращения запасов русского осетра в Азово-Черноморском бассейне, что привело к полному запрету промысла осетровых. На сегодняшний день воспроизводство популяции русского осетра полностью базируется на производителях, выращенных в искусственных условиях — на осетровых рыбоводных заводах. Одновременно с сокращением численности произошла утрата редких групп аллелей, что обосновывает необходимость учитывать генетические маркеры при искусственном воспроизводстве популяции.

Целью данного исследования является оценка генетического разнообразия русского осетра донской популяции за последние 20 лет по 5 микросателлитным локусам.

При изучении 96 особей русского осетра естественной популяции за 2001–2003 гг. по 5 локусам (An20, Afug41, Afug51, AoxD161 и AoxD165) было выявлено 66 аллелей, при анализе 132 особей за 2021 г. — 68 аллелей. Все исследуемые локусы показали достаточно высокий полиморфизм. Наибольшее количество аллелей обнаружено в локусе Afug41 в двух выборках; наименьшим количеством аллелей характеризуются локусы An20 и AoxD161. Среднее число аллелей на особь составило от 2,5 до 3,51; в двух выборках оно варьировало незначительно.

Мажорными аллелями по локусу Afug41 в исследуемых выборках являются последовательности длиной 201 и 213 п. н.; по локусу Afug51 — варианты последовательности длиной 232, 236 и 268 п. н. По локусу AoxD165 мажорными аллелями являются последовательности длиной 174, 178 и 186 п. н.; по локусу AoxD161 — 126, 130 и 134 п. н.; по локусу An20 — варианты аллелей длиной 165 и 173 п. н.

За период с 2001 по 2021 г. в естественной популяции русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833) произошла потеря микросателлитного разнообразия по следующим локусам: Afug41 — потеря аллеля с длиной 185 п. н.; Afug51 — потеря аллелей с длиной 216 и 220 п. н.; AoxD165 — потеря аллеля с длиной 202 п. н.; An20 — потеря аллеля с длиной 181 п. н.

Выявлено статистически значимое снижение генетического разнообразия вследствие увеличения доли гомозиготных особей по трём локусам — Afug41, AoxD161 и AoxD165. Выборка за 2021 г. характеризуется наибольшим снижением уровня гетерозиготности популяции: дефицит гетерозигот наблюдается по всем исследуемым локусам, что говорит о снижении генетического разнообразия на сегодняшний день по сравнению с популяцией за 2001–2003 гг., в которой дефицитом гетерозигот характеризуются только два локуса — Afug41 и Afug51.

Полученные данные свидетельствуют о заметном снижении генетического разнообразия *A. gueldenstaedtii* за последние 20 лет и могут быть использованы осетровыми заводами при искусственном воспроизводстве русского осетра с более верным подбором производителей ремонтно-маточных стад.



## Оценка генетического разнообразия кумжи бассейна реки Кубань с помощью микросателлитных маркеров

Головинов И. В., Воробьева А. В., Небесихина Н. А.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

✉ [ivgolovinov@yandex.ru](mailto:ivgolovinov@yandex.ru)

Изучено генетическое разнообразие кубанской популяции жилой формы кумжи из пяти рек (Теберда, Капустина, Безымянная, Киша и Ачипста) на основе изменчивости шести микросателлитных маркеров.

В результате анализа изменчивости 6 микросателлитных локусов (Str-60, SSsp2216, Strutta17, Str-543, SSOSL456 и Ssa408) у 117 особей кумжи было выявлено 85 аллелей. Суммарно в популяции реки Теберда обнаружено 45 аллелей, ручья Капустина — 44, реки Безымянная — 18, реки Киша — 48, реки Ачипста — 56 аллелей. Наиболее изменчивыми оказался локус Ssa408 с максимальным количеством аллелей (27), а наименее изменчивым — локус Str-60 с 3 аллельными вариантами. Минимальная длина аллеля (81 п. н.) отмечена в локусе Str-60, а максимальная (325 п. н.) зарегистрирована в локусе Ssa408. Среднее число аллелей в исследованных группах кумжи варьировало от 3,0 (в реке Безымянная) до 9,3 (в реке Ачипста). Значение ожидаемой гетерозиготности изменялось от 0,000 (Str-60 и Str-543) до 0,910 (SSsp2216) и в среднем для выборки составило 0,586.

Оценка генетического разнообразия выборок кумжи по индексу Шеннона варьировала от (0,674 ± 0,251) (река Безымянная) до (1,659 ± 0,272) (река Киша), составив в среднем (1,357 ± 0,155). В целом в выборках кумжи по локусам значения индекса Шеннона были представлены в широком диапазоне от 0,000 по локусам Str-60 (ручей Капустина) и Str-543 (река Безымянная) до 2,561 по локусу Ssa408 (река Ачипста). Это указывает на генетическую разнородность как внутри, так и между отдельными субпопуляциями кумжи.

В пяти выборках кумжи отмечено 24 приватных аллеля, 14 из которых приходятся на локусы Ssa408 (7) и SSOSL456 (7). Наибольшее число приватных аллелей (9) идентифицировано у рыб из реки Ачипста. При этом максимальная частота встречаемости установлена для аллели 237 п. н. локуса Ssa408 в выборке кумжи из реки Ачипста.

По частотам аллелей вышеописанных микросателлитных локусов были рассчитаны генетические дистанции Нея между исследуемыми выборками, а также значения  $F_{ST}$  при попарном их сравнении. Уровень попарной межвыборочной дифференциации в величинах  $F_{ST}$  варьировал в пределах 0,140–1,334. Оценки попарных генетических дистанций Nei GD колебались от 0,040 до 0,288. Распределение значений  $F_{ST}$  в целом коррелирует с географической удалённостью рек относительно друг друга. В наименьшей степени дифференцированы близлежащие выборки из реки Ачипста и ручья Капустина. Сходные тенденции отмечены и для значений Nei GD. Наибольшие значения величин  $F_{ST}$  и генетических дистанций Нея наблюдаются между выборками кумжи из реки Безымянная и рек Теберда, Капустина и Ачипста, что можно объяснить географической изоляцией реки Безымянная или небольшим размером выборки.

Суммарно на основе анализа шести микросателлитных локусов популяции рек Киша и Ачипста и ручья Капустина показано, что они характеризуются высоким генетическим разнообразием ( $I \approx 1,5$ ) и дефицитом гетерозигот. В выборке из реки Безымянная зарегистрированы низкое генетическое разнообразие ( $I < 1,5$ ) и избыток фактически наблюдаемой гетерозиготности. Популяция реки Теберда характеризуется избытком гетерозигот и высоким генетическим разнообразием.

На основе анализа шести микросателлитных локусов можно заключить, что кубанская популяция кумжи (*Salmo trutta*) характеризуется средним генетическим разнообразием ( $I = 1,357$ ) и дефицитом гетерозигот. Микросателлитный анализ продемонстрировал существенную генетическую структурированность и значимые различия между выборками, генетическую удалённость популяции реки Безымянная от всех исследованных выборок, а также генетическую близость популяций из реки Ачипста и ручья Капустина, что коррелирует с географическим распределением выборок.

## Особенности молекулярного механизма индуцированного мутагенеза при низких дозах агентов, повреждающих ДНК

Королев В. Г.

Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

✉ [korolev\\_vg@npfi.nrcki.ru](mailto:korolev_vg@npfi.nrcki.ru)

---

Эукариотические клетки имеют специализированный ответ на повреждение ДНК, называемый чекпойнтом, который задерживает развитие клеточного цикла и способствует репарации повреждённой ДНК. Этот процесс подразделяют на два пути. Глобальный чекпойнт имеет решающее значение для поддержания целостности генома при острой стрессовой ситуации, связанной с появлением большого числа повреждений ДНК. В настоящее время достигнут значительный прогресс в понимании инициирования и хода процесса глобального чекпойнта. В нормальных условиях роста клетка постоянно балансирует между остановкой клеточного цикла и пролиферацией в условиях постоянных эндогенных и экзогенных повреждений ДНК (примерно 20 000 повреждений в день на клетку человека). При этом клетки используют эксцизионную репарацию и пути толерантности к повреждениям ДНК без существенной задержки клеточного цикла для устранения небольших уровней повреждения ДНК. Индукция чекпойнта определяется количеством однонитевой ДНК, возникающей в процессе репарации повреждений. В течение репликативного синтеза на повреждённой матрице в ДНК будет накапливаться большое число однонитевых брешей. В почкующихся дрожжах чекпойнтный ответ инициируется однонитевой ДНК через активацию киназы Mec1, которая ответственна за активацию эффекторной киназы Rad53. Через фосфорилирование большого числа субстратов Rad53 осуществляет большинство аспектов чекпойнтного ответа. Для генотоксических агентов существует порог дозы, ниже которого активация чекпойнта минимальна, несмотря на измеримую активность путей репарации ДНК. Процессы репарации, происходящие при уровнях повреждения ДНК ниже порогового, контролируются локальным чекпойнтом. Основное отличие локального от глобального чекпойнта состоит в том, что клетки практически не задерживаются в контрольных точках клеточного цикла и ключевую роль в локальном чекпойнте играет киназа Mec1, в то время как роль киназы Rad53 значительно снижается. Ранее мы показали, что частота УФ-индуцированного мутагенеза в дрожжах при высоких дозах облучения контролируется уровнем дезоксинуклеотидов (dNTP) в нуклеоплазме. Наибольший выход мутаций происходит при промежуточных уровнях экспрессии комплекса RNR, который контролирует синтез dNTP в клетках дрожжей. Локальный чекпойнт функционирует как раз при таких промежуточных уровнях экспрессии RNR из-за пониженной активности киназы Rad53. Мы предполагаем, что низкая активность киназы Rad53 при локальном чекпойнте приводит к повышенному выходу УФ-индуцированных мутаций. Активность репарационной полимеразы Pol $\eta$ , ответственной за мутагенез при репаративном синтезе ДНК, повышается при высоких дозах облучения в конце S-периода. Мы считаем, что при низких дозах мутагенов роль этой полимеразы в индуцированном мутагенезе особенно высока.

## *Artemia monica* и *A. sinica* (Anostraca) в гиперсолёных озёрах Крыма: молекулярно-генетические свидетельства

Лантушенко А. О.<sup>1</sup>, Мегер Я. В.<sup>1</sup>, Гаджи А. В.<sup>1</sup>, Ануфриева Е. В.<sup>1,2</sup>, Шадрин Н. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [lantushenko@mail.ru](mailto:lantushenko@mail.ru)

В Крыму ранее отмечено наличие двух двуполовых видов рода *Artemia* (Anostraca) — *A. salina* (Linnaeus, 1758) и *A. urmiana* Gunther, 1899 — и партеногенетических популяций разной пloidности. Между тем направленных молекулярно-генетических исследований в крымских популяциях не проводили; подтверждено этими методами только существование *A. urmiana* в Крыму. Чтобы определить видовой статус рачков, были взяты пробы из ряда крымских гиперсолёных озёр и проведён филогенетический анализ с использованием двух генов — ядерного гена 18S rDNA и митохондриального маркера цитохром-с-оксидазы (CO1). Выделение ДНК осуществляли из отдельных особей. Количественное определение полученной геномной ДНК и оценку её чистоты проводили на нанофотометре InPlex (Германия) и с помощью гель-электрофореза в 1%-ном агарозном геле. ПЦР-реакцию проводили с использованием пар праймеров 18d-50 и R58 для 18S-последовательности и jgLCO1490 и jgHCO2198 для CO1-гена. Полученные последовательности генов 18S рРНК и CO1 сравнивали с имеющимися в базе данных Национального центра биотехнологической информации (National Center for Biotechnology Information, NCBI). Филогенетический анализ проводили в программах MEGA X и MrBayes. Фильтрацию выравнивания перед построением дерева осуществляли вручную в программе BioEdit. Была определена наиболее подходящая модель эволюции нуклеотидов — параметрическая модель Kimura 2. Для реконструкции филогенетического дерева применяли метод максимального правдоподобия и Байеса. Анализ данных показал наличие четырёх двуполовых видов — *A. salina*, *A. urmiana*, *A. sinica* Cai, 1989 и *A. monica* Verrill, 1869 (= *franciscana* Kellogg, 1906) — и партеногенетических линий артемий. Американский вид *A. monica* был найден в озере Аджиголь, он является глобально инвазионным видом из-за широкого использования цист в аквакультуре с последующим распространением цист в регионе птицами. Ранее *A. monica* в водоёмах Крыма и России не отмечали, а *A. sinica* в России ранее был обнаружен только в водоёмах Забайкалья. Он мог попасть в Крым с птицами из Средиземноморья или направленно занесён человеком, как и *A. monica*. Второй вариант представляется более вероятным, так как сотрудники ЮгНИРО (г. Керчь) делали попытки разведения артемий путём инокуляции купленных цист в гиперсолёное озеро Янышское на Керченском полуострове, которое находится на расстоянии менее 100 км от места обнаружения видов.

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет-2030» Севастопольского государственного университета (стратегический проект № 3), рег. № НИОКТР 121121700318-1.

## Экспрессия генов фибриногенподобных белков у моллюсков *Planorbarius corneus* (Gastropoda) при трематодной инвазии

Прохорова Е. Е., Бобровская А. В., Орлов Ю. А., Атаев Г. Л.

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

✉ [elenne@mail.ru](mailto:elenne@mail.ru)

Фибриногенподобные белки (fibrinogen-related proteins, FREP) относятся к лектинам. FREP имеют уникальную доменную организацию: на N-конце молекулы расположены один или два переменных иммуноглобулиноподобных домена, а на C-конце — фибриногеновый домен (fibrinogen-like domain, FBG). По структуре доменов выделяют до 14 подсемейств FREP. Впервые роль FREP в иммунном ответе гастропод была подтверждена для моллюсков *Biomphalaria glabrata*. Установлено, что уровень конститутивной экспрессии FREP выше у моллюсков, резистентных к заражению трематодами, и он повышается при инвазии. FREP обладают избирательной активностью по отношению к патогенам различной природы (бактериям, грибам, трематодам разных видов). Для FREP биомфаларий установлена возможность соматической диверсификации. Это позволяет рассматривать FREP в качестве функциональных аналогов иммуноглобулинов позвоночных. Поэтому изучение разнообразия FREP является одним из основных направлений раскрытия механизмов возможной специфичности иммунитета моллюсков.

В исследовании был осуществлён анализ экспрессии генов иммунного ответа у моллюсков *Planorbarius corneus* при заражении трематодами, а также выполнен поиск кодирующих FREP мРНК в транскриптом их гемоцитов. Для получения транскриптома использовали пулированные гемоциты моллюсков, заражённых трематодами *Bilharziella polonica* ( $n = 10$ ) (семейство Schistosomatidae), а также незаражённых особей ( $n = 10$ ). Сборка и аннотация транскриптома позволила выявить около 2000 белков с доменами, характерными для факторов иммунного ответа. Самыми распространёнными доменами оказались иммуноглобулиновый (более 40 %) и фибриногеновый (13 %). При этом молекулы, содержащие одновременно оба типа доменов, были обнаружены только в одном из вариантов сборки.

Анализ дифференциальной экспрессии FREP осуществлён методом ОТ-ПЦР с праймерами на фибриногеновый домен и иммуноглобулиновый домен FREP3. Установлено, что уровень экспрессии FREP различен у незаражённых моллюсков и заражённых разными видами трематод особей. При заражении партенитами трематод *Notocotylus* sp. и *Plagiorchis* sp. экспрессия очень низкая относительно актина. У моллюсков, заражённых *Cotylurus* sp. и *Bilharziella polonica*, экспрессия гена FREP выше, чем у незаражённых особей. При этом при заражении происходит повышение уровня экспрессии FREP в гепатопанкреасе, но снижение в гемоцитах. По результатам анализа экспрессии FREP3, наоборот, установлено заметное повышение его экспрессии в гемоцитах заражённых трематодами моллюсков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-24-20057.

## Новые сведения о спектре первых промежуточных хозяев трематод рода *Telorchis* Lühe, 1899

Хребтова И. С., Аксёнова О. В., Кондаков А. В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврёрова  
УрО РАН, Архангельск, Россия

✉ [irinahrebtova@bk.ru](mailto:irinahrebtova@bk.ru)

Трематоды рода *Telorchis* принадлежат к семейству Telorchidae (Trematoda: Digenea: Plagiorchiida) и являются кишечными паразитами амфибий и рептилий, встречающимися по всему миру. Несмотря на достаточно большое количество исследований, посвящённых инфицированию животных трематодами вышеуказанного рода, данных об их промежуточных хозяевах практически нет. Обусловлено это прежде всего сложностью идентификации паразитов на стадии их развития в промежуточных хозяевах, а также незавершённой систематикой как трематод, так и их хозяев, но на сегодняшний день решить эту задачу позволяют молекулярно-генетические методы.

В настоящее время род *Telorchis* насчитывает около 80 видов. Ранее отмечалось, что в качестве первых промежуточных хозяев для телорхисов выступают пресноводные брюхоногие моллюски. В частности, для *Telorchis assula* указывается только моллюск *Planorbis planorbis* из семейства Planorbidae, для *Telorchis robustus* — моллюски *Pseudosuccinea columella* и *Galba parva*, для *Telorchis bonnerensis* — *Physella gyrina* и *Ph. propinqua*, для *Telorchis* sp. — *Planorbella trivolvis*. Для большинства видов данного рода информация отсутствует.

Целью нашего исследования было уточнить, какие именно виды пресноводных гастропод могут выступать в качестве промежуточных хозяев для телорхисов, с использованием молекулярно-генетических методов.

Материалом для исследования послужили образцы брюхоногих моллюсков, хранящиеся в коллекции Российского музея центров биоразнообразия ФИЦКИА УрО РАН. Нами были проанализированы моллюски, собранные в период с 2012 по 2018 г. из пресных водоёмов России (Ростовская область, Ставропольский и Краснодарский край), а также Китая, Южной Кореи, Казахстана, Турции, Грузии и Канады.

Выявление инфицированных образцов моллюсков проводили согласно методике, представленной в патенте RU 2748590 С1. Из фиксированных в 96%-ном этаноле тканей прудовиков осуществляли выделение тотальной ДНК при помощи набора реактивов NucleoSpin® Tissue Kit (Macherey-Nagel, Германия). Полученные образцы ДНК использовали для амплификации транскрибируемого спейсера ITS2, что позволило выявить наличие трематод в моллюсках. Амплификацию последовательностей осуществляли с комбинацией праймеров LT1 и ITS4. Визуализацию полученных продуктов ПЦР осуществляли в системе гель-документирования после электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле. В пробах ДНК, выделенной из инфицированных моллюсков, происходила амплификация двух участков спейсера ITS2, один из которых принадлежал прудовику, а другой, с более низкой молекулярной массой, — трематоде. Полученный в результате ПЦР транскрибируемый спейсер трематод элюировали из геля набором реактивов Cleanup Mini (ЗАО «Евроген», Россия).

Для образцов, в которых было установлено наличие трематод, провели амплификацию фрагментов генов первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (COI) и 28S рибосомной РНК (28S рДНК). При постановке ПЦР использовали следующие праймеры: Dice1F, Dice11R и Dice14R — для COI; LSU-5, 1500R и 1200R — для 28S рДНК. Программа амплификации включала этап первоначальной денатурации ДНК (5 мин, +95 °С); 32–34 цикла синтеза фрагмента ДНК для COI и 30–35 циклов для 28S (+95 °С — 50 сек, +48 °С для COI; +57 °С для 28S — 50 сек, +72 °С — 1 мин), а также этап окончательной элонгации цепи (+72 °С — 5 мин). Амплифицированные фрагменты продуктов ПЦР очищали пересадением с использованием ацетата аммония и этилового спирта. Образцы, подготовленные для секвенирования, передавали на анализ в межинститутский ЦКП «Геном» ИМБ РАН, где их секвенировали при помощи набора реактивов ABI PRISM® BigDye™ Terminator v3.1 с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе ДНК ABI PRISM 3730 (Applied Biosystems).

Полученные результаты последовательностей ДНК в прямом и обратном направлении вычитывали с использованием программы BioEdit 7.0.9. Для видоидентификации трематод полученные нуклеотидные последовательности анализировали в онлайн-программе BLAST (NCBI GenBank).

Всего из проанализированных образцов моллюсков нам удалось идентифицировать 3 вида трематод, принадлежащих к роду *Telorchis*, — *T. assula*, *T. bonnerensis* и *T. corti*. Параллельно при помощи ДНК-баркодинга установили видовую принадлежность моллюсков-хозяев. В качестве промежуточных хозяев вышеуказанные виды использовали моллюсков семейств Lymnaeidae и Physidae. Например, *Telorchis assula* встречен у 6 видов моллюсков: *Ampullaceana fontinalis*, *Stagnicola* sp., *Lymnaea stagnalis*, *Lymnaea* sp., *Radix euphratica* и *Physella ancillaria*. Трематоды *Telorchis bonnerensis* обнаружены в прудовиках *Pseudosuccinea columella*, а *Telorchis corti* — у *Radix auricularia* и *R. coreana*. Как видно из полученных данных, видоспецифичности у изученных нами видов трематод обнаружено не было, то есть один и тот же вид трематод может использовать в качестве промежуточных хозяев моллюсков различных видов и родов из семейства Lymnaeidae, а также моллюсков семейства Physidae.


В результате проведённого нами исследования спектр промежуточных хозяев трематод рода *Telorchis*, подтверждённых молекулярными методами, пополнился на 9 видов пресноводных гастропод, через которых возможно заражение и поддержание жизненного цикла телорхисов. При этом перечень, представленный нами, далеко не исчерпывающий; вероятнее всего, он будет расширяться. Полученные данные могут быть полезны для специалистов-паразитологов при изучении жизненных циклов трематод рода *Telorchis*. Также в ходе работы нами получены новые нуклеотидные последовательности транскрибируемого спейсера ITS2, фрагментов генов первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (COI) и 28S рибосомной РНК (28S рДНК), которые могут быть использованы в дальнейшем при изучении систематики и филогении трематод.

Исследования выполнены в рамках проекта РФФ № 21-74-10155.

Мы благодарим всех наших коллег за помощь в сборе образцов моллюсков, использованных в данной работе.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/140.pdf>.



A large, stylized number '6' is positioned on the left side of the page. The '6' is white with a green circle at its base. The background of the page is white, with a green horizontal band across the middle. The text is white and located within this green band.

Проблемы  
загрязнения  
водных экосистем  
и морская  
радиохемозэкология



## Мониторинг загрязнения прибрежных вод Японского моря по содержанию тяжёлых металлов в *Saccharina japonica* Aresch.

Аминина Н. М., Вишневская Т. И.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

✉ [natalya.aminina@tinro-center.ru](mailto:natalya.aminina@tinro-center.ru)

Способность к накоплению тяжёлых металлов делает водоросли-макрофиты эффективным биоиндикатором загрязнения акваторий, в которых они произрастают. Преимущественное связывание тех или других элементов основано на концентрационной способности растительных полисахаридов. Считается, что бурые водоросли дают наиболее адекватный ответ на загрязнение морских вод. Однако в сильно загрязнённых средах концентрации тяжёлых металлов в водорослях не отражают их концентрации в воде. Ни для одного из исследованных видов не обнаружено, например, прямой зависимости между содержанием железа и марганца в водорослях и в воде. В то же время концентрации цинка и свинца в водорослях, произрастающих в сильно загрязнённых прибрежных водах и в акваториях, которые можно отнести к фоновым, значительно отличаются.

Нами были исследованы тяжёлые металлы в бурой водоросли сахарине японской (*Saccharina japonica* Aresch.) из разных районов Японского моря (прибрежье Приморского края) с 2013 по 2018 г. Определение элементов проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu 6800 и масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700. Отмечены значительные вариации в содержании тяжёлых металлов в зависимости от района и времени сбора проб водоросли. Для сахарины японской, как и для других бурых водорослей, характерно максимальное накопление железа ( $27\text{--}213 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  на сухую массу) и цинка ( $10\text{--}55 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ ), в меньшей степени — накопление меди ( $0,1\text{--}9 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ ), свинца ( $0,01\text{--}12,7 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ ) и кадмия ( $0,01\text{--}0,2 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ ). Из исследованных элементов только железо и кадмий попадают в диапазон фоновых концентраций, рассчитанных для бурой водоросли *Sargassum pallidum* из северо-западной части Японского моря. Максимальное количество этих элементов, за исключением свинца, обнаружено в сахарине японской, произрастающей в бухте Соколовская, —  $213,4 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  железа в 2017 г.,  $54,6 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  цинка в 2015 г.,  $5,6 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  меди в 2016 г. Повышенная концентрация железа отмечена также в 2017 г. в образцах водоросли, которая произрастала в бухте Киевка, смежной с бухтой Соколовская.

Мониторинг качества растительного сырья в определённых районах прибрежья Приморского края по годам позволил выявить некоторые закономерности. Например, в сахарине японской, образцы которой собирали в бухте Соколовская, зарегистрированы снижение содержания свинца и кадмия и увеличение количества железа с 2012 по 2017 г. Можно отметить за этот период и снижение количества цинка в водоросли. В бухте Преображение, смежной с бухтой Соколовская, расположены крупные рыбные предприятия, в том числе крупнейшая на Дальнем Востоке база тралового флота, расцвет деятельности которой пришёлся на 1980-е гг. Постепенное сокращение численности судов и изменение структуры деятельности рыбной отрасли к началу 2000-х гг. и привели, вероятно, к уменьшению концентрации таких тяжёлых металлов, как свинец, кадмий и цинк, в окружающей среде и, соответственно, в морских гидробионтах. При этом в водорослях может увеличиваться количество железа, так как существует отрицательная корреляция между этим элементом и кадмием. Известно, что высокая концентрация Fe в морской воде — это показатель мощности терригенного стока. Однако повышенные количества железа в растениях не могут быть прямыми индикаторами изменений концентрации Fe в окружающей среде. Железо — один из значимых элементов, участвующих в процессах фотосинтеза растений, интенсивность которого в первую очередь зависит от таких факторов, как свет и температура.

Высокие концентрации свинца стабильно обнаруживаются в образцах сахарины японской, произрастающей в бухте Рудная, на побережье которой до конца 1990-х гг. работал свинцовоплавильный завод. Несмотря на остановку промышленного производства, обусловившую сокращение количества поступающих загрязняющих веществ, высокое содержание металлов в бухте сохраняется до настоящего времени. По нашим данным, в 2021 г. концентрация свинца в образцах сахарины японской из бухты Рудной достигала  $12,7 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ , что на один-два порядка выше, чем в других исследованных районах прибрежья Приморского края (бухта Соколовская, залив Ольга, бухта Киевка).

Таким образом, использование водорослей-макрофитов и трав как биоиндикаторов загрязнения остаётся актуальным. В бурых водорослях Японского моря регулярно обнаруживаются повышенные концентрации тяжёлых металлов, особенно свинца, что свидетельствует о значительном антропогенном воздействии на прибрежные воды Приморского края.

## Влияние состава культивационной среды на токсическое действие тяжёлых металлов на морскую водоросль *Dunaliella tertiolecta*

Артына Н. К., Григорьев Ю. С., Михайлова А. В.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

✉ [artynanadya@ya.ru](mailto:artynanadya@ya.ru)

При проведении эколого-токсикологической оценки состояния водных объектов используются методы биотестирования. Для этих целей в морской токсикологии Российской Федерации применяется ряд утверждённых методик. В них используются разные подходы к выполнению процедуры биотестирования на солоноводных организмах. Различия касаются и состава питательных сред, от которого может зависеть результат токсикологического анализа. Известно, что присутствие в водной среде других веществ оказывает значительное влияние на биодоступность тяжёлых металлов (далее — ТМ) для живых организмов. В результате взаимодействия ТМ с компонентами тестируемых вод воздействие потенциально токсичных веществ на гидробионты может существенно снижаться. Аналогичный эффект отмечен при установлении токсического действия ТМ в высококонцентрированных питательных средах при работе с морскими водорослями. Показано также, что чувствительность биотеста на водоросли к ТМ значительно повышается при снижении солесодержания тестируемых вод.

В связи с этим целью настоящей работы явилась оценка влияния состава культивационных сред на чувствительность биотеста на морской водоросли к ТМ. В качестве тест-организма использована водоросль *Dunaliella tertiolecta*, характеризующаяся достаточно быстрым ростом.

Маточную культуру *D. tertiolecta* выращивали в морской искусственной воде (20 ‰) со средой Гольдберга. Культуру водоросли выращивали в культиваторе КВ-08 при температуре  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$  и непрерывном облучении белым светом от светодиодного источника. Обновление маточной культуры производилось каждые трое суток, что обеспечивало поддержание её в альгологически чистом состоянии и сохраняло экспоненциальный рост. Прирост тест-культуры определяли по оптической плотности суспензий водоросли на приборе ИПС-03 в кювете 2 см при длине волны 560 нм.

Биотестирование выполнялось в многокюветном культиваторе КВМ-07. Тест-культура водоросли с оптической плотностью 0,005 ед. вносилась в объёме  $5,5\text{ см}^3$  во флаконы объёмом  $10\text{ см}^3$ . Флаконы (по 4 шт. на каждый вариант опыта) устанавливались в кассету культиватора. Вращение кассеты создавало равные световые и температурные условия, а также газообмен с внешней воздушной средой для всех проб. После 48 ч культивирования при температуре  $+25^\circ\text{C}$  измерялась оптическая плотность выросшей тест-культуры водоросли. Все используемые приборы произведены ООО «СФУ-Система» (г. Красноярск).

Эксперименты проводились на пяти культивационных растворах с общей минерализацией 20 ‰ с вносимыми компонентами питательной среды Гольдберга: морская искусственная вода; проба воды Чёрного моря; солевая среда для дафний с  $\text{NaCl}$  ( $20\text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ ); водопроводная вода с  $\text{NaCl}$  ( $20\text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ ); дистиллированная вода с  $\text{NaCl}$  ( $20\text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ ). В этих средах изучалась чувствительность тест-культуры к модельному токсиканту бихромату калия, а также к ТМ, которые вносились в виде сульфатов меди, кадмия и цинка.

Исследования показали, что чувствительность водоросли *Dunaliella tertiolecta* к токсикантам повышается при снижении количества и концентрации солевых компонентов в среде. Для изученных сред разница в величине концентрации, вызывающей 50%-ное подавление роста водоросли ( $\text{EC}_{50}$ ), составила: для бихромата калия — 50 раз; для ионов меди и кадмия — 4–6 раз. В то же время воздействие ионов цинка на рост тест-культуры был практически одинаковым во всех исследованных средах. Данный эффект, вероятно, обусловлен способностью отдельных солей среды связывать токсиканты и таким образом переводить их в менее доступное для тест-организма состояние. Слабая зависимость токсического действия ионов цинка от состава среды обусловлена, скорее всего, физико-химическими свойствами этого элемента.

Участие в конференции осуществлено при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта № 2022052008688.

## Оценка влияния ионов ртути на гидробионтов

Афонин А. А., Ляпунова Е. Р., Комарова Л. Н.

Обнинский институт атомной энергетики — филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск, Россия

✉ [afonin.alekse@gmail.com](mailto:afonin.alekse@gmail.com)

Загрязнение окружающей среды ртутью — одна из актуальных проблем современного мира, поскольку и сам металл, и его производные являются высокотоксичными соединениями. В высоких концентрациях эти вещества могут оказывать быстрое и жёсткое воздействие как на отдельные организмы, так и на экосистемы в целом. Проблема ртутного загрязнения актуальна даже для водных и наземных экосистем, в непосредственной близости от которых отсутствуют локальные источники загрязнения этим металлом.

Двустворчатые моллюски являются важным функциональным звеном водных экосистем — компонентом системы самоочищения водоёмов. Взрослые особи крупных моллюсков пропускают через себя 20–40 л воды ежедневно. Среди них в водоёмах средней полосы наиболее распространены представители родов *Unio* и *Anodonta*; они и были выбраны в качестве объектов исследования.

Как количественная характеристика фильтрационной активности двустворчатых моллюсков использовалась скорость фильтрации ими воды; она выражается как объём воды, пропускаемый моллюсками через свой фильтрационный аппарат за определённый промежуток времени. Вода, проходящая через этот аппарат, почти полностью освобождается от взвеси, которая осажается на дно в виде агглютинатов и фекалий. Для определения фильтрационной активности (далее — ФА) была модифицирована методика оценки величины эффективности ингибирования, описанная в литературе ранее.

Воздействие ртути в концентрации 1 ПДК вызывает кратковременную стимуляцию ФА — на 26,92 % в течение первых 30 мин; это может быть следствием реакции на резкое загрязнение и проявлением способности белков металлотионеинов (далее — БМТ) связывать тяжёлые металлы (далее — ТМ), в том числе ионы ртути. Однако из-за отсутствия хронического или регулярного воздействия ТМ имеющееся количество белков не способно связать все поступающие ионы; это выражается в снижении ФА на 13,24 и 14,38 % относительно контроля спустя 60 и 90 мин соответственно.

При воздействии ртути в концентрации 10 ПДК стимуляции ФА не происходит, что также можно объяснить отсутствием хронического или регулярного воздействия ТМ; имеющиеся в незначительном количестве БМТ вынуждены связывать большее (в 10 раз по сравнению с таковым при 1 ПДК) количество ионов ртути. В литературе широко распространено мнение, что при воздействии высоких концентраций некоторых ТМ в организме моллюсков происходит подавление механизмов детоксикации, что также объясняет сильное (на 19,92 %) снижение ФА уже после полуторачасового воздействия.

Острое влияние непосредственно на фильтрационную активность можно объяснить преимущественным накоплением загрязнителей, в том числе ТМ, в жабрах. Ионы ртути обладают способностью активно взаимодействовать с мембранами клеток и легко проникать внутрь, поэтому ткани жабр моллюсков, имеющие тонкую полифункциональную структуру, сильно повреждаются; это снижает выполняемые ими функции, препятствуя, в частности, газообмену.

*Chlorella vulgaris* — удобный объект биологического мониторинга состояния природных экологических систем, поскольку этот вид имеет широкий ареал и присутствует как в водоёмах, так и на почвах. Культивирование хлореллы проводили на 50%-ной жидкой среде Тамия.

Воздействие оценивали по типам инактивации клеток методом микроколоний. Существует три формы инактивации:

- 1) М1 — микроколонии, состоящие из 10–40, а иногда и из большего числа клеток;
- 2) М2 — микроколонии, содержащие 2–4 клетки;
- 3) М3 — одиночные клетки, то есть гибель без деления.

Хлореллу выдерживали в растворах 1 ПДК (0,0005 мг·л<sup>-1</sup>) и 10 ПДК (0,005 мг·л<sup>-1</sup>) нитрата ртути (II) в течение 30 и 90 мин, после чего высевали на питательную среду. Эффект воздействия оценивали на следующие сутки.

Высокая чувствительность водоросли к содержанию ртути в среде наблюдалась уже в первые полчаса воздействия для обеих концентраций; затем ингибирование роста клеток продолжалось. Воздействие ионов ртути в концентрации 1 ПДК снижает способность клеток к образованию колоний в 2 раза, а 10 ПДК — примерно в 4 раза, что связано с быстрым поглощением ионов клетками. Дальнейшее воздействие продолжает угнетать образование колоний; это объясняется, видимо, воздействием поглощённой ртути на внутриклеточные структуры и, соответственно, метаболизм, что и приводит к подавлению роста численности клеток водоросли.

При воздействии ртути в течение 30 мин в обеих концентрациях наблюдается сопоставимая гибель клеток, прошедших только одно деление. Дальнейшее воздействие снижает образование подобных клеток лишь в концентрации 1 ПДК, что связано с адаптацией к воздействию металла и с переходом части клеток в тип М1. В концентрации 10 ПДК клетки теряют эту возможность.

Воздействие ионов ртути в обеих концентрациях повышает выход клеток, погибших без деления, причём при воздействии 10 ПДК в течение 90 мин этот показатель превышает 50 %.

Гибель клеток без деления мы объясняем генотоксичностью ртути, что выражается в прямом взаимодействии ионов ртути с тубулином и кинезином — белками цитоскелетных микротрубочек. Это негативно влияет на внутриклеточную подвижность и транспорт, а также вызывает неправильное расхождение хромосом при делении клеток.

## Загрязнение воды и донных отложений Азовского моря свинцом и кадмием в 1990–2020 гг.

Буфетова М. В.

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

✉ [mbufetova@mail.ru](mailto:mbufetova@mail.ru)

Азовское море — водный бассейн юга России со значимыми для экономики страны минеральными и биологическими ресурсами, а также с транспортной коммуникацией. Азовское море имеет высокий рекреационный потенциал.

К числу приоритетных загрязняющих веществ морских экосистем относятся тяжёлые металлы, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью. Согласно Перечню загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, свинец и кадмий представляют высокую опасность для биологических систем. Таким образом, изучение уровней концентрации, а также поведения свинца и кадмия в воде и донных отложениях Азовского моря представляется актуальным.

В работе были использованы данные, предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ, по концентрации Pb и Cd в воде и донных отложениях в 2010–2020 гг. Также для определения межгодовых трендов были использованы литературные данные по содержанию тяжёлых металлов в воде и донных отложениях Азовского моря с 1991 по 2009 г.

Исследование показало, что в 1990–2010 гг. концентрация свинца в воде открытой части Азовского моря была ниже ПДК ( $10 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) и составляла в среднем  $7,5 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . С 2010 г. отмечена тенденция увеличения загрязнения вод открытой части Азовского моря свинцом до  $10,8 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ; концентрация свинца в воде Таганрогского залива в 2012–2015 гг. была близкой к ПДК. В 2020 г. концентрация свинца в воде Таганрогского залива в среднем составила  $1,0 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . В 2015–2020 гг. зарегистрирован высокий уровень загрязнения свинцом вод Керченского пролива, превышающий значения ПДК; так, концентрации находились в диапазоне  $11,3\text{--}17 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ .

Результаты определений концентрации свинца в поверхностном слое донных отложений в 1990–2020 гг. показали, что их значения за все годы не превышали допустимой концентрации (по «голландским листам»,  $85 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ) и находились в диапазоне  $10\text{--}20 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ . При этом низким значениям концентрации свинца в воде соответствовали более высокие уровни его содержания в поверхностном слое донных осадков. В частности, в 1990–2010 гг. отмечалось практически синхронное изменение концентрации свинца в осадках Таганрогского залива и открытой части Азовского моря, а в 2011–2020 гг. его содержание было более высоким в донных отложениях открытой части Азовского моря.

Рассмотрение материалов по распределению кадмия показало, что с 1991 по 2009 г. наблюдался тренд медленного снижения его концентрации в воде открытой части моря и в Таганрогском заливе. В 2010–2014 гг. был зафиксирован пик; в этот период концентрация достигала  $2,2 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$  при ПДК  $10 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . С 2014 г. концентрация кадмия снижалась, и в 2020 г. значение составило  $0,36 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ .

В 1991–2013 гг. концентрация кадмия в донных отложениях во всех рассматриваемых частях моря не превышала допустимой концентрации по «голландским листам» ( $0,8 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ) и находилась в диапазоне  $0,18\text{--}0,3 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ . С 2013 по 2020 г. наблюдается увеличение концентрации кадмия ( $0,2\text{--}0,4 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ). В Керченском проливе пик концентрации отмечен в 2015 г. —  $0,9 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ .

Анализ скорости осадконакопления в различных частях Азовского моря и содержания свинца и кадмия в донных осадках показал, что стационарно проявляющиеся седиментационные процессы протекают на сезонных и годовых масштабах времени, а потоки депонирования тяжёлых металлов в грунтах являются значимыми факторами седиментационного самоочищения вод. Определено, что зависимости изменения коэффициентов накопления свинца и кадмия в донных осадках от изменения их концентраций в воде с высокой степенью статистической значимости описываются модифицированным уравнением Фрейндлиха. Параметры модифицированного уравнения Фрейндлиха являются показателями ассимиляционной ёмкости донных осадков в отношении свинца и кадмия. Они могут использоваться для целей экологического нормирования по санитарно-гигиеническим критериям ПДК для воды и по «голландским листам» — для донных отложений. Так, результаты расчётов

потоков поступления свинца в донные осадки Таганрогского залива и собственно моря показали: элиминация свинца из вод открытой части Азовского моря составила  $65,1 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$ , депонирование в донные осадки Таганрогского залива —  $22,8 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$ . Потоки поступления кадмия в донные отложения в собственно море составили  $38 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$ , в Таганрогский залив —  $1,48 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Из литературных данных известно, что в штормовых условиях наблюдается некоторая ремобилизация загрязняющих веществ в водную толщу за счёт взмучивания донных осадков. Тем не менее исследования их содержания в колонках донных отложений показали, что основная часть загрязняющих веществ прочно депонируется в грунтах. Именно поэтому потоки депонирования загрязняющих веществ в донных отложениях могут с достаточной степенью адекватности характеризовать ассимиляционную ёмкость донных осадков.



## Особенности формирования мощности дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя Белоярской АЭС при работе реакторов разных типов

Городецкий В. Г., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В.

ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

✉ [bfs\\_zar@mail.ru](mailto:bfs_zar@mail.ru)

Белоярская атомная электростанция (далее — БАЭС), как и любая АЭС, является потенциальным источником поступления радионуклидов в окружающую среду, включая водоём-охладитель. В качестве водоёма-охладителя БАЭС используется Белоярское водохранилище. Водоём-охладитель наглядно характеризует радиационное воздействие БАЭС на окружающую среду на разных этапах её эксплуатации. Представленные материалы охватывают 42-летний период работы БАЭС — с 1977 по 2019 г. За это время на атомной станции поочерёдно эксплуатировались реакторы разных типов. До 1980 г. функционировали два блока на тепловых нейтронах — АМБ-100 и АМБ-200. С 1989 по 2016 г. работал только один энергоблок — БН-600. В настоящее время на БАЭС функционируют два энергоблока на быстрых нейтронах — БН-600 и БН-800.

Многолетние радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища показали, что наибольшее накопление техногенных радионуклидов в основных компонентах водоёма приходилось на период функционирования двух первых реакторов. После вывода из эксплуатации 1-го и 2-го блоков БАЭС радиоэкологическое состояние водоёма-охладителя существенно улучшилось. Так, объёмная активность в воде такого радионуклида, как  $^{137}\text{Cs}$ , на различных участках Белоярского водохранилища уменьшилась в сотни раз, а  $^{60}\text{Co}$  — до 5600 раз. Подобные изменения были отмечены и в донных отложениях водоёма. Концентрация  $^{60}\text{Co}$  в донных грунтах промливневого канала снизилась в 362 раза, а  $^{137}\text{Cs}$  — в 44 раза. Улучшение общего радиоэкологического состояния водоёма-охладителя повлияло и на содержание радионуклидов в основных видах рыбы. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в щуке уменьшилась в 8,8 раза, а в плотве — в 25,8 раза.

При достаточно большом объёме исследований радиоэкологического состояния водоёма-охладителя в разные периоды деятельности БАЭС данных о расчётах мощности дозовых нагрузок на основные виды рыб, обитающих в водохранилище, явно недостаточно. Для расчёта мощностей дозовых нагрузок использовалась программа ERICA v. 2.0.185 (<http://www.ERICA-tool.com>), учитывались размерно-весовые характеристики исследованных видов рыб. При расчёте мощности дозовых нагрузок была использована информация о содержании радиоактивных веществ в воде, донных отложениях и тканях рыбы Белоярского водохранилища. В качестве наиболее распространённых видов рыб водоёма были взяты плотва, лещ, окунь, щука и карп.

Более высокие дозы облучения приходились на период работы первых двух энергоблоков. Результаты ранжирования видов рыб по мощности дозы облучения на первом этапе исследований представляются следующим образом: лещ, карп свободноживущий, плотва, щука, карп садковый. У разных видов свободноживущей рыбы водоёма-охладителя максимальная мощность дозы облучения варьировала от  $1000 \text{ нГр} \cdot \text{сут}^{-1}$  (щука) до  $3822 \text{ нГр} \cdot \text{сут}^{-1}$  (лещ). Более высокие показатели доз облучения отмечены у «мирных» видов — леща, карпа свободноживущего и плотвы. При этом мощность дозовых нагрузок на ихтиофауну не превышала безопасный предел ( $10 \text{ мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}$ ). На втором этапе исследований (после вывода из эксплуатации 1-го и 2-го энергоблоков станции) отмечено существенное снижение дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя, связанное с уменьшением содержания техногенных радионуклидов в основных компонентах водохранилища — в воде и донных отложениях. В результате порядок ранжирования видов рыб по уровню мощности дозовых нагрузок поменялся и стал выглядеть следующим образом: щука, лещ, карп свободноживущий, плотва, окунь, карп садковый. Результаты завершающего этапа исследований (после пуска 4-го энергоблока) наглядно показали, что работа БН-800 не оказывает отрицательного влияния на радиоэкологическую ситуацию на Белоярском водохранилище: дозовые нагрузки на ихтиофауну водоёма не только не увеличились, но и, напротив, продолжили снижаться. В порядке убывания дозовых нагрузок виды рыб водоёма на заключительном этапе исследований можно расположить в следующей последовательности: щука, лещ, плотва, карп свободноживущий, окунь, карп садковый. За весь период наблюдения

мощность общей дозовой нагрузки на основные виды рыб водоёма-охладителя снизилась в десятки раз: у плотвы — в 17,1 раза, у леща — в 17,8 раза, у щуки — в 2,6 раза, у карпа свободноживущего — в 43,5 раза, у карпа садкового — в 7,6 раза. При снижении дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя поменялись не только количественные показатели, но и основные принципы формирования дозовых нагрузок. На первом этапе основополагающим фактором являлось внешнее облучение за счёт  $^{137}\text{Cs}$ , а на долю  $^{90}\text{Sr}$  приходилось не более 2–3 % от общей дозы облучения. В дальнейшем преобладающим стало внутреннее облучение, а основным дозообразующим элементом —  $^{90}\text{Sr}$ . После вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков поступление  $^{137}\text{Cs}$  в водоём-охладитель постоянно снижалось, что отразилось на формировании дозовой нагрузки на ихтиофауну.

На начальном этапе более высокие показатели доз облучения были отмечены у «мирных» видов рыб (лещ, карп и плотва), а в последнее время дозовые нагрузки выше у хищных (окунь и щука). Формирование дозовых нагрузок у «мирных» видов в большей степени зависит от внешней дозы облучения. Хищные рыбы являются конечным звеном трофической цепи в пресноводной экосистеме; источник поступления радионуклидов в их организм — ткани других рыб, входящих в их рацион. Именно поэтому формирование дозовой нагрузки у хищников происходит в основном за счёт внутренней дозы облучения в результате поступления радионуклидов из тканей и органов поедаемых ими рыб.

Более низкие дозовые нагрузки на всех этапах работы БАЭС испытывал карп садкового хозяйства. Мощность дозы облучения у садкового карпа в 101,6 раза ниже, чем у свободноживущего. Этот вид рыбы почти не зависит от внешнего воздействия, обитает на небольшой глубине и ограничен в перемещении, поэтому на него мало влияют донные отложения, в которых может содержаться до 98 % всех запасов радионуклидов водоёма. Мощность дозы у садкового карпа на 99 % формируется за счёт внутреннего облучения, а при выкармливании на искусственных кормах дозовые нагрузки на них будут минимальны. Данные результаты подтверждают целесообразность использования водоёма-охладителя, находящегося под постоянным воздействием атомной станции, для разведения садковых видов рыбы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-0.

## Качество воды реки Вязовки в условиях антропогенного воздействия (Свердловская область)

Изиметова М. Ф.

Уральский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («УралНИРО»), Екатеринбург, Россия

✉ [izimetova.marya.3105@yandex.ru](mailto:izimetova.marya.3105@yandex.ru)

Свердловская область расположена на восточных склонах Среднего и частично Северного Урала и на прилегающих территориях Западно-Сибирской равнины. Общая площадь области — 194,8 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 1,14 % площади Российской Федерации. Гидрографическая сеть включает 18 414 рек общей протяжённостью более 68 тыс. км. Из них 17 370 рек имеют длину до 10 км. Качество воды рек в значительной степени формируется под влиянием хозяйственной деятельности, прежде всего сбросов промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Малые реки Свердловской области находятся в неблагоприятном состоянии в связи с поступлением в них с поверхностным стоком и сточными водами больших количеств загрязняющих веществ.

В работе проанализированы и обобщены сведения о гидрохимическом режиме реки Вязовки, протекающей по городу Нижний Тагил Свердловской области, за 2006–2019 гг.

Река Вязовка — правый приток реки Тагил (бассейн реки Тобол). В настоящее время река используется для культурно-бытовых целей, а также как приёмник сточных вод. Её длина — 9,3 км.

Прилегающая местность слабохолмистая, застроенная равнина, слабо заболоченная. Речная долина трапецеидальная, с пологими слабо расчленёнными склонами, поросшими луговой растительностью с мелкими кустарниками.

Пойма очень узкая либо отсутствует. На устьевом участке река протекает по трубам. Речное русло извилистое (коэффициент извилистости — 1,18), шириной до 2,0 м. Дно илисто-галечное и песчаное. Берега крутые, устойчивые к размыву.

Речной сток зарегулирован. По течению реки расположены плотина и прудок-осветлитель для отстаивания взвешенных веществ и улавливания масел. Прудок построен в 1968 г., из-за чего изменились гидрологические и гидрохимические показатели реки.

Источниками загрязнения реки являются промышленные, ливневые и хозяйственно-бытовые сточные воды предприятий г. Нижний Тагил.

Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, вода в реке Вязовке пресная, средне- и высокоминерализованная, по водородному показателю нормальная, от умеренно жёсткой (ниже прудка-осветлителя) до жёсткой. Кислородный режим благоприятный. Цветность воды увеличивается после прохождения прудка-осветлителя. В 2019 г. цветность составляла 41,6 градусов цветности выше прудка-осветлителя и 48 градусов — ниже прудка. Концентрация биогенных элементов не превышала ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, за исключением нитритов. Концентрация нитритов в 2006 г. находилась в пределах 0,13–0,2 мг·дм<sup>-3</sup>. По эколого-санитарным показателям (цветность, биогенные элементы, БПК<sub>5</sub>) вода в реке соответствует III классу качества (слабо загрязнённая).

С промышленными сточными водами в реку Вязовка поступают различные поллютанты. На всём протяжении русла отмечаются высокие концентрации нефтепродуктов, общего железа, меди, цинка, марганца, ванадия, фенола, фторидов и сульфатов, превышающие в разы ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. В 2019 г., по сравнению с другими периодами, зарегистрировано снижение концентрации марганца, фенола, сульфатов и БПК<sub>5</sub>.

Таким образом, на водотоке сложились неблагоприятные условия для обитания водных биоресурсов и ихтиофауны в связи с превышением значений ПДК для рыбохозяйственных водоёмов по ряду показателей. Реку Вязовку можно отнести к водным объектам, утратившим своё естественное состояние в условиях постоянного антропогенного воздействия. Сток реки более чем на 90 % формируется сточными водами промышленных предприятий г. Нижний Тагил, что приводит к постоянному загрязнению воды. В настоящее время расход воды в реке на 90–100 % обеспечивается проточками, а значит, прекращение сброса сточных вод в водоток может привести к его исчезновению.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/12.pdf>.



## Техногенные радионуклиды в прибрежной зоне Кольского полуострова

Ильин Г. В., Матишов Г. Г., Усягина И. С., Валуйская Д. А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [ilyin@mmbi.info](mailto:ilyin@mmbi.info)

Прибрежная зона Баренцева моря отличается от открытых морских акваторий высокой социальной востребованностью и максимальной хозяйственной освоенностью населением. Характерной чертой данного участка Кольского полуострова является множество источников радиоактивного излучения и связанная с этим необходимость постоянного контроля состояния морской среды в прибрежье.

В системе морских бассейнов Западной Арктики Баренцево море оказалось наиболее подверженным радиоактивному загрязнению вследствие разгрузки в его бассейне Норкапской ветви Северо-Атлантического течения, которое переносит радиоактивные сбросы европейских химических комбинатов, в первую очередь «Селлафилд» и «Ла-Хаг». Однако радиационное загрязнение Кольского прибрежья зависит не только от фонового загрязнения поступающих сюда вод Баренцева моря: значимым фактором для прибрежья являются местные, локальные источники радиации. Основными из них следует считать объекты инфраструктуры гражданского и военного атомного флота в прибрежной зоне полуострова и хранилища радиоактивных отходов (далее — РАО). Ключевыми с точки зрения радиозоологического риска представляются хранилища РАО в губе Андреева на западе мурманского побережья (губа Западная Лица), в губе Сайда в Кольском заливе и в губе Гремиха на востоке мурманского побережья. Риск эмиссии радионуклидов в морскую среду связан с состоянием хранилищ и с проведением транспортных операций по вывозу РАО из хранилищ на перерабатывающие комбинаты через транспортный узел Мурманска. К примеру, в прошлом были инциденты загрязнения участков территории и морской акватории в результате утечки жидких РАО и просыпи твёрдых РАО на площадках хранилищ.

С целью получить объективное представление о современном поле радиационного загрязнения и особенностях формирования фона техногенных радионуклидов в прибрежье Кольского полуострова были собраны и проанализированы данные радиозоологических исследований за последнее десятилетие.

Поток атлантических и прибрежных вод из Норвежского моря в настоящее время остаётся в числе основных факторов радиационного загрязнения. В Баренцевом море радиоактивные вещества распространяются струями тёплых течений, которые разделяются и смешиваются с местными водами. Таким образом, в морской среде, прилегающей к побережью Мурманска, формируется фоновая концентрация радиоцезия около  $1,5\text{--}2 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ . Основной фон в разных участках прибрежья подвергается трансформации в результате эмиссии радиации от локальных источников или в результате смешивания поступающих с течениями вод.

Одним из возможных источников загрязнения прибрежных вод рассматриваются стоки, переносимые в море от хранилища в губе Андреева. Этот риск связан с последствиями аварийной ситуации в 1982 г., с потенциальной опасностью при обращении с отработавшим ядерным топливом и с расположенной неподалёку инфраструктурой атомного флота. Суммарный сток из губы, включая сток с территории хранилища, поступает в верхнем слое (до 40–50 м) в Мотовский залив, там соприкасается с солёными водами из Баренцева моря и направляется в открытое море. Связь потока радионуклидов с потоком вод из губы Андреева и Западная Лица подтверждается корреляцией концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и солёности воды ( $r = -0,58$ ;  $P_1 = 0,95$ ;  $n = 12$ ).

Ещё одним источником радионуклидов в морском прибрежье служит сток Кольского залива, что обусловлено суммарным влиянием инфраструктуры военного и гражданского атомного флота в губах этого залива. В его устье концентрация цезия и стронция остаётся более высокой, чем в водах соседнего Мотовского залива. В районах разгрузки стока из губ, где размещена инфраструктура флота, содержание изотопов повышено в верхнем и придонном слоях воды. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде Кольского залива статистически достоверно связана с солёностью воды.

В центральной части Кольского побережья (полуостров Рыбачий — губа Териберская), где ветвь тёплого течения наиболее близко подходит к берегу по глубоководному жёлобу, эпизодически происходит приток радионуклидов с вихрями атлантических вод и вод Норвежского прибрежного течения. В результате в мористой зоне побережья этот участок выделяется более высокой концентрацией  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

В донных отложениях побережья, как и в воде, на фоне низкой удельной активности радионуклидов в целом видится долговременное влияние местных источников, которое иногда маскируется неравномерностью глубин прибрежного шельфа. Также просматривается эпизодическое влияние атлантических вод. В крупных бассейнах Мурманского побережья — Мотовском и Кольском заливах — радиоэкологический фон определяется действующими там источниками радиоизотопов.

В донных отложениях Мотовского залива местами можно наблюдать относительное повышение концентрации цезия-137, которое ассоциируется с углублениями донного рельефа. Градиент роста повышается в направлении от источника — устья губы Западная Лица — к выходу из залива с увеличением глубины и аккумуляции тонкодисперсной взвеси в осадке. Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях варьирует от 2,5 до 2 Бк·кг<sup>-1</sup>. Средняя концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в последние шесть лет оставалась почти неизменной — 0,8–0,9 Бк·кг<sup>-1</sup> сухого осадка. Сток из губы, в которой размещены хранилище РАО и инфраструктура атомного флота, является основным источником изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в заливе.

Осадки Кольского залива более загрязнены, но в целом уровень загрязнения там низкий, несмотря на множество объектов инфраструктуры атомного флота в его акватории. Это связывается с тем, что для рельефа дна залива характерны непрерывный рост глубины от вершины к устью и наличие порога в устьевой части. Порог определяет накопление осадочного материала в ковше залива. В соответствии с этим концентрация радионуклидов повышена в донных осадках средней и северной части залива. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в среднем составляет 4,6 и 0,6 Бк·кг<sup>-1</sup> сухого осадка соответственно.

Радиоизотопы плутония  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  обнаруживаются в единичных пробах донного осадка обоих заливов. Как правило, эти пробы связаны с местами расположения инфраструктуры флота и регистрируются при опробывании осадочной толщи грунтовыми колонками. Концентрация этих радиоизотопов в них очень низкая — 0,3–3 Бк·кг<sup>-1</sup>.

Таким образом, отметки локального повышения концентрации радионуклидов, видимо, будут сохраняться некоторое время, пока эти осадки не будут размыты и рассеяны на окружающей территории или захоронены под слоем новейших отложений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-17-00243.

## Метрические оценки приоритетности защиты социально-экономических ресурсов прибрежно-морских районов при нефтеразливах

Калинка О. П., Шавыкин А. А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [olg-kalinka@yandex.ru](mailto:olg-kalinka@yandex.ru)

Добыча и транспортировка нефтепродуктов в море представляют потенциальную опасность аварийных разливов. Международные организации (ИМО, ИРЕСА, ИОГР) отмечают, что ключевым моментом процесса планирования работ и самих операций по ликвидации разливов нефти (далее — ЛРН) является создание и использование карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти. Эти карты облегчают выбор приоритетов при ЛРН, позволяя минимизировать ущерб окружающей природной и техногенной среде. При построении таких карт требуются в том числе коэффициенты уязвимости биоты и абиотических компонентов для определения того, насколько один объект более важен для защиты, чем другой. Однако оценка таких коэффициентов — достаточно сложная научная проблема, так как нет единого мнения о том, как рассчитывать и представлять математически различия в уязвимости широкого спектра значимых природных и техногенных ресурсов. В большинстве случаев для упрощения задачи подобные коэффициенты задаются в рангах на порядковой шкале и основываются на мнении экспертов. Если проводить арифметические действия с порядковыми величинами, что недопустимо, то итоговые карты не будут корректными. Проблема коэффициентов уязвимости морской биоты детально описана в монографии «Кольский залив и нефть» 2018 г. Настоящая работа посвящена уязвимости особо значимых социально-экономических (абиотических) объектов.

Так, индекс уязвимости прибрежных районов острова Нуармутье (у Атлантического побережья Франции) представлен в [Fattal et al., 2010] как комбинация экологической (биоморфоседиментология побережья) и социально-экономической (рыболовство, туризм, инфраструктура, наследие, кризис-менеджмент) уязвимостей. В указанной работе численные или качественные значения каждого параметра и ряда взаимосвязанных переменных ранжируются (задаются величинами от 1 до 3 на порядковой шкале) и далее суммируются по определённым формулам для вычисления итогового значения уязвимости. Подход с использованием порядковых величин при построении карт уязвимости применялся и применяется во многих странах, в том числе в России. Но получаемые на этой основе карты уязвимости, как отмечалось выше, не будут отражать реальную уязвимость.

В [Castanedo et al., 2009] представлена оценка уязвимости побережья Кантабрии (Бискайский залив) от разливов нефти, объединяющая физические, биологические и социально-экономические аспекты. Однако социально-экономическую уязвимость выражали через экономический ущерб с точки зрения потерь дохода в результате прерывания деятельности; также учитывали затраты на очистку и время восстановления для пяти видов прибрежной деятельности (рыбный промысел, добыча моллюсков, туризм, деятельность в гавани (в порту), отдых). Все затраты и ущерб рассчитывались в денежном эквиваленте, то есть в абсолютных величинах, но затем эти значения суммировались с порядковыми, что приводило к некорректности итоговых карт.

В универсальной модели оценки затрат от разливов нефти, предложенной американскими специалистами консалтинговой организации по морским исследованиям в публикациях [Etkin, 2004 ; Etkin, Welch, 2005], все расчёты представлены количественно. Оценки относительного ущерба природным и социально-экономическим ресурсам (в акватории и на берегу) и стоимости мер по предотвращению и ЛРН выполнены в долларах на галлон в зависимости от объёма нефтеразлива. Расчёты базируются на анализе многолетних данных о ЛРН и стоимости ущерба социально-экономическим и природным ресурсам на основе исторических исследований конкретных случаев разливов нефти и их последствий. Каждый разлив классифицируется по входным критериям — по типу и объёму нефти, а также общим характеристикам соответствующих модификаторов затрат. Для расчёта социально-экономического ущерба базовая социально-экономическая стоимость одного галлона конкретного вида/объёма нефти умножается на соответствующий модификатор стоимости

социально-экономического и природного ущерба, а также на объём разлива. Модификаторы (коэффициенты корректировки затрат) также выражены стоимостными характеристиками и основаны на процентной разнице средней факторной стоимости по отношению к медианным затратам на исходные данные в каждой категории факторов затрат. Эти модификаторы рассчитаны для типа среды, относительной социально-экономической/культурной ценности ресурсов, категорий чувствительности среды обитания и объектов дикой природы. Формулы, критерии и факторы — модификаторы затрат для оценки социально-экономического ущерба включают воздействие на местный и региональный туризм, коммерческое рыболовство, а также потери от использования (неиспользования) рекреационных объектов и парков, пристаней для яхт, частной собственности, от закрытия водных путей и портов. Авторы также представили удельные затраты по ЛРН для прибрежно-морских районов многих стран Европы, Азии, Африки, Океании. И эти разработки широко применяются.

Для нашей страны D. S. Etkin такую информацию не приводит. В самой России подобной статистики (баз данных по нефтеразливам и ущербам от них) не ведётся (или её нет в открытом доступе). Однако разработаны экономические инструменты для определения ущерба различным природным ресурсам, видам деятельности, включая неполученный доход из-за загрязнения, например ущерб транспортным ресурсам и портам, воспроизводству биоресурсов, туризму и др. Экологический ущерб — это денежная оценка в абсолютных единицах, которая не искажает исходные соотношения учитываемых параметрических характеристик, поэтому может быть применена для расчётов коэффициентов приоритетности защиты значимых ресурсов. Но такой подход требует большого количества детальной информации по каждому из природных и социально-экономических ресурсов и по их свойствам для конкретных случаев нефтяного загрязнения.

Одно из возможных решений проблемы оценки коэффициентов приоритетности защиты — использование метода анализа иерархий. Посредством многокритериального сравнения исходных параметров формируются матрицы попарных сравнений; значения необходимых параметров получают на основе предпочтений экспертов на шкале отношений, то есть результаты являются метрическими.

Оптимальные и наиболее корректные оценки уязвимости социально-экономических объектов могут быть даны на основе обобщения многолетних данных, например по затратам различного характера при ЛРН и по ущербам от нефтеразливов, выраженным в денежном эквиваленте. Между тем подобные базы данных имеются не во всех странах, поэтому для расчёта коэффициентов приоритетной защиты также можно применить оценки экономического ущерба различным ресурсам и видам деятельности и неполученный доход от конкретного нефтяного загрязнения. Для определения коэффициентов уязвимости отдельных социально-экономических объектов может быть использован и метод анализа иерархий. При этом требуются дальнейший анализ существующих подходов по рассмотренной проблеме и выработка оптимального метода оценивания приоритетности защиты социально-экономических объектов.



## Основные этапы методики построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти

Карнатов А. Н., Шавыкин А. А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [karnatov@mmbi.info](mailto:karnatov@mmbi.info)

Карты уязвимости прибрежно-морских зон от нефти играют ключевую роль при ликвидации разливов нефти (далее — ЛРН). Такие карты могут быть использованы также для проведения инженерно-экологических изысканий и оценки воздействия на окружающую среду шельфовых проектов. Многие существующие методики построения карт уязвимости основаны на расчётах с применением порядковых величин, что недопустимо и может приводить к некорректности карт и принятию неверных управленческих решений. Предлагаемая методика построения карт уязвимости основана на использовании метрических величин на шкале отношений и представлена на примере Кольского залива. Данный подход имеет ещё ряд нерешённых проблем, и многие вопросы требуют детального обсуждения. Основные этапы алгоритма методики следующие.

**1. Определение перечня основных учитываемых объектов** — важных компонентов биоты, особо значимых объектов и природоохранных территорий (далее — ВКБ, ОЗО и ПОТ соответственно). В Кольском заливе выделяют следующие ВКБ — макрофитобентос, зообентос (макрозообентос; мезозообентос; мезозообентос мобильный; мезозообентос немобильный), птицы (водные; околоводные чайковые; околоводные кулики), морские млекопитающие (ластоногие). Не учитывается ихтиофауна (нет полных данных о распределении в заливе), а также фито- и зоопланктон (в силу большой скорости их восстановления). Среди ОЗО выделены: портовые сооружения и прилегающие к ним акватории (участки шириной 150 м); устья лососёвых рек; районы размножения крабов и развития их личинок; места гнездования и концентрации выводков обыкновенных гаг; места лёжки серого тюленя. ПОТ в Кольском заливе отсутствуют.

**2. Определение границ сезонов для картографируемого района.** Для учитываемых компонентов биоты границы определяются по постоянству плотности их распределения, для абиотических объектов — по наличию объекта в тот или иной период времени. С учётом этого были выделены границы сезонов для расчёта карт интегральной уязвимости Кольского залива.

**3. Построение сезонных карт распределения обилия ВКБ, расположения ОЗО и ПОТ.** На основе информации о сезонном распределении биоты строятся карты плотности распределения ВКБ в принятых для соответствующих групп единицах измерения (фитобентос —  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ ; зообентос —  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ ; птицы и морские млекопитающие —  $\text{экз.} \cdot \text{км}^{-2}$ ). Все исходные данные нормируются на среднегодовое обилие соответствующих групп биоты в картографируемом районе. Карты расположения ОЗО строятся на основе доступных данных.

**4. Расчёт коэффициентов уязвимости биоты ( $V_b$ ) и экспертная оценка коэффициентов приоритетной защиты ОЗО и ПОТ.** Коэффициенты  $V_b$  вычисляются по формуле:

$$V_b = (E \times R) / S,$$

где  $E$  — потенциальное воздействие нефти на биоту (в процентах);

$R$  — восстанавливаемость биоты (в годах);

$S$  — чувствительность биоты (безразмерная единица).

$S$  рассчитывается как  $S = LC_{50}/ПДК$  для организмов, обитающих в водной толще ( $LC_{50}$  — летальная концентрация нефти, приводящая к 50%-ной гибели организмов;  $ПДК$  — предельно допустимая концентрация нефти), и  $S = LT_{50}/ПДТ$  для организмов, взаимодействующих с поверхностью воды ( $LT_{50}$  — толщина плёнки нефти, приводящая к 50%-ной гибели птиц за время нахождения на поверхности воды с этой плёнкой или приводящая к отрицательным эффектам от вдыхания углеводородов у морских млекопитающих;  $ПДТ$  — предельно допустимая толщина плёнки нефти).

Такой подход к определению чувствительности необходим, чтобы привести значения, заданные в разных единицах измерения (концентрация в  $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ; толщина плёнки в  $\mu\text{м}$  или  $\text{мм}$ ), к одинаковым единицам для последующего использования при расчётах карт уязвимости. Коэффициенты приоритетной защиты ОЗО и ПОТ определяются экспертно на шкале отношений.

Предварительно принимается модель поведения разлитой нефти в районе. От её свойств зависит оценка коэффициентов  $V_b$ . Для залива строились карты уязвимости для средней по плотности нефти. Слой скачка плотности морской воды в заливе, который препятствует проникновению нефти на глубину, находится на глубине 5–10 м. Поэтому нефть в основном будет оставаться и трансформироваться в верхнем слое, действуя на биоту на поверхности воды, в водной толще до глубины 5 м, в сублиторали и на литорали.

**5. Построение сезонных карт уязвимости ВКБ и приоритетности защиты ОЗО и ПОТ.** Карты распределения ВКБ, умноженные на соответствующие коэффициенты уязвимости, «суммировали» для каждого сезона. Полученные карты нормировали на максимальные значения уязвимости за соответствующий сезон; итог — сезонные карты относительной уязвимости биоты. При нормировке на максимальное значение уязвимости за год получаем сезонные карты абсолютной уязвимости. Аналогично происходило построение карт приоритетности защиты ОЗО.

**6. Расчёт сезонных карт интегральной уязвимости.** Карты относительной интегральной уязвимости получали «сложением» карт относительной уязвимости ВКБ и приоритетности защиты ОЗО для каждого сезона, умноженных на коэффициенты относительной значимости соответствующего компонента экосистемы ВКБ и ОЗО. Для залива они экспертно приняты в соотношении 2:1 — вклад ВКБ в итоговую уязвимость считался в 2 раза более значимым, чем вклад ОЗО. Диапазон интегральной уязвимости для каждого сезона делили на 5 поддиапазонов. Поддиапазонам с максимальной уязвимостью присвоен ранг 5, с минимальной — 1. Полученные сезонные тактические карты Кольского залива (масштаб 1:150 000) могут применяться в качестве общего инструмента планирования при ликвидации относительно больших разливов нефти. При небольших разливах и на стадии завершения любых других следует применять объектные карты (масштаб 1:25 000), которые также построены для залива. Для карт абсолютной интегральной уязвимости выполняли «сложение» карт абсолютной уязвимости ВКБ и приоритетности защиты ОЗО для каждого сезона, также умноженных на коэффициенты относительной значимости ВКБ и ОЗО (2:1). Единый диапазон уязвимости для всех сезонов, как и выше, делили на 5 поддиапазонов. Карты абсолютной интегральной уязвимости в основном предназначены для природоохранных целей и для использования в качестве вспомогательных при ЛРН. Все рассчитанные карты уязвимости для Кольского залива, а также вспомогательные и исходные материалы представлены в монографии «Кольский залив и нефть» (2018) и на веб-странице <http://portal.kgilk.ru/mmbi/>.

Представление итоговых результатов расчёта карт интегральной уязвимости зависит от метода деления общего диапазона интегральной уязвимости на поддиапазоны (от метода классификации полигонов по уязвимости). В нашем случае выбрана классификация методом равных интервалов — как оптимальный вариант отображения данных, где акцентируется внимание на величине значения атрибута относительно других значений. Такой метод наиболее подходит для известных диапазонов значений (см. справку ArcGIS 10.0). В целом этот вопрос, как и многие другие, требует более детального рассмотрения и обсуждения с широким кругом специалистов с учётом всего алгоритма расчёта карт уязвимости и требований к картам интегральной уязвимости разного масштаба.

Используя карты уязвимости, ликвидаторы должны будут защищать наиболее уязвимые участки (ранги 4–5) вне зависимости от их положения, площади и количества и смогут жертвовать наименее уязвимыми (ранг 1). Это позволит минимизировать ущерб от разлива и операций по ЛРН.

## Многолетние исследования гидрохимического состава воды озера Вельё в районах садкового рыборазведения (2014–2022 гг.)

Каурова З. Г.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

✉ [6zlata@mail.ru](mailto:6zlata@mail.ru)

Систематическое загрязнение морских вод приводит к ухудшению качества рыбного сырья и продукции аквакультуры, что противоречит требованиям продовольственной безопасности. Во избежание экономических и экологических рисков, связанных с рыборазведением в море, производители рыбной продукции для обеспечения сырьём производства всё чаще обращают внимание на пресноводные континентальные водоёмы. Их используют для рыборазведения, культивирования различных гидробионтов и поддержания ремонтного стада. Одним из приоритетных районов для развития производства в этой области сельского хозяйства стал Северо-Западный федеральный округ. Выращивание радужной форели и других видов рыб в Карелии и Ленинградской области в природных водоёмах с использованием садков было апробировано и отлажено, оно доказало свою рентабельность.

Новгородская область по обеспеченности водными ресурсами высокого качества не уступает Ленинградской области и Карелии. Здесь принята и выполняется государственная программа «Развитие рыбохозяйственного комплекса Новгородской области в 2014–2024 годах». Согласно программе, планируется увеличение объёмов производства товарной рыбы в действующих и вновь образующихся хозяйствах. К экологическим рискам при садковом рыбоводстве в озёрах можно отнести поступление непосредственно в водоём отходов жизнедеятельности выращиваемых гидробионтов, продуктов разложения погибших особей и неиспользованного корма: они являются питательной средой для развития патогенной микрофлоры и значительно увеличивают пул органического вещества, способствуя процессам эвтрофикации и ухудшению качества воды. В связи с этим для водоёмов, где установлены садковые комплексы, законодательно предусмотрено усиление охраны водных биологических ресурсов и среды их обитания, а также реконструкция и модернизация действующих производств.

Для оценки воздействия рыборазводных предприятий на гидроэкосистемы необходимо наличие эффективной системы мониторинга и охраны водных ресурсов. Это исключительно важно, когда садки устанавливаются на озёрах с низкой проточностью и с особым охраняемым статусом. Одним из таких водоёмов является озеро Вельё. Его акватория и водосбор входят в состав национального парка «Валдайский». Озеро и его побережье используются в рекреационных целях, для спортивной и любительской рыбалки. На озере более 10 лет размещаются рыборазводные садки. С начала использования озера для садкового рыборазведения местное население стало отмечать уменьшение уловов и сокращение видового состава рыбы, а также ежегодное цветение и ухудшение органолептических свойств воды. Возникла необходимость оценки воздействия садкового хозяйства на водоём.

С 2014 г. сотрудники СПбГУВМ при поддержке специалистов научного отдела национального парка «Валдайский» участвуют в программе комплексного изучения озера Вельё. Исследования проводятся ежегодно в период открытой воды. Определяются концентрации растворённого кислорода, ионов аммония, нитратов, нитритов, фосфатов, общего железа, свинца и меди, а также биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>). Для отбора и обработки проб применяются общепринятые методики. В качестве критериев оценки качества воды используются величины предельно допустимых концентраций веществ (на основании требований Приказа Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552). С применением полученных данных на базе ГОСТ Р 58556-2019 рассчитывается класс качества воды. Пробы отбираются на станциях, расположенных радиально в 10, 50 и 100 м от садков, с поверхности и в придонном горизонте.

В центральной части озера, максимально удалённой от источников потенциального загрязнения, определена контрольная (фоновая) точка, на которой за весь период проведения исследований концентрации определяемых загрязняющих веществ не превышали нормативов, установленных для рыбохозяйственных водоёмов.

Концентрация растворённого кислорода является одним из важнейших показателей, определяющих возможность рыборазведения в озере. В 2014–2022 гг. ежегодно в летний период на фоне массового развития фитопланктона содержание растворённого кислорода в районе расположения

садков и в прилегающей акватории было ниже, чем в среднем по озеру, и изменялось в пределах  $3,8\text{--}8,9 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$  у поверхности и  $3,2\text{--}7,8 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$  у дна. По мере удаления от садков концентрация кислорода возрастала, и на расстоянии 100 м значение составляло в среднем  $8,9 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$  на поверхности и  $7,8 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$  у дна. Нарушение установленных нормативов отмечалось ежегодно в 10-метровой зоне у садков и по уровню БПК<sub>5</sub>. Значение составляло у поверхности и у дна в среднем за период исследований 2,3 и  $2,6 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$  соответственно. Отклонение от нормативов наблюдалось также у дна в 50-метровой зоне: среднее значение показателя —  $2,1 \text{ мг } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$ .

За всё время исследования концентрация ионов аммония в 10-метровой зоне изменялась в диапазоне  $0,2\text{--}1,1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у поверхности и  $0,4\text{--}1,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у дна, в 50-метровой зоне —  $0,25\text{--}0,8 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у поверхности и  $0,3\text{--}0,9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у дна. В 100 м от садков за весь период исследований концентрация ионов аммония не превышала установленных нормативов. Нитриты являются токсичными для рыб. Их концентрация в озере Вельё ежегодно была выше нормативных значений, установленных для водоёмов первой категории, в 10 м от садков и составляла в среднем  $0,23 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у дна и  $0,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  у поверхности. Содержание фосфатов в воде на этом участке также ежегодно нарушало установленные нормативы и составляло на поверхности и в придонном горизонте 0,19 и  $0,23 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  соответственно. Таким образом, в 10-метровой зоне отмечено превышение нормативных показателей по содержанию биогенных веществ на поверхности и у дна, причём в придонном горизонте численные показатели часто были несколько выше, чем у поверхности. Вероятнее всего, это связано с накоплением в придонном горизонте избытков кормов и продуктов разложения погибших особей, не удалённых своевременно из садков. Превышений уровня допустимого загрязнения водоёма по другим показателям в 10 и 50 м от садков выявлено не было. В радиусе 100 м от места рыбозаведения химический состав воды соответствовал таковому в контрольной точке. Эмпирические данные хорошо соотносятся с расчётной величиной дисперсии привносимого вещества. При расположении садков в районе озера, где глубина составляет 30 м, расчётная дисперсия равнялась 50 м. На основании полученных данных рассчитывался класс качества воды. В 50 и 100 м от садков воду озера Вельё можно характеризовать как умеренно загрязнённую (3-й класс качества), в 10 м — как загрязнённую (4-й класс).

Даже при благоприятном температурном и кислородном режиме водоёма такая ситуация не способствует выращиванию здоровой товарной рыбы. Возникающие экологические риски могут оказаться препятствием для дальнейшего использования акватории озера Вельё в рыбохозяйственных целях. Во избежание возникновения кризисной экологической ситуации на озере, наряду с проведением ежегодных гидрохимических и гидробиологических исследований, необходимо усиление контроля над выполнением рыбоводами технических регламентов и природоохранных норм, а также ограничения или прекращение договорных отношений с их нарушителями.

## Оценка содержания химических элементов в органах рыб озера Ханка

Ковековдова Л. Т.<sup>1</sup>, Симоконь М. В.<sup>2</sup>, Катайкина О. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

✉ kovekovdova@mail.ru

Озеро Ханка — самый большой пресноводный водоём на Дальнем Востоке. В озеро впадает 24 реки, вытекает же только одна — Сунгача; она соединяет озеро с Уссури, а та, в свою очередь, с Амуром. Вместе со стоками рек и из атмосферы в воды озёр поступает огромное количество различных химических веществ.

Озеро Ханка является местообитанием большого количества живых организмов, в том числе промысловых, которые взаимодействуют с водой и приобретают черты, специфичные для данного водного объекта. Сведения о содержании биологически активных и токсичных элементов в органах рыб озера Ханка весьма ограничены, а информация о концентрациях элементов Ag, Al, Mo, Se, U и V отсутствует. Тем не менее, в связи с имеющимися данными по загрязнению озера и с возможностью накопления токсичных веществ рыбами, существует необходимость определения уровней содержания элементов, в том числе токсичных, в органах промысловых рыб озера Ханка.

Целью работы было выяснение особенностей содержания Ag, Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, U, V и Zn в органах следующих рыб: конь пятнистый (*Hemibarbus maculatus*), толстолобик белый (*Hypophthalmichthys molitrix*), монгольский краснопёр (*Chanodichthys mongolicus*), горбушка (*Chanodichthys oxycephalus*), карась серебряный (*Carassius gibelio*), сазан (*Cyprinus rubrofasciatus*), судак (*Sander lucioperca*) и сом амурский (*Silurus asotus*). В задачи работы также входила оценка уровней содержания токсичных элементов в органах рыб на соответствие установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК).

Вылов рыб осуществлялся летом 2019 и 2020 гг. Подготовка органов рыб к определению элементов проводилась методом кислотной минерализации с азотной кислотой в соответствии с ГОСТ 26929-94.

Определение элементов Ag, Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, U, V и Zn в мышцах и печени рыб проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой (ИСП-МС) на приборе Agilent 7700 Series ICP-MS (2M). Для сравнения использовали калибровочные стандарты фирмы Agilent Technologies, изготовленные в соответствии с UL ISO 9001. Достоверность результатов основана на метрологическом обеспечении, которое предусматривает постоянный контроль качества получаемых данных анализа с помощью международных стандартных образцов — тканей беспозвоночных (NIST SRM 2976 mussel tissue; IAEA MA-A-2/T fish flash).

Концентрации Hg в исследуемых образцах определяли беспламенным атомно-абсорбционным методом на прямом анализаторе ртути Milestone DMA-80. В качестве стандартного образца использовали государственный стандартный образец ртути № 8004-93. Все полученные результаты обработали статистически с применением программы Statistica 6.0.

Распределение концентраций элементов в органах рыб, в отличие от уровней их содержания, не определяется их видовой принадлежностью и средой обитания, а зависит от химических свойств элементов и их биологической роли в организме отдельных видов рыб. В печени рыб концентрировались максимальные количества Ag, Al, Fe, Cu, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Mo, Se, U и V; наибольшие концентрации As найдены в мышцах рыб. В мышцах рыб обнаруживались минимальные концентрации элементов, за исключением ртути, концентрация которой в мышцах и печени довольно близка.

Уровни концентраций элементов в органах рыб зависят от многих факторов: морфологических особенностей организма, возрастной и сезонной изменчивости, половой принадлежности особи, типа питания рыб, уровня содержания металлов в среде обитания.

Ряд уменьшения концентраций элементов в мышцах рыб имел следующий вид: Fe, Zn, Al, Cu, Mn, Se, Pb, Cr, Ni, As, Co, Mo, Hg, V, Cd, Ag, U. Несмотря на то что в каждом из проанализированных в нашей работе видов рыб уровень концентрации железа и цинка в мышцах неодинаков, среди

элементов в наибольших количествах содержались именно железо и цинк. Уровень содержания железа в компонентах среды относительно высок. Высокая концентрация железа определяется тем, что оно является эссенциальным элементом для рыб и принимает активное участие в важнейших биохимических процессах. Уровни содержания цинка в рыбах близки к уровням содержания железа. Содержание того или иного микроэлемента в органе или ткани характеризует концентрирующую способность этого органа или ткани в отношении данного элемента. Цинк является компонентом многих ферментов в организме, влияет на рост клеток, особенно во время их репродукции и дифференциации, участвует в обмене белков. По уровню содержания среди тяжёлых металлов в органах и тканях организмов эти элементы занимают первые места.

Были выявлены различия в накоплении металлов у рыб в зависимости от типа питания. Отмечено, что мышцы планктофага толстолобика отличались более высокими концентрациями железа, цинка, хрома и никеля; мышцы хищных рыб краснощёка монгольского и судака характеризовались более высоким содержанием мышьяка, ртути и меди.

По ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», допустимые уровни содержания токсичных элементов (ПДУ) в пресноводных рыбах составляют: для Pb —  $1,0 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  сырой массы; As — 1,0; Cd — 0,2; Hg — 0,6 (пресноводная хищная).

Оценка качества органов рыб по содержанию токсичных элементов показала, что содержание As, Hg, Cd и Pb в мышцах обследованных рыб из озера Ханка не превышало ПДК.

## Полоний-210 в основных видах промысловых рыб Чёрного моря

Коротков А. А., Мирзоева Н. Ю., Мосейченко И. Н.

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

✉ [a.korotkoff@mail.ru](mailto:a.korotkoff@mail.ru)

Представлены результаты определения природного радионуклида полония-210 в рыбах, выловленных в акватории севастопольского морского района, в том числе в Севастопольской бухте. Для изучения были отобраны рыбы, относящиеся к 9 распространённым видам, из которых несколько имеют промысловое значение. Для четырёх видов — сельди *Alosa immaculata* Bennett, 1835, лuffаря *Pomatomus saltatrix* (Linnaeus, 1766), пелагиды *Sarda sarda* (Bloch, 1793) и морского дракона (*Trachinus draco* Linnaeus, 1758) — такой анализ проводился впервые. Определено, что концентрации  $^{210}\text{Po}$  в разных органах и тканях изученных рыб существенно различались. Наиболее высокие значения получены для органов пищеварения — желудочно-кишечного тракта (максимальная величина — более чем  $1900 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  сырой массы) и печени (свыше  $400 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  сырой массы). Наименьшие значения зарегистрированы для мышечной ткани (максимально —  $25,8 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  сырой массы). Такое распределение полония связано с пищевым путём поступления этого радионуклида в организме рыб. Коэффициенты накопления (КН)  $^{210}\text{Po}$ , рассчитанные для внутренних органов изученных видов, колебались в значительных пределах, составляя  $10^3 \dots 10^5$ . Сравнительный анализ результатов определения  $^{210}\text{Po}$  для исследуемых видов показал, что рыбы-планктофаги накапливают полоний в больших количествах, чем хищники.

Максимальные мощности эквивалентных доз, рассчитанных для рыб, достигали значений  $> 10^{-2} \text{ Зв} \cdot \text{год}^{-1}$ . Оценка полученных результатов с использованием шкалы зон хронического действия ионизирующего излучения, предложенной Г. Г. Поликарповым, показала, что дозы, формируемые  $^{210}\text{Po}$ , достигают области экологической маскировки, что подтверждает значимость полония-210 как главного дозообразующего радионуклида. Известно, что  $^{210}\text{Po}$ , в силу своих физических свойств и особенностей поведения в морской среде, вносит основной вклад (60 % и более) в формирование дозовых нагрузок на морскую биоту. Кроме того, полоний-210 является ключевым вкладчиком в дозу внутреннего облучения населения приморских регионов вследствие употребления в пищу морепродуктов. Таким образом, изучение аккумулирующей способности массовых видов рыб, в том числе промысловых, в отношении  $^{210}\text{Po}$  представляется актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках госзадания № 121031500515-8 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем».



## Оценка накопления ди(2-этилгексил)фталата в органах *Mytilus galloprovincialis* в условиях эксперимента

Лобко В. В., Мурашова А. И., Малахова Л. В.

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

✉ [lobkoveronika@gmail.com](mailto:lobkoveronika@gmail.com)

Сложные эфиры фталевой кислоты (далее — СЭФ), в том числе ди(2-этилгексил)фталат (далее — ДЭГФ), являются пластификаторами, которые используются в различных потребительских товарах: герметиках, красках, клеях, косметике, пищевой упаковке, детских игрушках, пластмассовых бутылках и т. п. На сегодняшний день показано, что значительное производство и потребление во всём мире СЭФ привело к повсеместному появлению этих химикатов в водных экосистемах. Несмотря на относительно быстрое разложение СЭФ в условиях окружающей среды, их непрерывное поступление в связи с неполной очисткой сточных вод обуславливает постоянное присутствие СЭФ в природных водах и накопление в живых организмах. Исследования показали, что СЭФ разрушают эндокринную систему; они способны оказывать отрицательное влияние на репродуктивные функции моллюсков, ракообразных и рыб и в целом на функционирование экосистем, а также выступать одним из факторов, обуславливающих ожирение и развитие рака у человека.

Для мониторинга СЭФ в морской среде в качестве биоиндикаторных видов широко используются мидии *Mytilus galloprovincialis*. При нецелевом скрининговом хромато-масс-спектрометрическом анализе в пробах воды из морской акватории Севастополя неоднократно были обнаружены фталаты, среди которых максимальные хроматографические пики принадлежали ДЭГФ. В севастопольской морской акватории ранее не проводили исследований по накоплению мидиями фталатов. В связи с этим был поставлен эксперимент по оценке накопления одного из наиболее распространённых фталатов — ДЭГФ — в органах мидий, которые были отобраны с мидийной фермы, расположенной между Карантинной и Севастопольской бухтами. Возраст мидий составлял около 4 лет, длина раковин изменялась в диапазоне 61–100 мм, в среднем составляя 78 мм. Адаптацию моллюсков проводили в течение недели в стеклянных аквариумах, вода в которых постоянно аэрировалась и ежедневно менялась. В ходе адаптации погибших особей обнаружено не было. Через неделю мидии были разделены на три группы и помещены в три аквариума в количестве 1 особь на 1 л морской воды. Оценить биологическое воздействие на водные организмы истинных растворов таких фталатов, как ДЭГФ, довольно сложно из-за его низкой растворимости в воде и склонности к образованию коллоидных растворов в концентрации выше  $3 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ , поэтому растворы для эксперимента делали с добавлением спирта.

Аквариум № 1 ( $V = 55 \text{ л}$ ) был контрольным, без загрязнителя. В два других аквариума был добавлен ДЭГФ в концентрации  $4 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Время экспозиции мидий в аквариуме № 2 ( $V = 25 \text{ л}$ ) составило 24 ч. По истечении этого периода из аквариумов № 1 и 2 было отобрано по 25 мидий для определения накопления ДЭГФ в их органах. В аквариуме № 3 ( $V = 25 \text{ л}$ ) время воздействия ДЭГФ составило 48 ч. В этом аквариуме через 24 ч после начала эксперимента поменяли воду, а затем повторно добавили раствор ДЭГФ в концентрации  $4 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ . По истечении 48 ч из контрольного аквариума и аквариума № 3 мидии были изъяты для анализа.

Концентрацию ДЭГФ определяли в гонадах, жабрах и гепатопанкреасе мидий. При анализе ДЭГФ за основу был взят метод Usera. Method 8061a. Phthalate esters by gas chromatography with electron capture detection (GC/ECD) с некоторыми модификациями. Пробы органов (от 5 до 7 г сырой массы) гомогенизировали с безводным сульфатом натрия и дважды экстрагировали на ультразвуковой бане при температуре  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 ч. Первую экстракцию проводили смесью ацетона (ос. ч., АО «ЭККОС-1») и метилена хлористого (хч, АО «ВЕКТОН») в объёмах 25 и 10 мл, вторую — 10 и 10 мл соответственно. Далее экстракты объединяли и упаривали на роторном испарителе (Rotary evaporator RE-2000AA). Сухой остаток перерастворяли в 2 мл гексана (ос. ч., НПК «Криохром»). Гексановые экстракты очищали на колонке с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Merck KGaA), прокалённом при  $+150 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 ч. ДЭГФ элюировали 25 мл гексана, далее элюат концентрировали в роторном испарителе до 1 мл. Диалкил-о-фталаты могут быть переведены в газовую фазу, поэтому мы определяли их методом газовой хроматографии с детектором электронного захвата, который обладает высокой чувствительностью к кислородсодержащим веществам. Анализ подготовленных экстрактов проводили

в НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе «Кристалл 5000» («Хроматэк», Россия). Для разделения ДЭГФ использовали капиллярную колонку со слабо-полярной неподвижной фазой DB-5ms. Для качественного анализа сравнивали времена выхода пика стандартов ДЭГФ с пиками фталата в пробах. Для количественного определения фталатов применяли метод внешнего калибровочного графика, сравнивали площади пиков ДЭГФ с площадями пиков фталатов в пробах. Оценку накопления токсиканта в органах мидий проводили, рассчитывая коэффициенты накопления по формуле:

$$K_n = C_T / C_B,$$

где  $C_T$  — концентрация в гидробионте ( $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  сырой массы);

$C_B$  — концентрация ДЭГФ в воде ( $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ).

Содержание общих липидов в органах мидий определяли экстракционно-гравитационным методом по ГОСТ 7636-85.

ДЭГФ был обнаружен во всех органах мидий (за исключением жабр в контрольной группе). Концентрация ДЭГФ изменялась в широком диапазоне от 0,083 до 105,9  $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сырой массы. Обнаружение ДЭГФ в органах мидий из контрольной группы связано, по-видимому, с его наличием в среде обитания моллюсков в районе фермы, находящемся под значительным антропогенным прессом. В гепатопанкреасе концентрация ДЭГФ изменялась от 0,032 в контрольном образце до 105,9  $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сырой массы в аквариуме с ДЭГФ с 48-часовой экспозицией. В жабрах мидий в контрольном аквариуме ДЭГФ обнаружен не был, а при максимальной экспозиции (48 ч) концентрация ДЭГФ в жабрах составила 0,10  $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сырой массы. В гонадах минимальное значение было зарегистрировано в контрольном образце — 0,083  $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ; при воздействии ДЭГФ в течение 24 ч его концентрация в гонадах увеличилась в два раза.

Результаты показали, что коэффициент накопления поллютантов превысил единицу только в гепатопанкреасе через 48 ч. Значения коэффициента ниже 1 свидетельствуют о том, что ДЭГФ не накапливается в жабрах и гонадах. Основное накопление происходит в гепатопанкреасе за счёт пищевого пути.

ДЭГФ нерастворим в воде, но хорошо растворим в липидах, поэтому мы оценили показатель жирности в тканях мидий, чтобы определить, зависит ли накопление фталатов от этого параметра. Наши данные показали, что показатель жирности увеличивался в следующем ряду: жабры < гонады < гепатопанкреас. Результаты корреляционного анализа выявили отсутствие связи между содержанием липидов и концентрацией ДЭГФ в органах. Этот факт также свидетельствует о том, что обнаруженные уровни ДЭГФ в жабрах и гонадах, по-видимому, связаны с процессами фильтрующего питания, но не с накоплением в жировых включениях клеток.

Накопление фталатов в органах мидий имело дифференцированный характер. Это даёт нам основание сделать вывод рекомендательного характера, что для использования мидий в качестве индикаторного вида при мониторинге содержания ДЭГФ в морской среде необходимо проводить анализ загрязнённости каждого отдельного органа.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности организации иммунной системы промысловых гидробионтов и исследование влияния факторов внешней среды на функционирование их защитных систем» (№ 121102500161-4).

## Мониторинг загрязнения донных отложений залива Восток (залив Петра Великого, Японское море) и оценка их потенциальной токсичности

Мазур М. А.<sup>1</sup>, Журавель Е. В.<sup>2</sup>, Ковековдова Л. Т.<sup>2</sup>, Черняев А. П.<sup>3</sup>, Донец М. М.<sup>2</sup>,  
Цыганков В. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,  
Институт Мирового океана, Владивосток, Россия

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,  
Институт наукоемких технологий и передовых материалов, Владивосток, Россия

✉ [proshinamarina94@gmail.com](mailto:proshinamarina94@gmail.com)

В настоящее время при проведении экологического мониторинга прибрежных морских акваторий производится оценка загрязнения воды и донных отложений (далее — ДО). ДО выступают в качестве аккумулятора поступающих в акватории поллютантов, а также источника вторичного загрязнения придонного слоя воды. Именно поэтому оценка их экологического состояния является одним из основных пунктов проведения мониторинговых исследований. Определение концентраций токсичных веществ в ДО позволяет не только получить информацию о возможных превышениях допустимых уровней загрязнения, но и оценить потенциальную токсичность для гидробионтов. Для этих целей используют расчёт критерия экологического риска SQG-Q (sediment quality guideline quotient).

До недавнего времени залив Восток (залив Петра Великого), расположенный на юге Приморского края, испытывал на себе минимальный уровень антропогенного воздействия. В его воды поступало лишь незначительное количество неочищенных сточных вод. Именно поэтому этот залив выступал в качестве эталона при проведении анализа степени загрязнения более урбанизированных акваторий залива Петра Великого. В настоящее время экологическая ситуация в заливе Восток заметно ухудшилась, особенно в западной части, в результате деятельности крупных промышленных предприятий и рекреационных зон.

Отбор ДО из прибрежных районов залива Восток был проведён в августе 2015 и 2020 гг. Для исследования выбраны станции, различающиеся по степени антропогенного воздействия. Западная часть залива подвержена наибольшему прессу со стороны промышленных предприятий, сконцентрированных на побережье бухты Гайдамак (пос. Южно-Морской, Ливадия). В кутовой части преимущественно в летний сезон возникают локальные очаги загрязнения, связанные с возрастающей в этот период рекреационной нагрузкой.

Для подготовки проб к химическому анализу предварительно высушенные до воздушно-сухого состояния осадки растирали в фарфоровой ступке. Измерение концентраций кислоторастворимых форм токсичных элементов (Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, As) проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6800 с использованием пламенного и беспламенного способов атомизации. Ошибка определения элементов не превышала 7 %. ПАУ определяли методом обращённо-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) на хроматографе Shimadzu LC-20ADvp с флуоресцентным детектором. Содержание ПХБ и хлорорганических пестицидов анализировали методом газовой хроматографии на газовом хроматографе Shimadzu GC-2010 Plus с детектором электронного захвата ECD.

Сравнение полученных результатов проводили со значениями допустимых концентраций (ДК), фоновыми концентрациями для залива Петра Великого и критериями токсичности. Также производили расчёт коэффициента степени загрязнения осадков  $C_d$ , основанный на отношении средней концентрации вещества к фоновому значению и критерия экологического риска SQG-Q, для определения которого используют значения уровня вероятного воздействия PEL (probable effect level). Уровни TEL (threshold effect level) и PEL изначально были предложены американскими учёными для оценки качества морских ДО. Так, TEL — пороговый уровень воздействия, указывающий на концентрацию токсиканта, ниже которой негативное воздействие на гидробионтов не фиксируется; PEL — второе

пороговое значение содержания токсичного вещества, при превышении которого отрицательное воздействие на гидробионтов наблюдается часто. Результаты экспериментов обрабатывали с помощью пакетов программ Excel и Statistica.

Анализ содержания тяжёлых металлов в ДО залива в 2015 г. показал превышение ДК по Pb, Zn и Cu в донных осадках из бухты Гайдамак. Кроме того, в данном районе выявлены концентрации Pb, Cu, Zn и Ni выше уровней TEL и PEL. Суммарное содержание ПАУ, ПХБ, ДДТ и его метаболитов в донных осадках на каждой из станций не достигало допустимых значений. В ДО, отобранных в 2020 г., превышения допустимых уровней по концентрациям металлов,  $\Sigma$ ПАУ и  $\Sigma$ ДДТ не обнаружено. Содержание  $\Sigma$ ПХБ выше ДК и уровней TEL/PEL выявлено в осадках из районов бухты Гайдамак, бухты Средняя, устья реки Волчанка и мыса Елизарова.

Расчёт коэффициента степени загрязнения осадков ( $C_d$ ) в 2015 г. показал, что исследуемые ДО из бухты Гайдамак характеризовались высокой и очень высокой степенью загрязнения. Оставшиеся станции имели средний и низкий уровень загрязнения. Полученные результаты расчёта индекса экологического риска SQG-Q указывают на умеренный уровень потенциальной токсичности ДО из бухты Гайдамак. Иная ситуация отмечена в 2020 г. Практически все станции имели очень высокую степень загрязнения осадков, за исключением станции вблизи устья реки Литовка. Кроме того, донные осадки из бухты Гайдамак и бухты Средняя характеризовались как очень токсичные.

Результаты проведённого исследования указывают на ухудшение экологической обстановки в заливе Восток. Данный факт подтверждают более высокие, по сравнению со значениями 2015 г., концентрации токсичных веществ в донных осадках. Наиболее загрязнённой частью залива было и остаётся западное побережье, где осуществляется промышленная деятельность. Так, в бухте Гайдамак активно функционируют ремонтно-судостроительный завод и крупное рыбоперерабатывающее предприятие. Максимальное значение индекса SQG-Q, а также повышенная концентрация свинца, мышьяка и ПХБ в ДО бухты Средняя связаны, вероятнее всего, с деятельностью по содержанию крупных морских млекопитающих в водах этой бухты в 2018–2019 гг. Кроме того, недалеко от станции отбора проб организована стоянка рыболовных судов.

Таким образом, расчёт интегральных показателей загрязнения и потенциальной токсичности ДО позволяет дать более полную оценку экологического состояния акватории и определить возможный риск загрязнения для существования гидробионтов.

Определение хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в донных осадках выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-14-00120).

## Влияние мидийной фермы на формирование потоков хлорорганических соединений в донные отложения

Малахова Л. В.

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

✉ [malakh2003@list.ru](mailto:malakh2003@list.ru)

В 2000 г. в районе внешнего рейда Севастополя было создано экспериментальное хозяйство по выращиванию моллюсков. С того времени встала задача прогноза взаимного влияния мидийно-устричной фермы и морской среды. В Севастополе мидийная ферма располагалась между Севастопольской и Карантинной бухтами, находящимися под влиянием значительного антропогенного прессы. В непосредственной близости, на расстоянии 0,1 мили к востоку от фермы, периодически функционировал аварийный выпуск сточных вод. Такое соседство определяло повышенное загрязнение акватории соединениями природного и антропогенного происхождения. Известно, что в районах мидийных ферм выявлены экологические проблемы, вызванные воздействием потоков биоотложений с повышенным содержанием загрязняющих веществ на бентосные организмы, что приводило к снижению их видового разнообразия.

К числу наиболее опасных контаминантов морской среды относятся хлорорганические соединения (далее — ХОС) — хлорорганические пестициды (ДДТ, ГХЦГ) и полихлорбифенилы (далее — ПХБ), характеризующиеся высокой устойчивостью к химическому и биологическому разложению, способные накапливаться в водных организмах и передаваться по пищевой цепи. Черноморские мидии *Mytilus galloprovincialis*, являясь активными фильтраторами, аккумулируют ХОС даже при относительно низкой концентрации в морской воде. Так, в мидиях естественных поселений в черноморских прибрежных районах Турции в 1999–2000 гг. были определены такие хлорорганические пестициды, как гексахлоран, ДДТ, эндосульфат I и II, эндрин, гептахлор и др. Концентрация их суммы изменялась от 4,7 до 45,0 нг·г<sup>-1</sup> сырой массы. Многолетние исследования загрязнения ХОС мидий из естественных популяций в севастопольской акватории позволили проследить динамику. Выявлено, что в 1980-х гг. наблюдалось повышенное «переудобрение» бухт Севастополя ПХБ, что связано с интенсивным антропогенным влиянием в этот период (среднее содержание ПХБ в эквиваленте Aroclor 1254 в это десятилетие составило около 250,  $\Sigma$ ДДТ — 200 нг·г<sup>-1</sup> сырой массы). Снижение антропогенной нагрузки на прибрежную акваторию привело к очищению этих районов от ХОС, что подтверждается данными по загрязнению мидий естественных популяций в последующие годы наблюдений. Содержание ПХБ в мидиях в 1999 г. в среднем составило 53, в 2002–2005 гг. — 73, а содержание ДДТ и его метаболитов в 2003 г. снизилось до 9 нг·г<sup>-1</sup> сырой массы. К началу XXI в. информация о загрязнённости культивируемых мидий в Крыму ограничивалась сведениями о мидийных хозяйствах в южной части Керченского пролива в 1986–1995 гг.

Целью работы являлось определение влияния мидийного хозяйства на формирование потоков ХОС в донные отложения. В августе 2001 г. для анализа на содержание ХОС с коллекторов были отобраны мидии, биоотложения и морская вода. Определение поступления продуктов жизнедеятельности мидий из коллекторов проводилось путём установки ловушек оригинальной конструкции. Полученные данные использовались для расчётов поступления отходов на 1 т мидий. Кроме того, провели сбор биоотложений от десяти мидий, которых поместили в ПВХ-цилиндр, расположенный на коллекторе и снабжённый сеткой сверху (для предотвращения попадания крупной взвеси в рабочий объём цилиндра) и снизу (для сбора биоотложений). Биоотложения мидий с коллектора собирали для анализа через сутки после помещения ловушки под коллектор, в цилиндре — через неделю. Одновременно были отобраны пробы воды и мидий, в которых были проанализированы мягкие ткани. Определение ХОС проводили в соответствии с методикой EPA 625 «Основные, нейтральные, кислотные летучие вещества, пестициды, арохлоры (ГХ/МС)» на газовом хроматографе HP 6890N с масс-селективным детектором HP 5973N (ионизация электронным ударом 70 эВ).

Результаты показали, что в мидиях сумма концентрации п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД ( $\Sigma$ ДДТ) составила (7,5 ± 4,3), (3,3 ± 1,3) и (3,7 ± 2,8) соответственно, а ПХБ в эквиваленте Aroclor 1254 — (195 ± 27) нг·г<sup>-1</sup> сырой массы. По данным IFREMER (Франция), качество мидий

определяется содержанием в них загрязняющих веществ, в том числе ХОС. В зависимости от показателей загрязнения качество ранжируется от очень высокого до низкого. Основываясь на этой классификации, можно заключить, что мясо мидий по ДДТ и ПХБ в те годы оказалось очень высокого качества. Коэффициенты накопления ХОС из воды ( $K_n = C_r / C_v$ )  $\Sigma$ ДДТ в мидиях составили  $6,9 \cdot 10^2$ ,  $\Sigma$ ПХБ —  $2,4 \cdot 10^3$ .

В результате эксперимента определено, что концентрация  $\Sigma$ ДДТ в биоотложениях составляла в среднем  $24,3$ , а  $\Sigma$ ПХБ —  $305 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$  сухой массы. Известно, что мидия товарного размера выделяет  $8,6 \text{ г} \cdot \text{год}^{-1}$ , или  $129 \text{ т}$  сухого вещества биоотложений в год в пересчёте на модельное хозяйство (1 га, 5 тыс. коллекторов, 15 млн мидий). Количество  $\Sigma$ ДДТ, выделившегося с биоотложениями в год, оценено в  $3,1 \text{ г}$ ,  $\Sigma$ ПХБ — в  $39,3 \text{ г}$ . Таким образом, мидии извлекают ХОС из воды, аккумулируя их в своих выделениях, что препятствует их распространению в воде.

Проведено сравнение полученных потоков ХОС от мидийного коллектора в донные осадки с одним из источников поступления ХОС в севастопольскую акваторию — с потоком ХОС с рекой Чёрной, который составлял в среднем  $21 \text{ г} \cdot \text{год}^{-1}$  для  $\Sigma$ ДДТ и  $126 \text{ г} \cdot \text{год}^{-1}$  для  $\Sigma$ ПХБ. Оказалось, что поток ХОС, поступающий в бухту с речным стоком, может быть переведён в биоотложения мидийным хозяйством с приведёнными выше характеристиками за  $6,7$  года, ПХБ — за  $3,2$  года при условии, что ХОС не будут поступать в море из других источников. Для полного очищения от ХОС за год площади мидийных ферм должны составлять более  $6 \text{ га}$  при такой же посадке мидий, как в модельных расчётах. Исследования показали: по сравнению с естественными условиями, условия интенсивного выращивания моллюсков на фермах позволяют значительно повысить их продуктивность. Поэтому разведение мидий на искусственных субстратах, очевидно, способствует очищению воды от ХОС в прибрежной севастопольской акватории, при этом поток ХОС перенаправляется в донные осадки, где поллютанты накапливаются, а при оптимистичном прогнозе — утилизируются бактериальным сообществом.

Работа подготовлена по рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

## **$^{90}\text{Sr}$ в Чёрном и Азовском морях в период закрытия Северо-Крымского канала (2014–2021 гг.)**

Мирзоева Н. Ю., Архипова С. И., Мосейченко И. Н.

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

✉ [natmirz@mail.ru](mailto:natmirz@mail.ru)

Выявлено, что в период закрытия Северо-Крымского канала в 2014–2021 гг. воды реки Днепр являлись источником периодического поступления поставарийного  $^{90}\text{Sr}$  в Азово-Черноморский бассейн. Отмечено хроническое поступление  $^{90}\text{Sr}$  в районы северо-западного шельфа Чёрного моря, в западный, центральный и южный районы Азовского моря. Радиоэкологический отклик Азово-Черноморского бассейна на закрытие Северо-Крымского канала проявился прежде всего в хроническом вторичном загрязнении  $^{90}\text{Sr}$  вод Азовского моря: превышение доаварийных уровней концентраций  $^{90}\text{Sr}$  составило 1,2–2,6 раза. Период радиоэкологической реакции — 3 года и 7 месяцев. Анализ 2021 г. показал, что в 2014–2021 гг. превышение (до 2,3 раза) доаварийных уровней  $^{90}\text{Sr}$  в глубоководном районе моря отмечалось только в районе западной халистазы. Интенсивное поступление как растворённого  $^{90}\text{Sr}$ , так и других растворённых поллютантов в Чёрное море обусловлено источниками поступления радионуклида, а также гидрологическими особенностями акватории. Определено, что поступление  $^{90}\text{Sr}$  из северо-западного района Чёрного моря в его глубоководные районы, вплоть до акватории западной халистазы, происходит на масштабе 3–5 месяцев. Основным фактором (механизмом), обеспечивающим данный процесс, является водный перенос. Определено, что в течение двух месяцев 60 %  $^{90}\text{Sr}$  выносится из района западной халистазы в восточную в результате горизонтального водного переноса; при вертикальном перемешивании из западной халистазы удаляется 11 % первоначальной концентрации  $^{90}\text{Sr}$ . На этом мелком масштабе времени и с учётом скорости водообмена в районе западной халистазы можно заключить, что заглупление  $^{90}\text{Sr}$  происходит в слое 0–5 метров. Оценено, что полное кондиционирование поверхностного слоя воды Чёрного моря от поступившего растворённого  $^{90}\text{Sr}$  (растворённых загрязнителей различной природы) происходит на масштабе времени до 5 месяцев.

По результатам измерений, выполненных в 2021 г., выявлены новые потенциально критические зоны в отношении  $^{90}\text{Sr}$  в акваториях Чёрного и Азовского морей. В 2021 г. в шельфовой зоне Чёрного моря выявлены следующие потенциально критические зоны: участок вдоль восточного побережья Крыма (Феодосийский залив и район Керченского пролива), западное побережье Крыма (район Каламитского залива), Каркинитский залив и его кутовая часть, где концентрация  $^{90}\text{Sr}$  превысила доаварийные уровни в 180 раз и была ниже контрольных уровней для морской воды, принятых в РФ, всего в 6,2 раза. Такая концентрация  $[(2699,0 \pm 101,0) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}]$  в воде Чёрного моря отмечена впервые с 1986 г., что требует пристального радиоэкологического наблюдения за этим районом. Потенциально критическими зонами в Азовском море являются южная часть и район Керченского пролива, а также акватория залива Сиваш, в воде которого средняя концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в 2020 г. составляла  $(74 \pm 4,3) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ , что в 4,9 раза превышало доаварийные уровни.

Полученные результаты позволяют в случае аварийных ситуаций спрогнозировать временные последствия в отношении загрязнения вод Чёрного моря растворёнными поллютантами различной природы для принятия решений ответственными структурами.

Исследования по Чёрному и Азовскому морям проводились в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8). Работа по исследованию залива Сиваш выполнена при поддержке РФФ (грант № 18-16-00001).



## Влияние засоления на выживаемость предличинок речного окуня в зависимости от типа соли и температуры среды

Михеев П. Б.<sup>1,2</sup>, Вяткина Ю. В.<sup>1</sup>, Якубова К. С.<sup>1</sup>, Бакланов М. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

✉ pmikheev@yandex.ru

Целью данного исследования явилась экспериментальная оценка выживаемости личинок речного окуня *Perca fluviatilis* в условиях различного засоления и температуры, как двух факторов, влияние которых способно негативным образом сказываться на водных биоресурсах ряда водоёмов Пермского Прикамья. В качестве тест-объекта были использованы личинки после выклева (предличинки): для этой стадии развития характерна высокая чувствительность к стресс-факторам.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что границей толерантности для предличинок речного окуня является значение минерализации воды  $6 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . На третий день после пересадки предличинок в солёность  $7 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  смертность составила в среднем 11 и 29 % по трём повторностям для раствора хлорида натрия и раствора вещества солеотвалов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей соответственно. Интересно, что при пересадке в условия концентрации 8 и  $9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  раствора вещества солеотвалов смертность предличинок была ниже — 15 и 12 % на третьи сутки эксперимента соответственно. Аналогичная закономерность выявлена при пересадке предличинок в раствор NaCl концентрацией  $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , в котором смертность на третьи сутки в среднем по трём повторностям составила 3 %. Однако при значении концентрации хлорида натрия  $9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  средняя смертность на третьи сутки возросла до 35 %. В условиях концентрации раствора вещества солеотвалов и хлорида натрия  $10 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  средняя смертность подопытных животных составила 93 и 57 % соответственно. Наибольшие темпы смертности были характерны для предличинок, помещённых в условия концентрации  $11 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ : гибель была близка к 100 % на третьи сутки после начала эксперимента вне зависимости от типа используемой соли. В фоновых условиях на всём протяжении эксперимента смертность составляла 1 % в среднем по трём повторностям. Таким образом, при сравнении влияния воздействия двух различных типов солей — хлорида натрия и вещества солеотвалов — была выявлена большая летальность предличинок при воздействии отходов соледобычи до концентрации  $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  включительно. При концентрации свыше  $9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  наблюдается обратная тенденция — большая смертность при воздействии хлорида натрия, чем раствора вещества солеотвалов.

В температурных условиях, оптимальных для развития икры окуня ( $+8 \dots +15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), смертность предличинок в условиях солёности  $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  составила 75–87 % на пятые сутки с начала эксперимента. При повышении температуры на  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  в условиях солёности  $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  смертность предличинок достигла 87–99 %. В фоновых условиях и при концентрации солей  $4 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  смертность предличинок была равна 17–55 %.

Результаты этого пилотного проекта показывают повышенную смертность личинок, помещённых в раствор солей — отходов соледобычи, по сравнению со смертностью личинок, помещённых в раствор NaCl, при минерализации  $7\text{--}8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . При концентрации солей выше этого значения воздействие хлорида натрия характеризуется большим токсическим эффектом, что проявляется в большей смертности. Большая выживаемость при концентрации солей  $8\text{--}9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  по сравнению с таковой при  $7 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  может свидетельствовать о существовании осморегуляторного механизма, который повышает выживаемость предличинок окуня в этом диапазоне минерализации. Однако это не даёт ясности в понимании причин повышенной смертности предличинок окуня при засолении  $7 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , что требует более детализированных исследований.

## Усиление воздействия поллютантов на рыб при повышении температуры воды: результаты эксперимента с использованием речного окуня *Perca fluviatilis* бассейна реки Камы (Пермский край, Россия)

Михеев П. Б.<sup>1,2</sup>, Мухина М. В.<sup>1</sup>, Костицына Н. В.<sup>1</sup>, Бакланов М. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

✉ [pmikheev@yandex.ru](mailto:pmikheev@yandex.ru)

Нами была проведена экспериментальная оценка хронического влияния повышенной минерализации и температуры на биохимические показатели крови, соматическое состояние и выживаемость молоди речного окуня *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 — одного из наиболее распространённых эврибионтных видов рыб. Актуальность работы определяется растущей солевой нагрузкой на водные объекты бассейна реки Камы в связи с интенсивной разработкой Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

Согласно результатам, границей толерантности к засолению для молоди окуня, использованной в эксперименте, оказалось значение минерализации  $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . Повышение температуры привело к снижению границы толерантности молоди окуня при засолении до  $5,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . В условиях повышенной температуры и минерализации были отмечены наименьшие значения коэффициента упитанности и гепатосоматического индекса рыб; они свидетельствуют об истощении, вызванном высокими энергетическими затратами организма, в том числе на рост, темпы которого были наибольшими среди подопытных особей. Одновременно в плазме крови этих рыб было выявлено низкое содержание общего белка и метаболитов белкового обмена, что является дополнительным свидетельством истощения организма. Повышение энергетических затрат при повышении температуры согласуется с данными увеличения нагрузки на выделительную систему рыб, что приводит к тому, что основные неорганические ионы вымываются из плазмы крови. При фоновой температуре повышение минерализации также приводит к росту энергетических затрат организма, что подтверждается отсутствием значимого увеличения размера рыб к концу эксперимента.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-24-20069 (<https://rscf.ru/project/22-24-20069/>) и при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта № 22-24-20069.

## Влияние уровня засоления на выживаемость икры речного окуня в зависимости от стадии её развития и температуры инкубации

Михеев П. Б.<sup>1,2</sup>, Якубова К. С.<sup>1</sup>, Вяткина Ю. В.<sup>1</sup>, Бакланов М. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

✉ [pmikheev@yandex.ru](mailto:pmikheev@yandex.ru)

В результате разработок месторождений соли, а также использования соледержащих реагентов («дорожной соли») в зимний период для борьбы с гололёдом на дорогах происходит засоление природных ландшафтов, в том числе аквальных. Следствием являются экосистемные трансформации, связанные с образованием контрастных геохимических аномалий с повышенным содержанием водорастворимых солей на значительном удалении от источников засоления.

Россия — один из мировых лидеров по производству калийных и магниевых солей. Их добыча производится в Пермском крае в пределах Верхнекамского месторождения, и побочным эффектом является техногенное засоление водной среды. Исследования химического состава воды, водорослевой флоры, зоопланктона, макрозообентоса и рыб рек бассейна Камы, подверженных засолению, показывают значительные биотические трансформации на участках рек с высокой концентрацией солей. Негативное воздействие техногенного засоления на водную биоту может быть усилено в современных условиях изменения климата.

Целью данного исследования явилась экспериментальная оценка выживаемости икры и личинок пресноводных рыб в условиях повышенной температуры и солёности. В качестве модельного объекта использован речной окунь *Perca fluviatilis* — один из наиболее распространённых видов эврибионтных пресноводных рыб в бореальной водной среде. Для эксперимента были взяты икра и личинки, как наиболее чувствительные стадии развития, для которых характерна наибольшая смертность.

Результаты исследования свидетельствуют об увеличении смертности личинок окуня при повышении солёности, а также о способности его личинок вылупляться из икры при солёности до 20 г·л<sup>-1</sup> при температуре выше нормы для нереста и раннего развития вида.

При сравнении влияния воздействия солей двух различных типов (хлорида натрия и вещества солеотвалов Верхнекамского месторождения, калийно-магниевых солей) была выявлена большая летальность икры и личинок при воздействии последних.

В температурных условиях, оптимальных для нереста и развития икры окуня (+8...+15 °С), 100 % икринок на стадии органогенеза (5-я стадия) погибли в течение первых суток при солёности 20 и 24 г·л<sup>-1</sup>. В условиях солёности 16 и 12 г·л<sup>-1</sup> икринки погибали на 4-е и 8-е сутки с начала эксперимента соответственно; развитие личинок внутри оболочек не происходило. При концентрации 8 г·л<sup>-1</sup> личинки характеризовались большой встречаемостью аномалий развития, выклёвывались лишь единичные экземпляры. К концу эксперимента продолжительностью 18 суток смертность составила 100–53 % икринок (для трёх повторностей) в растворе хлорида натрия и 100–86 % для икринок в растворе отходов соледобычи. В условиях солёности 4 г·л<sup>-1</sup> смертность к концу эксперимента была близка к фоновым значениям (43–24 %) — 26–20 % в растворе NaCl и 71–27 % в растворе вещества солеотвалов.

Икринки, помещённые в условия повышенной минерализации на последнем, 8-м этапе развития зародыша перед выклевом, характеризовались высокими темпами смертности. При концентрации солей свыше 12 г·л<sup>-1</sup> гибель личинок происходила в течение первых суток с начала эксперимента. При концентрации 8 г·л<sup>-1</sup> все икринки погибли по прошествии 10 суток. Как в фоновых условиях, так и при минерализации 4 г·л<sup>-1</sup> массовый выклев личинок из икринок отмечался на 10-е сутки с начала эксперимента; показатели смертности были близки.

Результаты этого пилотного проекта показывают возможность икры и личинок окуня выживать при температуре до +23,4 °С и солёности до 20 г·л<sup>-1</sup>, что значительно выше видовой нормы. Это существенно выше солёности, о которой ранее сообщалось в исследованиях *in vivo*,

и демонстрирует экологическую пластичность окуня. Повышенная смертность икринок, помещённых в раствор солей — отходов соледобычи, свидетельствует об большей токсичности последних. Икра на более поздней стадии развития характеризуется повышенной чувствительностью к засолению.

В дальнейшем планируется экспериментальная работа по влиянию множественных стрессоров на раннее развитие и выживание ранних стадий жизни рыб.

## Определение региональных контрольных уровней радиоизотопов плутония в воде и донных отложениях в прибрежных черноморских экосистемах

Параскив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Чужикова-Проскурнина О. Д.,  
Вахрушев М. О.

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

✉ [paraskiv@ibss-ras.ru](mailto:paraskiv@ibss-ras.ru)

Важной задачей в рамках прикладной гидробиологии и морской радиоэкологии является оценка величин допустимого радиационного воздействия на объекты морской биоты от ионизирующего излучения антропогенных радионуклидов. На основе многочисленных исследований Международная комиссия по радиационной защите (International Commission on Radiological Protection) рекомендовала использовать в качестве пороговых критериев, гарантирующих пренебрежимо малый риск возникновения негативных последствий, величины мощности дозы, равные  $0,1 \text{ мГр} \cdot \text{сут}^{-1}$  для млекопитающих и позвоночных животных и  $1 \text{ мГр} \cdot \text{сут}^{-1}$  для растений и беспозвоночных животных. Однако, помимо пороговых дозовых критериев, величины допустимого радиационного воздействия могут быть выражены через производные параметры, такие как контрольные уровни (далее — КУ) удельной активности радионуклидов в абиотических компонентах природных экосистем, что является более удобным для практического применения.

В рекомендательных документах Роскомгидромета приведены усреднённые значения КУ радионуклидов в воде и донных отложениях морских экосистем, обеспечивающие безопасность морской биоты. Между тем данные КУ базируются на обобщённых значениях коэффициентов накопления ( $K_H$ ) радионуклидов биотой и донными отложениями, а также на стандартном выборе референтных организмов. При этом не учитываются региональные особенности изучаемой морской экосистемы, что может приводить к заниженным или завышенным оценкам КУ.

К антропогенным радиоизотомам, поступившим в окружающую среду, и в частности в Чёрное море, в результате техногенной деятельности, относятся радиоизотопы плутония  $^{239+240}\text{Pu}$ . Поскольку радиоизотопы  $^{239+240}\text{Pu}$  являются долгоживущими (периоды полураспада составляют тысячи лет) и альфа-излучающими радиоизотопами с высокой энергией частиц (особенно опасны при попадании внутрь организма), их относят к долговременному радиоэкологическому фактору. В связи с этим изучение их поведения в морских экосистемах и аккумуляции гидробионтами, а также определение региональных КУ, обеспечивающих безопасность морской биоты, представляет несомненный интерес.

В качестве модельного объекта была выбрана Севастопольская бухта — полузакрытая прибрежная морская акватория, относящаяся к акваториям повышенного экологического риска. Целью данной работы было определение контрольных уровней  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде и донных отложениях Севастопольской бухты, обеспечивающих безопасность обитающих в ней гидробионтов.

Исследования проводились в 2016–2021 гг. Были отобраны пробы поверхностной воды и 0–5-сантиметрового слоя донных отложений, а также представители референтных групп гидробионтов — макроводоросли (*Phyllophora crispa*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Ceramium virgatum* и *Cladophora laetevirens*), моллюски (*Mytilus galloprovincialis* и *Rapana venosa*), придонно-пелагические рыбы (*Spicara maena*) и придонные рыбы (*Scorpaena porcus*). Все пробы подвергались стандартной радиохимической обработке, измерения проводились на альфа-спектрометрическом комплексе ORTEC. Расчёт региональных КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  выполнялся согласно методике, приведённой в рекомендательных документах Роскомгидромета.

Результаты определения удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде, донных отложениях и изученных видах биоты позволили провести расчёт  $K_H$   $^{239+240}\text{Pu}$  гидробионтами и донными осадками Севастопольской бухты. Установлено, что исследованные компоненты экосистемы бухты обладают существенной аккумуляционной способностью в отношении  $^{239+240}\text{Pu}$ . При этом  $K_H$   $^{239+240}\text{Pu}$  уменьшались в следующем ряду: донные отложения ( $1 \cdot 10^5$ ); многолетние красные и бурые водоросли ( $6 \cdot 10^3$ ); двустворчатые и брюхоногие моллюски (от  $8 \cdot 10^2$  до  $4 \cdot 10^3$ ); однолетние красные и зелёные водоросли (от  $6 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^3$ ); рыбы придонные и придонно-пелагические ( $6 \cdot 10^2$ ).

На основе полученных  $K_H^{239+240}\text{Pu}$  были рассчитаны КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде и донных отложениях Севастопольской бухты и проведена их сравнительная оценка с усреднёнными значениями, указанными в рекомендательных документах. Показано, что в рамках референтной группы организмов значения КУ могут отличаться для разных видов. Так, по рекомендательным документам, для макроводорослей установлен КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде  $3,5 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ , в донных отложениях —  $6,9\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . По результатам настоящего исследования установлено, что для макроводорослей Севастопольской бухты КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде и донных отложениях составляют:  $2,1 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $5,0\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  для *P. crispa*;  $7,9 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $19,1\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  для *E. crinita* и *G. barbata*;  $8,5 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $20,6\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  для *C. virgatum*;  $21,1 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $51,8\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  для *C. laetevirens*.

Среди моллюсков более низкие значения величин региональных КУ  $^{239+240}\text{Pu}$ , чем рекомендованные  $4,6 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  в воде и  $9,2\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  в донных отложениях, получены для двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis* —  $3,5 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $8,6\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . При этом для хищных брюхоногих моллюсков *R. venosa* региональные значения в несколько раз превышали рекомендованные КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  и были равны  $9,3 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $22,4\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  соответственно.

Для придонно-пелагических рыб *S. taena* региональный КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде составил  $2,2 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ , что более чем в 6 раз ниже рекомендованного значения ( $13,9 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ ). Однако пелагические и придонно-пелагические виды считаются менее показательными при оценке конкретного региона, так как для их представителей характерна сезонная миграция. Приоритет в исследованиях отдаётся оседлым придонным видам, каковым для Севастопольской бухты является морской ёрш *S. porcus*. Региональные КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  для данного вида в воде и донных отложениях Севастопольской бухты составили  $2,3 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $5,5\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  соответственно, что значительно ниже рекомендованных значений ( $13,5 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  и  $27,8\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ). Согласно рекомендательным документам, за КУ для водоёма принимается наименьшее значение из всех определённых; следовательно, региональные КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  для Севастопольской бухты составляют  $2,1 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  в воде и  $5,0\cdot 10^3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  в донных отложениях.

Таким образом, в результате проведённого исследования определены региональные КУ  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде и донных отложениях для Севастопольской бухты, обеспечивающие безопасность обитающих в ней гидробионтов. Их значения ниже усреднённых рекомендованных КУ  $^{239+240}\text{Pu}$ . Для мониторинговых исследований в качестве видов-индикаторов загрязнения вод  $^{239+240}\text{Pu}$  рекомендуется рассматривать следующих гидробионтов: многолетние красные водоросли *Phyllophora crispa*, бурые водоросли *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata*, двустворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis* и бентосных рыб *Scorpaena porcus*.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ по научному гранту «Аспиранты» № 20-35-900041 и в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8.

## Определение качества воды в родниках городского округа Солнечногорск Московской области

Потемкин А. И., Басамыкина А. Н.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ [potemkin.aleksandr.02@mail.ru](mailto:potemkin.aleksandr.02@mail.ru)

В настоящее время всё большее число людей предпочитает водопроводной воде воду из природных источников в питьевых целях. Объясняется это, как правило, высоким износом водопроводных сетей в городах. Однако мало кто задумывается о качестве воды в родниках, и связано это с недостаточной информированностью населения о видах и возможных путях загрязнения грунтовых вод. Кроме того, на настоящем этапе развития природоохранного законодательства в России не являются обязательными государственный надзор за природными источниками и их сертификация с указанием качественных и количественных показателей воды. В связи с этим было проведено исследование по установлению качественного и количественного состава пяти природных источников различной территориальной принадлежности в городском округе Солнечногорск (Московская область) с целью определить соответствие показателей нормам, установленным СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». В рамках исследовательской работы также был выполнен анализ показателя жёсткости родниковой воды и проведено его сравнение с показателем жёсткости водопроводной воды.

Исследование проводилось посредством выполнения экспериментов, нацеленных на установление значений по трём основным направлениям: органолептические показатели; катионный и анионный состав; жёсткость (временная и постоянная). Органолептическая экспертиза выполнялась согласно методике СанПиН 2.1.4.1074-01 по критериям прозрачности, вкуса, цвета и запаха исследуемой воды. Другие два направления выполнялись посредством ряда химических опытов по методике из курса аналитической химии и включали:

- 1) оценку количественного содержания сульфат-ионов хлоридом бария  $\text{BaCl}_2$  и хлорид-ионов аргентометрическим методом, а также катионов  $\text{Fe}^{3+}$ ;
- 2) качественное определение фосфат- и нитрат-ионов и катионов тяжёлых металлов —  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ;
- 3) анализ проб на наличие временной жёсткости воды с помощью соляной кислоты  $\text{HCl}$  и определения числа общей жёсткости трилоном-Б ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8$ );
- 4) потенциометрический анализ водородного показателя pH.

По результатам исследования было установлено, что количество хлорид-ионов в воде варьирует между 1 и  $10 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , количество сульфат-ионов находится преимущественно в пределах  $5\text{--}10 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , а количество катионов  $\text{Fe}^{3+}$  составляет  $< 0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , что соответствует нормативным требованиям. Нитрат- и фосфат-ионы обнаружены только в пробе № 1, также имеющей бóльшую концентрацию сульфат-ионов, чем остальные пробы (от 10 до  $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), однако их концентрации тоже соответствуют требованиям СанПиН для питьевой воды. Значения pH исследуемых проб находятся в пределах 7,0–7,6 и соответствуют нормам.

Эксперименты показали, что в исследуемой воде не содержится катионов тяжёлых металлов (или их показатели значительно ниже допустимых). Значения временной жёсткости и постоянной жёсткости лежат в диапазоне  $8,5\text{--}10,83 \text{ ммоль-экв} \cdot \text{л}^{-1}$  и  $5,03\text{--}8,23 \text{ ммоль-экв} \cdot \text{л}^{-1}$  (максимальное значение для пробы № 1) соответственно. Данные значения характеризуют воду в природных источниках как обладающую средней и сильной жёсткостью, однако соответствуют значениям ПДК питьевой воды. Источник пробы № 1 располагается поблизости от садового некоммерческого товарищества, что может быть причиной особенности состава, установленного экспериментально, вследствие нерационального использования удобрений, которые содержат нитраты и фосфаты.



В ходе выполнения органолептических анализов было установлено соответствие всех критериев (прозрачность, цвет, вкус, запах) нормативным показателям в СанПин.

В результате работы экспериментально доказано соответствие показателей родниковой воды городского округа Солнечногорск Московской области ПДК питьевой воды. Кроме того, по результатам анализа жёсткости родниковой воды было определено, что этот показатель лежал в диапазоне значений показателя жёсткости водопроводной воды ( $7 (10) \text{ мг-экв} \cdot \text{л}^{-1}$ ), что противоречит выдвинутой в данном исследовании гипотезе.

## Отклик Чёрного моря на вторичное поступление чернобыльской радиоактивности по данным изотопного анализа плутония в глубоководных донных отложениях

Проскурнин В. Ю., Параскив А. А., Чужикова-Проскурнина О. Д., Терещенко Н. Н.

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

✉ [v\\_proskurnin@ibss-ras.ru](mailto:v_proskurnin@ibss-ras.ru)

Глубоководные донные отложения Чёрного моря, благодаря наличию в нём самой обширной сероводородной зоны среди естественных водоёмов Земли и отсутствию активных бентосных форм жизни, являются уникальным природным самописцем процессов поступления и седиментационного выведения различных элементов из водной толщи. Изучение вертикального распределения веществ и химических элементов в этих отложениях позволяет интерпретировать такое распределение в историю поступления того или иного элемента в акваторию и элиминации его в донные отложения. Такой подход особенно актуален для элементов, проявляющих высокое сродство к взвешенному веществу. Одни из таких элементов — техногенные изотопы плутония ( $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ), попавшие в окружающую среду в результате использования человеком ядерных технологий. Основными источниками антропогенного плутония в Чёрном море явились глобальные радиоактивные выпадения после испытаний ядерного оружия в открытых средах преимущественно в первой половине 1960-х гг. и выброс радиоактивности при аварии на Чернобыльской АЭС, в результате которого плутоний попал в Чёрное море как с атмосферным переносом радиоактивных аэрозолей в мае 1986 г., так и с речным и поверхностным стоками с водосборного бассейна акватории в последующие годы. Ранее был показан отклик донных отложений западной части глубоководной зоны Чёрного моря на поступление плутония «чернобыльского» происхождения. Однако для восточной части моря, имеющей принципиально другие механизмы поступления аллохтонных взвесей и, соответственно, характеризующейся иными особенностями как поступления сорбционно активных элементов (в том числе плутония), так и седиментационного выноса их из водной толщи, таких исследований не проводилось.

Целью настоящей работы было изучение вертикального распределения основных антропогенных изотопов плутония —  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  — в донных отложениях восточной части глубоководной зоны Чёрного моря с последующей реконструкцией истории поступления плутония в обозначенный район моря.

В качестве исследуемого материала использовались донные отложения, отобранные в 33-м рейсе НИС *Maria S. Merian* в 2013 г. Изотопы плутония определяли по общепринятой радиохимической методике с измерениями финальных счётных образцов методом полупроводниковой альфа-спектрометрии. Удельную активность определяемых изотопов рассчитывали на сухой обессоленный вес отложений. Датировку отложений проводили методом геохронологической реконструкции их загрязнения плутонием, при этом величины удельной активности  $^{238}\text{Pu}$  корректировали с учётом его периода полураспада (86,4 года) на 1986 г. Опорные значения отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  для проведения датировки составляли  $(0,45 \pm 0,05)$  для слоя отложений, сформированного в 1986 г. («чернобыльское отношение»), и  $(0,032 \pm 0,010)$  для слоёв, датированных 1962–1963 гг. («бомбовое отношение»).

С учётом предыдущих оценок скорости осадконакопления в исследуемом районе суммарная глубина слоя проанализированных отложений составила 6,5 см. В вертикальном распределении  $^{239+240}\text{Pu}$  обнаружено 3 пика удельной активности в следующих слоях отложений: 4,0–4,5 см  $[(19,14 \pm 1,12) \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}]$ , 3,0–3,5 см  $[(22,60 \pm 1,25) \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}]$  и 1,75–2,00 см  $[(5,92 \pm 0,46) \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}]$ . При этом отмечено, что  $^{239+240}\text{Pu}$  достоверно определялся вплоть до слоя 6,0–6,5 см, однако глубже слоя 4,0–4,5 см наблюдавшиеся величины были настолько малы, что отражали, по всей видимости, диффузию плутония в поровой воде отложений, а не его выведение из водной толщи. В вертикальном распределении  $^{238}\text{Pu}$  было также обнаружено 3 пика, однако только два нижних соответствовали глубинам залегания пиковых удельных активностей  $^{239+240}\text{Pu}$  —  $(2,87 \pm 0,27) \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  в слое

3–3,5 см и  $(1,53 \pm 0,22)$  Бк·кг<sup>-1</sup> в слое 1,75–2,00 см. Третий пик удельной активности <sup>238</sup>Pu [ $(0,23 \pm 0,07)$  Бк·кг<sup>-1</sup>] наблюдался в слое 0,5–1,0 см. При этом, несмотря на несколько повышенные значения активности <sup>239+240</sup>Pu в этом слое по сравнению с соседними слоями, превышение нельзя было назвать достоверным из-за неопределённости величин в обсуждаемых слоях.

Анализ вертикального распределения отношения активностей <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu в исследуемых отложениях показал, что пиковые значения наблюдались в тех же слоях, что и пиковые удельные активности <sup>238</sup>Pu. Максимальное отношение определено в слое 1,75–2,00 —  $(0,258 \pm 0,042)$ ; несколько меньшая величина наблюдалась в слое 3,0–3,5 см —  $(0,127 \pm 0,014)$ . Также достоверно повышенное значение отношения <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu по сравнению с ходом его профиля в целом (среднее значение при исключении пиковых слоёв — 0,044; размах — 0,000÷0,080) наблюдалось в слое 0,5–1,0 см —  $(0,106 \pm 0,032)$ . При проведении датировки с использованием пиковых значений отношения <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu рассматривалось два варианта определения ключевого датированного слоя (1986 г.) — 1,75–2,00 см и 3,0–3,5 см. С учётом отсутствия признаков изменения скорости осадконакопления в исследуемой толще отложений по параметрам влажности и распределения кумулятивного веса по глубине осадка, слой 4,0–4,5 см с пиковой концентрацией <sup>239+240</sup>Pu использовался для оценки корректности датировки следующим образом. При датировании слоя 1,75–2,00 1986 годом скорость накопления неуплотнённых отложений составила 1,2 мм·год<sup>-1</sup>, а возраст слоя 4,0–4,5 см составил величину более 110 лет; это, очевидно, не соответствует истории попадания антропогенного плутония в окружающую среду, берущей своё начало от первого атмосферного испытания в 1945 г. При выборе слоя 3,0–3,5 см в качестве опорного, сформированного в 1986 г., скорость накопления неуплотнённых отложений составила 3,1 мм·год<sup>-1</sup>, а возраст слоя 4,0–4,5 см — 44 года; в этом случае его можно датировать 1969 годом. С учётом неопределённости данной оценки, которая обусловлена шагом нарезки слоёв отложений, составляющим около 7 лет, второй вариант датировки можно считать верным.

Дальнейший анализ распределения отношения <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu в вышележащих слоях исследованных отложений с учётом выбранного варианта датировки показывает, что существенные дополнительные количества плутония с повышенным относительно фонового («бомбового») изотопным отношением поступали в восточную часть Чёрного моря на рубеже 1990–2000-х гг. и в начале 2010-х гг. Обнаруженные «всплески» потока поступления плутония с изотопной композицией, свидетельствующей о значительной доле Pu реакторного происхождения, можно рассматривать, по видимому, как подтверждение вторичного поступления постчернобыльской радиоактивности, показанного ранее по результатам мониторинга <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr. Примечателен и тот факт, что в слоях, отражающих седиментационный поток плутония в первое десятилетие после аварии на Чернобыльской атомной электростанции, наблюдалось более плавное снижение отношения <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu, чем в западной части глубоководной зоны моря. Это указывает, по всей видимости, на то, что поступление плутония в восточную часть моря посредством гидрологических процессов превалировало, или, по крайней мере, не уступало в интенсивности атмосферному переносу «горячих частиц» в исследуемый район и носило более долговременный характер, чем в западной части.

Исследования проведены по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8.

## Структурно-функциональный анализ сердечно-сосудистой системы предличинок чира в условиях острой интоксикации

Селюков А. Г.<sup>1</sup>, Мачихин А. С.<sup>2</sup>, Гурылева А. В.<sup>2,3</sup>, Бурлаков А. Б.<sup>4</sup>, Букова В. И.<sup>2,3</sup>,  
Хохлов Д. Д.<sup>2</sup>, Руденко Е. Е.<sup>5</sup>, Шуман Л. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>5</sup>Сеченовский университет, Москва, Россия

✉ [ags-bios@yandex.ru](mailto:ags-bios@yandex.ru)

С целью получения истинной оценки состояния функциональных систем организмов в условиях интоксикации актуально проведение неинвазивных наблюдений с фотовидеодокументацией. Одной из наиболее полно отвечающих этим требованиям может считаться сердечно-сосудистая система (далее — ССС). Визуализация сосудов в сочетании с получением гемодинамических параметров становится мощным инструментом анализа состояния ССС для решения фундаментальных и прикладных задач. Используемый неинвазивный метод видеокапилляроскопии сочетает оптическую микроскопию и пространственно-спектральный анализ изображений, что предоставляет возможность визуализировать протекающие в организме процессы в режиме экспресс-диагностики, без длительной пробоподготовки, свойственной общепринятым методам объективного анализа: биохимическим, цито- и гистологическим, иммуногистохимическим и др.

С использованием данного метода возможны: тестирование медпрепаратов и БАДов; поиск оптимальных методов и доз при детоксикации с оперативной верификацией достигнутого эффекта; текущий мониторинг при установлении наиболее приемлемых способов управления факторами окружающей среды, процессами раннего развития и др.

Для адекватной оценки функционирования ССС как в норме, так и в эксперименте с воздействием абиотических и биотических факторов (фармпрепараты, токсиканты, патогены, паразиты и др.) проводятся исследования на стандартных модельных объектах или на ранних, наименее защищённых стадиях развития организмов, находящихся в привычных для них условиях. Для этих целей широко используются эмбрионы и личинки ряда икромечущих видов рыб — данио (*Danio rerio*), форели (*Parasalmo mykiss*) и др.

В течение нескольких лет были получены значимые результаты на признанном объекте молекулярно-биологических исследований — короткоцикловом теплолюбивом виде *D. rerio*. В настоящей работе приведены материалы изучения развития ССС у личинок чира *Coregonus nasus* в норме и в условиях острой интоксикации.

Для исследований патофизиологических изменений ССС под воздействием токсикантов органического (фенол) и неорганического (кадмий) происхождения были использованы личинки представителя сиговых рыб — чира, нерестающегося при околонулевых температурах воды; его эмбриональное развитие с ноября по апрель часто проходит, пока он заморожен в лёд. В таких экстремальных условиях у данного вида установлена высокая интенсивность кровообращения, что позволяет рассматривать его в качестве удобной модели для наблюдения над изменением функционирования ССС в различных экспериментальных условиях.

Предличинок чира в 1-суточном возрасте рассадили в раствор фенола 0,02 мг·л<sup>-1</sup> и водный раствор сульфата кадмия 0,075 мг·л<sup>-1</sup>. Молодь содержали в хладотермостате со стеклянной дверцей, что обеспечивало естественную фотопериодичность. Температура составляла +2,8...+3 °С. Каждые сутки проводили смену чистой воды в контроле и растворов токсикантов в вариантах эксперимента; подсчитывали отход.

Ежедневно проводилась фиксация функционального состояния ССС личинок методом видеокапилляроскопии. Для обездвиживания личинок их помещали в раствор трикаина метансульфоната (MS-222) на 1 мин при +3 °С, а затем — в чашку Петри с водой той же температуры. С помощью

микроскопа и монохромного приёмника излучения регистрировалась последовательность изображений исследуемой особи. После предварительной обработки изображений и их пространственно-временного анализа выявлялись области, относящиеся к кровотоку; на их основе строились карты сосудов, позволяющие проводить морфологический анализ изменений ССС. Далее для области сердца рассчитывалась фотоплетизмограмма (сигнал, характеризующий перфузию в исследуемой ткани).

По прошествии 5 сут часть молоди была зафиксирована в 4%-ном нейтральном формалине для иммуногистохимического анализа на выявление клеточного апоптоза, большая часть — в смеси Бродского для гистологического контроля протекающих изменений.

Проведённые исследования оценки воздействия токсикантов на ССС личинок чира с применением неинвазивного метода видеокапилляроскопии отчётливо продемонстрировали значительные изменения в сердечной ритмике поражённых фенолом особей. Так, в кардиограмме интоксцированных предличинок чира на зубце QRS (систола — диастола) желудочка сердца, в отличие от сердца контрольных особей и нормально функционирующего сердца у радужной форели, отчётливо выявляются двух- и трёхвершинные спайки, свидетельствующие о проявлении аритмии. Полученная динамика кровотока демонстрирует нарушение сердечной деятельности. Это нашло своё отражение при верификации метода проведением гистологического и иммуногистохимического анализа. Последний отчётливо показал активизацию фактора клеточного апоптоза Bcl-2 в центральной зоне среднего мозга как наиболее важного участка ЦНС для развивающейся молоди. Здесь отметим, что интегральная функция головного мозга у низших позвоночных, к которым относятся рыбы и амфибии, сосредоточена именно в среднем мозге.

При этом в туловищной и сердечной мускулатуре активизация Bcl-2 не просматривается, хотя и выявляются, как показал гистологический анализ, существенные деструктивные изменения в миокарде и начало миопатии большой боковой мышцы.

Отметим, что данные исследования более трудоёмки, но позволяют на цито- и гистологическом уровне подтвердить высокую степень объективности предлагаемого методического подхода — неинвазивного метода видеокапилляроскопии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ЯНАО (регистрационный № 19-44-890009) и РНФ (проект 22-49-08012).

## Герминативные стволовые клетки в раннем онтогенезе сиговых рыб в условиях интоксикации

Селюкова С. А., Селюков А. Г., Мирзабаев Д. А.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

✉ [ags-bios@yandex.ru](mailto:ags-bios@yandex.ru)

В условиях многофакторного загрязнения Обь-Иртышского бассейна возрастают концентрации токсикантов органической и неорганической природы, что приводит к снижению биопродуктивности и к ухудшению мест нагула и воспроизводства рыб. В значительной степени это оказывает влияние на молодь наиболее чувствительных к качеству среды сиговых рыб, одним из наиболее ценных видов которых является муксун (*Coregonus muksun*).

Цель работы состояла в оценке состояния герминативных стволовых клеток муксуна и чира естественной популяции в условиях интоксикации подострыми концентрациями фенола и сульфата кадмия.

Икру муксуна получили в 2020 г. от природной популяции производителей в реке Обь, которая инкубировалась в Уватском центре аквакультуры (село Уват, Тюменская область). Икра чира была получена в 2021 г. от производителей в реке Сось (приток Оби) и инкубировалась на Собском рыбобоводном заводе (город Лабитнанги, Ямало-Ненецкий автономный округ). Исследования проводили в Центре реконструкции биосистем Института биологии Тюменского госуниверситета. На этапе завершения эпиболии и формирования глазных бокалов 49-суточных зародышей в трёхкратной повторности разделили на группы по 20 эмбрионов контрольной партии и по столько же в 0,001, 0,005 и 0,01 мг·л<sup>-1</sup> раствора фенола. Также в трёхкратной повторности по 20 экз. эмбрионов муксуна рассаднили в 0,005, 0,025 и 0,05 мг·л<sup>-1</sup> водных растворов сульфата кадмия (все концентрации токсикантов соответствовали 1, 5 и 10 ПДК). Продолжительность экспозиции составляла 10 сут при температуре +1,4...+2,1 °С; смену растворов проводили каждые 2–3 сут. На момент окончания эксперимента 58-суточных эмбрионов из всех вариантов перевели в чистую воду. Через 35 сут зародышей зафиксировали в смеси Бродского, далее по стандартным методикам приготовили тотальные гистологические препараты. Подсчёт, измерения и оценка гоноцитов проводились с использованием микроскопа Zeiss Axio Imager A1. Фотоснимки получали через камеру AxioCam MRc 5 при помощи программного обеспечения AxioVision 4.7.1 (Zeiss). Всего было исследовано 112 эмбрионов и личинок муксуна, 32 личинки чира.

Показано, что у контрольных зародышей муксуна в начале стадии пигментации глаз — 93 дня после оплодотворения — количество гоноцитов составляло (22,0 ± 8,0) при соотношении типичных и полиморфноядерных гоноцитов 53,8 и 46,2 %. В это же время у подопытных зародышей, ранее прошедших интоксикацию в растворе фенола 0,001 мг·л<sup>-1</sup>, при числе гоноцитов (18,7 ± 6,2) доля типичных и полиморфноядерных была 80,4 и 19,6 % соответственно. В более высокой концентрации фенола (0,05 мг·л<sup>-1</sup>) у одновозрастных зародышей среднее количество гоноцитов стало ещё ниже — (18,0 ± 5,5); число типичных клеток относительно возросло — до 86,1 и 12,5 %; также отмечен двухклеточный синцитий (1,4 %).

Зародыши муксуна в 0,025 мг·л<sup>-1</sup> раствора сульфата кадмия имели меньшее число гоноцитов, (21,1 ± 6,0), чем в контроле, но значительно более высокое их разнообразие — 68,3 % типичных гоноцитов и 24,3 % полиморфноядерных, а также 5,4 % двухклеточных и 2,02 % трёхклеточных синцитиев. Увеличение концентрации токсиканта до 0,05 мг·л<sup>-1</sup> привело к дальнейшему снижению числа гоноцитов [до (18,7 ± 4,2)] и к снижению их разнообразия: отмечено 71,7, 25,2 и 3,1 % типичных, полиморфноядерных и двухклеточных синцитиев соответственно.

После вылупления у 15-суточных контрольных личинок муксуна закономерно возросло число герминативных стволовых клеток, до (32,3 ± 6,1), но доминировали типичные (доля составляла 97,8 %). При этом полиморфноядерные встречались единично (1,03 %); столь же редкими уже были двух- и трёхклеточные синцитии (0,3 и 0,5 % соответственно). При фенольной интоксикации (0,001 мг·л<sup>-1</sup>) зарегистрирована меньшая изменчивость числа гоноцитов, но в среднем большее их количество, (38,7 ± 5,6), а также большее число типичных клеток (98,6 %). Полиморфноядерных насчитывались единицы — 0,23 %; двух- и трёхклеточных синцитиев — 0,4 и 0,7 % соот-

ветственно. Повышение концентрации фенола до  $0,005 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  привело к снижению числа гоноцитов до  $(34,2 \pm 6,7)$ , среди них отсутствовали полиморфноядерные. При десятикратно превышающей ПДК концентрации фенола ( $0,01 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ) у одновозрастных личинок муксуна число герминативных стволовых клеток сократилось более чем вдвое, до  $(14,1 \pm 2,4)$ , и соотношение типичных и полиморфноядерных клеток составляло 98,8 и 1,2 %.

В растворах сульфата кадмия динамика гоноцитов характеризовалась сходным образом — снижением их количества и изменением качественного состава.

Таким образом, хроническое загрязнение среды природных водоёмов нефтепродуктами и тяжёлыми металлами не только угнетает размерно-весовые характеристики молоди сиговых рыб, но и подавляет формирование линии герминативных стволовых клеток, что ведёт к снижению численности и продуктивности этих ценных видов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ЯНАО (регистрационный № 19-44-890009).

Выражаем благодарность Е. В. Ефремовой [ООО «НПО Собский рыболовный завод»] и Л. Е. Брюшко [ООО «МБМ» («Уватский центр аквакультуры»)] за содействие в сборе материала.



## Исследования микроэлементного состава воды и донных отложений в акваториях рек в биосферном заповеднике Канзё (Вьетнам)

Терещенко Н. Н.<sup>1</sup>, Чужикова-Проскурнина О. Д.<sup>1</sup>, Нгуен Чонг Хиен<sup>2</sup>, Проскурнин В. Ю.<sup>1</sup>, Сидоров И. Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

✉ [ntereshchenko@yandex.ru](mailto:ntereshchenko@yandex.ru)

В первой четверти второй половины XX в. антропогенное влияние на окружающую среду достигло таких уровней, которые оказывали негативное воздействие и даже вызывали гибель как отдельных видов биоты, так и целых экосистем; в частности, значительно пострадали такие уникальные экосистемы, как мангровые леса. Создание биосферного заповедника в Канзё (Вьетнам) позволило не только восстанавливать и сохранять мангровые заросли с их богатой флорой и фауной, но и оградить водные экосистемы на его территории от избыточного техногенного загрязнения. В силу сопряжённости территорий, атмосферы и акваторий водных экосистем с поверхностным водным стоком и атмосферными осадками антропогенные вещества могут поступать в водотоки Канзё из близлежащих территорий и акваторий. Таким источником может быть регион города Хошимина. Это крупнейший промышленный, транспортный и урбанизированный центр на юге Вьетнама, где развиты десятки видов производств на предприятиях, количество которых достигает 300 тысяч. Население города превышает 9 млн человек. Также свой вклад в формирование химического состава вод могут вносить морские воды Южно-Китайского моря, которые во время приливов заходят далеко по руслу рек Канзё, засолоняя их воды. Сегодня реки Канзё за пределами ядра биосферного заповедника продолжают ограниченно использоваться как транспортный, производственный (добыча и выращивание гидробионтов), водный и туристическо-рекреационный ресурс, поэтому исследование хемотропического состояния акваторий речных водотоков Канзё необходимо для оценки их современного экологического состояния как важных природоохранных и социально-хозяйственных водных экосистем. Как известно, первоочередное влияние на хемотропическое состояние водных экосистем оказывают опасные токсиканты, к которым относятся тяжёлые металлы и металлоиды. Целью исследования была первичная оценка экологического состояния акваторий двух рек, Кагау и Лонгтау, в Канзё в отношении микроэлементов — тяжёлых металлов и металлоидов — по результатам определения их концентраций в воде и донных отложениях, а также рассмотрение возможных источников в формировании уровней концентраций разных микроэлементов в абиотических компонентах речных экосистем.

Исследования проводили в мае 2021 г. в руслах рек Кагау и Лонгтау на двух небольших полигонах, которые включали по три станции, расположенных поперёк русла реки (две прибрежные станции и одна в центральной части русла). Выбранная акватория реки Кагау находится во внутреннем районе Канзё. Полигон на реке Лонгтау располагался в районе, который граничит с морской акваторией Южно-Китайского моря. Сама река Лонгтау служит важным водным путём, связывающим Хошимин с Тихим океаном. Пробы отбирали в двух повторностях во время прилива и отлива — поверхностную и придонную воду и поверхностный слой (0–5 см) донных отложений. Пробы отбирали в межень в конце сухого сезона. Также с помощью многопараметрического прибора HI9829 (Hanna, Румыния) определяли pH, Eh, TDS, температуру, концентрацию растворённого в воде кислорода и солёность воды. В пробах воды и донных отложений определяли 15 микроэлементов: Ag, As, Be, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Se, Sb, Tl, V и Zn. Для определения растворённой формы микроэлементов пробы воды фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. После химической обработки проб воды и донных отложений в полученных жидких экстрактах измерения концентрации микроэлементов проводили методом масс-спектрометрии в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena AG).

Полученные результаты исследований в акваториях рек Кагау и Лонгтау позволили установить наличие определённых рисков в отношении экологического состояния вод и донных отложений по концентрациям тяжёлых металлов и металлоидов, взвешенного вещества и растворённого кислорода. Сравнение полученных величин со значениями из регламентирующих документов, принятых во Вьетнаме (далее —  $PB_{пв}$ ), показало: согласно  $PB_{пв}$ , в воде исследованных акваторий были превышены нормативные показатели для источников категории А1 по концентрации взвешенного вещества в воде, а концентрация растворённого кислорода в воде была ниже норматива. По уровням концентрации микроэлементов не наблюдали превышения уровня нормативных значений  $PB_{пв}$ , но при этом по отдельным элементам были превышены нормативные показатели, применяемые в международной практике в других странах, в частности в России (нормативы для рыбохозяйственных водоёмов) и Нидерландах («голландские листы»).

На основании сравнения полученных данных с нормативными показателями для природных водоёмов согласно «голландским листам» были выделены критические и потенциально критические элементы в воде и донных отложениях. В реке Кагау к критическим элементам в воде были отнесены Pb, Cu, Zn, Ag, а к потенциально критическим — V и Cd; в реке Лонгтау — Pb, Cu, Zn, Se и V соответственно. Для донных отложений в реке Кагау к критическим элементам были отнесены Co, Mo, Ni, Se и Tl, а для реки Лонгтау — только Co и Mo. Потенциально критическими элементами в донных отложениях для обеих рек были V, Cu, As, Zn и Be.

Наличие критических и потенциально критических элементов среди исследованных указывает на необходимость проведения мониторинга и отслеживания хемотропического состояния вод и донных отложений в реках Канзё. Нужно проведение аналогичных исследований в другие сезоны года, в частности в сезон дождей, когда возможны изменения химического состава вод вследствие климатических особенностей периода. Это важно для выявления тенденций изменения геохимического фона в водоёмах в этом районе в отношении критических и потенциально критических микроэлементов, для выявления источников их поступления, а также для изучения ведущих процессов миграции и перераспределения их в осолонённых речных акваториях. Полученные результаты обеспечат информационную поддержку формирования научных основ рациональной системы мониторинга, оценки экологического состояния акваторий и прогноза тенденций его изменения. Сохранение и поддержание экологического качества вод в акваториях рек — залог обеспечения безопасного и рационального использования их природных ресурсов, сохранения целостности этих экосистем и их биологического разнообразия. Важным является и использование рек Канзё в качестве модельного полигона для отработки методов и подходов исследования хемотропического состояния осолонённых речных акваторий юга Вьетнама, включая рукава дельты реки Меконг.

Исследование выполнено по теме НИР Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра «Эколан Э-3.4» и темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

## Оценка аккумуляции $^{90}\text{Sr}$ в тростнике обыкновенном (*Phragmites australis* L.) в радиоактивно загрязнённых водоёмах Уральского региона

Тряпицына Г. А.<sup>1,2</sup>, Левина С. Г.<sup>3</sup>, Тряпицына С. В.<sup>1,3</sup>, Перетыкин А. А.<sup>1</sup>, Голубева А. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>3</sup>Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Россия

✉ [svt174@list.ru](mailto:svt174@list.ru)

Актуальными проблемами современности являются загрязнение биосферы и связанное с этим возрастание радиационной нагрузки на среду обитания и людей.

Одни из первых крупных радиационных аварий в мире произошли в 1940-х гг. в СССР, на Южном Урале, при переработке делящихся материалов и производстве оружейного плутония (ПО «Маяк», Челябинская область). ПО «Маяк» было причиной радиационных инцидентов и аварий, приведших к загрязнению части территорий в Уральском регионе.

В 1949–1956 гг. ПО «Маяк» в реку Течу было сброшено 76 млн м<sup>3</sup> сточных вод, суммарная активность которых составила около  $3,1 \times 10^6$  Ки (115 ПБк). Сброс радиоактивных отходов предприятия в открытую гидрографическую сеть речной системы Теча — Исеть — Тобол — Обь привёл к загрязнению речной поймы на протяжении 1000 км. На реке Тече образовалась узкая и сильно загрязнённая прибрежная полоса вдоль всего течения (шириной до 1 км и общей площадью около 80 км<sup>2</sup>). В результате крупномасштабному радиоактивному загрязнению подверглись все компоненты (абиотические и биотические) реки Течи, в том числе пойменной почвы. С 1956 по 1965 г. в верховьях реки Течи с целью исключения попадания радионуклидов в открытую гидрографическую систему была создана и по настоящее время эксплуатируется сложная система водоёмов — Теченский каскад водоёмов (ТКВ) В-3, В-4, В-10 и В-11, являющихся хранилищами низкоактивных жидких радиоактивных отходов (далее — ЖРО). Кроме того, ЖРО сбрасывались в водоёмы В-17 (Старое болото) и В-9 (озеро Карачай).

В 1957 г. произошёл термохимический взрыв ёмкости хранилища ЖРО, расположенной на промышленной площадке ПО «Маяк». Выброшенные в атмосферу радионуклиды поднялись на высоту до 1000 м и образовали радиоактивное облако, которое прошло над Челябинской, Свердловской и Тюменской областями. Общая протяжённость радиоактивного облака — около 300 км в длину и 5–10 км в ширину (площадь загрязнённой территории — порядка 23 000 км<sup>2</sup>), а суммарная  $\beta$ -активность на загрязнённых территориях составила около  $2 \times 10^6$  Ки (74 ПБк). Загрязнённая территория получила название Восточно-Уральский радиоактивный след (далее — ВУРС).

Радиоактивное загрязнение окружающей среды в Уральском регионе привело к загрязнению значительного количества водных экосистем, одним из важных компонентов которых являются макрофиты — высшая водная растительность. Высшие водные растения (далее — ВВР) играют ключевую роль в жизнедеятельности пресноводных экосистем, принимая активное участие в биологических циклах и биоэнергетическом балансе водоёмов, и осуществляют важную очистительную функцию. В отдалённые периоды (более 60 лет от начала загрязнения) основными дозообразующими радионуклидами в водных экосистемах являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

В данной работе приведены результаты исследования аккумуляции  $^{90}\text{Sr}$  ВВР (в летние периоды) в некоторых водных экосистемах в отдалённые периоды радиоактивного загрязнения.

При определении накопления ВВР  $^{90}\text{Sr}$  в водоёме В-10 ТКВ (содержание в воде —  $(3300 \pm 500)$  Бк·л<sup>-1</sup>) максимальное накопление выявлено у ВВР, относящихся к экологическим группам погружённых плавающих растений. В частности, КН (коэффициент накопления)  $^{90}\text{Sr}$  у рдеста гребенчатого (*Potamogeton pectinatus* L.) составил 250, а у горца земноводного (*Polygonum amphibium* L.) — 179. Более низкий уровень накопления  $^{90}\text{Sr}$  наблюдался у воздушно-водных растений. Так, КН у камыша озёрного (*Scirpus lacustris* L.) составил 69, у рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.) — 77, а у тростника обыкновенного, или тростника южного (*Phragmites australis* L.), — 89.

По результатам исследования, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в воде водоёма В-4 ТКВ составило  $(5,0 \pm 0,7) \times 10^3$  Бк·л $^{-1}$ ; КН у тростника обыкновенного — 50. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в воде водоёма В-17 составило  $(1,4 \times 10^5 \pm 160)$  Бк·л $^{-1}$ ; КН у тростника обыкновенного был равен 1,5.

Определение площадей зон различных видов ВВР в водоёме В-4 ТКВ проводилось путём анализа космических снимков, находящихся в открытом доступе. Выявлено, что тростник обыкновенный занимает наибольшую площадь в водоёме и характеризуется более высокой продуктивностью фитомассы, чем ВВР других экологических групп. Берега и дно В-17 укреплены щебнем и суглинками, поэтому в данном водоёме наблюдалось небольшое количество растительности, представленной только тростником обыкновенным (*Phragmites australis*).

На территории ВУРС радиоактивному загрязнению было подвержено значительное количество озёр с различными уровнями содержания радионуклидов. При исследовании озёр Урускль (близкая зона ВУРС, 20 км от точки взрыва 1957 г.), Большой Игиш и Малый Игиш (центральная зона ВУРС, 60 км от точки взрыва 1957 г.) были выделены 13 видов ВВР, относящихся к 4 экологическим группам, а также определены специфичность накопления  $^{90}\text{Sr}$  и КН. Выявлено, что накопление радионуклидов растениями носит видоспецифичный характер и зависит в первую очередь от принадлежности к той или иной экологической группе. Отмечено, что КН радионуклидов выше у ВВР, относящихся к группам плавающих растений, чем у воздушно-водных ВВР. Так, у воздушно-водного тростника обыкновенного КН ниже, однако это растение занимает значительную водную площадь в озёрах ВУРС.

Таким образом:

- В водоёме В-10 ТКВ ПО «Маяк» и в части озёр ВУРС выявлено, что все исследуемые виды высших водных растений накапливают  $^{90}\text{Sr}$  выше уровня содержания в воде. В ВВР, относящихся к группам погружённых растений, определено большее накопление, чем в воздушно-водных видах ВВР.
- Установлено, что содержание  $^{90}\text{Sr}$  в тростнике обыкновенном (вид, представляющий воздушно-водную экологическую группу) значительно выше содержания данного радионуклида в воде радиоактивно загрязнённых водоёмов ПО «Маяк» и озёр ВУРС.
- Выявлено, что в водоёме В-4 ТКВ и в водоёме В-17 тростник обыкновенный (один из наиболее широко распространённых видов ВВР) занимает максимальную площадь и обладает более высокой продуктивностью фитомассы, чем другие виды ВВР.
- Тростник обыкновенный, наряду с другими видами ВВР, может быть использован при проведении экологических исследований для оценки состояния радиоактивно загрязнённых водоёмов, а также при разработке защитных мероприятий.

## Фоновые концентрации металлов в гидробионтах в оценке загрязнения водных экосистем

Чернова Е. Н.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ [elena@tigdvo.ru](mailto:elena@tigdvo.ru)

Массовые виды гидробионтов (водоросли, моллюски) давно используются в биомониторинге загрязнения металлами водной среды благодаря линейной зависимости между микроэлементным составом организмов и воды, которая хорошо проявляется в экспериментальных условиях. Однако в природных условиях довольно часто связи между концентрациями металлов в организмах и в среде не наблюдается, что усложняет проведение оценки уровня загрязнения водных объектов с помощью организмов. Причиной такого несоответствия полагали узкий диапазон содержания элемента в среде и высокую суточную и межгодовую изменчивость концентрации элементов в организмах.

Для оценки уровня загрязнения металлами водных экосистем необходимо установление границ фоновых концентраций как в воде, так и в гидробионтах-индикаторах. Пороговые величины фоновых концентраций в массовых видах прибрежно-морских акваторий Японского моря определены нами как медиана + 2МАО (МАО — медиана абсолютных отклонений от медианы). Фоновый диапазон растворённых металлов в данном районе был установлен В. М. Шулькиным экспертно. Фоновые диапазоны содержания металлов в водорослях верифицированы на основании связей между ними и растворёнными элементами (прибрежные воды Японского моря).

Цель данной работы — выявить причины, вызывающие нарушение связи между содержанием металлов в организмах и в среде при концентрации металла в среде в пределах фонового диапазона.

Материалы — данные по содержанию металлов в водорослях [*Fucus distichus* subsp. *evanescens*, *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Stephanocystis crassipes* (= *Cystoseira crassipes*)] и в воде [растворённая форма]. Пробы отобраны в 1987 г. вдоль побережья Приморского края (западная часть Японского моря) и в 2017 г. в заливе Петра Великого. Металлы в воде и организмах определялись методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии в лаборатории ТИГ ДВО РАН.

Растворённые концентрации металлов, для которых имелись данные по содержанию в водорослях, кроме цинка, принадлежали фоновому диапазону. Изучение зависимостей между содержанием металлов в организмах и в воде показало, что концентрации Fe, Mn, Cu, Ni и Cd в организмах и в воде не коррелируют между собой. Только концентрация Zn в водорослях линейно связана с содержанием растворённого элемента. На участке кривой, соответствующей фоновым концентрациям Zn в среде и организмах, линейная зависимость также отсутствовала.

Кроме того, коэффициенты накопления металлов водорослями [КН — отношение концентрации металла в организме ( $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сух. массы) к концентрации металлов в среде ( $\text{мкг} \cdot \text{мл}^{-1}$ )] экспоненциально изменяются от содержания металла в среде: в области их фоновых концентраций в среде (до  $0,8 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) КН наиболее высоки и изменчивы. На границе между фоновыми и избыточными концентрациями элемента в воде кривая КН изменяет угол наклона на более пологий и мало изменчивый. Это изменение угла наклона кривой связано, вероятно, с выходом организмов из фоновых условий в загрязнённую элементом среду.

В экспериментах неоднократно показано, что скорость накопления микроэлементов организмами из среды с низкими концентрациями выше, чем из среды с высокими концентрациями. Скорость их аккумуляции в течение времени  $t$  (мин, ч) подчиняется кинетической кривой, описываемой уравнениями Михаэлиса — Ментен или Ленгмюра, то есть накопление элементов происходит по механизму насыщения. Благодаря высокой скорости накопления металлов организмами из фоновых условий, которая обратно пропорционально зависит от их концентрации в среде, происходит обеспечение организмов физиологически необходимым количеством элементов. Снижение скорости накопления при избытке элемента происходит благодаря насыщению ионами функциональных мест связывания на поверхности организмов (физической и химической сорбции), а также подключению механизмов контроля за его содержанием внутри клетки как у животных, так и у растений.

Таким образом, отделение фоновых концентраций от повышенных и высоких в воде и организмах имеет место благодаря графически видимому переходу от высоких коэффициентов накопления элементов к более низким на кривой изменчивости КН от содержания растворённого металла в среде.

Отсутствие связи между накоплением металла в организме и в среде в фоновом диапазоне обусловлено, вероятно, тем, что концентрация элемента в водной среде в этих границах не является лимитирующим фактором для организма. Высокая суточная и межгодовая изменчивость концентрации элементов в организмах зависит от внешних условий (количества света, температуры), то есть тех факторов среды, которые влияют на скорость роста. Даже в фоновых по содержанию элемента условиях вместе со скоростью роста изменяются и концентрации элементов — увеличиваются при ухудшении условий среды и снижаются при благоприятных условиях. Высокая продуктивность и биомасса акваторий также оказывают разбавляющее влияние на содержание металла в организмах.

Итак, в фоновых условиях при низких концентрациях элементов ведущими факторами накопления металлов организмами являются процессы биоассимиляции и хемосорбции, протекающие на их поверхности с наибольшей скоростью, потребность в элементе, а также факторы среды, оказывающие влияние на скорость роста организмов. Благодаря этому связь между содержанием элемента в среде и организме исчезает. При избытке элемента в среде он начинает воздействовать на организм как фактор, лимитирующий рост и развитие. Концентрация металла в организме увеличивается, появляется линейная зависимость между содержанием металла в организме и в среде.

В связи с исчезновением зависимости между элементным составом организмов и среды в фоновом диапазоне проводить оценку загрязнения с помощью биоиндикаторов необходимо с осторожностью и с учётом фонового диапазона: рост и снижение концентраций в организмах в границах фонового диапазона чаще связаны не с загрязнением, а с физиологическими особенностями накопления и с ведущими абиотическими факторами среды. Только тогда, когда концентрации металла в организмах превышают пределы фонового диапазона, можно говорить о загрязнении среды и необходимости поиска источника повышенных концентраций металла.

## Распределение тяжёлых металлов в донных отложениях прибрежных районов российского сектора Чёрного и Азовского морей

Чужикова-Проскурнина О. Д.<sup>1</sup>, Проскурнин В. Ю.<sup>1</sup>, Терещенко Н. Н.<sup>1</sup>, Кобечинская В. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ [olga88.chp@ya.ru](mailto:olga88.chp@ya.ru)

Тяжёлые металлы относятся к токсичным загрязняющим веществам, требующим постоянного мониторинга для своевременного обнаружения источников их поступления в окружающую среду. Крупномасштабные мониторинговые съёмки проб донных отложений в прибрежных районах современного российского сектора Чёрного и Азовского морей в последнее время не проводились. Это обуславливает актуальность выбранной темы исследования.

Цель работы состояла в изучении распределения тяжёлых металлов в донных отложениях прибрежных районов всего российского сектора Чёрного и Азовского морей.

Донные отложения отбирались на 15 мониторинговых станциях. В Чёрном море донные отложения отбирались на 4 станциях у западного побережья Крыма (ст. 1 — в Каркинитском заливе, ст. 2 — у мыса Тарханкут, ст. 3 — на траверзе г. Евпатории, ст. 4 — у г. Севастополя); на 4 станциях в акватории Южного берега Крыма (ст. 5 — в бухте Ласпи, ст. 6 — у г. Ялты, ст. 7 — у г. Судака, ст. 8 — в Феодосийском заливе); на 2 станциях в предпроливье Керченского пролива (ст. 9 — со стороны Чёрного моря, ст. 10 — со стороны Азовского моря). В Азовском море донные отложения отбирались в Арабатском заливе (ст. 11) и около Таганрогского залива (ст. 12), а также на 3 станциях у Черноморского побережья материковой части России (ст. 13 — у г. Анапы, ст. 14 — у г. Новороссийска, ст. 15 — у г. Туапсе). Отбор проб осуществлялся дночерпателем «Океан» в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (4–29 июня 2020 г.). С помощью тонкостенной акриловой трубки ( $\varnothing = 58$  мм) производилось снятие поверхностного слоя отложений (0–5 см).

Пробы донных отложений обрабатывались методом кислотной минерализации в соответствии с ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. В минерализатах проводили определение концентраций 15 элементов (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Co, Ni, V, Mo, As, Sb, Se, Ag, Tl и Be) в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре PlasmaQuant MS Elite фирмы Analytik Jena AG в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для оценки уровня загрязнённости донных отложений были использованы МРС (maximum permissible concentration), приведённые в «голландских листах». В качестве приоритетных загрязнителей в донных отложениях в данной работе определены те элементы, концентрации которых превысили 20 % МРС.

Концентрации меди в донных отложениях находились в пределах 5,34–34,19 мг·кг<sup>-1</sup> и на 9 станциях (4, 6–8, 10–12, 14, 15) превысили 20 % МРС. Максимальные значения зафиксированы на ст. 4 и 14 — около 50 % МРС. Концентрации цинка в донных отложениях составили 9,27–96,13 мг·кг<sup>-1</sup> и ни в одном из случаев не достигли 20 % МРС. Максимальное значение концентрации определено на ст. 14 — 15 % МРС. Наибольшая концентрация свинца, 28,86 мг·кг<sup>-1</sup>, обнаружена в донных отложениях на ст. 4, это около 5 % МРС. В остальных случаях полученные концентрации оказались ещё ниже.

Концентрации кобальта в донных отложениях составили 1,79–9,40 мг·кг<sup>-1</sup> и превысили 20 % МРС на всех станциях, кроме ст. 1 и 2. На ст. 11 и 12 концентрации кобальта практически достигли 50 % МРС. При этом 20 % МРС по никелю превысили концентрации в донных отложениях на всех станциях, кроме ст. 1. Более того, на 9 станциях концентрации достигли значений выше 50 % МРС, а на ст. 14 зафиксировано превышение МРС.

Концентрации железа в донных отложениях находились в интервале 5,58–33,46 г·кг<sup>-1</sup>, что соответствует фоновым значениям содержания железа в донных отложениях исследуемых районов.

Содержание ванадия в донных отложениях на всех станциях, кроме ст. 1, было выше 20 % МРС — от 8,24 до 334,21 мг·кг<sup>-1</sup>. При этом на ст. 11 и 12 значения достигли уровня МРС, а на ст. 14 концентрация ванадия превысила МРС в 6 раз.



Концентрации молибдена в донных отложениях оказались очень низкими и в большинстве случаев не достигли даже 1 % МРС. На ст. 14 содержание молибдена оказалось существенно выше,  $15,92 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ , но и это значение едва достигает 8 % МРС.

Концентрации серебра в донных отложениях оказались ниже предела детектирования на всех мониторинговых станциях, а селен и кадмий удалось определить только на ст. 14. Там значения составили  $10,46$  и  $2,41 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  соответственно, что для кадмия составляет 20 % МРС, а по селену превышает МРС в 3,6 раза.

Низкие концентрации в донных отложениях характерны и для таллия (за исключением ст. 14): на 11 станциях они не достигают 10 % МРС, а на 3 станциях находятся ниже предела детектирования. На ст. 14 полученная концентрация значительно выше остальных,  $1,83 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ , что составляет 70 % МРС.

Максимальная концентрация мышьяка в донных отложениях обнаружена на ст. 14 ( $16,20 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ), а сурьмы — на ст. 12 и 14 ( $0,48$  и  $0,23 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  соответственно). Если для сурьмы эти значения соответствуют 2–3 % МРС, то для мышьяка концентрация достигла 29 % МРС. При этом на других станциях концентрации мышьяка были ниже 20 % МРС, хотя в большинстве случаев превышали 10 % МРС.

Концентрации бериллия в донных отложениях на 13 станциях превысили 20 % МРС, изменяясь в диапазоне от  $0,24$  до  $0,67 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ . При этом на ст. 1 концентрация оказалась ниже предела детектирования, а на ст. 13 значение составило  $0,09 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Превышение МРС обнаружено:

- на ст. 14 — незначительное превышение по никелю, в 6 раз по ванадию, в 3,6 раза по селену;
- на ст. 11 и 12 — концентрации ванадия достигли значения МРС.

Можно сделать вывод, что превышение МРС тяжёлых металлов в донных отложениях является единичным событием для ограниченного количества загрязнителей. Особого внимания заслуживает район около г. Новороссийска (ст. 14), где зафиксировано превышение МРС сразу по трём элементам.

Приоритетными загрязнителями донных отложений для изучаемых районов в целом оказались Cu, Co, Ni, V и Be как в Чёрном море, так и в Азовском. На ст. 2, 3, 5, 9 и 13 в перечень приоритетных загрязнителей не вошла медь. На ст. 1 ни для одного из исследуемых элементов в донных отложениях значение не превысило 20 % МРС. Напротив, на ст. 14 список приоритетных загрязнителей донных отложений пополнили кадмий, мышьяк, таллий и селен.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

## Методологические и нормативно-правовые проблемы разработки и использования карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти

Шавыкин А. А., Карнатов А. Н.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [anatoli.shavykin@mail.ru](mailto:anatoli.shavykin@mail.ru)

Карты уязвимости прибрежно-морских зон от нефти и нефтепродуктов (далее — от нефти) являются важным элементом планирования операций по ликвидации разливов нефти (далее — ЛРН). Использование таких карт позволяет минимизировать ущерб от разливов и от самих операций по ЛРН. Международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по охране окружающей среды и социальным вопросам (Irieesa) отмечает: «Составление и обновление карт уязвимых зон является ключевым моментом процесса планирования. Эти карты дадут важную информацию ликвидаторам разлива, показав, где находятся различные прибрежные ресурсы, и обозначив экологически чувствительные зоны». Далее под картами уязвимости подразумеваются карты уязвимости акваторий (как вблизи береговой линии, так и в открытом море) и карты чувствительности береговой линии по ESI (Environmental Sensitivity Index). Такие карты, объединённые в единый комплекс, позволяют максимально эффективно проводить операции по ЛРН.

Подобные карты разрабатываются и используются во многих странах, связанных с добычей и/или транспортировкой нефти. Ещё в 1980-х гг. в США были подготовлены карты ESI для всего побережья страны. Есть два руководства международных организаций по составлению карт чувствительности для ЛРН (1994 и 2012 гг.), в том числе на русском языке; такие карты являются многоуровневыми (оперативными, тактическими, стратегическими). Многие страны разработали свои методики построения карт уязвимости акваторий прибрежных и морских зон. Так, в Норвегии используется методика оценки приоритетности защиты природных ресурсов при ЛРН в прибрежной зоне. В рамках международного проекта BRISK предложена соответствующая методология для Балтийского моря. Есть и российские разработки, авторы которых (Погребов В. Б., Блиновская Я. Ю., Новиков М. Б., Шавыкин А. А. и др.) предлагают различные подходы к построению карт. Подробный обзор многих методик дан в монографии «Кольский залив и нефть» 2018 г. Между тем в России нет требования в нормативных документах использовать такие карты при ЛРН.

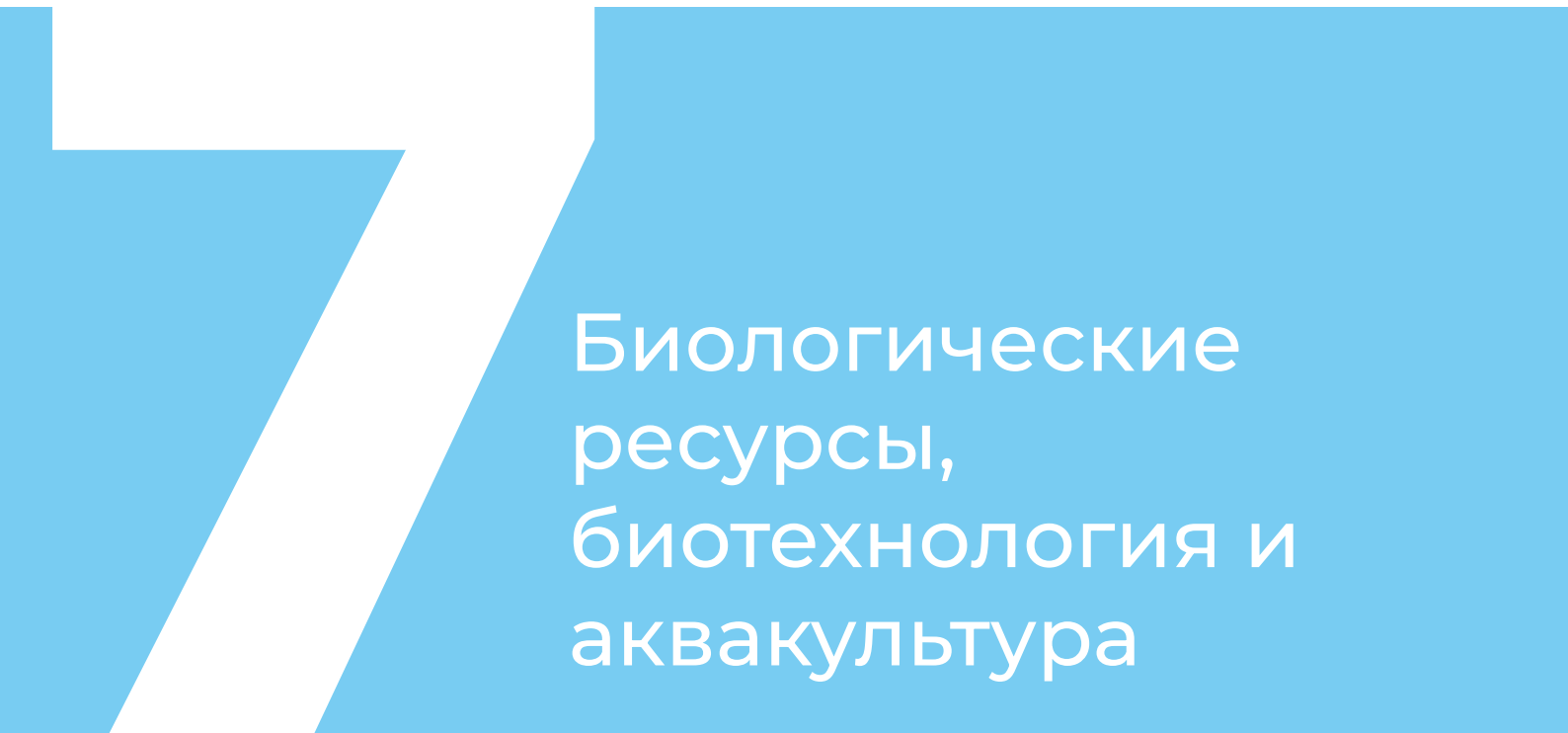
Один из основных недостатков многих методик, в том числе упомянутых выше (включая наши первоначальные разработки), состоит в том, что при расчётах карт используются арифметические действия с порядковыми величинами, а это недопустимо. Все расчёты должны выполняться с метрическими величинами на шкале отношений. Основные методологические проблемы: 1) разработка, обоснование, согласование и утверждение общего алгоритма расчёта уязвимости территории от нефти; 2) объединение карт уязвимости акваторий и карт ESI в единый комплекс карт; 3) оценка значений коэффициентов уязвимости ( $V$ ) учитываемых компонентов экосистемы в морской среде и на литорали; 4) обоснование доли вклада уязвимости компонентов разной природы в общую уязвимость и их суммирование; 5) выбор способа деления всего диапазона итоговой уязвимости на поддиапазоны; 6) стыковка соседних (в пространстве и по сезонам) карт уязвимости и др.

Для каждого картографируемого района необходимо иметь: а) перечень учитываемых компонентов экосистемы [групп биоты ( $b_i$ ), социально-экономических объектов ( $c_j$ ), охранных территорий ( $d_k$ )]; б) требуемые данные по ним; в) границы сезонов для рассчитываемых карт; г) характеристики береговой линии, дна, льда в районе и др. Расчёт коэффициентов уязвимости групп биоты ( $Vb_i$ ), вероятно, можно делать с учётом их чувствительности к нефти, её потенциального воздействия, восстановления биоты. Остальные коэффициенты ( $Vc_j$ ,  $Vd_k$ ) можно оценивать экспертно на основе экономического или экологического ущерба от разлива или методом анализа иерархий.

Отдельные перечисленные проблемы в той или иной степени, как нам представляется, решены. В этом отношении опыт ММБИ кратко изложен в ряде статей в российских и зарубежных изданиях и в монографии, указанной выше. Все расчёты делаются на шкале отношений, но оценки, лежащие в основе расчётов, требуют дальнейшей проверки и уточнения.

Принципиально важная проблема — включение требования использования карт уязвимости в нормативные документы разного уровня, в том числе в федеральные законы, постановления Правительства РФ, приказы федеральных министерств, своды правил Минстроя РФ (относящиеся к инженерно-экологическим изысканиям), документы Морспасслужбы Росморречфлота (данная структура непосредственно отвечает за ЛРН) и др. Пока это отсутствует. В последние 3 года велась переписка ММБИ с Минприроды РФ, Росприроднадзором, а также с Мурманской областной думой. Ответы есть (иногда только при напоминаниях от Администрации Президента), но не от всех (так, нет ответа от Общественной палаты РФ). Результат по этой проблеме на данный момент нулевой. Активно действует «регуляторная гильотина», сократившая различные нормативные документы для упрощения работы частных компаний. Не помогли и обращения в Минприроды РФ и Госдуму через сенаторов и депутатов от Мурманской области. Были различные ответы (в том числе подписанный министром природных ресурсов), но в целом суть всех ответов одна: того, что содержится в постановлении Правительства РФ от 30.12.2020 № 2366, достаточно для ЛРН, и изменений не требуется. А в тексте этого постановления говорится, что для зоны воздействия разлива даётся только описание его негативных последствий. В целом без решения вопроса о включении требования об использовании карт уязвимости в планах и операциях по ЛРН вряд ли можно говорить о полноценной и быстрой разработке соответствующей методики, учитывая финансирование российской науки и подход нефтяных компаний к таким картам.

На данном этапе необходим сбор и анализ большого объёма информации, уже имеющейся в мировой литературе, практически по всем проблемам и вопросам (см. пп. 1–6), которые связаны с разработкой российской методики. Вместе с тем нужен пример таких разработок (на основе варианта предлагаемой методики) для одного-двух достаточно обширных, но ограниченных районов, например для Кольского залива, российской части Финского залива, части Печорского моря и т. д. Здесь всё упирается в сбор полной информации о картографируемом районе, необходимой для расчётов по методике, — о гидрометеорологических условиях, структуре и свойствах береговой линии (ширине литорали, гранулометрическом составе, уклоне, волновой нагрузке и др.) и дна, о биоте (по подгруппам основных групп — фито- и зообентоса, рыб, птиц, морских млекопитающих), природоохранных территориях, социально-экономических объектах. Всё это должно представляться по сезонам и в требуемых, возможно 2–3, масштабах. Крайне важна информация о свойствах нефти, разлив которой может произойти, и о её поведении в воде (растворении, диспергировании, осаждении на дно, образовании нефтяных муссов и т. д.), а также о взаимодействии нефти с дном, льдом, взвесью, берегом (проникновении в грунт, задержке на берегу, скорости смыва и др.). Сбор всех данных мог бы быть сделан в ходе инженерно-экологических изысканий для шельфовых проектов (СП 502.1325800.2021 и СП 504.1325800.2021), хотя в указанных сводах правил такого требования в полном объёме нет. Здесь нужна законодательная инициатива федеральных органов. Но пока просматривается нежелание федеральных властей и нефтегазовых компаний серьёзно, а не на словах, решать экологические вопросы и защищать морскую природную среду от возможных разливов нефти.

The image features a white background with two large, overlapping blue geometric shapes. The shape on the left is a trapezoid with a vertical left edge and a slanted right edge. The shape on the right is a larger trapezoid that overlaps the first one, also with a vertical left edge and a slanted right edge. The text is centered within the right-hand blue shape.

Биологические  
ресурсы,  
биотехнология и  
аквакультура

## О реализации экологического подхода к искусственному разведению тихоокеанских лососей через трансформацию бионормативов

Гринберг Е. В.

ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск, Россия

✉ [ekaterina-grinberg@yandex.ru](mailto:ekaterina-grinberg@yandex.ru)

Искусственное разведение (воспроизводство) и пастбищное рыбководство тихоокеанских лососей — значимая составляющая рыбного хозяйства не только Сахалинской области, но и Дальневосточного региона. Обе формы аквакультуры осуществляют на так называемых лососёвых рыбководных заводах (далее — ЛРЗ). Весь рыбководный цикл (от работы с производителями до выпуска мальков сеголетков), поделённый на периоды биотехнической цепочки, регламентируется «биотехническими показателями по выращиванию молоди», которые до 2010 г. в руководящих документах именовались иначе — «биотехнические нормативы по разведению молоди».

Изменение бионормативов, о которых пойдёт речь далее, началось в 1999 г. и было связано с некоторой реформой биотехники искусственного разведения (далее — ИР) лососей, в основном рыб с коротким технологическим циклом (кеты и горбуши). Например, инкубаторы дальневосточного типа на современных ЛРЗ были заменены на аппараты «Бокс», Аткинса и «Стеллаж»; выдерживание предличинок стали осуществлять, используя искусственный трубчатый или «сотовый» субстрат; молодь перед выпуском подращивали, применяя полноценные сбалансированные сухие корма, изготовленные способом гранулирования или экструдирования. В своей ежедневной работе на ЛРЗ рыбководы, применяя современное оборудование, опираются на биотехнические показатели или биотехнические нормативы.

Бионормативы (показатели), действовавшие с 1999 г., уже были изменены трижды — в 2010 г. (действовали с 2011 по 2013 г.), в 2013 г. (действовали до 2015 г.) и в 2015 г. (действуют в настоящее время). К сожалению, вопреки логике развития лососеводства и его экологизации, бионормативы были упрощены, и даже слово «нормативы» в 2011 г. было заменено на «показатели». Таким образом, обязательные к исполнению нормативы стали носить необязательный, или рекомендательный, характер. Количество пунктов в таблице биотехнических показателей сократилось с 32–41 до 11. В ныне действующих показателях:

- отсутствуют указания на плотность загрузки икры в инкубационные аппараты, на плотность посадки предличинок при выдерживании и молоди при подращивании;
- нет сведений об оптимальном диапазоне температуры воды и содержания в ней растворённого кислорода на всех этапах производственного процесса;
- не регламентируется работа по выдерживанию производителей и стимулированию созревания их гонад экологическим способом.

В XXI в. нет сомнений в том, что дальнейшее совершенствование биотехники ИР тихоокеанских лососей и повышение эффективности работы ЛРЗ возможны только на основе экологического подхода к рыборазведению и перевода всей системы на «экологические рельсы». Лишь глубокое понимание законов и закономерностей искусственных экосистем и искусственно разведённых группировок рыб позволит добиться выпуска качественной, жизнестойкой молоди в количестве, превышающем договорные обязательства на 10–15 %, и значительного промыслового возврата на уровне мировых показателей. Например, возврат кеты может и должен составлять 2–5 % и более.

Для реализации экологического подхода к разведению лососей на ЛРЗ Дальнего Востока требуется комплексный (системный) подход, включающий: подготовку квалифицированных кадров (по программам бакалавриата, магистратуры и специалитета) и переподготовку / повышение квалификации рыбководов с ЛРЗ; совершенствование биотехники ИР традиционных объектов и разработку биотехники ИР новых рыб семейства лососёвых; внедрение новейшего, прогрессивного рыбководного оборудования; изучение механизмов импринтинга и смолтификации (определение простых и чётких маркеров готовности молоди к кату); исследование приёмной мощности приустьевых зон

базовых водотоков и многие другие направления. Одним из самых важных и первоочередных действий в рамках системного подхода должно стать коренное изменение (трансформация) биотехнических показателей по разведению тихоокеанских лососёвых рыб.

Прежде всего биопоказателям следует вернуть название «Биотехнические нормативы». В них обязательно нужно включить (для всех периодов производственного процесса): оптимальные температуру воды и содержание растворённого кислорода; плотность посадки или загрузки в каналы/бассейны, инкубационные аппараты; их глубину, скорость течения воды; допустимый перепад температур при смене воды и др. Из специфических нормативов (хотя бы примечанием) следует указать особенности той или иной формы кеты — озёрной или речной, осенней или летней. Особое внимание в бионормативах следует уделить работе с производителями, так как именно в период завершения гонадогенеза у них закладывается успех производства в целом — качество и количество выпущенной молоди. В этот раздел биотехнических нормативов дополнительно необходимо включить не только сведения о гидрохимическом составе воды, осцилляции и освещённости, но и рекомендацию Юрия Петровича Алтухова, известную как правило «25 × 50 × 25», о пропорциональном пропуске на естественные нерестилища, изъятия для целей ИР и сбора икры от производителей в течение всего нерестового хода.

Сформировать (трансформировать) бионормативы, отвечающие понятию экологического подхода к ИР тихоокеанских лососей (пастбищному рыбоводству), несложно. Достаточно вернуться к нормативам, действовавшим до 2013 г., и добавить нормативы для нового, современного оборудования и те оптимальные значения экологических факторов среды, которые определены многими исследователями лососеводства на Дальнем Востоке.

Трансформация бионормативов по ИР тихоокеанских лососей, и прежде всего основных объектов лососеводства — горбуши и кеты, позволит не только полностью реализовать экологический подход к этой специфической форме рыбоводства, но и наладить контроль со стороны территориальных управлений Федерального агентства по рыболовству (ФАР). Обладая таким «инструментом» (нормативами, утверждёнными ФАР), специалисты территориальных управлений смогут не рекомендовать (как они вынуждены это делать сейчас, когда в показателях остались только значения производственного отхода или выживаемости по периодам рыбоводного цикла), а требовать на законных основаниях создания, поддержания и соблюдения принципа оптимальности экологических условий содержания рыбоводной продукции на ЛРЗ.

Под «специфичностью» ИР и пастбищного рыбоводства понимается прежде всего изъятие диких производителей, а не работа с маточным стадом; короткая продолжительность рыбоводного цикла — от икринки до малька, а не от икринки до товарной рыбы; нагул (набор биомассы) за счёт естественной кормовой базы в открытых водоёмах, а не за счёт кормления искусственными кормами в закрытых водоёмах или ёмкостях. И именно эта специфика требует бережного, экологического подхода, сочетающего законодательные (бюрократические) стороны лососеводства с биологическими и практическими.

## Изменение показателей генетического полиморфизма сиговых рыб при искусственном воспроизводстве

Жигилева О. Н., Селюков А. Г., Алексеева Е. А., Похазникова А. А.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

✉ o.n.zhigileva@utmn.ru

Сиговые рыбы (муksун, чир, сиг-пыжьян, пелядь, ряпушка и др.) являются ценными объектами промысла. При исчерпании запасов ценных видов рыб в естественных условиях вследствие перелова и техногенного пресса многие из видов вводятся в аквакультуру. При компенсационном рыбоводстве, когда подрощенная в искусственных условиях молодь выпускается для пополнения природных популяций, ключевое значение имеет сохранение генетических характеристик. Условия выращивания на рыбоводных заводах существенно отличаются от природных. Это может не только отражаться на выживаемости и репродуктивных характеристиках выпускаемых рыб, но и вести к изменению генетической структуры и показателей полиморфизма, отличающихся от таковых исходной, родоначальной популяции. Подобная практика может привести к трансформации и обеднению генофонда природных популяций. Чтобы избежать негативных последствий, необходимо проведение генетического мониторинга как природных популяций, так и выпускаемой молоди. Данное исследование посвящено оценке параметров генетического полиморфизма двух видов сиговых рыбы — муксуна (*Coregonus muksun*) и чира (*Coregonus nasus*) — в период раннего онтогенеза при инкубации икры и выращивании молоди в условиях рыбоводного предприятия.

Икра чира была получена в результате естественного нереста производителей в 2020 г. в реке Сось (приток Оби) и инкубировалась на Собском рыбоводном заводе. Икра муксуна была получена от естественно нерестящихся производителей в реке Обь (среднее течение) и инкубировалась в Уватском центре аквакультуры, расположенном в селе Уват Тюменской области. Оба предприятия специализируются на искусственном воспроизводстве ценных видов рыб. Собский рыбоводный завод расположен на нерестовой реке Сось, в предгорьях Полярного Урала, ближе всего к традиционным местам нагула сиговых видов рыб, что увеличивает вероятность выживания большего числа выпущенной в компенсационных целях молоди. Материал для генетических исследований был собран в 2020–2021 гг. путём фиксации эмбрионов и личинок на различных стадиях развития, а также анализа погибших в процессе инкубации особей (вариант «отход»). Материал был зафиксирован в 70%-ном этаноле.

Анализ генетического разнообразия опытных партий осуществляли в 2020–2022 гг. Для изучения полиморфизма использовали метод ISSR-PCR (Inter Simple Sequence Repeat Polymerase Chain Reaction), в котором в качестве участков отжига праймеров в ПЦР применяются микросателлитные локусы. В работе с муксуном использованы ISSR-праймеры UBC809 ((AG)<sub>8</sub>G), UBC807 ((AG)<sub>8</sub>T) и UBC818 ((CA)<sub>8</sub>G); в работе с чиром — UBC818 ((CA)<sub>8</sub>G) и UBC823 ((TC)<sub>8</sub>C). В общей сложности было генотипировано 96 эмбрионов муксуна, зафиксированных на 35–36, 48, 123 и 130-й дни после оплодотворения, и 96 личинок чира. Расчёт показателей полиморфизма производили с помощью программного обеспечения PopGen.

У муксуна в начале инкубации икры (декабрь) и перед вылуплением (март) доля полиморфных ISSR-ампликонов не менялась и составила 77,8 %; величина генетического разнообразия также была стабильна (0,32–0,33), что свидетельствует о том, что условия искусственного воспроизводства не повлияли на генетическое разнообразие этого вида. Выявлены статистически значимые различия по частотам отдельных ампликонов между погибшими и выжившими особями в начале и конце инкубации, что обусловлено, возможно, эффектами отбора. Среди погибших эмбрионов показатели генетической изменчивости достоверно не отличались от таковых среди выживших особей.

У чира были получены паттерны из 20 ампликонов. Выявлен высокий уровень генетического полиморфизма: 100 % ампликонов были полиморфны; средняя ожидаемая гетерозиготность личинок, вылупившихся после инкубации в условиях рыбоводного предприятия, составила 0,42. Выявлены статистически значимые различия по частотам восьми (40 %) ампликонов между выжившими и погибшими эмбрионами, которые указывают, вероятно, на отбор генотипов, устойчивых к условиям искусственной инкубации. При этом достоверного изменения уровня генетического разнообразия



у выживших личинок не наблюдалось. Среди погибших особей показатели генетического полиморфизма в три раза ниже по сравнению с контролем, что свидетельствует о гибели наиболее гомозиготной части особей.

Таким образом, при инкубировании икры и выращивании личинок сиговых рыб в искусственных условиях наблюдаются сдвиги частот аллелей отдельных генных локусов, которые могут быть следствием эффектов отбора и привести при выпуске молоди к изменению генотипического состава естественных популяций. В целом у муксуна эти сдвиги не отразились на уровне генетического полиморфизма. У чира произошло увеличение показателей полиморфизма, видимо за счёт гибели наиболее гомозиготной части особей и вследствие отбора в пользу гетерозигот. Различия в результатах, полученных на разных видах, могут быть обусловлены разницей в изученных стадиях онтогенеза или указывать на видовую специфику генетических систем сравниваемых видов. Известно, что чир — один из самых сложных объектов для искусственного выращивания, характеризующийся повышенным отходом икры. Возможно, высокий процент гибели икры характерен для этого вида и в природных условиях, вероятно вследствие нестабильности кариотипа. Хотя технология, применяемая на изученных рыбоводных предприятиях для получения молоди сиговых рыб, в целом способствует сохранению или даже повышению уровня генетического полиморфизма чира и муксуна, данные о сдвиге частот генов и различия в динамике показателей полиморфизма разных видов сиговых рыб при искусственном воспроизводстве диктуют необходимость продолжения генетических исследований с вовлечением более поздних стадий онтогенеза, а также природных популяций этих ценных видов рыб.

Выражаем благодарность Д. Н. Колесникову и Е. В. Ефремовой (ООО «НПО «Собский рыбоводный завод»), а также Л. Е. Брюшко [ООО «МБМ» («Уватский центр аквакультуры»)] за содействие в сборе материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ЯНАО (рег. № 19-44-890009).

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/28.pdf>.



## Анализ морфологических особенностей тимуса молоди морских рыб — возможных объектов марикультуры

Журавлева Н. Г.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

✉ [nonnazh@yandex.ru](mailto:nonnazh@yandex.ru)

---

Основной функцией тимуса в настоящее время считают становление иммунологической реактивности организма.

У рыб тимус представляет собой оформленный орган и располагается, как и лимфоидные скопления у круглоротых, поверхностно, в своеобразных пазухах черепа в заглазничной области; от глоточной полости он отделён тонким слизистым эпителием.

У предличинки трески не отмечено подразделение тимуса на корковый (кортекс) и мозговой (медулла) слои. Эпителиальный слой, отделяющий тимус от полости глотки и омывающей воды, содержит крупные слизистые клетки, которые напоминают бокаловидные. Этот слой является продолжением глоточного эпителия. У личинок трески в возрасте 3 недель тимус представлен парными бугорками, выступающими в жаберную полость. Корковый слой занимает большую часть органа и состоит из синцитиально связанных клеток и большого количества лимфоцитов. Мозговой слой в этот период находится в зачаточном состоянии. В тимусе молоди трески в возрасте 35–60 дней можно выделить резко ограниченные друг от друга три слоя — периферический, корковый и мозговой.

У личинок палтуса в возрасте 2,5–3 месяцев тимус разделён на дольки соединительнотканными септами. Тимус содержит тельца Гассалья, состоящие из концентрически наложенных друг на друга плоских клеток, самые внутренние из которых находятся в состоянии зернистого распада. Кроме телец Гассалья, встречаются крупные светлые ретикулярные клетки округлой формы. В тимусе белокорого палтуса в возрасте 100 дней видна чёткая граница между корковым и мозговым слоями.

У личинок губана-чистильщика *Labrus bergylta* в возрасте 35–42 суток тимус гистологически не структурирован на слои. В периферическом слое тимуса отмечены специфические для чистильщика крупные слизистые клетки. Основа тимуса — корковый слой. Мозговой слой только начинает формироваться. Спустя 49 суток после вылупления особи тимус уже представлен тремя слоями — периферическим, корковым и мозговым.

У личинок пинагора в возрасте 42 суток основу тимуса составляет только корковый слой. Спустя 80–90 суток после вылупления особи в тимусе уже чётко выражены периферический, корковый и мозговой слои. Дефинитивное гистологическое строение тимуса у личинок трески, палтуса, чистильщика и пинагора наблюдается после окончания метаморфоза.

## Биотехнология кормовых продуктов из микро- и макроводорослей для марикультуры трепанга

Кадникова И. А., Аминина Н. М., Дзизюров В. Д., Сухин И. Ю.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

✉ [irina.kadnikova@tinro-center.ru](mailto:irina.kadnikova@tinro-center.ru)

Дальневосточный трепанг является одним из ценных объектов марикультуры, представляющих интерес для промышленности. Искусственное воспроизводство трепанга в заводских условиях — это процесс его развития от микроскопических личинок, питающихся микроводорослями, до получения товарной продукции в виде жизнестойкой молоди. Процесс выращивания трепанга до жизнестойкой молоди можно разделить на три этапа; каждый из них требует определённого вида кормового продукта. На первом этапе, через 2 суток после оплодотворения икры, личинки переходят на экзогенное питание, и им необходим корм из микроводорослей. На втором этапе, с момента оседания личинки размером от 300 мкм до появления 70–80 % пигментированной молоди массой 30 мг, требуется стартовый корм из макроводорослей. На третьем этапе, от начала пигментации до получения 70–80 % жизнестойкой молоди массой 300 мг и выше, используют производственный корм, содержащий морские макрофиты.

Массовое производство кормовых микроводорослей является основой для проведения работ по культивированию гидробионтов, особенно двусторчатых моллюсков и личинок трепанга. При переходе к культивированию в промышленных масштабах процесс выращивания микроводорослей может занимать от 1 до 3 месяцев, и в течение этого периода должна поддерживаться высокая чистота культуральной среды.

Создание культуральной среды высокой чистоты — важнейший технологический этап при выращивании микроводорослей. В связи с этим был разработан метод дополнительной обработки морской воды гипохлоритом натрия с последующей нейтрализацией свободного хлора тиосульфатом. Для гарантированного обеззараживания хлор вносится с избытком (до  $80 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), а остаточный свободный хлор через определённое время нейтрализуется тиосульфатом натрия при соблюдении продолжительности обработки гипохлоритом.

Оптимальный режим выращивания кормовых микроводорослей в искусственных условиях был отработан на культуре *Chaetoceros muelleri*. Полученные результаты показали, что подобранный режим выращивания микроводорослей является высокоэффективным. Нарращивание культуры клеток *Ch. muelleri* достаточно хорошо аппроксимируется s-образной кривой, теоретически описывающей идеальный процесс роста клеточной культуры. Для непрерывного обеспечения живыми кормами в течение всего периода выращивания личинок и молоди гидробионтов разработан режим многоциклического выращивания микроводорослей с последовательным запуском циклов; этот режим был успешно апробирован. Общий объём выращенной суспензии микроводорослей четырёх видов — *Isochrysis galbana*, *Dunaliella salina*, *Ch. muelleri* и *Phaeodactylum tricornerutum* — составил 200,0 тыс. м<sup>3</sup>.

Вторая часть настоящей работы была посвящена разработке биотехнологии сухих кормовых смесей из макроводорослей для выращивания молоди трепанга в заводских условиях, основанной на ферментализации макрофитов.

При разработке комбикормов использовали два вида промысловых макрофитов дальневосточного побережья — анфельдию тобучинскую *Ahnfeltia tobuchiensis* и зостеру морскую *Zostera marina*. Они являются массовыми в Японском море, на побережье которого и располагаются марикультурные участки по выращиванию трепанга. В составе этих макрофитов содержание полисахаридов и белково-полисахаридных комплексов достаточно высоко. Их усвоение молодыми организмами крайне трудно из-за отсутствия в пищеварительной системе ферментов, способных перерабатывать полисахариды водорослей. Для решения проблемы перспективным направлением является ферментирование водорослей. В результате проведённых исследований подобраны ферментные комплексы для обработки разных видов промысловых растений и разработаны рациональные параметры

ферментативной обработки сырья. Показано, что ферментированные макрофиты отличаются высоким содержанием легкогидролизуемых полисахаридов, а также пониженным количеством клетчатки и сложных полисахаридов по сравнению с натуральными водорослями.

Разработаны рецепты и технологическая схема получения комбикормов с использованием ферментированного морского сырья. В качестве дополнительных компонентов комбикормов применяли: мягкие и твёрдые ткани моллюсков, рыбную и соевую муку, ферментированные отруби, дрожжи, детрит, подорожник, метионин. Сухие кормовые смеси представляют собой порошки тонкого помола с размером частиц 15,2–17,8 мкм. Полученная опытная партия стартового комбикорма содержала 26,6 % белка, 25,0 % минеральных и 23,0 % легкогидролизуемых углеводов. Продукционный корм включал больше минеральных веществ (29,3 %), меньше белка (21,5 %) и углеводов (20,8 %). Эффективность применения в промышленных условиях комбикормов на основе ферментированных морских растений оценивали по следующим рыбоводно-биологическим показателям: абсолютный прирост молоди трепанга, среднесуточный прирост, относительный прирост, выживаемость, кормовой коэффициент.

В ходе экспериментов молодь трепанга активно поедала комбикорма и хорошо росла. Никаких видимых отклонений от нормы по внешним признакам не отмечено. За период исследования масса особей трепанга в экспериментальной группе увеличилась в 5,7 раза при величине кормового коэффициента 2,0. Масса одной особи увеличилась в среднем с 152,9 до 885,1 мг; абсолютный прирост составил 722,3 мг, среднесуточный прирост — 40,0 мг·сут<sup>-1</sup>. В контрольной группе животные несколько отставали в росте. Масса особей за период экспериментального кормления увеличилась в 4,1 раза; абсолютный прирост особи составил 359,8 мг.

Продуктивное действие корма оценивали по величине кормового коэффициента. Производственные испытания показали, что использование комбикормов с ферментированными макрофитами повышает абсолютный и среднесуточный прирост массы тела особи трепанга в 2 раза при уменьшении кормового коэффициента в 1,8 раза по сравнению с контрольным комбикормом на основе натурального сырья.

## Изменчивость линейного роста судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) крупных водных объектов на примере Камского водохранилища (Пермский край)

Казаринов С. Н.<sup>1</sup>, Комарова Л. В.<sup>1,2</sup>, Поносов С. В.<sup>1</sup>, Мерзляков И. Н.<sup>1</sup>, Михеев П. Б.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>3</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

✉ [semnikol@mail.ru](mailto:semnikol@mail.ru)

Судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) является важным объектом промышленного и любительского рыболовства во многих водохранилищах и озёрах Европы, а также в местах его акклиматизации. В Камском водохранилище (Пермский край) судак, будучи наиболее коммерчески ценным видом, занимает третье место по объёмам вылова (после леща *Abramis brama* и плотвы *Rutilus rutilus*). Современные данные о биологии судака в пределах Камского водохранилища в литературе отсутствуют. Цель работы — на основании материалов 2019 и 2021 гг. проанализировать различия в линейном росте рыб в разных районах водохранилища и в разные годы, определить наличие полового диморфизма в линейном росте, а также провести сравнение линейного роста судака Камского водохранилища с линейным ростом судака других популяций и с ретроспективными данными.

Ихтиологический материал для анализа линейного роста судака Камского водохранилища, а также для сравнения линейного роста между тремя районами Камского плёса и для выявления межгодовых различий в линейном росте был собран в нижнем, центральном и верхнем районах Камского плёса Камского водохранилища в преднерестовый и нерестовый период 2019 и 2021 гг. Отлов осуществлялся ставными сетями сечением ячеи 30–70 мм. Линейный рост рыб описывали с помощью уравнения Бергаланфи. Для оценки линейного роста выборки приводились к нормальному распределению, оценка которого осуществлялась с помощью критерия Шапиро — Уилка. Не имеющие нормального распределения выборки сравнивали непараметрическим критерием двух независимых выборок Манна — Уитни. Сопоставление данных о линейном росте судака Камского водохранилища с таковыми популяций других водохранилищ Волжско-Камского каскада проводили на основе литературных сведений. Статистическая обработка данных выполнялась по стандартным методикам с применением пакетов статистического анализа R. При определении нормальности выборок и сравнении их статистическими критериями использовали стандартный уровень значимости  $p = 0,05$ .

Сравнение линейного роста рыб между районами водохранилища за 2019 и 2021 гг. выявило значимую разницу в линейных размерах в ряде возрастных классов. В 2019 г. при сравнении нижнего и центрального районов различия обнаружены в трёх возрастных классах из восьми: рыбы в возрасте 4 лет были крупнее в центральном районе Камского плёса, а для 6–7-годовалых рыб было выявлено обратное. В 2021 г. значимые отличия наблюдались у 3–5-годовалых особей в нижнем и центральном районах, причём рыбы из центрального района характеризовались меньшими значениями длины в возрастных классах. Рыбы из верхнего района значительно отличались меньшими размерами от рыб других районов по всем рассматриваемым возрастным группам. Выявленные различия в линейном росте рыб из разных районов могут свидетельствовать о том, что в условиях Камского водохранилища сосуществуют пространственно разграниченные группировки судака, придерживающиеся определённых мест нагула. Это подтверждается исследованиями миграции судака в пределах крупных озёр, показавшими, что значительным перемещениям подвержена лишь небольшая часть особей.

Сравнение линейного роста судака в пределах каждого из районов за 2019 и 2021 гг. также выявило значимую разницу в большинстве возрастных классов в нижнем и центральном районах. В верхнем районе межгодовые различия в линейном росте рыб обнаружены не были. Линейный рост рыбы в 2021 г. в большинстве возрастных классов был выше, чем в 2019 г.

Высокий темп роста судака в 2021 г. может быть связан с более благоприятными условиями нагула в летне-осенний период 2020 г. Одним из основных объектов питания судака в водохранилищах является черноморско-каспийская тюлька *Clupeonella cultriventris*, массовый нерест которой происходит при температуре воды +22 °С. Летом 2020 г. такие условия прогрева воды сложились уже

5 июня, тогда как в 2018 г. — на месяц позже. С учётом скоротечности вегетационного периода в условиях Пермского края можно заключить, что более ранний массовый нерест тюльки 2020 г. мог привести к большей выживаемости и, соответственно, численности поколения этого года, а это могло создать более благоприятные условия для нагула хищных рыб Камского водохранилища в 2021 г. Интересно, что для судака верхнего района водохранилища межгодовой динамики роста не выявлено, что может быть связано с тем, что основные запасы тюльки сосредоточены в нижней части Камского плёса. В верхней части Камского плёса тюлька не является многочисленным видом, поскольку здесь условия обитания рыб ближе к речным. Незначительная зависимость группировки судака верхнего района от флуктуаций численности тюльки в водоёме является, по-видимому, причиной отсутствия значимой разницы в линейных размерах рыб в 2019 и 2021 гг. Неравномерное распределение запаса тюльки в разрезе районов Камского плёса также может быть основной причиной тенденции уменьшения значений размерно-возрастных характеристик рыб от верхнего района к нижнему.

Анализ межполовой изменчивости в линейном росте судака за 2019 г. был проведён на четырёх возрастных группах (6–9-годовики), за 2021 г. — на трёх (6–8-годовики); особи пойманы в центральном районе водохранилища. Самцов старше 11 лет в уловах не было. Значимые различия в линейном росте самцов и самок отсутствовали как в 2019 г., так и в 2021 г. Отсутствие существенных различий между линейным ростом самцов и самок характерно и для других популяций судака, в частности для таковой Волжского плёса Куйбышевского водохранилища.

По характеру линейного роста судак Камского водохранилища отличен от рыб из других популяций бассейна Волги. Сопоставление средних значений длины рыб в возрастных классах судака со значениями популяций вида из других водохранилищ Волжско-Камского каскада позволило выявить современное замедление линейного роста созревающих и взрослых особей в Камском водохранилище, что может указывать на различия в условиях нагула молоди и взрослых рыб этой популяции и других популяций бассейна реки Волги. При этом молодь судака Камского водохранилища характеризуется размерами, сопоставимыми с таковыми для Рыбинского и Саратовского водохранилищ.

Выявленные различия в линейном росте рыб из разных районов водохранилища свидетельствуют о сосуществовании пространственно разобщённых группировок судака, придерживающихся определённых мест нагула в пределах Камского водохранилища. Межгодовая динамика линейного роста, по всей вероятности, определяется динамикой численности ключевого кормового объекта вида — черноморско-каспийской тюльки *C. cultriventris*.

## Размерно-массовые, морфофизиологические и биохимические характеристики двух популяций (крымская и северокавказская) султанки *Mullus barbatus* (Mullidae) в Чёрном море

Куршаков С. В., Скуратовская Е. Н., Сигачева Т. Б.

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

✉ kurshackov@yandex.ru

Султанка (барабуля) *Mullus barbatus* — морской демерсальный вид рыб семейства султанковых (Mullidae). Распространена в Восточной Атлантике — от Британских островов и Скандинавии на севере до Дакара, Сенегала, Канарских островов и архипелага Кабо-Верде на юге. В Средиземном и Чёрном морях встречается у всех берегов. Заходит в Азовское море, где распространяется до акватории Таганрогского залива. Барабуля является ценным, но весьма ограниченным в настоящее время по объёмам вылова промысловым видом. Примерно 100 лет назад возле крымских берегов вылавливали в среднем 1,3 тыс. т, в основном под Севастополем, Феодосией и Керчью. В 1990-е гг. общий вылов в Чёрном и Азовском морях составил лишь 26 т. В последние годы наблюдается рост численности популяции султанки. Её уловы на шельфе Крыма и Северного Кавказа и в Керченском проливе значительно подвержены колебаниям и могут составлять приблизительно от 100 до 900 т в год.

В черноморских водах Российской Федерации обитают северокавказское и крымское промысловые стада (единицы запаса). Ареал взрослых особей кавказского стада охватывает шельфовые воды с глубинами менее 80–100 м от Адлера до Керченского пролива, крымского стада — от Тендровской косы до Керченского пролива. Главные места промысла кавказского стада барабули расположены между портовыми пунктами Туапсе и Адлер, а крымского — между Алуштой и Севастополем. Значительная часть кавказского стада весной и в начале лета мигрирует на нагул в Азовское море, преодолевая большие расстояния. Барабуля крымского стада размножается в Чёрном море, на нагул часть его особей заходит в Азовское море. С учётом высокой промысловой значимости и существенных колебаний уловов необходимо проводить исследования, направленные на оценку состояния султанки из разных районов обитания.

Цель работы заключалась в изучении размерно-массовых, морфофизиологических и биохимических характеристик двух популяций (крымская и северокавказская) султанки *M. barbatus* в Чёрном море. Материал собирали в прибрежных акваториях Севастополя (крымская популяция) и Адлера (северокавказская) в декабре 2021 г. Проводили биологический анализ, включающий определение общей и стандартной длины, массы рыбы, массы тушки, возраста, пола, стадии зрелости гонад. Учитывая тот факт, что в пробах из обоих районов существенно преобладали двухлетние самки со II стадией зрелости гонад, сравнение исследуемых параметров проводили для данной выборки. В качестве морфофизиологических характеристик определяли упитанность, индекс печени, гонадосоматический индекс. В качестве биохимических параметров в печени рыб анализировали показатели окислительного стресса [уровень перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков], антиоксидантной защиты [активность супероксиддисмутазы, каталазы (КАТ) и пероксидазы (ПЕР)] и функционального состояния печени [активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ)].

Результаты сравнительного анализа позволили установить, что активность КАТ, ПЕР, АЛТ, АСТ и ЩФ в печени экземпляров, отловленных в районе Адлера, была выше, тогда как морфофизиологические параметры — ниже соответствующих значений особей султанки из прибрежных акваторий Севастополя. По размерно-массовым характеристикам крымская и северокавказская популяции не отличались.

Обнаруженные отличия биохимических и морфофизиологических параметров могут быть обусловлены как разными условиями обитания, так и особенностями нагульных миграций двух популяций. Так, более высокая ферментативная активность в печени рыб из акватории Адлера является адаптивной реакцией организма, направленной на нейтрализацию воздействия негативных факторов среды, и свидетельствует о менее экологически благополучном состоянии этой локации по сравнению с акваторией Севастополя. При этом более продолжительные нагульные миграции северокавказского стада требуют больших энергетических затрат и, вероятно, могут являться причиной более



низкой упитанности рыб данной популяции по сравнению с крымской. В то же время отсутствие достоверных отличий между размерно-массовыми показателями (организменный уровень) сравниваемых групп свидетельствует об эффективности физиолого-биохимических (молекулярный уровень) реакций в печени рыб.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам № 121040500247-0 и 121030100028-0.

## Эколого-географическая изменчивость возраста и роста спикары *Spicara flexuosa* (Sparidae) бассейна Средиземного моря

Куцын Д. Н.

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

✉ [makaira88@gmail.com](mailto:makaira88@gmail.com)

Спикара *Spicara flexuosa* Rafinesque, 1810 — морской вид лучепёрых рыб семейства Sparidae. Обитает преимущественно в придонных слоях воды с глубинами до 130 м. Распространён в Средиземном море и прилегающей акватории Атлантического океана вдоль западных берегов Пиренейского полуострова. Повсеместно встречается в Чёрном море, редко — в Керченском проливе и южной части Азовского моря. Вид является протогинным гермафродитом: большая часть особей рождается самками, но в ходе онтогенеза часть самок инвертирует в самцов. Спикара играет заметную роль в промысле прибрежных демерсальных видов рыб.

Изучение эколого-географической изменчивости возраста и роста *S. flexuosa* необходимо для понимания физиологических и эволюционных механизмов адаптации вида. На основе этих знаний могут быть разработаны рекомендации по организации промысла.

Цель исследования — изучить географическую изменчивость возраста и роста *S. flexuosa* бассейна Средиземного моря и оценить влияние температурных условий, солёности и продуктивности на её жизненный цикл.

Акватория сбора материала охватывала участок Юго-Западного Крыма от бухты Ласпи на юге до бухты Севастопольской на севере. Отбор проб проводили в 2020–2021 гг. В качестве орудий лова использовали ставные невода с размером ячеи 12 мм. Установку неводов осуществляли на глубинах от 2 до 20 м. Объём исследованного материала — 1901 экз. В биологический анализ входило измерение общей длины (TL) и массы тела (W). В качестве регистрирующей структуры использовали отолиты (сагитты). Для моделирования линейного роста применяли уравнения Берталанфи. Для оценки темпа роста рассчитывали начальную мгновенную скорость роста  $G_{\text{init}} = kL_{\infty}$  и индекс линейного роста  $\phi' = \lg k + 2 \lg L_{\infty}$ . Сведения о возрасте и росте спикары из бассейна Средиземного моря брали из опубликованных источников. Для оценки влияния факторов среды на возраст и рост применяли корреляционный анализ Спирмена и множественный регрессионный анализ. Были рассмотрены следующие факторы: среднегодовая температура поверхности воды (SST), разница SST между летним и зимним сезоном (dSST), среднегодовая первичная продукция (PP) и солёность (S).

**Возраст и рост *S. flexuosa* из акватории Крыма.** Протогинный гермафродитизм *S. flexuosa* заметным образом отражается на характере распределений по возрасту: самцы существенно крупнее и старше самок. Максимальный возраст самок *S. flexuosa* составлял 4 года, самцов — 7 лет. Межполовые различия распределения по возрасту статистически значимы ( $\chi^2 = 1076$ ;  $df = 6$ ;  $p < 0,001$ ).

Линейный рост *S. flexuosa* из акватории Крыма описывается следующими уравнениями Берталанфи:

$$TL = 15,69[1 - e^{-0,49(t+0,69)}] \text{ для самок;}$$

$$TL = 18,32[1 - e^{-0,44(t+0,58)}] \text{ для самцов.}$$

В связи с протогинным гермафродитизмом предельная длина самок *S. flexuosa* в модели ( $L_{\infty}$ ) не характеризует размеры в конце жизненного цикла, а указывает на максимальные размеры, при которых осуществляется инверсия пола. Таким образом, для описания и сравнения особенностей роста *S. flexuosa* целесообразно использовать параметры моделей, полученные для самцов. Согласно параметрам моделей, начальная мгновенная скорость роста  $G_{\text{init}} = 8,06 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$ , индекс линейного роста  $\phi' = 2,08$ . Сравнительно высокие значения параметра  $k$  свидетельствуют о быстром достижении предельных размеров, что характерно для видов с коротким жизненным циклом.

**Изменчивость возраста и роста *S. flexuosa*.** Развитие, рост и размеры пойкилотермных животных, в особенности водных, связаны с температурой окружающей среды. Согласно имеющимся представлениям, в пределах ареала вида при снижении температуры в направлении к высоким широтам скорость развития и темп роста снижаются, а максимальные размеры увеличиваются. В соответствии с вышесказанным, *S. flexuosa*, обитающая у северных границ ареала, в условиях сравнительно низких температур, должна характеризоваться наиболее крупными размерами и низким темпом роста в начале жизненного цикла, а также высокой продолжительностью жизни. Установлено, что это правило в значительной степени соблюдается. Представители северных популяций характеризуются большими размерами. Максимальная TL у *S. flexuosa* Чёрного моря — 23,5 см, в то время как в Ионическом море и у берегов Туниса значение составляет 16,9 и 18,3 см соответственно. В популяциях высоких широт чаще регистрируются особи предельного возраста (7 лет).

При этом темп роста у представителей северных популяций не ниже, чем у южных. Так, индекс линейного роста  $\phi'$  у *S. flexuosa* Чёрного и Эгейского морей чаще выше (в среднем 2,13), чем в Ионическом море и на юге Средиземного моря (в среднем 2,08). Начальная мгновенная скорость роста  $G_{init}$  у представителей популяции из акватории Крыма (8,06 см·год<sup>-1</sup>) выше, чем у *S. flexuosa* у берегов Греции (6,44 см·год<sup>-1</sup>) и Туниса (4,53 см·год<sup>-1</sup>). Более высокий темп роста в условиях высоких широт может объясняться большей выживаемостью во время зимовки и последующим репродуктивным успехом крупных особей.

Географическая изменчивость *S. flexuosa* обусловлена неоднородностью условий обитания в пределах бассейна Средиземного моря. Установлено, что наиболее заметная отрицательная связь обнаруживается между максимальными размерами и температурой. Корреляция характеристик роста  $G_{init}$  и  $\phi'$ , а также максимального возраста  $A_{max}$  с SST тоже носит отрицательный характер. Похожим образом рассмотренные параметры коррелируют с солёностью. Однако двухфакторный регрессионный анализ (для SST и S) указывает, что температура заметнее влияет на максимальные размеры:  $L_{max} = 42,5 - 1,5SST + 0,16S$ . Корреляция сезонности (dSST) и первичной продукции (PP) с основными параметрами жизненного цикла выражена слабее. Для параметра  $L_{max}$  трёхфакторная регрессия (SST, PP и S; dSST исключён из анализа ввиду своей мультиколлинеарности с SST) будет иметь вид  $L_{max} = 49,4 - 1,84SST - 0,02PP + 0,23S$ ; для  $\phi'$  — вид  $\phi' = 3,33 - 0,08SST - 0,002PP + 0,016S$ ; для  $A_{max}$  — вид  $A_{max} = -19,9 + 1,03SST + 0,11PP - 0,23S$ . Исходя из уравнений, можно сделать вывод, что влияние температуры на жизненный цикл *S. flexuosa* выше, чем солёности. Влияние первичной продукции при этом минимально. Можно заключить, что чем выше температура, тем короче жизненный цикл и ниже темпы роста и размеры *S. flexuosa*.

Учитывая описанный выше характер изменчивости жизненного цикла *S. flexuosa*, можно предположить, что в условиях дальнейшего потепления климата у представителей популяции из акватории Крыма произойдёт снижение максимальных размеров и темпа роста в начале жизненного цикла. Можно ожидать, что выживаемость во время зимовки и эффективность воспроизводства особей с низким темпом роста увеличатся и давление отбора на эту группу снизится. При этом вероятно сокращение продолжительности жизни.

## Рейтинг гипергалинных водоёмов Западной Сибири по запасам цист и репродуктивным показателям рачков артемии

Литвиненко Л. И.<sup>1</sup>, Бойко Е. Г.<sup>1</sup>, Куцанов К. В.<sup>2</sup>, Разова Л. Ф.<sup>2</sup>, Глухих И. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»), Тюмень, Россия

✉ [litvinenko\\_li@mail.ru](mailto:litvinenko_li@mail.ru)

Развитие аквакультуры тесно связано с наличием стартовых живых кормов. Цисты артемии, из которых в течение суток можно получить науплиусы, во всём мире признаны наиболее удобным в использовании кормом для многих видов рыб и ракообразных. На территории России расположено большое количество гипергалинных озёр с промысловыми запасами цист. Географически все эти водоёмы находятся в засушливых природных зонах, подверженных значительным климатическим воздействиям, а мелководность данных озёр может в отдельные годы приводить к их полному высыханию или к увеличению солёности до критических для выживаемости артемии значений. Всё это требует особого внимания к данным водоёмам, поскольку будущее аквакультуры может оказаться под угрозой. Для решения этих проблем разрабатываются научно обоснованные принципы устойчивого сбора природных запасов цист в изменяющихся климатических условиях, а также проводятся исследования, направленные на развитие экстенсивного и интенсивного выращивания артемии и на отбор наиболее устойчивых и продуктивных её штаммов для целей аквакультуры. В связи с этим были предприняты попытки классификации природных источников артемии Западной Сибири, принципы которой возможно использовать для таких больших озёр, как Great Salt Lake и Арал, а также для внутренних озёр Китая и Казахстана. Кроме того, на основе исследованных репродуктивных характеристик выращенных в культуре рачков артемии из цист, отобранных в разных озёрах Сибири, был составлен рейтинг наиболее продуктивных популяций.

**Рейтинг гипергалинных озёр по запасам цист.** В основу классификации гипергалинных водоёмов было заложено два принципа. Первый — результаты промысла цист артемии в 2000–2019 гг. Второй — солёность воды. В первом случае учитывались такие показатели, влияющие на промысел, как размер акватории, солёность и доступность цист для промысла. Во втором упор был сделан на биологические и экологические особенности артемии при разной солёности: рачки артемии встречаются при солёности 30–360 г·л<sup>-1</sup>, нормально функционируют при 70–250 г·л<sup>-1</sup>, процветают при 100–200 г·л<sup>-1</sup> и имеют оптимум для цистообразования 130–230 г·л<sup>-1</sup>.

В анализе использованы данные по солёности и промыслу в 88 гипергалинных озёрах Западной Сибири. Предложено в качестве критериев применять:

- $M_1$  — среднюю величину по промыслу в водоёме за 2000–2019 гг. без учёта непромысловых периодов, тонны цист в сырой массе;
- $M_2$  — среднюю величину по промыслу в водоёме за 2000–2019 гг. с учётом лет без промысла, тонны цист в сырой массе;
- $N$  — количество промыслов за 20 лет, ед.;
- $S$  — солёность, г·дм<sup>-3</sup>.

Предлагаются следующие категории гипергалинных озёр:

- высшая ( $M_1 \geq 100$  т;  $M_2 \geq 80$  т;  $N = 15...20$ ;  $S = 130...230$  г·дм<sup>-3</sup>);
- средняя ( $M_1 = 20...100$  т;  $M_2 = 20...80$  т;  $N = 10...14$ ;  $S = 100...129$  и  $S = 231...250$  г·дм<sup>-3</sup>);
- низшая ( $M_1 = 5...19$  т;  $M_2 = 1...19$  т;  $N = 5...9$ ;  $S = 80...99$  и  $S = 251...289$  г·дм<sup>-3</sup>);
- условно-промысловые ( $M_1 = 1...4$  т;  $M_2 = 0,1...0,9$  т;  $N = 1...4$ ;  $S = 60...79$  и  $S = 290...310$  г·дм<sup>-3</sup>);
- непромысловые ( $M_1 < 1$  т;  $M_2 < 0,1$  т;  $N = 0$ ;  $S < 60$  и  $S > 310$  г·дм<sup>-3</sup>).

По представленной классификации, к высшей категории были отнесены 7 озёр, к средней — 15, к низшей — 20, а к условно-промысловым — 11 озёр. К разряду непромысловых отнесены 35 водоёмов, в которых за 20 лет не было ни одного случая промысла. Это связано либо с природоохранным статусом водоёмов, либо с их низкой продуктивностью.

Вылов цист артемии в озёрах, отнесённых к высшей категории (Большое Яровое, Эбейты, Большое Медвежье, Малое Медвежье, Кулундинское, Малое Яровое, Кучукское), составляет более 80 % от вылова по России. Суммарная площадь этих озёр равняется 114 220 га — 73 % акватории всех гипергалинных озёр Западной Сибири.

**Рейтинг популяций артемии по репродуктивным характеристикам выращенных рачков.** Исследовано 7 сибирских популяций (Сиверга, Сорочье, Большое Медвежье, Ульжай, Эбейты, Гашково, Большое Яровое) и одна американская (Great Salt Lake). Отобранные в озёрах цисты были проинкубированы; полученные науплиусы выращивались в лабораторных условиях при солёности 100–150 г·дм<sup>-3</sup>. Анализ репродуктивных характеристик был проведён по продолжительности жизни [в разных популяциях колебания признака — от 47 до 72 сут, в среднем (55,1 ± 2,5)]; продолжительности репродуктивного периода [20–44 сут, в среднем (32,4 ± 2,0)]; скорости созревания [17–52 сут, в среднем (28,4 ± 2,8)]; количеству потомков на самку [70–198 экз., в среднем (106,3 ± 8,8)]; цисто-рождению [21–91 %, в среднем (49,9 ± 4,4)]; живорождению [9–79 %, в среднем (52,3 ± 5,7)].

В целом исследовано 893 особи. Первое место (1 балл) по каждому критерию присваивалось за лучшие показатели, последнее — за худшие (7–8 баллов для разных критериев). Общий рейтинг составлялся по усреднённым значениям всех анализируемых критериев.

Рейтинг продуктивных показателей исследованных сибирских популяций артемии позволил выявить, что для получения продукции цист наилучшей является популяция озера Большое Медвежье, а для получения биомассы рачков — популяции озёр Большое Медвежье, Большое Яровое и Сиверга. Популяция американской артемии из Great Salt Lake, массово используемая для аквакультуры во всём мире, оказалась в этом рейтинге только на 2-й позиции по продукции цист и на 3-й позиции — по биомассе рачков.

Приведённые в исследовании примеры рейтинговой оценки промысловых гипергалинных водоёмов и популяций артемии могут быть использованы для других озёр и популяций как в России, так и в других странах ближнего и дальнего зарубежья.

Работа выполнена в рамках государственного задания Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») по прикладным темам «Совершенствование системы регулирования промысла и повышение эффективности использования ресурсов промысловых беспозвоночных гипергалинных водоёмов Российской Федерации» и «Разработка технологической документации по выращиванию рачка артемии в условиях Юга России, Республики Крым, Сибири» (№ 076-00005-20 ПР).

## Особенности действия токсических металлов на зелёные микроводоросли из родов *Bracteacoccus* (Chlorophyceae) и *Lobosphaera* (Trebouxiophyceae)

Мальцев Е. И.<sup>1</sup>, Мальцева И. А.<sup>2</sup>, Куликовский М. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Мелитопольский государственный университет, Мелитополь

✉ maltsev.ye@yandex.ru

Исследование и мониторинг негативных последствий антропогенных воздействий с целью предупреждения или уменьшения ущерба являются одними из важнейших условий организации хозяйственной деятельности и обеспечения экологической безопасности. Среди широко распространённых загрязнителей природных экосистем часто отмечаются тяжёлые металлы. На изменение их содержания чрезвычайно чувствительно реагируют микроводоросли, являющиеся важной составляющей как водных, так и наземных экосистем. В то же время тяжёлые металлы часто используются при создании стрессовых условий во время культивирования микроводорослей для увеличения концентрации целевых метаболитов в биомассе. Для изучения влияния тяжёлых металлов на зелёные микроводоросли были проведены эксперименты по исследованию характера действия разных концентраций ионов Mn и Zn на зелёные водоросли *Bracteacoccus minor* и *Lobosphaera incisa*, биомасса которых используется в биотехнологии для получения ценной 20:4 (n-6) арахидоновой жирной кислоты, каротиноидов и других пигментов. При изучении влияния цинка и марганца на штаммы водорослей их выращивали на среде BBM, к которой были добавлены  $ZnSO_4 \times 7H_2O$  и  $MnSO_4 \times 5H_2O$  в следующих вариантах концентрации ионов  $Zn^{2+}$  и  $Mn^{2+}$ : 1,0; 5,0; 25,0; 50,0; 500,0; 1000,0  $mg \cdot l^{-1}$  среды.

В результате проведённых экспериментов установлено, что Zn и Mn оказывают разное токсическое действие на штаммы *B. minor* MZ-Ch31 и *L. incisa* MZ-Ch212. *B. minor* проявил большую чувствительность к действию Zn, а *L. incisa* — к Mn. Обнаружено, что летальная доза для 50 % клеток LD50 Zn для *B. minor* и *L. incisa* находится в диапазоне 1,0–5,0  $mg \cdot l^{-1}$  раствора, а Mn — в диапазоне 1,0–5,0  $mg \cdot l^{-1}$  для *B. minor*. Для *L. incisa* LD50 Mn близок к 5,0  $mg \cdot l^{-1}$ .

Для исследования всех возможных отношений, которые возникают при действии Zn и Mn на два разных вида зелёных водорослей, был использован метод главных компонент. Он позволяет выявить новые интегрированные переменные путём объединения исходных. Анализ главных компонент обнаружил скрытые факторы, определяющие результат действия тяжёлых металлов разной концентрации на *B. minor* и *L. incisa*. На главную компоненту 1 приходилось 60,47 % общей дисперсии. Главная компонента 1 характеризовалась статистически значимыми коэффициентами корреляции с переменными, которые связаны с невысокими концентрациями тяжёлых металлов. Главная компонента 1 положительно связана с наблюдениями, касающимися *B. minor*, и отрицательно — с *L. incisa* при концентрациях Zn и Mn до 5,0  $mg \cdot l^{-1}$ . На главную компоненту 2 приходилось 27,95 % общей дисперсии. При высоких концентрациях Zn и Mn (50 и 500  $mg \cdot l^{-1}$ ) главная компонента 2 положительно связана с *B. minor* в эксперименте с Zn и с *L. incisa* с Mn, а отрицательно — с *B. minor* в эксперименте с Mn и с *L. incisa* с Zn.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что *B. minor* и *L. incisa* являются чувствительными тест-объектами для установления токсичности тяжёлых металлов и демонстрируют специфическую реакцию на Zn и Mn, а также на их различные концентрации.

Исследование выполнено за счёт гранта РФФИ (проект № 20-74-10076).

## Методические подходы к диагностике герпесвирусного заболевания устриц в Чёрном море

Мальцев В. Н.

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

✉ [maltsev66@mail.ru](mailto:maltsev66@mail.ru)

Для России герпесвирусное заболевание устриц является экзотичной болезнью; на территории страны его возбудитель (микровариант OsHV-1) лабораторно не выявлялся, но подозревался клинически во время случаев массовой гибели тихоокеанских устриц (*Crassostrea gigas* = *Magallana gigas*) в Чёрном море. Герпесвирусное заболевание тихоокеанских устриц протекает в острой форме. Моллюски внезапно, в течение нескольких дней, массово гибнут, что является очевидным клиническим признаком данной болезни. Наибольшая смертность отмечается у личинок, спата (ранней молодежи) и молоди моллюсков возрастом до 1 года, которые считаются наиболее уязвимыми. Кратковременная смертность тихоокеанских устриц достигает 70–80 %, а кумулятивная составляет до 100 %. Смертность личинок — до 100 %. В устричных питомниках вспышки герпесвирусной инфекции приводят к неудачам в получении личинок от разных маточных стад. Болезнь распространена в государствах с высоким уровнем развития устричной индустрии (Франция, Нидерланды, Ирландия, Великобритания, Норвегия, Португалия, Испания, Италия, Австралия, Новая Зеландия, США, Корея и др.); она регистрировалась в Средиземном море. В ветеринарном законодательстве РФ отсутствуют нормативные документы, регламентирующие методы диагностики и меры борьбы с этой болезнью, что создаёт предпосылки для её проникновения, в том числе из Европы, и распространения по стране.

Нами проанализированы и обобщены международные нормативные документы, а также научные публикации, характеризующие общепринятые методы диагностики этого заболевания. Возбудителем является один из генотипов (микровариант) герпесвируса устриц 1, который имеет нуклеотидные вариации (делеции) в микросателлитном локусе выше участков (генов) ORF4, а также в ORF4 и ORF42/43 по сравнению с эталонной последовательностью данного вируса (GenBank; эталонный штамм — AY509253, микровариант — HQ842610). Патогенный вирус регистрировался у многих двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*), но наиболее восприимчивыми к болезни являются устрицы рода *Crassostrea* (тихоокеанские и португальские устрицы *C. angulata*). Массовая гибель устриц при температуре воды около +16 °C — очевидный клинический признак болезни. Её явные (внешние) патолого-анатомические признаки у устриц не успевают развиваться. Показатели смертности могут существенно отличаться в различных станах и регионах; они зависят от многих факторов, включая возраст, физиологическое состояние инфицированных моллюсков и их генетическую устойчивость. В последние годы отмечается некоторое снижение масштабов и тяжести эпизоотий устриц, вызванных OsHV-1, что может быть обусловлено естественной селекцией на устойчивость к этому заболеванию или появлением изолятов вируса с ослабленной вирулентностью. Гистологический метод диагностики (окрашивание срезов толщиной 2–5 мкм гематоксилин-эозином) считается наиболее информативным и недорогим. В отношении герпесвирусного заболевания устриц он имеет низкую специфичность, при этом его чувствительность является хорошей при средней и сильной интенсивности инфекции и низкой при слабой инфекции. Характерные признаки инфицирования устриц герпесвирусом OsHV-1 — ядерные изменения в соединительной ткани (в фибробластоподобных клетках) мантии, околотротоных щупалец, жабр и пищеварительной железы, состоящие в их гипертрофии, маргинации хроматина (перинуклеарный или выемчатый хроматин), а также в пикнозе (сморщивании) ядер. Просвечивающая (трансмиссионная) электронная микроскопия позволяет визуально идентифицировать герпесвирусные частицы OsHV-1 в клетках заболевших устриц. Этот метод имеет хорошую специфичность и чувствительность. Ультратонкие срезы толщиной 80–100 нм, которые помещены на решётчатые медные сетки, контрастированные ацетатом уранила и цитратом свинца, исследуют под электронным микроскопом. У заражённых устриц внутри клеток обнаруживают 20-гранные (5–6-сторонние) вирионы диаметром 70–120 нм, имеющие один слой и иногда плотный нуклеоид (многогранный центр). Внеклеточный оболочечный вирион герпесвируса OsHV-1 может достигать в диаметре 100–180 нм. Полимеразная цепная реакция в реальном времени (далее — ПЦР-РВ) обладает высокой специфичностью и чувствительностью в отношении герпесвируса



OsHV-1 и даёт более надёжные результаты, чем традиционная ПЦР. Могут быть использованы три набора праймеров (B4/B3, C9/C10 и Gr4/Gr7), нацеленные на три региона вирусной ДНК — ORF99, ORF4 и ORF88. Применение нескольких пар праймеров важно для последующей оценки результатов ПЦР-тестирования, а также для идентификации различных микровариантов этого вируса. Так, регион ORF100, кодирующий ДНК-полимеразу, менее полиморфен, тогда как регион ORF4, в силу своей подтверждённой полиморфности, является хорошим кандидатом для генотипирования OsHV-1. ПЦР-РВ с применением специфических реагентов SYBR<sup>®</sup> Green может обнаруживать минимально 4 ДНК-копии герпесвируса OsHV-1, а максимально — до  $(5-6) \times 10^6$  копий в 1 мкл исследуемой пробы. Количественный предел составляет 1000 мкг в 1 мг исследуемой ткани. Гистохимический метод специфической гибридизации *in situ* (далее — ИСГ) является разновидностью молекулярно-генетического способа диагностики герпесвируса OsHV-1; он позволяет определить его положения непосредственно в ткани моллюска. Метод считается стандартным, с хорошей чувствительностью и специфичностью; он обладает немного меньшей чувствительностью, чем ПЦР (выявляет примерно на 7 % меньше инфицированных моллюсков). Он способен обнаруживать типичный герпесвирус OsHV-1 и его микроварианты, но не позволяет разделять его геногруппы. Метод ИСГ основан на обработке тканевых срезов растворами, содержащими ДНК-зонды. Помеченные диоксигенином зонды синтезируют из ДНК герпесвируса OsHV-1; для такого синтеза применяют пару праймеров C1/C6. Препараты с тканевыми срезами, обработанные зондами, исследуют под световым микроскопом на увеличениях от  $\times 400$  до  $\times 1000$ . Специфическое тёмно-коричневое внутриклеточное окрашивание на метафазных хромосомах или в интерфазных ядрах клеток указывает на присутствие в них ДНК герпесвируса OsHV-1.

Мы считаем, что герпесвирусное заболевание представляет значительную эпизоотическую угрозу для черноморской устричной индустрии, основанной на выращивании тихоокеанских устриц. Упомянутые выше методы диагностики болезни позволяют обнаруживать её тканевые и внутриклеточные признаки, а также выявлять качественно и количественно генетические материалы возбудителя в тканях инфицированных моллюсков. Эти методы могут применяться при исследовании больных моллюсков для подтверждения диагноза, при карантинировании моллюсков, при мониторинге хозяйств (регионов) с целью ранней диагностики, а также для эпизоотического зонирования (районирования) акваторий. Своевременная и точная диагностика герпесвирусного заболевания устриц позволяет предотвратить его вспышки и уменьшить возможные потери, а также обеспечивает условия для стабильной работы устричных хозяйств в Чёрном море.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/72.pdf>.



## Опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые инфузориями

Мальцев В. Н.

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

✉ [maltsev66@mail.ru](mailto:maltsev66@mail.ru)

Болезни, вызываемые инфузориями, имеют большое эпизоотическое значение в морском рыбодовстве. Для кефалевых и камбалообразных рыб — перспективных объектов черноморской аквакультуры — потенциально опасными являются:

- эктопаразитические инфузории семейства Trichodinidae (роды *Trichodina* и *Trichodinella*), возбудители триходиниозов;
- эндопаразитические инфузории отряда Scuticociliatida (роды *Uronema*, *Philasterides*, *Helicostoma* и др.), возбудители скутикоцилиатозов;
- эктопаразит *Cryptocaryon irritans*, возбудитель криптокариоза (белопятнистой болезни).

Вспышки триходиниозов регистрировали в Средиземном море при разведении тюрбо (*Scophthalmus maximus*), лаврака (*Dicentrarchus labrax*) и дорадо (*Sparus aurata*). Триходины массово инвазируют кефалевых и камбалообразных рыб Азовского и Чёрного морей в диких популяциях, а также при их экспериментальном культивировании. У рыб в этом регионе зарегистрировано 10–12 видов триходинид; заражённость ими обычно достигает 50–70 %; некоторые рыбы гиперинвазированы (до 10–20 экз. на 100×). Скутикоцилиатозы известны у широкого круга культивируемых рыб во Франции, Испании, Португалии, Японии, Корее и Китае. Убытки от вспышек этого заболевания у тюрбо (возбудитель — *Philasterides dicentrarchi*) на морских фермах Испании и Франции в 2002–2004 гг. достигали 78–80 тысяч долларов. Возбудители скутикоцилиатоза известны в Чёрном и Азовском морях, но на сегодняшний день имеются лишь косвенные данные об их паразитировании у черноморских рыб. Криптокариоз известен более чем у 90 видов теплолюбивых морских рыб, в том числе кефалевых и камбалообразных. Расселению паразита способствует развитие морской аквакультуры, а также бесконтрольные перевозки декоративных тропических рыб. Болезнь является серьёзной проблемой при разведении рыб в Средиземном море; турецкие специалисты считают криптокариоз потенциально опасным для своих морских хозяйств. Сведения о встречаемости инфузорий *C. irritans* у рыб в Чёрном море появились недавно. Развитие морского рыбодовства в Чёрном море может привести к более широкому распространению патогенных инфузорий, что осложнит эпизоотическую ситуацию как в морских рыбодовных хозяйствах, так и в диких популяциях морских рыб.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/205.pdf>.



## Полидороз тихоокеанских устриц в Чёрном море и меры борьбы с ним

Мальцев В. Н.

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

✉ [maltsev66@mail.ru](mailto:maltsev66@mail.ru)

До недавнего времени сверлящие многощетинковые черви из рода *Polydora* (*Polydora ciliata*, *P. websteri*, *P. limicola*, *P. ligni* и др.) не считались опасными при выращивании моллюсков. В последние же годы они стали наносить значительные экономические ущербы мировой устричной индустрии. При высокой интенсивности инвазии полидорами на внутреннем перламутровом слое раковин устриц образуются тоннели и вздутия (блистеры), заполненные илом, а также может воспаляться мускул-замыкатель. Развивается заболевание полидороз (болезнь иловых блистеров, болезнь грязевых червей). В мягких тканях больных моллюсков падает содержание белка, гликогена и липидов; снижаются их репродуктивные способности; затормаживается рост; уменьшается выход мяса; ухудшается товарный вид устриц и их вкусовые качества. Известны случаи массовой гибели культивируемых тихоокеанских устриц (*Crassostrea gigas*), вызванной полидорозом, во Франции, на Маврикии, у берегов Сенегала. Значительные экономические ущербы от полидороза регистрировали в Австралии и Новой Зеландии, а также на Гавайях.

К настоящему времени у устриц в Чёрном море известно два вида сверлящих полидор — *P. ciliata* и *P. websteri*. Наши исследования, выполненные в 2019–2020 гг., показали, что полидороз широко распространён в устричных хозяйствах Кавказа и Крыма, поражает значительную долю культивируемых тихоокеанских устриц, приводит к ухудшению их товарного вида и, по-видимому, способствует их повышенной смертности. Мы считаем, что это заболевание является одним из наиболее опасных для устричной индустрии Чёрного моря. Диагноз на «полидороз» ставят на основании обнаружения характерных повреждений раковин моллюсков, родовой и видовой морфологической идентификации извлечённых из раковины многощетинковых червей. Существуют эффективные меры борьбы с этим заболеванием, которые включают выбор безопасной акватории, правильное размещение устричных садков в толще воды, периодическую обработку выращиваемых устриц соевыми растворами и/или пресной водой, а также высушивание моллюсков на воздухе. Они могут использоваться для надёжного контроля полидороза на устричных фермах в Чёрном море для снижения ущербов и повышения товарной производительности этих ферм.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/206.pdf>.



## Потенциально опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые амёбами

Мальцев В. Н.

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

✉ maltsev66@mail.ru

В последнее время отмечается широкое распространение амёбных заболеваний в мире, которое связывают с интенсификацией аквакультуры, потеплением климата и улучшением методов диагностики этих болезней. Амёбные заболевания морских рыб могут быть самостоятельными или участвовать в смешанных инфекциях. Кефалевые (Mugilidae) и камбалообразные (Pleuronectiformes) рыбы являются перспективными объектами морской аквакультуры в Чёрном море; планируется выращивание пиленгаса *Liza haematocheilus*, кефали лобана *Mugil cephalus*, кефали сингиля *Liza (Chelon) aurata*, камбалы калкан *Scophthalmus maeoticus* и камбалы глоссы *Platichthys flesus* в нагульных (лагунных), прудовых, бассейновых и садковых морских хозяйствах этого региона. Нами обобщены современные научные данные о двух основных болезнях, вызываемых амёбами (амёбиазах), которые известны у кефалевых и камбалообразных рыб. К таковым относятся амёбная жаберная болезнь (amoebic gill disease, AGD) и амёбное грануломатозное заболевание морских языков (amoebic granulomatous disease of cultured sole).

**Амёбная жаберная болезнь (AGD)** относится к экономически наиболее значимым в современной интенсивной морской аквакультуре. Болезнь приводит к высокой смертности культивируемых морских рыб, ухудшению их благополучия и снижению производственных показателей. Возбудителем является амфизойная (способная к свободноживущему и паразитическому образам жизни) амёба *Neoparamoeba perurans*, относимая к классу Discosea отряда Dactylopodida семейства Vexilliferidae. Болезнь наносит значительный ущерб при садковом выращивании атлантического лосося (*Salmo salar*) в Норвегии, Шотландии, Ирландии, Австралии, Чили и других странах. Её вспышки регистрировались у тюрбо *Scophthalmus maximus* и палтуса *Hippoglossus hippoglossus*, а также у лаврака *Dicentrarchus labrax*, дорадо *Sparus aurata*, рыбы айю *Plecoglossus altivelis*, полосатого оплегната *Oplegnathus fasciatus*, кефали лобана *Mugil cephalus* и других рыб. Географическое распространение *N. perurans* включает США, Австралию, Чили, Новую Зеландию, Японию, Южную Корею, Южную Африку, Испанию, Ирландию, Шотландию, Норвегию, Фарерские острова и другие регионы. В Чёрном и Азовском морях эта болезнь пока не регистрировалась, хотя существуют предпосылки проникновения возбудителя в них. Так, в Чёрном море обитают виды рыб (лаврак, дорадо, калкан, кефаль лобан и др.), восприимчивые к данному заболеванию и совершающие миграции в Средиземное море. Потенциальными очагами этой болезни в Чёрном море могут стать морские фермы по разведению кефалевых и камбалообразных рыб. AGD чаще протекает хронически, поражает преимущественно жабры; её возбудитель *N. perurans* не проникает в другие органы и ткани рыб. Жабры заболевших рыб имеют повышенную ослизнённость и множественные бело-серые опухшие очаги, образованные в результате гиперплазии первичных и вторичных жаберных лепестков (пластинок), что приводит к увеличению толщины жаберного эпителия, его десквамации и сращиванию лепестков. У рыб нарушаются дыхательная функция и общий обмен веществ. При длительном хроническом течении болезни рыбы перестают питаться, худеют; при остром её течении упитанные особи сравнительно быстро погибают. Кратковременная смертность от AGD атлантического лосося достигает примерно 2 % (по другим данным, от 10 до 20 %). Кумулятивная смертность рыб в течение нескольких месяцев может достигать 50–70 % их численности. Впервые амёбную жаберную болезнь у подращиваемых тюрбо длиной до 15 см, а также у товарных рыб этого вида (средним весом до 2 кг) обнаружили в 1995 г. в Испании. Смертность подращиваемых камбал достигала 5–20 %; их гибель происходила при солёности 22 ‰ в октябре — декабре при следующих температурах: при +14,5...+18,8 °С в октябре, при +9,1...+14 °С в декабре. Впервые у кефалевых рыб AGD обнаружена в Корее при садковом выращивании кефали лобана в марте 2015 г. при температуре воды +11...+17 °С. При заражённости 100 % смертность составляла от 6,7 %; из 90 т рыб погибли 6 т. Важно подчеркнуть, что в течение многих десятилетий амёбные болезни у кефалевых рыб не выявлялись, по-видимому в связи с отсутствием практики промышленного культивирования этих рыб, создающего условия для вспышек данных заболеваний.

**Амёбное гранулёматозное заболевание сенегальского морского языка** — сравнительно новая болезнь морских рыб, впервые описанная для культивируемого сенегальского морского языка (*Solea senegalensis*) в Испании. Она не вызывает высокой смертности заболевших рыб, но её распространённость на морских фермах может быть очень высокой, что обуславливает серьёзные экономические потери: поражённая рыба непригодна для продажи из-за своего плохого внешнего вида. В Чёрном и Азовском морях эта болезнь пока не регистрировалась, хотя существуют некоторые предпосылки её заноса в эти моря. Так, в Чёрном море обитает 4 вида морских языков (семейство Soleidae) (европейский морской язык *Solea solea*, песчаный морской язык *Solea nasuta*, короткопёрная солея *Microchirus variegatus* и малый морской язык *Buglossidium luteum*), которые могут быть переносчиками возбудителя. Потенциальными очагами заболевания в Чёрном море могут стать фермы по разведению камбалообразных рыб. Возбудителем являются амёбы *Endolimax piscium*, относимые к классу Archamoebae отряда Pelobiontida семейства Mastigamoebidae. Амёбное заболевание морского языка является системным, поражающим многие внутренние органы рыб. У заболевших рыб обнаруживаются выросты или бугорки (узелки, гранулёмы) в мышечной ткани, которые часто заметны в виде опухолей снаружи; иногда на теле имеются язвы. Узелки (гранулёмы) напоминают абсцессы (гнойные воспаления, нарывы), которые обнаруживаются не только в мышечной ткани, но и в печени, пищеварительном тракте, половых железах, сердце и почках больных рыб. Амёбы *E. piscium* могут присутствовать в кишечнике как у симптоматических, так и у бессимптомных рыб. Для больных языков характерно вялое поведение со спорадическим и беспорядочным плаванием. Болеют рыбы разного возраста; у них снижаются показатели роста и иммунный статус, что приводит к более высокой их восприимчивости к другим заболеваниям. Вспышки болезни возможны в любое время года, в том числе в зимние месяцы (январь и февраль).

В целом развитие морского рыбоводства в Чёрном море может привести к распространению патогенных амёб и их болезней в этом регионе, что осложнит эпизоотическую ситуацию в местных морских рыбоводных хозяйствах. Приведённые данные заполняют образовавшийся пробел в области отечественного научного знания об этих болезнях морских рыб и являются информационной основой для усовершенствования методов диагностики и контроля этих заболеваний. Внедрение этих знаний в практику позволит сократить ущерб от болезней и повысить производительность морских рыбоводных ферм на юге России.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/93.pdf>.



## Биотехнологический потенциал нового штамма *Coelastrrella multistriata* (Scenedesmaceae, Sphaeropleales)

Мальцева С. Ю., Мальцев Е. И., Куликовский М. С.

Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

✉ [svetadm32@gmail.com](mailto:svetadm32@gmail.com)

Биотехнологическая ценность микроводорослей обусловлена широким спектром соединений, которые они синтезируют, быстротой роста биомассы и возможностью повышать синтез целевых биопродуктов изменениями условий культивирования. В связи с этим в мире наблюдается стойкий рост спроса на биомассу микроводорослей. Из вскрышных пород гранитного карьера, расположенного в Тульской области, выделен новый штамм зелёной одноклеточной водоросли *Coelastrrella multistriata* (первой находки данного вида во флоре России) — MZ–Ch23. Таксономическая идентификация была осуществлена с помощью морфологических и молекулярно-генетических методов. Виды зелёных водорослей из рода *Coelastrrella* Chodat имеют широкие возможности биотехнологического использования. Известно, что штаммы *Coelastrrella* могут одновременно накапливать каротиноиды и липиды. При этом клеточные липиды *Coelastrrella* могут быть преобразованы в высококачественный биодизель, в том числе соответствующий стандарту EN14214. В то же время штаммы *Coelastrrella* представляют собой растительный источник омега-3-полиненасыщенных жирных кислот. Спрос на полиненасыщенные жирные кислоты, особенно омега-3 с длинной цепью (20:5n-3 эйкозапентаеновая, 22:5n-3 докозагексаеновая и 18:3n-3  $\alpha$ -линоленовая кислоты), остаётся постоянно высоким из-за их важности для здоровья людей и множества ценных медицинских и диетических характеристик. В связи с этим с новым штаммом проведён ряд экспериментов по испытанию разной продолжительности культивирования и использованию азотного и фосфорного голодания для оценки продуктивности накопления липидов и изменений состава жирных кислот в биомассе водоросли.

Анализ изменчивости профиля жирных кислот в зависимости от состава питательных сред показал, что в первую очередь 16:0 пальмитиновая, 18:1n-9 олеиновая, 18:2n-6 линолевая и 18:3n-3  $\alpha$ -линоленовая жирные кислоты реагируют на изменения условий культивирования. Проведённые эксперименты по выращиванию *C. multistriata* продемонстрировали наличие нескольких стратегий культивирования, которые могут быть использованы в биотехнологии. Длительное культивирование (в течение 2 месяцев) способствует обильному накоплению биомассы с высоким содержанием липидов и жирных кислот, в первую очередь полиненасыщенных. При этом двухмесячная культура имеет наибольшее разнообразие и количество жирных кислот с очень длинной цепью (более 20 атомов углерода). Между тем 25-дневное культивирование на среде ВВМ с азотом и фосфором позволяет получить пиковые значения накопленной биомассы с высоким содержанием омега-3 жирных кислот. Культивирование в условиях одновременного недостатка азота и фосфора в среде стимулирует максимальное накопление липидов, при этом преобладают мононенасыщенные жирные кислоты. Следовательно, стратегии длительного и 25-дневного выращивания на обогащённой питательными веществами среде могут использоваться для получения биомассы *C. multistriata* с целью создания подкормок для животноводства или аквакультуры. Количество насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот после выращивания в среде с недостатком азота и фосфора позволяет рассматривать биомассу нового штамма как перспективное сырьё для производства биотоплива.

Исследование выполнено за счёт гранта РНФ (проект № 20-74-10076).



## Применение анализа микроэлементного состава кальцинированных структур рыб для решения фундаментальных и прикладных научных задач: результаты анализа происхождения озёрной кумжи *Salmo trutta* Восточной Фенноскандии

Михеев П. Б.<sup>1,2</sup>, Прусов С. В.<sup>3</sup>, Эркинaro Я.<sup>4</sup>, Клосс Дж.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

<sup>3</sup>Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» имени Н. М. Книповича), Мурманск, Россия

<sup>4</sup>Институт природных ресурсов Финляндии (Luke), Оулу, Финляндия

<sup>5</sup>Университет Отаго, Департамент Зоологии, Данидин, Новая Зеландия

✉ [pmikhcev@yandex.ru](mailto:pmikhcev@yandex.ru)

Управление рыболовством и разработка мероприятий по сохранению редких и исчезающих представителей ихтиофауны невозможны без понимания биологии и экологии рыб на всех стадиях жизненного цикла. Для многих видов рыб характерны различные миграции со сменой мест обитания в течение жизни. Если единица запаса определённого вида рыбы мигрирует между двумя районами промысла с разными системами регулирования, то при отсутствии данных о миграции запаса между районами он будет осваиваться как два отдельных запаса. Если такая миграция не установлена, высока вероятность перелома эксплуатируемого объекта. Кроме того, если промысел происходит в районах нагула, в которых смешиваются отдельные популяции вида, то понимание структуры эксплуатируемого стада является обязательным (иначе произойдёт коллапс отдельных единиц запаса). Для оценки миграций рыб и детерминации локальных стад часто используется метод мечения, современной альтернативой которому является микрохимический анализ отолитов и других кальцинированных структур.

Целью данного исследования стал анализ происхождения озёрной кумжи *Salmo trutta* Верхнетуломского водохранилища, водосбор которого расположен в пределах России и Финляндии. В качестве метода был использован микрохимический анализ отолитов. Чтобы оценить происхождение кумжи из водохранилища, нами был проведён отбор проб молоди в местах нереста и раннего нагула в 13 локациях, расположенных в водосборе; кроме того, были собраны отолиты взрослых особей кумжи в центральной части водохранилища. Далее провели анализ состава микроэлементов отолита молоди и обработали его результаты методами линейного дискриминантного анализа, который позволил оценить происхождение 20 из 57 взрослых особей кумжи, отловленной в водохранилище. Результаты анализа происхождения рыб из смешанной выборки, осваиваемой рыболовством, не соответствовали опубликованному ранее воспроизводственному потенциалу рек в водосборе водохранилища, который основан на площади нерестово-выростных участков (НВУ). Например, кумжа из крупнейших притоков водохранилища — рек Лотта и Нота — была менее представлена в смешанной выборке, что противоречило их вкладу в общую площадь нерестово-выростных участков в водосборе водохранилища. Эти результаты свидетельствуют о том, что стратегия сохранения естественных популяций кумжи должна базироваться на бассейновом принципе, а не на концепции сохранения среды обитания отдельных рек в водосборе.



## Липидный профиль атлантического лосося *Salmo salar* в раннем развитии в условиях искусственного воспроизводства в норме и при влиянии физических факторов

Мурзина С. А., Провоторов Д. С., Воронин В. П., Немова Н. Н.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

✉ [klaydim1@mail.ru](mailto:klaydim1@mail.ru)

Изучено влияние физических факторов среды — фотопериода и лазерного облучения (He-Ne-лазер; 0,63 мкм;  $1,5 \cdot 10^{-2}$  Дж·см<sup>-2</sup>) — на липидный профиль развивающейся в условиях искусственного воспроизводства икры атлантического лосося (Выгский рыбноводный завод, бассейн Белого моря) на стадиях бластулы, пигментации глаз, у личинок перед выклевом, у личинок после выклева и у сеголеток 0+ (переход на экзогенное питание), после облучения на стадии бластулы развивающейся икры, когда клетка обладает наибольшим потенциалом к дифференцировке. Количество общих липидов (далее — ОЛ) у личинки после выклева достоверно выше у экспериментальной группы (35 % сухого вещества) за счёт триацилглицеринов (далее — ТАГ) и холестерина (далее — ХС) (16 и 4 % соответственно) по сравнению с контролем (31, 10 и 3 % сухого вещества соответственно). Известно, что ТАГ к концу эмбрионального развития повышаются, вероятно в результате снижения уровня фосфолипидов, и сохраняются в желточном мешке до стадии выклева, после чего становятся важным источником энергии до перехода личинки на внешнее питание, обеспечивая после выклева её подвижность. Таким образом, личинки экспериментальной группы до и после выклева характеризуются большими депо энергетических липидов (иными словами, это «энергетически обеспеченные» личинки), которые обеспечивают процессы адаптации и, возможно, лучшую «стрессоустойчивость» при изменении факторов среды. Переход личинок на экзогенное питание характеризовался известным трендом в сторону снижения содержания ОЛ до 28 и 25 % сухого вещества за счёт основных энергетических и структурных липидов в контроле и опыте. Снижение содержания липидов у личинки после выклева происходит главным образом за счёт ТАГ и свободных жирных кислот желтка. ЖК-профиль атлантического лосося в эмбриогенезе и раннем постэмбриональном развитии характеризовался доминированием ПНЖК за счёт (n-3) ПНЖК, за которыми следовали МНЖК и НЖК. Обнаружено резкое увеличение количества ПНЖК у личинок, переходящих на экзогенное питание, что свидетельствует об активном питании и высоком качестве корма. Отмечено, что содержание (n-6) ПНЖК выше у опытной группы личинок, чем у таковых из экспериментальной группы. Содержание эссенциальной 20:5(n-3) ЖК резко увеличивается у личинок с переходом на внешнее питание, то есть она поступает с кормом. Полученные данные позволяют высказать предположение о том, что у личинок с внешним питанием из экспериментальной группы имеет место синтез 22:6(n-3) из 20:5(n-3) через промежуточный продукт 22:5(n-3) данной цепи биосинтеза. Подтверждением этого предположения являются полученные нами впервые сведения о экспрессии генов фермента  $\Delta 6$ -десатуразы у личинок, переходящих на экзогенное питание. В ходе эксперимента по облучению (лазер) мы выявили выраженную метаболическую активность путей обмена липидов и ЖК-компонентов сеголеток (личинки, перешедших на экзогенное питание) экспериментальной группы, а также способность включать нужные процессы конвертации в условиях эндогенного дефицита эссенциальных (n-3) ПНЖК, что является залогом дальнейшей успешной реализации программы смолтификации.

В дальнейшем (в период с июня по октябрь) исследовали основные показатели липидного обмена в следующих группах молоди лосося: 1) молодь, выросшая из икры, облучённой лазером на стадии бластулы (группа «Лазер»); 2) молодь из контрольной группы (группа «Контроль»); 3) молодь, которая, с июня содержалась в условиях круглосуточного освещения (группа «Фотопериод»); 4) молодь, которая выросла из икры, облучённой лазером на стадии бластулы, которая с июня содержалась в условиях круглосуточного освещения (группа «Лазер + фотопериод»). Максимальным количеством ОЛ было у молоди группы «Лазер + фотопериод» (54 % сухого вещества) за счёт ТАГ (33 %) и ФЛ (7 %), количество которых было наибольшим именно у этой группы рыб в сентябре. Минимальным содержанием ОЛ было у группы «Фотопериод без воздействия лазером» (41 %), в которой

уровень ТАГ и ФЛ был наименьшим среди всех исследованных групп рыб (4 и 24 % соответственно). Закономерное снижение ОЛ и, соответственно, изученных липидных классов у всех исследованных групп молоди лосося имеет сезонный характер (изменение температуры) и связано с подготовкой к последующей перезимовке. При этом наибольшее содержание ОЛ — за счёт ТАГ, ФЛ и восков — показано для рыб из групп «Лазер + фотопериод» и «Лазер», где количество ОЛ составляло 30,32 и 27,75 %; у рыб групп «Контроль» и «Фотопериод без воздействия лазером» — 23,85 и 26,26 % сухого вещества. Наиболее значимыми характеристиками ЖК-профиля молоди лосося групп «Лазер» и «Лазер + фотопериод» являются высокие индексы конвертации  $22:6(n-3) / 20:5(n-3)$ , а также повышенный уровень (n-3) ПНЖК, который к периоду перезимовки сменяется незначительным в количественном отношении доминированием МНЖК (ЖК-компоненты запасных липидов). Таким образом, облучение лазером икры лосося на стадии бластулы имеет пролонгирующий и частично отложенный эффект на более поздних стадиях развития (сеголетка), выражающийся в снижении метаболической и фенотипической разнородности молоди, а также в изменении липидного профиля (в пользу его качественных характеристик) и интенсификации отдельных метаболических путей (конвертация (n-3) ПНЖК). Эти эффекты обуславливают дальнейшее миграционное поведение молоди атлантического лосося, включая адаптации на уровне метаболизма, приводящие к реализации стратегии развития и поведения молоди. Подключение круглосуточного освещения к бассейнам с сеголетками, выращенными из облучённой икры, «поддерживает» способность молоди к биосинтезу (n-3) ПНЖК в зависимости от внутренних резервов и потребностей, а также от качества кормовой базы. Отсутствие незаменимых ЖК в кормовом рационе рыб неизбежно приводит к замедлению их роста и к низкой эффективности использования поступающей пищи, однако этими процессами вполне можно «управлять» подбором физических факторов и их целевым применением на определённых стадиях раннего онтогенеза молоди лосося. Установление пределов или диапазона такой стимуляции метаболизма молоди рыб является предметом наших настоящих исследований по влиянию фотопериода на рост и раннее развитие атлантического лосося, который выращивается в рыбноводном хозяйстве в Северной Осетии — Алании (Ардонский район). Фотопериод, как известно, представляет собой важный физический фактор, влияющий на процессы роста за счёт изменения уровня экспрессии генов регуляторных и структурных белков, основных метаболических ферментов, синтеза структурных и запасных веществ, что, в свою очередь, определяет темпы и характер роста целого организма. Такого рода исследования биохимического статуса лосося, ранее не культивируемого в южном регионе России, высокоперспективном с позиции развития индустриальной аквакультуры, проводятся впервые. Можно полагать, что результаты этих экспериментов существенно дополнят представления о роли факторов среды в механизмах развития биохимических адаптаций у молоди лососёвых рыб с учётом климатических, географических и экологических особенностей региона.

Исследования проведены при поддержке проектов Российского научного фонда № 19-14-00081 и 19-14-00081-П.

## Новые производные индолина в процессе криоконсервации спермы белуги

Осипова А. Д.<sup>1</sup>, Осипова В. П.<sup>1</sup>, Половинкина М. А.<sup>1</sup>, Великородов А. В.<sup>2</sup>, Пименов Ю. Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

<sup>3</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

✉ [m.hahaleva@astu.org](mailto:m.hahaleva@astu.org)

Осетровые виды рыб являются ценными породами, популяция которых резко сокращается из-за чрезмерного вылова, разрушения среды обитания и загрязнения воды. В связи с этим осетровые особо нуждаются в аквакультурном пополнении запасов, основанном на искусственном воспроизводстве. Криоконсервация — перспективный способ сохранения редких видов рыб (в том числе осетровых), играющий важную роль в транспортировке генетического материала между объектами, снижении риска распространения инфекций, проведении исследований по гибридизации, защите генофонда, сохранении биоразнообразия и селекционной деятельности. При этом данный метод имеет ряд недостатков; в частности, подвижность спермы рыб после оттаивания зачастую резко снижается в сравнении с нативной спермой, что свидетельствует о серьёзных криповреждениях в процессе замораживания и оттаивания. Негативные последствия глубокой заморозки связаны прежде всего с механическими повреждениями мембран, которые в том числе вызваны внутриклеточной генерацией активных форм кислорода, способствующих интенсификации процесса перекисного окисления липидов (далее — ПОЛ). Поэтому для получения качественной спермы рыб после дефростации важен подбор оптимальной криосреды и криопротекторов, которые нейтрализуют негативные последствия процесса замораживания. В связи с этим актуальной задачей является поиск новых соединений-криопротекторов, обладающих высокой биодоступностью и низкой токсичностью по отношению к половым клеткам, а также легко отделяемых от биоматериала при размораживании.

В работе изучено влияние добавок новых производных индолина — 3-((3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидроксипенцилиден)гидразоно)индолин-2-она (**1**) и (*Z*)-4-метил-*N'*-(2-оксоиндолин-3-илиден)бензолсульфоногидразида (**2**) — на процесс ПОЛ и показатели активности спермы белуги в сравнении с известным антиоксидантом ионолом (**3**) при наличии и без добавки модифицированной криосреды Штайна (NaCl, KCl, NaHCO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, маннит, сахароза, 10 % яичного желтка, 10 % ДМСО). Качество образцов оценено после этапа эквilibрации (инкубирование в течение 40 мин при +4 °C) и 49 дней хранения в жидком азоте при –196 °C. Соединения были внесены в сперму белуги в концентрации 0,1 мМ.

Уровень перекисидации липидов половых клеток самца белуги оценён по накоплению вторичных карбонильных продуктов, дающих окрашенные комплексы с тиобарбитуровой кислотой (далее — ТБК-АП). Содержание ТБК-АП в течение 72 ч при наличии всех исследованных соединений без криосреды снижается на 18–35 %; наибольшая эффективность установлена при наличии производного индолина **1**. Уровень ТБК-АП в контрольном варианте и при наличии соединений с криосредой закономерно увеличивается после дефростации спермиев белуги; для соединения **2** отмечается инверсия свойств, которая проявляется в промотировании процесса ПОЛ и повышении уровня ТБК-АП на 15 % в сравнении с контрольным образцом. Для соединений **1** и **3** установлена пролонгированная ингибирующая активность; их введение в среду инкубирования способствует снижению уровня ТБК-АП на 16 и 14 % соответственно.

Доля подвижных половых клеток самца белуги во всех опытных образцах после этапа эквilibрации как при наличии модифицированной криосреды Штайна, так и без неё составляет 100 %. Наибольшее время движения спермы без добавления криосреды установлено при наличии соединений **1** и **2** — 2756 и 2612 сек соответственно. Добавка ионола повышает качество спермы, увеличивая длительность колебательных и поступательных движений до 2501 сек. После эквilibрации подвижность спермы в криосреде без добавок соединений составляет 3037 сек, в контроле без криосреды — 2433 сек. Наибольшее время жизни спермы, сохраняемой в модифицированной криосреде Штайна, установлено при наличии соединений **1** (3222 сек) и **2** (3165 сек); ионол увеличивает время подвижности спермы белуги до 3119 сек. После хранения спермы в течение 49 дней в жидком азоте

при  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  подвижность спермиев заметно снижается и составляет всего 66 сек в контрольном образце; при наличии соединения **2** — 57 сек, ионола — 96 сек. Наибольшая подвижность спермиев (115 сек) отмечена при наличии производного **1**; это согласуется с полученными данными по уровню пероксидации липидов спермы белуги, где установлено наибольшее снижение уровня ПОЛ при наличии данного криопротектора.

Таким образом, добавка производного индолина **1** в концентрации 0,1 мМ в модифицированную криосреду Штайна способствует увеличению времени движения спермиев и снижению уровня накопления ТБК-АП как до процесса замораживания, так и после дефростации спермы белуги. Криопротекторное действие соединения **1** превышает действие известного антиоксиданта ионола, что свидетельствует о возможности применения этого производного индолина в качестве добавки в криосреду для сохранения качества дефростированной спермы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 22-16-00095.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/82.pdf>.



## Изучение ингибирующей активности новых производных кумарина

Половинкина М. А.<sup>1</sup>, Осипова В. П.<sup>1</sup>, Осипова А. Д.<sup>1</sup>, Федотова О. В.<sup>2</sup>, Берберова Н. Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

<sup>3</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

✉ [m.hahaleva@astu.org](mailto:m.hahaleva@astu.org)

Окислительный стресс, вызванный экзогенными и эндогенными факторами, может приводить к повреждению биологических структур, таких как ДНК, липиды и белки, что в первую очередь способствует развитию различных заболеваний и интенсификации окисления липопротеинов. Пероксидное окисление липидов (далее — ПОЛ) является свободнорадикальным процессом, конечные продукты которого оказывают мутагенное и канцерогенное действие на клетки живых организмов. В норме стабилизация свободных радикалов, стимулирующих пероксидное окисление клеток, происходит благодаря действию эндогенной ферментативной антиоксидантной защитной системы. При избыточном уровне свободных радикалов добавление антиоксидантов, предотвращающих окисление липидов, позволяет эффективно контролировать неблагоприятное воздействие на живые клетки. Потенциальные антиоксиданты должны обладать высокой биодоступностью и эффективностью в низких концентрациях, при этом быть малотоксичными, поэтому в последнее время предпочтение отдается природным соединениям или их аналогам. Кумарины относятся к наиболее распространённым природным кислородсодержащим гетероциклическим соединениям с выраженной биологической активностью, в том числе антиоксидантной. Производные 2*H*-хромен-2-онов широко используются в качестве добавок в продукты питания, парфюмерию, косметику, фармацевтические препараты, что связано с их способностью улавливать свободные радикалы.

В работе изучена ингибирующая активность новых производных кумарина: 4-(6-оксо-6,7,8,9-тетрагидробензо[*h*]хромено[4,3-*b*]хромен-7-ил)бензойной кислоты (**1**), 4-((1-оксо-1,2,3,4-тетрагидронафталин-2-ил)(пиперидин-1-ил)метил)бензойной кислоты (**2**) и 2-((2,4-диметоксифенил)(пиперидин-1-ил)метил)-3,4-дигидронафталин-1(2*H*)-она (**3**) — на модельной системе неферментативного окисления *цис*-9-октадеценовой (олеиновой) кислоты и в процессе длительно протекающего процесса ПОЛ печени тилапии *in vitro*.

Исследованные соединения ингибируют процесс окисления олеиновой кислоты в условиях барботирования кислородом воздуха в течении 5 ч при +65 °С, снижая концентрацию первичных продуктов окисления — гидропероксидов (LOOH) — и вторичных карбонильных соединений, дающих окрашенные комплексы с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП) в сравнении с контрольным опытом. Наименьший уровень накопления LOOH отмечен при наличии производного **3** (28 % ингибирования); наибольшее снижение уровня ТБК-АП в олеиновой кислоте установлено при наличии соединения **1** (25 % ингибирования).

В модельной системе длительно протекающего процесса ПОЛ гомогената печени тилапии концентрация ТБК-АП в контрольном опыте и при наличии исследуемых соединений закономерно возрастает со временем. Соединения **1–3** проявляют антиоксидантную активность на всех этапах эксперимента. Соединение **1** на начальном (1 ч) и среднем (24 ч) этапах демонстрирует умеренное ингибирующее действие, снижая уровень накопления ТБК-АП в сравнении с контролем на 18 и 14 % соответственно. При этом на отдалённом этапе (48 ч) его эффективность значительно повышается и составляет 47 % ингибирования. На начальном этапе наибольшее снижение ТБК-АП наблюдается при наличии соединения **2** (33 % ингибирования); для производного **3** на всех этапах характерна умеренная антиоксидантная активность (26–34 % ингибирования).

Таким образом, установлена ингибирующая активность новых производных кумарина в модельной системе неферментативного окисления олеиновой кислоты и при длительно протекающем процессе ПОЛ гомогената печени тилапии *in vitro*. Проведение дополнительных исследований биологической активности данных производных кумарина *in vitro* и *in vivo*, в том числе антиоксидантной, позволит выявить соединения-лидеры, которые могут найти практическое применение.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-03-00446.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/83.pdf>.



## Молекулярно-генетические показатели оценки темпов роста у радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) разных возрастных групп при кормлении двумя видами коммерческих кормов

Родин М. А., Кузнецова М. В., Крупнова М. Ю., Курицын А. Е., Немова Н. Н., Мурзина С. А.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

✉ [mikhail.rodin.mr@yandex.ru](mailto:mikhail.rodin.mr@yandex.ru)

Биотехника искусственного выращивания рыб нуждается в создании научно-обоснованных разработок, позволяющих оценить используемые методы и условия выращивания (в том числе рацион питания, освещение, применение биодобавок, температуру воды и др.) на состояние, обмен веществ и темпы роста рыб, которые в значительной степени определяются мышечным ростом. Мышцы, как известно, играют важнейшую роль в метаболизме организма и составляют значительную часть тела рыб. Постэмбриональный мышечный рост у рыб осуществляется за счёт процессов гиперплазии (образования новых волокон) и гипертрофии (увеличения размера волокон) под контролем специфических миогенных регуляторных факторов (myogenic regulatory factors, MRF) — *MyoD1*, *Myf5*, миогенина (*MyoG*) и *MRF4*. По соотношению уровня экспрессии этих факторов можно оценить пути регуляции миогенеза, которые влияют на интенсивность процессов гиперплазии или гипертрофии. Последовательная экспрессия этих факторов приводит к экспрессии генов белков мышц, в том числе миозина, который составляет до 25 % от общего белка организма и 50 % от количества всех мышечных белков. Уровень экспрессии гена тяжёлой цепи миозина (*MyHC*) может быть использован как показатель, отражающий процессы синтеза белка и его накопления и темпы прироста мышечной массы в целом. Важным регулятором миогенеза является миостатин (*MSTN*) — антагонист мышечного роста, который ингибирует как пролиферацию, так и дифференцировку мышечных клеток. Изучение экспрессии генов — факторов регуляции миогенеза позволяет выявить особенности регуляции процессов мышечного роста при воздействии факторов различной природы. Изменения в процессах регуляции миогенеза могут привести к различиям в соотношении интенсивности процессов гиперплазии и гипертрофии мышечной ткани, что в дальнейшем может повлиять на качество филе.

Объектом данного исследования была радужная форель, выращиваемая в бассейнах на базе форелевой фермы в Северной Осетии — Алании. Использовали два вида коммерческого корма разных производителей (корм № 1 и 2); соотношение протеин–жир–клетчатка (%) в них составило 40,9–48,7–10,5 и 45–25–2,8 соответственно. Мышечный рост рыб разных размерных групп, а также в зависимости от состава корма оценивали по уровню экспрессии генов MRF (*MyoG*, *MyoD1b* и *Myf5*), миозина (*MyHC*) и *MSTN1b*. Уровень экспрессии исследуемых генов был определён с помощью метода ПЦР в режиме реального времени. Анализ выполнен на трёх размерных (возрастных) группах форели (РГ1 — сеголетки 5 месяцев средней массой на начало эксперимента 192 г; РГ2 — сеголетки 10 месяцев средней массой 425 г; РГ3 — годовики массой 1380 г). В период исследования кормление проводили четыре раза в день с учётом содержания кислорода в воде двумя видами корма. Эксперимент длился два месяца. До начала эксперимента использовали корм № 2. Пробы на анализ собирали через один и два месяца после начала эксперимента.

Были обнаружены различия в экспрессии генов регуляторов миогенеза у исследуемых групп рыб. Наибольшие различия наблюдались в РГ1 и РГ2. В РГ3 прямых различий в экспрессии генов между группами рыб, питавшихся разными кормами, не выявили. Согласно полученным результатам, в РГ1 через два месяца после начала эксперимента установлен более низкий уровень экспрессии генов *MyoG*, *Myf5* и *MyHC* у рыб, питающихся кормом № 2, чем у особей, питающихся кормом № 1, что согласовывалось с данными по их массе. По результатам исследований, в РГ2 через месяц после начала эксперимента уровни экспрессии *MyHC*, *MyoG* и *Myf5* были выше у рыб, питающихся кормом № 1. К концу эксперимента установили изменения в динамике экспрессии у рыб, питавшихся разными кормами. Так, уровень экспрессии гена *MyoG* был выше у рыб из группы «Корм № 2» за счёт

увеличения экспрессии по сравнению с таковой в предыдущем месяце. При этом увеличился и уровень экспрессии *MyHC* в мышцах форели из группы «Корм № 2» по сравнению с таковой в предыдущем месяце. Экспрессия гена *Myf5* увеличивалась через месяц в обеих исследованных группах, при этом тенденция к более низкому уровню экспрессии в группе «Корм № 2» сохранилась. Экспрессия *MyoD1b* у рыб снижалась через два месяца в группе «Корм № 2» и была ниже, чем у рыб в группе «Корм № 1». Также установлены возрастные различия в процессах миогенеза между группами форели по экспрессии некоторых генов. У рыб из РГ3 уровень экспрессии *MSTN1b* в первый месяц исследования был выше, чем у рыб из РГ1 и РГ2, а экспрессия *MyoG* у рыб в РГ1 была выше, чем у особей в РГ2 и РГ3. Это указывает на различия в процессах миогенеза в зависимости от возраста (размера).

Полученные результаты свидетельствуют о различиях в процессах регуляции миогенеза у радужной форели в процессе роста в зависимости от типа используемого корма. Следует отметить, что влияние изучаемого фактора на процессы регуляции мышечного роста было характерно для рыб определённой массы (до 1000 г). Можно предположить, что применение корма № 1 в начальные сроки способствует усилению процессов миогенеза и увеличению темпов прироста мышечной массы рыб по сравнению с рыбами группы «Корм № 2».

Работа выполнена на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

Постер: <https://conf.ibss-ras.ru/posters/170.pdf>.





## Особенности роста атерин *Atherina hepsetus* и *Atherina boyeri* (Atherinidae) Чёрного моря

Самоной Ю. В., Куцын Д. Н.

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

✉ yunovosyolova@yandex.ru

Одной из приоритетных задач морской биологии является изучение влияния потепления климата на водные экосистемы. В этой связи большой интерес представляет анализ связи биологических параметров рыб, в том числе роста, с температурой и другими факторами среды.

Средиземноморские атерины *Atherina hepsetus* Linnaeus, 1758 и *Atherina boyeri* Risso, 1810 — короткоциклические эвригалинные виды лучепёрых рыб семейства Atherinidae, пелагические планктофаги, широко распространённые и многочисленные в морях Средиземноморского бассейна. *A. hepsetus* встречается в литоральной зоне с глубинами в пределах 5–20 м, распространён вдоль побережья Восточной Атлантики — от Марокко до Португалии и Испании, включая архипелаг Мадейра и Канарские острова. *A. boyeri* населяет прибрежные и эстуарные морские воды, лагуны, реже внутренние водоёмы, от пресных до солёных, распространён в Северо-Восточной Атлантике — от Азорских островов до берегов Голландии и северо-западного побережья Шотландии. В Чёрном море данные виды встречаются у всех берегов, питаются зоопланктоном (копеподами и личинками рыб) и мелкими донными ракообразными. В Средиземном море играют заметную роль в промысле. В Чёрном море доля этих двух видов атерин в промысловых уловах составляет менее 0,5 % (в среднем — 343,7 т ежегодно).

Цель данной работы — изучить рост атерин *A. hepsetus* и *A. boyeri* у берегов Крыма и проанализировать его географическую изменчивость.

Пробы отбирали в период с 2011 по 2021 г. Акватория сбора материала охватывала участок Юго-Западного Крыма от бухты Ласпи на юге до бухты Севастопольской и района мыса Толстый на севере. В качестве орудий лова использовали ставные невода с ячейей в кутце 6–8 мм, установленные на глубинах от 3 до 20 м. Биологический анализ включал измерение общей длины (TL) с точностью 0,1 см и общей массы тела (W) с точностью 0,1 г. В качестве регистрирующей структуры использовали отолиты. Для анализа линейного и весового роста применяли уравнения Бергаланфи:

$$L = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}) \text{ и } W = W_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^b,$$

где  $L_{\infty}$  — асимптотическая длина;

$W_{\infty}$  — асимптотическая масса;

$k$  — константа, характеризующая скорость приближения  $L$  к  $L_{\infty}$ ;

$t_0$  — возраст рыбы, когда её длина и масса в рассматриваемой модели равны 0;

$b$  — показатель степени в зависимости массы от длины ( $W = aL^b$ ).

Рассчитывали индекс роста для линейных размеров и массы:

$$\phi = \lg k + 2 \lg L_{\infty} \text{ и } \phi' = \lg k + (2 \lg W_{\infty})/3.$$

Значения параметров уравнения Бергаланфи у *A. hepsetus* были следующими. Для самок  $L_{\infty} = 15,94$  см,  $W_{\infty} = 25,98$  г,  $k = 0,53$  год<sup>-1</sup>; для самцов  $L_{\infty} = 15,90$  см,  $W_{\infty} = 24,47$  г,  $k = 0,55$  год<sup>-1</sup>. Значение показателя степени в уравнении зависимости массы от длины у самок составляет 3,09, у самцов — 2,96. Индекс линейного роста самок равен 2,13, самцов — 2,14, весового роста — 0,67 у обоих полов. Установлено, что *A. hepsetus* акватории Крыма характеризуется большими размерами и более высоким темпом роста, чем популяции из Средиземного моря.

Значения параметров уравнения Бергаланфи у *A. boyeri* были следующими. Для самок  $L_{\infty} = 13,04$  см,  $W_{\infty} = 12,9$  г,  $k = 0,33$  год<sup>-1</sup>; для самцов  $L_{\infty} = 12,05$  см,  $W_{\infty} = 10,8$  г,  $k = 0,37$  год<sup>-1</sup>. Значение показателя степени в уравнении зависимости массы от длины у самок составляет 2,81, у самцов — 2,95. Индекс линейного роста самок равен 1,75, самцов — 1,73, весового роста — 0,26 у обоих полов. Установлено, что темп роста *A. boyeri* из акватории Юго-Западного Крыма выше, чем у эстуарных и лагунных форм низких широт и особей, обитающих в условиях лабильной солёности.

Межполовые различия в росте для обоих видов атерин не выражены. В целом черноморские популяции обоих видов атерин характеризуются как большими размерами, так и более высоким темпом роста, чем популяции Средиземного моря, особенно южной его части. Исследователи Schultz и Copover наблюдали подобную картину изменчивости для атлантической атерины *Menidia menidia*. Изучив особенности депонирования энергии в период активного роста и её использование в ходе зимней диапаузы, авторы пришли к выводу, что увеличение размеров в высокоширотном направлении — адаптивная реакция в ответ на сезонность. В условиях высоких широт особи, характеризующиеся более высоким темпом роста на первом году жизни, быстрее депонируют энергию; их смертность во время зимовки ниже, а нерест эффективнее. Это обеспечивает адаптивное преимущество и закрепляется отбором. В условиях потепления климата вероятным видится сценарий, при котором размеры атерин Чёрного моря и темп роста будут снижаться.

## Концентрации микроэлементов в горбуше (*Oncorhynchus gorbuscha*) из естественного ареала и интродуцированной в Евро-Арктический регион

Христофорова Н. К.<sup>1,2</sup>, Литвиненко А. В.<sup>3</sup>, Алексеев М. Ю.<sup>4</sup>, Цыганков В. Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Институт Мирового океана, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск, Россия

<sup>4</sup>Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» имени Н. М. Книповича), Мурманск, Россия

✉ [more301040@gmail.com](mailto:more301040@gmail.com)

В настоящем исследовании представлены результаты определения уровней содержания тяжёлых металлов в органах и тканях (мышцах, печени, мужских и женских гонадах) горбуши-вселенца, пришедшей на нерест в реки Кольского полуострова — Кола и Тулома (бассейн Баренцева моря) и Умба и Варзуга (бассейн Белого моря) — в июле 2019 г. Проведено сравнение концентраций микроэлементов Fe, Pb, Cd, Ni, Cu и Zn в горбуше, акклиматизированной в Евро-Арктических водах России и широко расселившейся в Северной Атлантике, и в горбуше из её естественного ареала, вернувшейся для нереста в реки островов Сахалин и Итуруп в 2016–2018 гг.

Для исследований в устьевых зонах каждой из рек отобрано по пять самок и пять самцов. Пробы органов и тканей рыб, выловленных и отпрепарированных в районах Сахалинской и Мурманской областей, были заморожены и доставлены во Владивосток для химического анализа. Микроэлементы определяли из кислотных минерализатов методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии согласно ГОСТ 26929-94 на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 в пламени (Zn, Cu, Ni и Fe) и в графитовой кювете (Pb и Cd).

В результате проведённого исследования установлено, что уровни микроэлементов в органах и тканях акклиматизированной горбуши из рек Кольского полуострова характеризуются в 2–4 раза более высоким содержанием никеля (во всех органах и тканях), в 2,5–3 раза большим количеством цинка (в мышцах), в 2–3 раза большими концентрациями меди (в мышцах), чем в горбуше Сахалино-Курильского региона, пришедшей на нерест в реки Фирсовка (остров Сахалин) и Рейдовая (остров Итуруп). Уровни содержания Ni, как и Cu, наглядно демонстрируют геолого-геохимическую специфику Кольского полуострова. Морские воды Евро-Арктического региона являются потенциальной средой для получения Ni и других микроэлементов бентическими и пелагическими сообществами. Литературные данные по содержанию тяжёлых металлов в окружающей среде свидетельствуют о том, что биотопы с повышенными концентрациями Ni расположены вблизи зон добычи, переработки и выплавки этого металла.

Содержание микроэлементов в мышцах и гонадах охотоморской горбуши уменьшается в ряду Zn > Pb > Cu > Ni > Cd, что отличается от их распределения в соответствующих структурах баренцевоморской горбуши, в которых наблюдается смещение в ряду сравниваемых показателей (Zn > Cu > Ni > Pb > Cd). Распределение микроэлементов в печени рыб из рек Кольского полуострова иное: здесь резко превалирует содержание меди. Распределение Cu в органах и тканях горбуши из Сахалино-Курильского региона довольно равномерное, хотя наблюдалось различие в рыбах из разных рек: концентрации меди были в 1,5–2 раза выше в горбуше из реки Фирсовка, чем в рыбе из реки Рейдовая. Уровни содержания цинка в печени и гонадах баренцевоморской и беломорской горбуши превышают соответствующие значения у горбуши из Охотского моря в 13–15 раз.

В горбуше Сахалино-Курильского региона резко превалирует Pb, что связано с прохождением рыб в морской период жизни в процессе кормовой и анадромной миграций через Курильскую грядку и Курило-Камчатскую впадину, образующие природный геохимически импактный и одновременно высококормный район. Концентрация свинца в горбуше из островных рек достаточно высока, но ни в мышцах, ни в семенниках самцов, ни в икре самок она не достигает ПДК; только в печени рыб содержание Pb приближается к допустимой величине (1,0 мкг·г<sup>-1</sup>). В рыбах Кольского полуострова концентрация этого элемента в органах и тканях существенно ниже: значение в 4–6 раз меньше, чем в мышцах и гонадах рыб Сахалина и Итурупа.

Содержание кадмия в мышцах и гонадах самцов из рек Кольского полуострова составляло тысячные доли  $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ , в яичниках самок оно было выше в 2–6 раз. Печень этих рыб содержала существенно большее количество данного токсичного металла ( $0,110\text{--}0,122 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ ); эти значения были столь же контрастными, как в печени и других органах и тканях горбуши из сахалинской реки Фирсовка.

Очевидно, что существующие различия в микроэлементном составе рыб одного вида, обитающих в различных геохимических провинциях Мирового океана, вызваны разными факторами. В Евро-Арктическом бассейне они обусловлены влиянием тёплого мощного течения Гольфстрим, вбирающего хозяйственно-бытовые и промышленные стоки американского побережья и североамериканских стран и разгружающегося здесь в виде Северо-Атлантического течения, а также антропогенно-техногенным воздействием в виде речных и поверхностных стоков и аэротехногенных переносов от индустриально насыщенного Кольского полуострова. Этот полуостров выделяется среди других регионов северо-запада нашей страны добычей, переработкой и выплавкой ряда металлов, прежде всего Ni и Cu, а также Zn, «обогащающих» морскую среду и отражающихся на микроэлементном составе лососей. В Сахалино-Курильском бассейне формирование микроэлементного состава тканей горбуши происходит под влиянием природных факторов — вулканизма и апвеллингов, действующих во время нагула и миграций рыбы в Тихом океане, когда её стада пересекают высококормную и при этом геохимически импактную природную зону, образуемую Курильской грядой и Курило-Камчатской впадиной, которая поставляет химические элементы в поверхностные воды за счёт вулканизма и апвеллинга. Здесь наиболее заметно повышена концентрация Pb.

Различия в концентрациях микроэлементов в рыбах из рек Фирсовка и Рейдовая также, очевидно, обусловлены геохимическими особенностями среды. Река Фирсовка впадает в залив Терпения на юго-востоке Сахалина. Данный район, как и весь юг и юго-восток этого острова, характеризуется интенсивным трафиком различных больших и малых судов — рыболовецких, пассажирских, перевозчиков нефти и газа. Антропогенно-техногенное воздействие на среду обитания водных организмов сразу же отражается на их микроэлементном составе.

Содержание токсичных элементов (Pb и Cd) в органах и тканях горбуши, регламентируемое санитарными службами РФ, как в рыбе из естественного ареала, так и в интродуцированной не превышает допустимых значений для рыбы и морепродуктов.

## Перспективы биотехнологического использования микроводорослей рода *Coelastrella* Chodat (Chlorophyceae, Sphaeropleales)

Челебиева Э. С., Данцюк Н. В., Чубчикова И. Н., Дробецкая И. В., Минюк Г. С.

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

✉ [elina.chelebieva@gmail.com](mailto:elina.chelebieva@gmail.com)

Альгологические исследования, направленные на выявление коммерчески перспективных источников высокоценных каротиноидов (далее — Кар) пищевого и медицинского назначения, сохраняют свою актуальность на протяжении нескольких десятилетий. Целесообразность дальнейшего развития этого направления подтверждается многолетним положительным трендом развития мирового рынка Кар и, в частности, существенным увеличением объёмов продаж бета-каротина из *Dunaliella salina*, астаксантина из *Haematococcus lacustris* и лютеина из *Scenedesmus almeriensis*. Движущим фактором этого тренда является многократное увеличение спроса на Кар в производстве нутрицевтиков, продуктов питания, кормов и косметики, а способом его дальнейшего сохранения — расширение спектра промышленных видов и штаммов каротиногенных микроводорослей, способных служить комплексным сырьём для одновременного получения сразу нескольких востребованных рынком продуктов. По мнению ряда специалистов, которое авторы данной работы разделяют в полной мере, основываясь на результатах собственных исследований, одним из перспективных резервов дальнейшего роста мирового производства природных Кар являются зелёные микроводоросли рода *Coelastrella* Chodat 2022 (Sphaeropleales, Scenedesmaceae). Анализ и обобщению накопленных к настоящему времени экспериментальных данных, подтверждающих этот тезис, посвящена настоящая работа.

В докладе будут рассмотрены различные аспекты жизнедеятельности *Coelastrella* spp., имеющие значение для прогностической оценки их биотехнологического потенциала:

- сложная таксономическая история рода, обусловленная простой морфологией клеток, отсутствием жгутиковых стадий в жизненном цикле, фенотипической пластичностью, наличием криптических видов и отсутствием специфических генетических маркеров не только на уровне вида, но и, вероятно, на уровне рода;
- специфическая структура наружного слоя клеточной оболочки как один из наиболее значимых таксономических признаков;
- особенности эколого-географического распространения *Coelastrella* spp., связанные с наличием стадии покоя и пассивным переносом спор по вертикальным и широтным ветровым коридорам на большие расстояния;
- представленность *Coelastrella* spp. в мировых коллекциях микроводорослей;
- общие и специфические черты физиологии вегетативных клеток у различных видов *Coelastrella* в условиях интенсивной двухстадийной культуры — неприхотливость к питательным средам (сходство скоростей роста накопительных культур при равных световых и температурных условиях), склонность к миксотрофии и возможность культивирования на карбамиде как самом дешёвом источнике азота, термотолерантность вегетативных клеток на «зелёной» стадии культивирования, высокая стресс-толерантность при переводе на стадию вторичного каротиногенеза (далее — ВКГ), устойчивость культур к контаминации при выращивании открытым способом;
- функциональная роль абиотического стресса в индукции ВКГ, а также эффективные методы и приёмы перевода вегетативных культур *Coelastrella* spp на стадию ВКГ;
- отличительные особенности состава вторичных каротиноидов (высокое относительное содержание и биологическая активность кантаксантина и эфиров адониксантина);
- тесное сопряжение ВКГ с массивным накоплением нейтральных липидов;

- особенности жирнокислотного состава резервных липидов и их пригодность для получения качественного биодизеля, возможность одновременного получения из биомассы *Coelastrella* spp. двух коммерчески ценных продуктов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ 121030300149-0).

## Проблема физиологической готовности молоди лососёвых рыб с продолжительным пресноводным периодом жизни к скату в море после выпуска с рыборазводных заводов

Шульгина Е. В.<sup>1</sup>, Есин Е. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО),  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

✉ fleur-23@mail.ru

Эффективность работы лососёвых рыбоводных заводов (далее — ЛРЗ), специализирующихся на воспроизводстве тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни (нерка, чавыча, кижуч, сима), определяется физиологической полноценностью выпускаемой заводской молоди и её готовностью к покатной миграции в море. Чем выше доля полноценных смолтов и пресмолтов на заводе, тем бóльшая часть заводской молоди после выпуска откочует в море в этот же сезон и тем больше, соответственно, будет ожидаемая величина промыслового возврата. Отсутствие простых и надёжных критериев определения степени смолтификации затрудняет дальнейшее развитие искусственного воспроизводства этой группы рыб, разведением которых на Дальнем Востоке в настоящее время занимаются только 11 ЛРЗ, а объем выпуска составляет всего 1,2 % от общего выпуска молоди тихоокеанских лососей.

Предварительные исследования на камчатских ЛРЗ показали, что часть выпускаемой с заводов молоди тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни, будучи внешне и по размерам похожей на смолтов, истинными смолтами не является по ряду гормонально-физиологических показателей. Смолтификация, предшествующая смене среды обитания с пресноводной на морскую, — это сложная морфофизиологическая перестройка организма. У молоди задолго до миграции в море меняется множество физиологических показателей; ряд биологически активных веществ приобретает в организме новые функции; меняются некоторые метаболические пути. Липидный обмен перестаёт играть ключевую роль в энергетических процессах, уступая место гликогенолизу. Метаболиты липидов используются организмом для биосинтеза гормонов. На протяжении смолтификации можно выделить ряд критических моментов, когда процесс может реверсировать или пойти по нестандартному пути.


Смолтификация инициируется и регулируется гормональными каскадами. Изначально активизируется работа передней доли гипофиза (разнообразные тропные гормоны и рилизинг-факторы), а активность задней доли гипофиза тормозится. Имеются сведения, что стимуляция гипофиза происходит под контролем гипоталамуса через гиперсинтез серотонина и его производных (в том числе мелатонина), то есть имеет место изменение баланса работы серотонин- и дофаминергической систем центральной нервной системы. Одним из последствий изменения нейрогормональной активности становится изменение баланса гормонов, управляющих ионным обменом. В частности, увеличивается синтез кортикостероидов и кальцитонина, падает синтез паратиреоидного гормона и пролактинина. В результате изменяются функции тканей органов осморегуляции — жабр, кишечника, почек, костей. Повышается активность АТФ-зависимых ионных помп и депонирующих ионы структур, что приводит к увеличению буферности ионного гомеостаза.

Оценка готовности молоди чавычи, кижуча и нерки к морской среде обитания после выпуска с камчатских ЛРЗ (Малкинский, Виллойский и Озерки) на протяжении нескольких лет проводилась по следующим критериям: выживаемость в 40%-ной морской воде, динамика осмоларности крови, концентрации глюкозы и гемоглобина в крови, уровень гематокрита, потеря массы тела и активность  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазы после перевода в морскую воду (с контролем в пресной воде). Установлено, что значимый процент выпускаемой заводской молоди отличается по динамике ряда показателей от смолтов из природных водоёмов. По всей видимости, биотехнологии, применяемые на заводах, определяют специфический физиологический ответ, и тип метаболизма молоди (в том числе интенсивный белковый и липидный анаболизм) не оптимален для смолтификации. При этом внешние и поведенческие признаки могут соответствовать таковым у диких смолтов (серебристая окраска, вальковатое тело, стайное поведение, ориентация в течениях).



Следующим этапом работ стало изучение особенностей гормонального статуса заводской молоди чавычи в сравнении с дикой, в том числе молоди на разных стадиях развития. Среди заводской молоди выделено три группы — истинные смолты, пресмолты и пестрятки; они внешне различаются между собой по размеру, наличию пятнистости и степени развития серебристой окраски. Соотношение между этими группами при выпуске определяет общую готовность всей молоди к миграции и к обитанию в морской воде. Обнаружено, что уровень кальцитонина и паратиреоидного гормона у заводских «смолтов» чавычи с массой тела до 7 г (модальная размерная группа выпуска) не соответствует уровню, типичному для диких смолтов, а также истинных заводских смолтов массой более 7 г. Почти вся мелкая рыба этого выпуска не была готова к длительному обитанию в морской воде, даже с учётом прохождения острых тестов в 40%-ной морской воде.

Полученные результаты подтверждают гормональное разнообразие у исследуемых групп рыб, и это даёт возможность предположить, что путём контроля за гормональным статусом молоди можно повысить эффективность заводского разведения тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни.



Устойчивое  
развитие  
прибрежных зон

## **Организация децентрализованной системы водоотведения в городах прибрежной зоны**

**Басамыкина А. Н., Куркина Е. В., Камеристая М. А.**

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ [alena.basamykina@gmail.com](mailto:alena.basamykina@gmail.com)

Проблемы качества прибрежных вод преимущественно являются результатом антропогенной деятельности, связанной со сосредоточением населения вдоль побережий и с практикой землепользования на прибрежных водоразделах.

Видами загрязнения потенциально могут быть твёрдые коммунальные, промышленные и радиоактивные отходы, масла, муниципальные сточные воды, отложения, тяжёлые металлы и стойкие органические загрязнители. Попадая в морскую среду, загрязняющие вещества поглощаются морскими обитателями, оседают в устьях рек и на дне океана или распространяются с течениями и вихрями. Превышение показателей загрязнения (повышение до неустойчивого уровня) сказывается не только на морских экосистемах, но и на экономических секторах, зависящих от них (туризм, рыболовство и т. д.). В зоне риска может находиться здоровье населения; возникающие проблемы могут затронуть защиту берегов, общественное благоустройство и вопросы эстетики. Без надлежащих мер контроля эта антропогенная деятельность способна нанести серьёзный ущерб прибрежной среде.

Среди множества факторов, влияющих на качество прибрежной окружающей среды, наиболее важным является управление сточными водами.

Сточные воды — это любые воды, качество которых ухудшилось в результате антропогенного воздействия. Сточные воды могут возникать в результате сочетания бытовой, промышленной, коммерческой или сельскохозяйственной деятельности, поверхностного стока или ливневых вод. Неочищенные сточные воды из городов и посёлков являются самым крупным источником загрязнения водных объектов. Очистка сточных вод — это процессы и технологии, которые используются для удаления большинства загрязняющих веществ. Таким образом, управление сточными водами — один из важных факторов защиты окружающей среды для обеспечения здоровья населения, а также экономической, социальной и политической стабильности. Наиболее подходящие технологии обработки сточных вод — это те, которые являются экономически доступными и экологически устойчивыми. Степень очистки сточных вод варьирует в зависимости от локальных условий окружающей среды и от государственных стандартов.

За последние годы был достигнут значительный прогресс в улучшении качества воды, однако многие прибрежные районы по-прежнему страдают от постоянных проблем и могут столкнуться с новыми вызовами в будущем. Существующая политика в области качества прибрежных вод не обеспечивает адекватного управления сточными водами. Переосмысление её необходимо, если страна надеется и дальше поддерживать и улучшать качество прибрежных вод, постоянно принимая в расчёт рост прибрежного населения.

В городских районах, включая многие плотно населённые локации и некоторые пригороды, сточные воды обычно отводятся по трубопроводам на очистные сооружения, а затем сбрасываются в водоём (централизованная система водоотведения). Однако во всём мире в большинстве случаев нет централизованных систем отведения и очистки сточных вод. В районах без централизованных систем водоотведения сточные воды должны удаляться на месте или в прилегающие коммунальные системы. Они представляют собой децентрализованные системы очистки и удаления сточных вод и обезвреживания осадка на месте.

Проблемы и ограничения централизованных подходов к очистке сточных вод проявляются постепенно. Централизованные системы являются дорогостоящими в строительстве и эксплуатации, особенно в районах с низкой плотностью населения и с рассредоточенными домохозяйствами. Децентрализованная система водоотведения, напротив, становится жизнеспособной альтернативой для управления сточными водами в тех районах, где исторически не были проведены канализационные сети; она минимизирует воздействие на окружающую среду и способствует восстановлению ресурсов.

Для небольших населённых пунктов децентрализованная система является не только долгосрочным решением, но и более надёжным и экономически эффективным. Сбор, очистка и удаление — три основных компонента любой системы управления сточными водами, из которых сбор является наименее важным. Так, в децентрализованных системах сбор в системе управления сточными водами максимально сокращён, и основное внимание уделяется необходимой обработке сточных вод и их удалению.

В настоящее время децентрализованные системы могут быть спроектированы для конкретного участка, что позволяет преодолеть проблемы, связанные с высоким уровнем грунтовых вод, непроницаемыми почвами, неглубокими коренными породами и известняковыми образованиями. Кроме того, децентрализованные системы обеспечивают гибкость в управлении, и некоторые процессы могут быть объединены для достижения целей очистки и выполнения требований по охране окружающей среды и здоровья населения.

Эффективная программа управления сточными водами может снизить потенциальные риски на этапах установки, эксплуатации и обслуживания децентрализованной системы. На этапе установки очень важно выбрать подходящий участок, правильно спроектировать и построить систему. На этапе эксплуатации необходимы периодический мониторинг и строгое соблюдение нормативных требований. На этапе технического обслуживания основополагающим фактором для выявления любой системы, которая не функционирует должным образом, является планомерный осмотр.

Соответственно, существует значительная потребность в более комплексном управлении как локальными, так и кластерными системами очистки сточных вод. Комплексный подход к управлению обеспечивает учёт всех перспектив эффективного управления, включая экономические, социальные, технические и экологические аспекты. Для правильной эксплуатации и обслуживания оборудования и сооружений, в том числе мониторинга качества сточных вод, необходимы программы обучения сотрудников. Препятствия и проблемы, которые связаны с управлением сточными водами, могут быть преодолены путём соответствующего планирования и реализации политики, направленной на организацию децентрализованной системы водоотведения в городах прибрежной зоны.

## **Природные комплексы Черноморского побережья Краснодарского края в развитии рекреационной деятельности**

**Волкова Т. А., Климов Н. Н.**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, Россия

✉ [mist-next4@inbox.ru](mailto:mist-next4@inbox.ru)

---

Краснодарский край традиционно выступает одним из лидеров по количеству принимаемых туристов. По данным Министерства курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края, динамика турпотока для региона является положительной; в 2021 г. значение практически сравнялось с таковым «доковидного» 2019 г. Согласно статистическим данным, из общего количества размещённых в коллективных средствах размещения 77,4 % посетили территорию с целями отпуска, досуга и отдыха, а 11,2 % — с целью лечения и оздоровления. При этом по величине туристкой нагрузки самыми высокими показателями характеризуются именно муниципальные образования Черноморского побережья — городские округа Анапа, Геленджик, Сочи и Туапсинский муниципальный район. Ситуация остаётся неизменной на протяжении более чем 10 лет. Традиционно Черноморское побережье Краснодарского края привлекает туристов и рекреантов со всей Российской Федерации. По статистическим данным, распределение туристской нагрузки на территории Краснодарского края характеризуется неравномерностью. На протяжении нескольких лет городские округа Анапа, Геленджик, Сочи и Туапсинский муниципальный район лидируют среди муниципальных образований Краснодарского края по указанному показателю.

Черноморское побережье Краснодарского края — территория притяжения организованных и неорганизованных туристов со всей страны. Во многом именно пляжная зона всё ещё является основным целевым объектом движения туристов в сторону моря. Активное развитие туристской отрасли и современная геополитическая обстановка способствуют стабильности уровня туристского потока и его повышению. Сегодня в нашей стране активно развивается внутренний туризм и существует тренд на формирование гиперлокального туризма. Гиперлокальность — феномен, получивший массовое развитие в различных областях человеческой деятельности в период пандемии. Гиперлокальный туризм, или микротуризм, предполагает путешествия на короткий срок и часто внутри одного региона. Нередко гиперлокальный туризм является туризмом неорганизованным, стихийным. Именно гиперлокальный туризм отражает внутрорегиональную рекреационную деятельность, при которой жители перемещаются в относительно близко расположенные рекреационные и туристские зоны (находящиеся на расстоянии нескольких часов пути от основного места жительства). В Краснодарском крае такими являются в первую очередь зоны морских побережий, в меньшей степени — горно-предгорная зона. Уникальное сочетание природных условий и ресурсов на территории Краснодарского края в комплексе с территориальной организацией человеческой деятельности и системы расселения края и близлежащих регионов способствует формированию и развитию этого феномена. В условиях Краснодарского края гиперлокальный туризм воздействует на структуру турпотока и на особенности туристского природопользования: усиливается тренд на формирование массового туризма, повышается риск утраты устойчивости развития туризма в части влияния на окружающую среду (влияние на биоразнообразие, на водные и земельные ресурсы, загрязнение воздуха, воды и шумовое, эстетическое загрязнение и т. п.). Основной гипотезой исследования становится негативное воздействие туристов и рекреантов на уникальные ландшафтные комплексы Черноморского побережья Краснодарского края, расположенные вне территории организованных пляжей, вследствие несоответствия показателей нормативной площади на одного отдыхающего и минимальной протяжённости береговой полосы пляжа на одного посетителя реальному количеству отдыхающих, посещающих организованную пляжную зону, и значительного количества неорганизованных туристов, предпочитающих так называемый дикий отдых. В обстановке высокого антропогенного прессинга на Черноморское побережье необходима разработка мероприятий по природоохранной и рекреационной деятельности. Обязательное условие при оценке пригодности природных ресурсов для целей рекреационно-туристической деятельности — экологическое благополучное состояние природной среды.

На основе ландшафтной структуры и ярко выраженных природных комплексов с учётом разработанных критериев были выделены 23 группы природных комплексов и дана оценка их природно-рекреационной значимости в развитии рекреационной деятельности. При оценке природно-рекреационной значимости использовались следующие критерии: ландшафтное разнообразие, биологическое разнообразие, уникальность (наличие редких и экзотических форм рельефа, редких эндемичных и реликтовых видов растений и животных), эстетическая привлекательность, познавательная ценность. Для каждого критерия применены три оценки — высокая (3), средняя (2) и низкая (1).

Анализ значимости природных комплексов Черноморского побережья показывает их высокий рекреационный потенциал. В регионе нет природных экосистем, которые невозможно было бы использовать в развитии научного, экологического и познавательного туризма и которые не были бы отнесены к высокозначимым. На первом месте стоят: субсредиземноморский ксерофильный вечнозелёный лесной, приморские обрывы, гемиксерофильный вечнозелёный нижнегорный с сосной пидундской, томиллярный кустарничковый, скально-лесной, субтропический колхидский смешанный широколиственный нижнегорный, субтропический колхидский вечнозелёный самшитово-тисовый, субтропический колхидский ущельный, экотонный верхней границы леса, субальпийский луговой, альпийский луговой. В регионе отсутствуют природные комплексы с низким и средним значением.

Индикатором трансформации природного комплекса является его устойчивость и чувствительность к рекреационному воздействию. Все природные комплексы обладают высокой эстетической привлекательностью, насыщены эндемичными и реликтовыми видами, редкими формами рельефа. Каждый природный комплекс имеет специфические особенности для развития того или иного вида туризма. Использование природных комплексов Черноморского побережья Кавказа в рекреационных целях требует особой осторожности. Они характеризуются чрезвычайно высокой чувствительностью к антропогенным нарушениям и большой уязвимостью. При организации рекреационной деятельности необходимо включать в рекреационные территории элементы экологического каркаса, который предназначен для поддержания оптимального функционирования, динамической устойчивости природного комплекса.

Исследование выполняется при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № Н-21.1/14.

## Сравнительный анализ наземных и спутниковых наблюдений газогеохимических полей метана и углекислого газа южной части острова Сахалин

Сырбу Н. С., Степочкин И. Е.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ [syrbu@poi.dvo.ru](mailto:syrbu@poi.dvo.ru)

Сахалинский регион представляет огромный интерес с позиций генезиса и экологической значимости природных газов осадочных бассейнов, скоплений подводных газогидратов, геотермальных и грязевулканических систем, газонасыщенных подземных вод и морских осадков. Исследования эмиссии газов острова Сахалин и прилегающего шельфа имеют большое значение в рамках реализации проекта «Дальневосточный морской карбоновый полигон», объединяющего все дальневосточные моря и Восточную Арктику.

До недавнего времени вклад геологических источников в глобальный бюджет метана, выделяющегося из различного типа трещин и разломов в земной коре, в значительной степени игнорировался. Лишь немногие расчёты с использованием обратного моделирования содержат оценку эмиссии метана геологическими источниками, однако в них значительно недооценены масштабы эмиссии из таких источников, как газогидраты, магматические и грязевые вулканы.

Исследованиями предшественников и авторскими наблюдениями установлено, что грязевые вулканы Хоккайдо-Сахалинской складчатой области контролируются продольными разломными зонами, вдоль которых также расположены скопления углеводородов (нефть — газ — уголь — газогидраты). Наиболее благоприятными местами возникновения участков сосредоточенной разгрузки газов и флюидов являются узлы пересечения активных разломов различных кинематических типов, среди которых преобладают взбросы и сдвиговые дислокации. При этом для грязевых вулканов Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы установлен косейсмический эффект активизации газовой эмиссии; эти грязевые вулканы — Южно-Сахалинский, Пугачёвский, Лесновский и Восточный.

Для выявления особенностей аномальных газогеохимических полей метана и углекислого газа были проведены многолетние (с 2011 г.) полевые исследования термальных и минеральных источников, грязевых вулканов, участков нефтегазопоявления и газовых гидратов на острове Сахалин и его шельфе. Были проанализированы данные спутникового наблюдения за концентрацией метана в воздухе над островом Сахалин за период с 2018 по 2021 г. Используются данные:

- AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder, <https://airs.jpl.nasa.gov/>). Работает на спутнике AQUA. Наибольшая чувствительность к метану заявлена на уровне 300–400 гПа ([https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/AIRS/V7\\_L2\\_Product\\_User\\_Guide.pdf](https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/AIRS/V7_L2_Product_User_Guide.pdf)).
- TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>). Работает на спутнике Copernicus Sentinel-5 Precursor. Предоставляемые данные — метан, озон, CO, NO<sub>2</sub>, формальдегид, облачность в виде интегральных по атмосферному столбу значений параметров, измеренных вдоль точек орбиты полёта.
- IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer – New Generation) на борту спутника MetOp (<https://www.eumetsat.int/iasi>). Ориентирован на измерение атмосферных профилей парниковых газов и на мониторинг качества воздуха с пространственным разрешением 12 км.

Полевые работы включали отбор проб воды из термальных и минеральных источников в бутылки объёмом 500 и 100 мл. Газ извлекался методом вакуумной дегазации и методом равновесных концентраций в лаборатории ТОИ ДВО РАН. В районах грязевого вулканизма отбирались также пробы свободного газа. За время работ в районе острова Сахалин был получен представительный фактический материал. Подавляющее число проб и образцов уникальны ввиду труднодоступности районов и их небольшой изученности в газогеохимическом аспекте.



Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте лаборатории газогеохимии ПС 1.051-21, утверждённом Свидетельством Росстандарта № 58 от 21.12.2021.

Согласно ранее проведённым газогеохимическим исследованиям, на острове Сахалин выделены две эколого-газогеохимические зоны первого порядка — метановая и углекисло-метановая.

Особенности проявления полей метана и углекислого газа на острове Сахалин отражает различие в геологическом строении его северо-восточной и юго-западной частей. Результаты проведённой многолетней газогеохимической съёмки подтверждаются данными спутникового наблюдения.

Наблюдения посредством трёх сканеров спутниковой системы слежения (AIRS, TAROMI и IASI) за районом Южно-Сахалинского грязевого вулкана показали схожие результаты: дистанционные методы зондирования атмосферы зафиксировали рост концентрации метана после землетрясения, а также сохранение относительно стабильного показателя концентрации в течение 7 дней после землетрясения. Кроме того, каждый из используемых сканеров подтвердил снижение концентрации при условии увеличения высоты рассматриваемого слоя.

Взаимосвязь распределения и изменчивости природных газов в зависимости от сейсмичности была подтверждена и исследовалась на южном отрезке Центрально-Сахалинского разлома, на примере Южно-Сахалинского грязевого вулкана и Пугачёвской группы грязевых вулканов.

Результаты проведённых исследований позволяют утверждать, что сильные землетрясения влияют также на химический состав свободных газов Южно-Сахалинского грязевого вулкана.

Глубина сахалинских сдвигов определена по глубине очагов землетрясений — 15–20 км. По данным сейсмических исследований, таким глубинам соответствуют зоны трещиноватости, насыщенные флюидами, соединяющиеся с вертикальными разломами сдвигового типа. В таких местах происходит активная миграция газов. Вдоль Хоккайдо-Сахалинского и Центрально-Сахалинского разломов вертикальная амплитуда смещения блоков составляет 400–600 м. Вероятно, в периоды землетрясений в районе глубоких тектонических прогибов может происходить процесс смешивания глубинных флюидов и седиментогенных растворов, содержащих углеводородные газы. Во время сеймотектонического сдвига происходит миграция флюидов в проницаемые зоны. Флюиды заполняют трещины и выдавливаются вверх по разлому. Если разлом перекрыт осадочным чехлом (северо-восточная часть Сахалина), то флюиды скапливаются в пластах пористых и трещиноватых пород; если разлом сообщается с земной поверхностью (южная и юго-западная часть Сахалина), то флюиды выходят на поверхность.

# Именной указатель

## А

Абибулаева А. Ш., 54  
Адарченко И. А., 110  
Акимов А. И., 168  
Аксёнов А. С., 163  
Аксёнова О. В., 163, 207  
Алексеев М. Ю., 296  
Алексеева Е. А., 265  
Алёмова А. С., 171  
Аминина Н. М., 210, 268  
Андреева А. Ю., 172, 182  
Аникеева О. В., 54  
Ануфриева Е. В., 154, 205  
Артамонова К. В., 78  
Артына Н. К., 212  
Архипова С. И., 237  
Атаев Г. Л., 65, 206  
Афонин А. А., 213

## Б

Бабий К. А., 18, 38  
Бабкина И. Б., 58  
Байрамова Э. М., 201  
Бакланов М. А., 238–240  
Барабашин Т. О., 20  
Басамыкина А. Н., 244, 303  
Бедошвили Е. Д., 201  
Белич Т. В., 51  
Белокобыльский И. Ф., 62  
Белокопытов В. Н., 120  
Берберова Н. Т., 291  
Беспалая Ю. В., 163  
Битютский Д. Г., 21  
Бобровская А. В., 206  
Бойко Е. Г., 276  
Болгунов А. Н., 44  
Бондарев С. В., 98  
Бородин А. В., 44, 45  
Брюханов А. Л., 174  
Будников А. А., 80  
Букова В. И., 248  
Буренина Т. А., 87  
Бурлаков А. Б., 248  
Буфетова М. В., 215

## В

Валуйская Д. А., 220  
Васечкина Е. Ф., 120  
Вахрушев М. О., 242  
Вдодович И. В., 36  
Вежновец В. В., 23  
Великородов А. В., 41, 289  
Вишневская Т. И., 210  
Вишняков А. Э., 56  
Водясова Е. А., 30, 186  
Волкова Т. А., 305  
Воробьева А. В., 202, 203  
Воронин В. П., 287  
Вяткина Ю. В., 238, 240

## Г

Габриелян Б. К., 23  
Габышев В. А., 25  
Габышева О. И., 25  
Гаврилова Н. А., 75  
Гаджи А. В., 205  
Газизова Т. Ю., 82  
Галактионова М. Л., 148  
Галютдинова Е. Р., 158  
Гамахария П. Д., 28  
Гангнус И. А., 78  
Георгиева Е. Ю., 84  
Глухих И. М., 276  
Голованова Е. В., 38  
Головина И. В., 174  
Головинов И. В., 202, 203  
Голубева А. А., 254  
Горбунов Р. В., 85, 91  
Горбунова Т. Ю., 85  
Городецкий В. Г., 217  
Гостюхина О. Л., 182  
Грабович М. Ю., 171  
Григорьев Ю. С., 212  
Гринберг Е. В., 263  
Гринцов В. А., 27  
Гурылева А. В., 248  
Гусева В. П., 46

## Д

Данилова И. В., 87

Данцюк Н. В., 298  
Дбар Р. С., 28  
Двуреченская С. Я., 94  
Деревенская О. Ю., 89  
Дзизюров В. Д., 268  
Дмитриева Е. В., 30  
Довгаль И. В., 54, 75  
Доколин Д. А., 160  
Долгоносков А. А., 101  
Долматова Л. С., 176  
Донец М. М., 233  
Дончик П. И., 32  
Дробецкая И. В., 298  
Дрыгваль А. В., 91  
Дрыгваль П. В., 92  
Душенко Н. В., 140  
Дьякова С. А., 158

## Е

Евдокимов Е. Г., 190  
Евстигнеев В. П., 124  
Елфимова Н. С., 34, 35, 98  
Ергина Е. И., 138  
Ермолаева Н. И., 94  
Ерохина И. А., 178  
Есин Е. В., 300  
Еськова А. И., 103  
Ефимова Д. И., 96

## Ж

Живоглядова Л. А., 98  
Жигилева О. Н., 265  
Жук В. Ф., 124  
Журавель Е. В., 233  
Журавлева Н. Г., 267  
Жухарева О. П., 96

## З

Загородняя Ю. А., 36  
Загумённая О. Н., 99  
Загуменный Д. Г., 99  
Зайцева О. В., 56, 180  
Зайцева Ю. В., 160  
Закота Т. Ю., 111  
Залота А. К., 98  
Захарова Ю. Р., 201  
Злобин И. В., 160  
Зыонг Тхи Ким Чи, 117

## И

Иванов А. А., 101  
Иванова А. П., 25  
Иванова И. Н., 80  
Изиметова М. Ф., 219  
Ильин Г. В., 220

## К

Кадников В. В., 166  
Кадникова И. А., 268  
Казаринов С. Н., 270  
Калгин В. Ю., 103, 130  
Калинка О. П., 222  
Камеристая М. А., 303  
Камнев А. Н., 162  
Кан В. В., 34, 35  
Канаканиди Е. К., 34, 35  
Карамушко Л. И., 104  
Карамушко О. В., 104  
Караулова Е. П., 176  
Карнатов А. Н., 224, 260  
Катайкина О. И., 228  
Каурова З. Г., 226  
Келип А. А., 91  
Кисиль О. Я., 163  
Кладченко Е. С., 172, 182  
Климов Н. Н., 305  
Климова Т. Н., 36  
Клосс Дж., 286  
Ключкина А. А., 106  
Князев С. Ю., 18, 38  
Кобечинская В. Г., 49, 258  
Ковальчук Л. А., 184, 194  
Ковековдова Л. Т., 228, 233  
Колочкина Г. А., 98  
Коляда М. Н., 39, 41  
Комаров А. А., 99  
Комарова Л. В., 270  
Комарова Л. Н., 213  
Кондаков А. В., 207  
Коновалова М. Е., 108  
Коновалова О. П., 151  
Копий В. Г., 180  
Коржавин А. В., 46, 217  
Королев В. Г., 204  
Коротков А. А., 230  
Коротков Э. А., 72  
Костицына Н. В., 239  
Котенко О. Н., 56  
Котеньков С. А., 148  
Кохан А. С., 186  
Кравченко И. К., 42  
Кривенко А. П., 140  
Крохалева М. А., 44, 45  
Крупнова М. Ю., 198, 292  
Ку Нгуен Динь, 117  
Кузнецова М. В., 198, 292  
Кузнецова О. В., 140  
Кулиев Г. Н., 45  
Куликовский М. С., 278, 285  
Курбатова А. И., 110  
Курицын А. Е., 292  
Куркина Е. В., 303

Куршаков С. В., 272  
Куцанов К. В., 276  
Куцын Д. Н., 32, 274, 294

## Л

Лавинен Н. А., 78  
Лантушенко А. О., 186, 205  
Ле Куанг Ман, 117  
Лебедев Я. О., 92  
Левина С. Г., 254  
Легкодимов А. А., 103  
Литвиненко А. В., 296  
Литвиненко Л. И., 276  
Лобко В. В., 231  
Логоминова И. В., 71  
Лунева Н. Н., 111  
Лыгановская В. Д., 20  
Лысак Л. В., 42  
Ляпунова Е. Р., 213  
Ляшко Т. В., 113

## М

Мазур М. А., 233  
Макаревич П. Р., 114  
Малахова Л. В., 231, 235  
Малахова Т. В., 80, 115  
Малин М. И., 117  
Малина И. П., 117  
Малова А. И., 140  
Мальцев В. Н., 279, 281–283  
Мальцев Е. И., 278, 285  
Мальцева И. А., 278  
Мальцева С. Ю., 285  
Марченков А. М., 201  
Масевич А. В., 120  
Матасова И. Ю., 119  
Магишов Г. Г., 220  
Мачихин А. С., 248  
Мегер Я. В., 205  
Мельников В. В., 36, 120  
Менькова А. В., 158  
Мерзляков И. Н., 270  
Микшевич Н. В., 184, 194  
Минкина Н. И., 122  
Минский И. А., 124  
Минюк Г. С., 298  
Мирзабаев Д. А., 250  
Мирзоева Н. Ю., 230, 237  
Михайлова А. В., 212  
Михайловская З. Б., 46  
Михайловская Л. Н., 46  
Михеев П. Б., 48, 238–240, 270, 286  
Михеева О. И., 48  
Мишин А. В., 21  
Мищенко В. А., 184  
Морозов А. А., 201

Мосейченко И. Н., 230, 237  
Москвитина М. И., 171  
Мурашева М. Ю., 67  
Мурашова А. И., 80, 115, 231  
Мурзина С. А., 21, 287, 292  
Мухина М. В., 239  
Мячина К. В., 126

## Н

Надирли Л. В., 45  
Наймушин С. Г., 140  
Намятов А. А., 128  
Нгуен Чонг Хиеп, 252  
Небесихина Н. А., 202, 203  
Негода С. А., 20  
Немова Н. Н., 198, 287, 292  
Никифоров В. В., 71  
Никольский В. Н., 152

## О

Обжиров А. И., 103, 130  
Орлов А. М., 21  
Орлов Ю. А., 206  
Осипова А. Д., 289, 291  
Осипова В. П., 289, 291  
Островский А. Н., 56

## П

Павлова Л. В., 131  
Параскив А. А., 242, 246  
Пастухов И. А., 128  
Пашенко К. П., 41  
Перетыкин А. А., 254  
Петров С. А., 180  
Пименов Н. В., 166  
Пименов Ю. Т., 289  
Пионтковский С. А., 124, 133  
Половинкина М. А., 289, 291  
Пономарева Е. Н., 39  
Поносов С. В., 270  
Поспелова Н. В., 134  
Потемкин А. И., 244  
Похазникова А. А., 265  
Приймак А. С., 134  
Прикоки О. В., 136  
Провоторов Д. С., 287  
Проскурнин В. Ю., 242, 246, 252, 258  
Прохорова Д. А., 30  
Прохорова Е. Е., 69, 206  
Прусов С. В., 286  
Прыгунова И. Л., 49  
Пышкин В. Б., 49

## Р

Разова Л. Ф., 276  
Расхожева Е. В., 104  
Родин М. А., 292

Руденко Е. Е., 248  
Руденко Т. С., 171  
Русанов А. Г., 82  
Русанов И. И., 166  
Русяев С. М., 136  
Рылькова О. А., 168  
Рычкова В. Н., 174, 182

## С

Савенкова Е. В., 110  
Садогурская С. А., 51  
Садогурский С. Е., 51  
Саласар Флорес К. А., 110  
Самотой Ю. В., 294  
Самышев Э. З., 122  
Сапелко Т. В., 82  
Сафонова М. С., 85, 138  
Светочев В. Н., 53  
Светочева О. Н., 53  
Севастьянов В. С., 101, 140  
Селюков А. Г., 248, 250, 265  
Селюкова С. А., 250  
Семенова А. С., 141  
Сеничкина С. Е., 119  
Сергеева Н. Г., 54  
Серикина И. М., 124  
Серова К. М., 56  
Сибиряков П. А., 44, 45  
Сигачева Т. Б., 188, 272  
Сидоров И. Г., 252  
Сизов Л. Р., 42  
Симакова А. В., 58  
Симоконь М. В., 228  
Синицына Т. А., 148  
Скворцова Е. Г., 165  
Скуратовская Е. Н., 188, 272  
Смирнова Е. В., 59  
Смирнова Л. Л., 101  
Соколов А. А., 44  
Сокольникова Ю. Н., 146  
Солдатов А. А., 174, 186  
Соломонова Е. С., 168  
Сопрунова О. Б., 158  
Старунов В. В., 61  
Старунова З. И., 61  
Стельмах Л. В., 84  
Стенкова А. М., 146  
Степочкин И. Е., 307  
Столяров А. П., 143  
Стуколова И. В., 162  
Субботин А. А., 36  
Суворова И. В., 62  
Сухин И. Ю., 268  
Сырбу Н. С., 307

## Т

Табунщик В. А., 85, 145

Тарабаев Т. А., 58  
Терентьев А. С., 63  
Терещенко Н. Н., 242, 246, 252, 258  
Теюбова В. Ф., 119  
Тимофеев В. А., 98  
Тимченко Н. Ф., 176  
Тимшанов Р. И., 73  
Тихоненков Д. В., 99  
Тихонова Е. Н., 166  
Ткаченко Е. А., 140  
Токмакова А. С., 65  
Токранов А. М., 67  
Торгашкова О. Н., 96  
Травина О. В., 163  
Трапезников А. В., 46, 217  
Трапезникова В. Н., 46, 217  
Тряпицына Г. А., 254  
Тряпицына С. В., 254  
Тумас А. В., 146

## У

Усачёв С. И., 21  
Усманова Р. Р., 69  
Устьянцева О. В., 71  
Усягина И. С., 220  
Ушивцев В. Б., 148

## Ф

Федирко А. В., 115  
Федотова О. В., 291  
Федулов В. С., 140  
Федулова В. Ю., 140  
Феттер Г. В., 94  
Филинская О. В., 165  
Филиппов Д. А., 99  
Флёрова Е. А., 160, 190, 192

## Х

Холмогоров А. О., 149  
Холмогорова Н. В., 196  
Хохлов Д. Д., 248  
Хребтова И. С., 207  
Хренкин Д. В., 35, 98  
Христофорова Н. К., 296

## Ц

Цыганков В. Ю., 233, 296  
Цыганов А. Н., 99

## Ч

Чава А. И., 151  
Челебиева Э. С., 298  
Черная Л. В., 184, 194  
Черненко С. А., 18  
Чернова Е. Н., 256  
Черняев А. П., 233  
Чесалин М. В., 152

Чешун К. А., 165  
Чубчикова И. Н., 298  
Чудиновских Е. С., 21, 36  
Чужикова-Проскурнина О. Д., 246, 252, 258  
Чуйко Г. М., 196  
Чыонг Ба Хай, 117

### **Ш**

Шавыкин А. А., 222, 224, 260  
Шадрин Н. В., 154, 205  
Шаповалов М. И., 72  
Шарапова Л. И., 155  
Шнькин Б. А., 101  
Шоман Н. Ю., 168

Шульгина Е. В., 300  
Шульгина Н. С., 198  
Шуман Л. А., 248

### **Э**

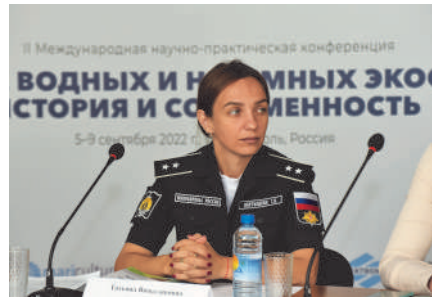
Эркинаро Я., 286

### **Я**

Ядренкин А. В., 73  
Ядренкина Е. Н., 73  
Якубова К. С., 238, 240  
Якшина И. А., 25  
Ялковская Л. Э., 44, 45









*Научное издание*

# Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

II Международная научно-практическая конференция

5–9 сентября 2022 г.  
Севастополь, Российская Федерация

Вёрстка, макет:  
Сергеева А. В.

Корректор:  
Копытова О. Ю.

Дизайн:  
Майборода Д. И.

*Ответственность за содержание опубликованных материалов  
несут авторы.*

ФИЦ ИнБЮМ  
пр-кт Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ  
Тел.: +7 8692 54-55-50

ISBN 978-5-6048081-3-9



9 785604 808139