

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦИЯ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

2020

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

19–22 октября 2020 г.
г. Севастополь, Российская Федерация



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

Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»

Институт природно-технических систем РАН

Севастопольский государственный университет

Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
в городе Севастополе

Департамент образования и науки города Севастополя

Российский фонд фундаментальных исследований

Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020

Всероссийская онлайн-конференция

Тезисы докладов

19–22 октября 2020 г.

Севастополь, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИнБЮМ
2020

УДК 574.5/.6(262.5)

ББК 28.08(922.8)

А43

А43 **Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020** : тезисы докладов Всероссийской онлайн-конференции, 19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2020. – 104 с.

ISBN 978-5-6044865-4-2 <https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-4-2>

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской онлайн-конференции «Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020» (19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация), отражающие результаты исследований в области теоретической гидробиологии и океанологии, а также изучения современного состояния экосистем Чёрного моря, в том числе выполненных по грантам региональных конкурсов на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, проводимых Российским фондом фундаментальных исследований и городом Севастополем.

Издание предназначено для гидробиологов, географов, экологов, специалистов в области охраны природы и природопользования, работников аквакультурной отрасли, представителей органов власти, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 574.5/.6(262.5)

ББК 28.08(922.8)

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

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований, проект № 20-04-22066.*

*Публикуется по решению учёного совета ФИЦ ИнБЮМ
(протокол № 12 от 23.10.2020).*

ISBN 978-5-6044865-4-2

© Авторы, 2020
© ФИЦ ИнБЮМ, 2020

**Всероссийская онлайн-конференция
Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020**

19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация

Организаторы



Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
<http://ibss-ras.ru>



Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»
<http://mhi-ras.ru>



Институт природно-технических систем РАН
<https://иптс.рф>



Севастопольский государственный университет
<https://www.sevsu.ru>

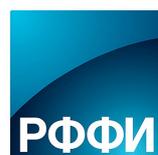


Филиал Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова в городе Севастополе
<https://sev.msu.ru>



Департамент образования и науки города Севастополя
<http://do.sev.gov.ru/>

При финансовой поддержке



Российский фонд фундаментальных исследований
<https://www.rfbr.ru>

**Всероссийская онлайн-конференция
Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020**

19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация

Организационный комитет

Корнийчук Юлия Михайловна, к. б. н. (сопредседатель)

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Величко Наталья Валентиновна, к. ф. н. (сопредседатель)

Департамент образования и науки города Севастополя

Поспелова Наталья Валериевна, к. б. н. (заместитель председателя)

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Машукова Ольга Владимировна, к. б. н.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Подзорова Дарина Васильевна

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Белогурова Раиса Евгеньевна

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Данилова Валерия Александровна

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Багаев Андрей Владимирович, к. ф.-м. н.

Морской гидрофизический институт (г. Севастополь)

Алексеев Дмитрий Владимирович, к. ф.-м. н.

Морской гидрофизический институт (г. Севастополь)

Миргород Елена Ивановна, к. психол. н.

Департамент образования и науки города Севастополя

Всероссийская онлайн-конференция
Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020

19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация

Программный комитет

Егоров Виктор Николаевич, д. б. н., проф., академик РАН (**председатель**)

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Горбунов Роман Вячеславович, к. г. н. (**сопредседатель**)

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Коновалов Сергей Карпович, д. г. н., чл.-корр. РАН (**сопредседатель**)

Морской гидрофизический институт (г. Севастополь)

Скуратовская Екатерина Николаевна, к. б. н. (**заместитель председателя**)

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Гришин Игорь Юрьевич, д. т. н., проф.

Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
в городе Севастополе

Мотыжев Сергей Владимирович, д. т. н.

Морской гидрофизический институт РАН (г. Севастополь)

Маслова Вероника Николаевна, к. г. н.

Институт природно-технических систем (г. Севастополь)

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

Институт природно-технических систем (г. Севастополь)

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

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

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

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)

Евстигнеев Максим Павлович, д. ф.-м. н., проф.

Севастопольский государственный университет (г. Севастополь)

Дьяков Николай Николаевич

Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова (г. Москва)

Игнатов Евгений Иванович, д. г. н., проф.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (г. Москва)

Содержание

Belogurova R. E.

Morphological diversity in round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Pisces, Actinopterygii, Gobiidae) from the Black Sea 12

Алексеев Д. В., Демышев С. Г., Евстигнеева Н. А., Дымова О. А., Миклашевская Н. А.

Мезо- и субмезомасштабная изменчивость циркуляции вод в районе города Севастополя на основе ассимиляции данных наблюдений в численной модели динамики Чёрного моря 14

Алёмова А. С., Сербин А. Д., Полевой Д. М., Андреевко Н. Н., Пасеин Е. С., Ковыршина Е. М., Скуратовская Е. Н.

Показатели двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* как биоиндикаторы экологического состояния севастопольских морских акваторий 16

Анисимов А. Е., Ефимов В. В.

Климатические оценки режима осадков в Крымском регионе по спутниковым данным 19

Анисимов А. Е., Ефимов В. В.

Численное моделирование экстремальных осадков в Крыму 20

Бежин Н. А., Довгий И. И., Выдыш А. А., Янковская В. С.

Использование сорбентов на основе ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 для определения ^{210}Pb 21

Белогурова Р. Е., Киселева М. О.

Особенности биологии бычка-мартовика *Mesogobius batrachocephalus* (Pallas, 1814) у берегов Крымского полуострова 23

Болтачева Н. А. Лисицкая Е. В.

Таксономический состав многощетинковых червей Балаклавской бухты (Чёрное море) 25

Водясова Е. А.	
Генотипирование морских беспозвоночных: современный подход к идентификации вида	27
Вышкваркова Е. В., Рыбалко Е. А., Баранова Н. В.	
Оценка агроклиматических условий Севастопольского региона для рационального размещения виноградных насаждений	29
Гребнева Е. А., Валле А. А., Полонский А. Б., Серебренников А. Н.	
Долгопериодная изменчивость гидрофизических и гидрохимических характеристик в поверхностном, подповерхностных и промежуточных слоях Чёрного моря под воздействием региональных климатических изменений	31
Греков А. Н., Никишин В. В., Альчаков В. В., Кабанов А. А., Шишкин Ю. Е.	
Полевые испытания системы экологического мониторинга водной среды на основе интеллектуального автономного миникорабля	33
Довгий И. И., Козловская О. Н., Кременчуцкий Д. А., Бежин Н. А., Проскурнин В. Ю.	
Извлечение космогенных изотопов фосфора ³²P, ³³P из морской среды для изучения биодинамики фосфора	35
Дьяков Н. Н., Мальченко Ю. А., Боброва С. А.	
Характеристика качества морских вод Севастополя в 2020 г. по данным гидрохимического мониторинга Севастопольского отделения ФГБУ «ГОИН»	37
Елфимова Н. С., Фроленко Л. Н.	
Видовой состав зообентоса российского сектора Чёрного моря по результатам исследований 2020 г.	39
Жукова С. В., Шишкин В. М., Карманов В. Г., Подмарева Т. И., Безрукавая Е. А., Бурлачко Д. С., Лутынская Л. А., Фоменко И. Ф.	
Новые рекорды солёности Азовского моря	41
Жукова С. В., Шишкин В. М., Карманов В. Г., Подмарева Т. И., Безрукавая Е. А., Лутынская Л. А., Бурлачко Д. С.	
Основные климатические тенденции в бассейне Азовского моря на перспективу до 2030 г.	43

Жукова С. В., Косенко Ю. В., Кораблина И. В.	
Современная эколого-рыбохозяйственная ситуация на Нижнем Дону и в Азовском море	45
Зубкова В. С., Оскольская О. И.	
Определение активности оползневых блоков и проектирование использования прибрежных зон для рекреации	47
Катохин А. В., Корнийчук Ю. М.	
Генотипирование черноморских опецелидных трематод по митохондриальным маркерам	49
Кременчуцкий Д. А., Батраков Г. Ф., Куринная Ю. С.	
Многoletняя изменчивость концентрации висмута-214 в Севастопольском регионе	51
Макаров М. В.	
Распределение Mollusca в реке Чёрная (Юго-Западный Крым)	53
Малахова Л. В., Проскурнин В. Ю., Стецюк А. П., Лобко В. В., Сидоров И. Г., Архипова С. И., Бобко Н. И.	
Оценка поступления биогенных элементов, хлорорганических ксенобиотиков, микроэлементов и антропогенных радионуклидов в Севастопольскую бухту с потоком реки Чёрной	55
Марков А. В., Горовцов А. В., Морозова М. А.	
Разработка методов фагодетекции и фагоидентификации галофильных вибрионов, патогенных для тихоокеанской устрицы	57
Машукова О. В., Силаков М. И.	
Воздействие нефтепродуктов на биолюминесценцию черноморских гребневиков-вселенцев <i>Mnemiopsis leidyi</i> A. Agassiz и <i>Beroe ovata</i> Mayer	59
Найда А. А., Царин С. А.	
Новый формат представления информации для электронных определителей на примере атериновых рыб (Atherinidae, Pisces) Чёрного моря	61
Никишин В. В., Багаев А. В.	
Управление компактным датчиком температуры и солёности на мало-размерных беспилотных надводных аппаратах	62

Пивоварова Д. Д., Пархоменко Ю. О., Морозова М. А., Горовцов А. В., Иванова Е. А. Индикация вибрионов групп <i>Splendidus</i> и <i>Harveyi</i> у культивируемых устриц в бухте Инал	64
Подзорова Д. В., Болтачева Н. А. Изменение таксономического состава <i>Polychaeta</i> в связи с повышением солёности в мелководной части Каркинитского залива (Чёрное море)	66
Пospelова Н. В., Егоров В. Н., Приймак А. С., Пospelов С. С., Штрунц А. С., Посторонюк К. М., Проскурнин В. Ю. Влияние взвешенного вещества на биогеохимический цикл тяжёлых металлов в прибрежной акватории г. Севастополя	68
Пузаков М. В., Пузакова Л. В., Гостюхина О. Л. Эволюция гена <i>AqE</i> у водных позвоночных	70
Рябушко Л. И., Бондаренко А. В., Мирошниченко Е. С., Широян А. Г., Лишаев Д. Н. Диатомовые водоросли и цианобактерии, формирующие микрорельефы на экспериментальных синтетических полимерных материалах в Чёрном море	72
Сергеева Н. Г., Аникеева О. В. Protozoa (<i>Allogromiida</i>, <i>Gromiida</i>) — важный компонент мейобентоса Чёрного и Азовского морей: разнообразие, обилие, проблемы идентификации	76
Сергеева Н. Г., Смирнова Л. Л., Буркацкий О. Н. Бентосные морфотипы, характерные для материкового склона и котловины Чёрного моря: разнообразие, обилие, пространственное и батиметрическое распределение	78
Середа М. М., Сафронова Л. М., Налетова Л. Ю., Хренкин Д. В., Иванченко Е. В., Афанасьев Д. Ф. Особенности вертикального распределения фитопланктона Прикерченского района Чёрного моря в летний период 2019 г.	80
Скороход Е. Ю., Чурилова Т. Я., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Суслин В. В. Применимость спутниковых продуктов MODIS и VIIRS при изучении прибрежных вод Чёрного моря	81

Солдатов А. А., Головина И. В., Колесникова Е. Э., Кухарева Т. А. Пути адаптивной реорганизации метаболизма оксифильных тканей толерантных к дефициту кислорода морских рыб в условиях экспериментальной гипоксии (на примере сердца)	83
Стельмах Л. В., Ковригина Н. П., Мансурова И. М., Бабич И. И., Минина Н. В. Реакция фитопланктонного сообщества прибрежных вод Чёрного моря на климатические изменения и антропогенное воздействие (регион Севастополя)	85
Сухонос О. Ю., Воскресенская Е. Н. Особенности антициклонической активности в Черноморском регионе	87
Тимченко И. Е., Игумнова Е. М., Свищев С. В. Принципы управления сценариями устойчивого развития эколого-экономических систем «берег — море» Севастопольского региона	88
Чайкин Д. Ю., Вертерич А. В., Козловская О. Н., Довгий И. И. Потоки биогенных элементов в очагах субмаринной разгрузки подземных вод у мыса Айя	91
Чеснокова И. И., Сигачева Т. Б., Гостюхина О. Л., Андреев Т. И., Гаврюсева Т. В. Оценка рекреационного потенциала акваторий Севастопольского региона методами биоиндикации	93
Чмыр В. Д., Ли Р. И. Рост и выедание популяций как функция структурных параметров планктона	95
Широков И. Б., Азаров А. А., Сердюк И. В., Широкова Е. И. Новый подход к разработке систем беспроводной передачи энергии	97
Широков И. Б., Азаров А. А., Сердюк И. В., Широкова Е. И. Организация городской транспортной инфраструктуры для беспроводной зарядки батарей электротранспорта	99
Широков И. Б., Евдокимов П. А., Широкова Е. И., Соколова М. И. Экологический контроль воздуха в населённом пункте с помощью микроволн	101

Morphological diversity in round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Pisces, Actinopterygii, Gobiidae) from the Black Sea

R. E. Belogurova*

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

*raisaprishchepa@gmail.com

The round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) is a Ponto-Caspian endemic species; its areal includes basins of the Black Sea, the Marmara and Caspian Seas, and the Sea of Azov. In accordance to literary data, the high ecological plasticity and invasive potential are characteristic for the species; the round goby independently distributed upstream of large European rivers and formed stable populations in new reservoirs.

Taking into account the high ecological plasticity of the round goby, as well as its ability to form morphological groups depending on environmental conditions against the backgrounds of the anthropogenic changes in above mentioned water areas, the goal of this study was to evaluate the variability of the species from different localities of the Crimean coast of the Black Sea using plastic and meristic characters.

A total of 35 plastic and 7 meristic characters of *N. melanostomus* were measured. A total of 98 males of the round goby were collected in the Karkinitsky Gulf (3 samples) and the Donuzlav Lyman (1 sample). Such characters as proportion of standard length (SL) and head length (HL) were also used. The basic and multivariate statistical methods such as correlation analysis, discriminant and cluster analyses were selected. The significances of the differences between the means were evaluated using Student's test.

According to the obtained data, gobies from the eastern part of Karkinitsky Gulf were larger than gobies from two other regions (SL_{avr} was (109.24 ± 0.899) and (110.96 ± 1.865) mm, respectively), which probably points to the better feeding conditions in these areas. The difference is proved at $t > 2.677$ between standard length of gobies from the studied areas. The standard length of the fishes from the Donuzlav Lyman was smaller (SL_{avr} was (87.595 ± 1.269) mm) than of ones collected in the Karkinitsky Gulf.

The discriminant canonical analysis was carried out for a comparison of round gobies from 4 above mentioned regions. At least three distinct intrapopulation groups of the round goby were registered: first includes gobies from the Donuzlav Lyman; second includes gobies from Samarchik Bay, whereas third includes fishes from the Bakalskaya Spit and the Yarylgach Bay. The significant role of almost all studied measurements in providing of observed discrimination was shown as a result of our investigations.

It is our point that two reasons may be responsible for observed differences. The round gobies from different habitats may have differences in average body sizes under various trophic conditions in diverse water areas, as well as under different stocking densities of gobies. In this case, the differences in the sizes of gobies from different habitats represent the modification variability.

However, it seems to be more likely that such differences may be associated with the history of the fish population forming in the studied areas. So, the Black Sea group of round gobies was historically formed in the Donuzlav Lyman, while in the Karkinitsky Gulf, the formation of the round goby populations was influenced by the invasion of the species representatives of the Dnieper faunistic complex during the functioning of the North Crimean Canal. In such a manner, the observed differences may be related to the fact that at least two populations of round goby exist in these regions.

This study was carried out as part of the state assignment of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS on the topic "Fundamental studies of population biology of marine animals, their morphological and genetic diversity" (No. AAAA-A19-119060690014-5).

Мезо- и субмезомасштабная изменчивость циркуляции вод в районе города Севастополя на основе ассимиляции данных наблюдений в численной модели динамики Чёрного моря

**Д. В. Алексеев, С. Г. Демышев, Н. А. Евстигнеева*, О. А. Дымова,
Н. А. Миклашевская**

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

*naevstigneeva@yandex.ru

Основная цель исследования — реконструировать с высоким разрешением трёхмерные поля течений, температуры и солёности, поля энергетических характеристик, непрерывные по времени и пространству, у западного побережья Крыма и в районе города Севастополя на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных наблюдений гидрологических съёмок 2007–2009 гг. Также представляет интерес исследование возможных физических причин мезо- и субмезомасштабной изменчивости течений на основе анализа полученных полей, изучение формирования особенностей циркуляции для различных сезонов года (на примере осеннего и весеннего сезонов).

Для четырёхмерного анализа полей температуры, солёности, скоростей течений и реконструкции динамики и энергетики используется численная модель динамики Чёрного моря, включающая нелинейные уравнения движения и уравнения адвекции тепла и соли, и процедура ассимиляции данных наблюдений, основанная на фильтре Калмана и учитывающая неизотропность и неоднородность ошибок оценок полей температуры и солёности. В работе использованы данные гидрологических съёмок на НИС «Эксперимент» в сентябре 2007 г. и на НИС «Сапфир» в апреле — мае 2009 г.

Подробно проанализирована область, расположенная между меридианами 32,2° и 33,8° в. д. и параллелями 44,4° и 45,4° с. ш., включающая западное побережье Крыма и г. Севастополь.

По результатам расчётов получено, что ветровой режим оказывал большое влияние на формирование циркуляции рассматриваемого района. Под действием юго-западного ветра в период с 14 по 18 сентября 2007 г. основное движение поверхностных течений — восточное. Под влиянием северных и северо-восточных ветров, действующих с 19 по 24 сентября 2007 г., поверхностные течения были направлены на запад. Под действием преобладающего северо-восточного ветра в период с 29 апреля по 2 мая 2009 г. основное движение течений в верхнем слое воды — западное.

В осенний сезон отмечены следующие особенности циркуляции: антициклонический вихрь с радиусом около 15 км в верхнем слое воды в Каламитском заливе; антициклонический вихрь с радиусом около 15 км во всём слое воды между 32,2° и 32,4° в. д., связанный с меандрированием Основного черноморского течения. В верхнем 36-метровом слое 22 и 23 сентября усилилось течение вблизи г. Севастополя и вдоль западного берега Крыма, направленное на север и северо-запад. Вдоль побережья в течение всего расчёта могли генерироваться антициклонические и циклонические вихри малых масштабов в верхнем слое.

В весенний сезон получены следующие особенности циркуляции: антициклонический вихрь с радиусом около 15 км в верхнем слое воды в Каламитском заливе; в слое 10–36 м вихревые образования с радиусом менее 10 км вблизи г. Евпатории и г. Севастополя.

Отмечено, что вероятным механизмом формирования антициклонического вихря в Каламитском заливе и в осенний, и в весенний сезоны могла быть сдвиговая неустойчивость течения. Возможный механизм формирования вихрей малых масштабов (с радиусом менее 10 км) и в осенний, и в весенний сезоны — обтекание течением неоднородностей рельефа дна и береговой орографии. Так как в весенний период ветровое воздействие было более интенсивным, чем в осенний сезон, мезомасштабные вихревые образования были выражены слабее и вдоль побережья в верхнем слое субмезомасштабные вихри не формировались.

Исследования поддержаны грантом РФФИ и г. Севастополя № 18-45-920019 р_а.

Показатели двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* как биоиндикаторы экологического состояния севастопольских морских акваторий

А. С. Алёмова¹, А. Д. Сербин², Д. М. Полевой³, Н. Н. Андреев², Е. С. Пасеин³,
Е. М. Ковыршина³, Е. Н. Скуратовская⁴

¹Воронежский государственный университет, г. Воронеж

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

³Центр дополнительного образования «Малая академия наук», г. Севастополь

⁴Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Прибрежные акватории г. Севастополя подвержены усиленному антропогенному воздействию. В них попадают сточные воды, сливы с сельскохозяйственных угодий и морского транспорта. Хроническое загрязнение акваторий приводит к аккумуляции токсикантов в донных отложениях и живых организмах. В связи со сложившейся ситуацией контроль загрязнения водной среды и биоты остаётся основной задачей экологического мониторинга. Именно поэтому в настоящее время для комплексной оценки состояния прибрежных акваторий, наряду с традиционными физико-химическими методами, широко применяются методы биоиндикации, требующие подбора биоиндикаторных видов и информативных показателей (биомаркеров), по которым можно оценить состояние гидробионтов и среды их обитания в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

Доминирующим видом в сообществах макрозообентоса севастопольских бухт является двустворчатый моллюск (мидия) *Mytilus galloprovincialis*. Благодаря значительной аккумуляции загрязняющих веществ в своём организме при относительно низкой их концентрации в воде мидии часто используются в качестве биоиндикаторов загрязнённости морской среды различными токсикантами. Структурные и функциональные характеристики мидии служат перспективным элементом системы мониторинга загрязнения водной среды.

Цель работы — провести сравнительный анализ некоторых параметров мидии *Mytilus galloprovincialis* из акваторий г. Севастополя с разным уровнем загрязнения и выявить наиболее информативные показатели, отражающие состояние гидробионтов и среды их обитания.

Исследования проводили в четырёх прибрежных акваториях с разным уровнем загрязнения в июне 2020 г. (район села Любимовка, а также бухты Ласпи, Казачья и Стрелецкая). Бухта Стрелецкая является одной из наиболее подверженных антропогенно-

му прессу акваторий г. Севастополя. Рыхлые грунты здесь представлены в основном алеврито-пелитовыми фракциями, обладающими наибольшей аккумулярующей способностью, в связи с чем бухта характеризуется высоким загрязнением донных осадков хлорорганическими соединениями и нефтяными углеводородами. Донные отложения бухты Казачьей представлены в основном заиленными ракушняками и песками. Такие крупнозернистые осадки характеризуются хорошей промываемостью и малой сорбционной емкостью загрязняющих веществ. Бухта Ласпи и акватория с. Любимовка — открытые прибрежные акватории с интенсивным водообменом, что свидетельствует о благополучном экологическом состоянии акваторий. Донные отложения представлены в основном песками, слабо сорбирующими гидрофобные загрязняющие вещества. Концентрация хлорорганических загрязнителей и нефтяных углеводородов здесь намного ниже, чем в других исследуемых районах.

Животных доставляли в лабораторию, где проводили их полный биологический анализ (по 25 экземпляров из каждой акватории со средней длиной 50 мм). В качестве биохимических параметров в гепатопанкреасе мидий анализировали показатели окислительного стресса [уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ) и окислительной модификации белков (ОМБ)] и антиоксидантной защиты [активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ)]. В качестве морфофизиологических параметров рассчитывали индекс упитанности (Упит), выход мяса (ВМ), индекс жабр (ИЖ) и индекс гепатопанкреаса (ИГП). Также была изучена флуктуирующая асимметрия массы створок как показатель стабильности индивидуального развития.

В результате исследований установлено увеличение уровня ОМБ и ПОЛ в гепатопанкреасе мидий из бухты Стрелецкой, что может указывать на усиление свободнорадикальных процессов и на экологически неблагоприятное состояние данной акватории. В то же время увеличение активности ключевых антиоксидантных ферментов (СОД и КАТ) у экземпляров из бухты Стрелецкой (на фоне высоких значений показателей окислительного стресса) может свидетельствовать о компенсаторном характере адаптивной реакции на загрязнение, направленной на снижение интенсивности свободнорадикального окисления.

Морфофизиологические параметры мидий (Упит, ВМ, ИЖ, ИГП) из районов исследования изменялись неоднозначно, принимая максимальные значения в бухте Стрелецкой. Упит и ВМ зависели в большей степени от обеспеченности моллюсков пищей, а ИЖ и ИГП — от уровня загрязнения акваторий. Показатель флуктуирующей асимметрии массы створок увеличивался в ряду Любимовка → бухта Ласпи, бухта Казачья → бухта Стрелецкая, принимая достоверно максимальные значения у экземпляров из бухты Стрелецкой. Этот факт может указывать на нарушения стабильности индивидуального развития моллюсков в акватории.

Полученные результаты свидетельствуют о менее благоприятных условиях обитания моллюсков в бухте Стрелецкой по сравнению с условиями в других районах. Исследованные биохимические параметры и показатель флуктуирующей асимметрии массы створок являются наиболее информативными, поэтому их можно использовать в экологическом мониторинге прибрежных акваторий г. Севастополя для оценки состояния гидробионтов и среды их обитания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-34-50005 («Наставник»).

Климатические оценки режима осадков в Крымском регионе по спутниковым данным

А. Е. Анисимов^{*}, В. В. Ефимов

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

^{*} anatolii.anisimov@mhi-ras.ru

Рассмотрены результаты верификации массива данных дистанционного зондирования атмосферных осадков GPM IMERG с данными наземной наблюдательной сети тёплых периодов 2006–2018 гг. для территории полуострова Крым. Рассмотрена пространственно-временная изменчивость осадков, приведены количественные оценки. Массив IMERG характеризуется более слабой пространственной изменчивостью по сравнению с данными наземных наблюдений, рассматриваемыми в процедуре верификации в качестве заведомо более достоверных. Абсолютная погрешность летних сумм осадков невелика для центральной и горной частей Крыма, в то время как осадки на береговых пунктах существенно завышены. IMERG демонстрирует хорошую временную динамику со средним коэффициентом корреляции с данными наблюдений 0,73. Для периода эксплуатации спутника GPM (с 2014 г.) корреляционные коэффициенты значимо выше, чем для предшествующего периода. Погрешность IMERG является следствием завышенной повторяемости осадков, что проявляется в общем завышении их месячных сумм при сглаживании количества осадков в пиковые периоды. По большинству из рассмотренных метрик IMERG существенно превосходит альтернативные массивы данных осадков и, с определёнными ограничениями, может быть использован для практических задач.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920017.

Численное моделирование экстремальных осадков в Крыму

А. Е. Анисимов*, **В. В. Ефимов**

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

*anatolii.anisimov@mhi-ras.ru

Рассмотрены результаты численного моделирования случая экстремальных осадков в г. Ялте в сентябре 2018 г. по модели WRF-ARF версии 4.0.1 с конвективно-разрешающим шагом по пространству. Модельные расчёты выполнены в двух вложенных доменах с пространственным разрешением 2,7 км (для всего Черноморского региона) и 0,9 км (для территории Крыма). С целью детального анализа модельных механизмов и выбора оптимальной конфигурации проведено 5 расчётов по чувствительности с различными схемами параметризации микрофизических процессов. Выполнен анализ синоптической ситуации и физических механизмов, приведших к формированию экстремальных осадков. Проведены статистические расчёты и выполнена детальная верификация расчётов по данным наземных наблюдений на метеостанциях и дистанционного зондирования со спутников, а также по данным метеорологического радиолокатора в аэропорту г. Симферополя.

Анализ результатов показал, что в расчётах по схеме WDM6 (WRF Double Moment Scheme 6-class) явление воспроизводится наиболее реалистично: модель корректно воспроизводит пространственное распределение и количество атмосферных осадков, а также вертикальную структуру конвекции. Количество осадков по WRF существенно превосходит таковое по данным входного оперативного анализа, в котором осадки были значительно занижены. Использование конвективно-разрешающего шага по пространству и схемы WDM6 демонстрирует преимущество и может быть рекомендовано в качестве основной конфигурации для задач оперативного численного прогноза погоды в Крымском регионе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920017.

Использование сорбентов на основе ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 для определения ^{210}Pb

Н. А. Бежин^{1,2*}, И. И. Довгий¹, А. А. Выдыш³, В. С. Янковская³

¹Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

³Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым
и городе федерального значения Севастополе, г. Севастополь

*nickbezhin@yandex.ru

Одним из наиболее высокотоксичных радионуклидов является ^{210}Pb . Он попадает в живые организмы с водой, накапливается в костной ткани и вносит существенный вклад в дозу внутреннего облучения. Именно поэтому контроль содержания свинца в водных средах является весьма актуальной задачей. Кроме того, ^{210}Pb входит в электронный атлас eGEOTRACES и определяется многими международными группами; он широко используется для определения океанологических и атмосферных процессов.

Для решения поставленных задач оптимальным является получение селективных сорбентов. Среди многообразия существующих сорбционных материалов особый интерес представляют сорбенты импрегнированного типа, которые изготавливают путём нековалентного закрепления органических экстрагентов, эффективно извлекающих целевой радионуклид, на поверхности макропористых носителей. В качестве экстрагентов для получения сорбентов импрегнированного типа для селективного извлечения ряда радионуклидов широко применяются полифункциональные соединения.

В связи с этим нами получена серия сорбентов импрегнированного типа на основе различных полифункциональных соединений (краун-эфиры, фосфорилподанды), носителей (стирол-дивинилбензолные, гидрофобизированный силикагель), разбавителей (октанол-1, нитробензол, спирт-теломер n3, ионная жидкость) и растворителей (хлороформ, метанол).

Установлено, что свинец наилучшим образом извлекается сорбентом на основе фосфорилподанда 1,8-бис[2-(дифенилфосфорилметил)фенокси]-3,6-диоксаоктана из нейтральных сред, сорбентом на основе ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6) и спирта-теломера n3 — из кислых сред, сорбентом на основе ДТБДЦГ18К6 и ионной жидкости $\text{C}_4\text{mim}^+\text{Tf}_2\text{N}$ — из нейтральных и слабокислых сред.

Изучены физико-химические закономерности (изотерма, кинетика, динамика и селективность) сорбции свинца сорбентами импрегнированного типа. Установлено, что максимальная ёмкость получаемых сорбентов на основе ДТБДЦГ18К6 достигается при равновесной концентрации свинца в растворах более $90 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, на основе фосфорилподанда — более $150 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Определено, что сорбционное равновесие для сорбента на основе ДТБДЦГ18К6 и спирта-теломера n3 при извлечении свинца из 3 М азотнокислых растворов наступает через 12 часов ($R = 96 \%$), из 2 М солянокислых растворов — через 40 часов ($R = 73,2 \%$). Сорбционное равновесие для сорбента на основе ДТБДЦГ18К6 и ионной жидкости при извлечении свинца из нейтральных растворов достигается через 5 минут ($R = 98,5 \%$), из 0,1 М азотнокислых растворов — через 24 часа ($R = 95,5 \%$). Для сорбента на основе фосфорилподанда при извлечении свинца из нейтральных растворов равновесие достигается за 5 минут ($R = 98,3 \%$). Установлена селективность полученных сорбентов к свинцу.

Проведено радиоаналитическое определение ^{210}Pb в морской воде с использованием сорбентов импрегнированного типа. Пробы для определения объёмной активности ^{210}Pb в морской воде были отобраны в 101-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (14–28 декабря 2017 г.). Объёмная активность ^{210}Pb в прибрежной части Чёрного моря в зависимости от станции определения составила от $(0,41 \pm 0,07)$ до $(0,48 \pm 0,10) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$; в глубоководной в зависимости от станции определения — от $(0,56 \pm 0,11)$ до $(0,60 \pm 0,12) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Сравнение результатов определения ^{210}Pb с использованием сорбентов импрегнированного типа с литературными данными по другим регионам показывает одинаковый порядок величин. Концентрации растворённого ^{210}Pb в глубоководной части Чёрного моря выше, чем в прибрежной, что связано с более высокой концентрацией взвешенного вещества в прибрежной части и с адсорбцией ^{210}Pb на нём.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-43-920004, а также государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы», № 0827-2020-0003).

Особенности биологии бычка-мартовика *Mesogobius batrachocephalus* (Pallas, 1814) у берегов Крымского полуострова

Р. Е. Белогурова^{1*}, М. О. Киселева²

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

²Центр дополнительного образования «Малая академия наук», г. Севастополь

*raisaprishchepa@gmail.com

Бычок-мартовик, или кнут, *Mesogobius batrachocephalus* — представитель солоноватоводного понто-каспийского фаунистического комплекса, эндемичный вид бычковых рыб Азово-Черноморского бассейна. Бычковые рыбы — объект промысла в Азовском и Чёрном морях, однако доля конкретных видов, в том числе бычка-мартовика, промысловой статистикой в уловах не учитывается. Существующие нерестовые запреты на вылов бычков (с 1 мая по 15 июня) в Чёрном море не охватывают сроков нереста кнута (с конца февраля по начало мая). Современные исследования особенностей биологии бычка-мартовика в пределах естественного ареала практически отсутствуют. В связи с этим целью настоящей работы было уточнить некоторые аспекты биологии бычка-кнута у берегов Крымского полуострова.

Ихтиологический материал для данного исследования собран в прибрежной зоне Крыма в 2017–2020 гг. Орудиями лова являлись донные ловушки ячеей 12 мм (акватория г. Севастополя) и креветочные вентери ячеей 6,5–8,0 мм (Каркинитский залив, лиман Донузлав). Проведён биологический анализ с определением тотальной (TL) и стандартной (SL) длины рыб, массы (P), возраста, плодовитости. Биологическому анализу подвергнуты 290 экз. бычка-мартовика, из них у 25 экз. (11 экз. из Каркинитского залива, 8 экз. из лимана Донузлав, 6 экз. из бухты Стрелецкой г. Севастополя) определена плодовитость.

Доля бычка-мартовика в уловах за весь период исследований была невелика; в Каркинитском заливе она составляла до 0,6 % по численности от общего улова рыб, в лимане Донузлав — до 4,0 %, в бухтах г. Севастополя — до 5 %. Мартовик довольно редок в мелководных районах Каркинитского залива, он предпочитает держаться на значительных глубинах на песчаном и ракушечниковом грунте.

В среднем показатели абсолютной индивидуальной плодовитости оказались выше у бычков из бухты Стрелецкой ($N_{ср} = 3463$ шт.); максимальные значения также зафик-

сированы для мартовика из этого района ($N_{\max} = 8167$ шт.). Минимальные показатели отмечены для рыб из лимана Донузлав ($N_{\min} = 757$ шт.). Это связано с размерами бычков: рыбы из бухты Стрелецкой имели стандартную длину в среднем выше (219,8 мм), чем из других районов, а бычки из лимана Донузлав оказались мельче ($SL_{\text{ср}} = 176,5$ мм). Поскольку в бухте Стрелецкой было использовано орудие лова большей ячейей, рыбы меньших размерных групп здесь не облавливались.

Показатели относительной плодовитости оказались выше у бычков из Каркинитского залива: 34,8 шт. икр. на г веса тушки и 16,7 шт. икр. на мм SL. Наименьшие значения зафиксированы для рыб из бухты Стрелецкой: 21,8 шт. икр. на г веса тушки и 15,2 шт. икр. на мм SL. Очевидно, в Каркинитском заливе условия для формирования половых продуктов лучше, чем в других районах, а в бухте Стрелецкой, вероятно, у данного вида больше пищевых конкурентов, чем в остальных районах.

Сравнение средних величин выборок с помощью непараметрического критерия Манна — Уитни выявило достоверные отличия только по относительной плодовитости, которая выражена в количестве икринок, приходящихся на единицу массы (шт. икр. на г).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИНБЮМ по теме «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» (№ гос. регистрации АААА-А19-119060690014-5).

Таксономический состав многощетинковых червей Балаклавской бухты (Чёрное море)

Н. А. Болтачева*, Е. В. Лисицкая

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

*nboltacheva@mail.ru

Балаклавская бухта расположена в юго-западной части Крымского полуострова между мысом Айя и мысом Фиолент. Протяжённость бухты, вытянутой с севера на юг, — около 1,2 км, ширина на входе — 200 м. Изгиб в южной части затрудняет водообмен с открытым морем. Глубина на входе составляет 30 м, она постепенно уменьшается до 4–5 м в северной части. Экосистема бухты испытывает многолетнее антропогенное воздействие. Одним из базовых элементов экосистемы и объектом питания рыб в Балаклавской бухте являются многощетинковые черви. Цель настоящей работы — исследовать состав таксоценоза Polychaeta в бентопелагиали Балаклавской бухты. Бентосные съёмки рыхлых грунтов Балаклавской бухты выполнены в летний период 2005–2008 гг. Сбор проб проводили на 17 станциях дночерпателями ($S = 0,1 \text{ м}^2$; $S = 0,04 \text{ м}^2$) в двух повторностях. В эти же годы в планктоне исследованы видовой состав и численность пелагических личинок многощетинковых червей. Сбор материала проведён на станциях в бухте (кутовая, средняя часть и выход из бухты) и на контрольной станции в открытом море. Личинок отлавливали сетью Джеди (диаметр входного отверстия — 36 см, ячейка газа — 135 мкм), облавливали слой от дна до поверхности.

В период исследований обнаружены полихеты 49 видов из 23 семейств: *Alitta succinea* (Leuckart, 1847), *Amphitritides gracilis* (Grube, 1860), *Aricidea claudiae* Laubier, 1967, *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), *C. minima* Langerhans, 1880, *Cirriiformia tentaculata* (Montagu, 1808), *Dorvillea rubrovittata* (Grube, 1855), *Eteone picta* Quatrefages, 1865, *Eunereis longissima* (Johnston, 1840), *Eunice vittata* (Delle Chiaje, 1828), *Exogone naidina* Örsted, 1845, *Fabricia stellaris* (Müller, 1774), *Genetyllis tuberculata* (Bobretzky, 1868), *Glycera tridactyla* Schmarda, 1861, *Harmothoe imbricata* (Linnaeus, 1767), *H. reticulata* (Claparède, 1870), *Hediste diversicolor* (Müller, 1776), *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864), *Lagis neapolitana* (Claparède, 1868), *Lysidice ninetta* Audouin et Milne-Edwards, 1833, *Magelona rosea* Moore, 1907, *Malacoceros fuliginosus* (Claparède, 1870), *Melinna palmata* Grube, 1870, *Micronephthys longicornis* (Perejaslavl'tseva, 1891), *Microphthalmus* sp., *Microspio mecznikowianus* (Claparède, 1869), *Nephtys hombergii* Savigny, 1818,

Nereis zonata Malmgren, 1867, *Paradoneis harpagonea* (Storch, 1967), *Pholoe inornata* Johnston, 1839, *Phyllodoce maculata* (Linnaeus, 1767), *Ph. mucosa* Oersted 1843, *Phyllodoce* sp., *Platynereis dumerilii* (Audouin et Milne-Edwards, 1834), *Polydora cornuta* Bosc, 1802, *Polyophthalmus pictus* (Dujardin, 1839), *Prionospio cirrifera* Wiren, 1883, *Prionospio* sp., *Protodorvillea kefersteini* (McIntosh, 1869), *Schistomeringos rudolphi* (Delle Chiaje, 1828), *Scolelepis (Scolelepis) squamata* (Müller, 1806), *Scolelepis* sp., *Sigambra tentaculata* (Treadwell, 1941), *Spirobranchus triqueter* (Linnaeus, 1758), *Sphaerosyllis* sp., *Spio decorata* Bobretzky, 1870, *Sthenelais boa* (Johnston, 1833), *Syllis gracilis* Grube, 1840, *Syllis hyalina* Grube, 1863. По числу видов наиболее широко представлены семейства Spionidae (8 видов), Phyllodocidae (6) и Nereididae (5). В бентали зарегистрированы 46 видов полихет, в пелагиали — личинки 20 видов, причём *M. fuliginosus* и *S. squamata* отмечены только в планктоне. Из обнаруженных видов *S. tentaculata* и *P. cornuta* являются вселенцами в Чёрное море. В период исследований на рыхлых грунтах Балаклавской бухты наиболее распространёнными были *H. filiformis*, *C. capitata* и *M. longicornis*: их встречаемость превышала 50 %. В отдельные годы высокая встречаемость отмечена также для видов *E. picta*, *F. sabella* и *N. hombergii*. В планктоне с весны до осени преобладали личинки семейств Spionidae и Nereididae.

В целом число видов полихет в бентосе Балаклавской бухты (46) вполне сопоставимо с таковым по другим бухтам Юго-Западного Крыма — Севастопольской (40) и Круглой (53 вида) бухтам.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам № 0828-2019-0002 и № 0828-2019-0004.

Генотипирование морских беспозвоночных: современный подход к идентификации вида

Е. А. Водясова

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

Каждый год описываются десятки новых видов морских беспозвоночных. Обращение к реальным коллекционным образцам для подтверждения определения часто затруднено из-за географического положения коллекций с типовыми материалами. Сравнение организмов с множеством «похожих» видов из разных районов по кратким описаниям и зачастую неточным рисункам далеко не всегда позволяет достоверно определить вид. В результате увеличение числа «ложных» и недооценка «скрытых» видовых таксонов могут приводить к неправильному пониманию филогенеза, разнообразия и распространения. Именно поэтому необходимо каждое исследование подкреплять молекулярно-генетическим анализом.

В настоящее время уже отобраны стандартные маркерные гены для проведения таксономических работ, имеющие разрешение на видовом уровне. Однако использование методов, требующих дальнейшего секвенирования, достаточно финансово затратно и занимает много времени. Генотипирование — это современный подход молекулярной таксономии, основанный на наличии консервативных участков генов, характерных для различных видов. Одним из направлений генотипирования является разработка систем праймеров, которые отжигаются только у определённого вида. Идентификация вида происходит на основе анализа длин амплифицированных участков гена без дальнейшего этапа секвенирования, что позволяет определять вид максимально точно и быстро.

Объектом нашего исследования являются паразитические плоские черви рода *Ligophorus* (Monogenea). Многие виды этого рода морфологически очень близки и сложно различимы по линейным размерам и субъективным словесным описаниям. При разработке систем генотипирования мы столкнулись с определёнными проблемами; в результате были сформулированы следующие рекомендации:

1. Оптимально разрабатывать систему генотипирования для идентификации не более чем 5 видов.
2. Необходимо проводить подробный анализ внутривидовой генетической изменчивости по генам-кандидатам для генотипирования, который будет охватывать весь ареал вида. Из изолированных районов (бассейнов, морей) объём выборки должен

составлять не менее 30 особей; это позволит выявить переменные участки гена внутри вида и исключить их на этапе разработки праймеров.

3. Не стоит использовать слишком переменные гены, так как возможна высокая внутривидовая генетическая изменчивость.
4. При разработке праймеров желательно использовать участки гена, которые отличаются у разных видов не менее чем на 20 %. Это позволит избежать неспецифического отжига.
5. Одними из наиболее удачных генов для генотипирования видов являются рибосомальные гены (18S, 28S). Однако необходимо проверять возможное существование в одном организме нескольких аллелей за счёт многокопийности.

Исследование поддержано грантом РФФИ № 20-44-920004 и бюджетной темой № АААА-А18-118020890074-2 государственного задания ФИЦ ИнБЮМ.

Оценка агроклиматических условий Севастопольского региона для рационального размещения виноградных насаждений

Е. В. Вышкваркова^{1*}, Е. А. Рыбалко², Н. В. Баранова²

¹Институт природно-технических систем, г. Севастополь

²Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, г. Ялта

* aveiro_7@mail.ru

Виноградарство относится к перспективным отраслям сельского хозяйства в Севастопольском регионе. Исследование климатических условий и их влияния на виноградарство важно для рационального планирования устойчивого развития этой отрасли в ближайшем будущем. Изменение климатических условий неизбежно повлечёт за собой смену территорий, пригодных для тех или иных сортов винограда. При выборе местности для его выращивания чрезвычайно важно диагностировать климатические изменения, чтобы успешно прогнозировать условия произрастания винограда в течение всего срока эксплуатации насаждений.

Проведён комплексный анализ климатических условий Севастопольского региона с использованием агроклиматических показателей за период 1985–2018 гг. Использование ГИС-технологий позволило получить карты распределения агроклиматических показателей с высоким пространственным разрешением (80 метров). Анализ теплообеспеченности и агроклиматических индексов показал возможность выращивания сортов винограда от очень раннего до позднего сроков созревания. На территории Севастопольского региона выделены шесть зон по теплообеспеченности в соответствии с градацией требований различных сортов винограда к данному показателю. Более половины территории Севастопольского региона находится в зоне с суммой активных температур 3500–3900 °С.

Необходимо не только учитывать требования сортов винограда к теплу, но и принимать во внимание их морозостойкость и условия морозоопасности. Большая часть территории Севастопольского региона (72 %) имеет средний из абсолютных минимумов температуры воздуха выше –14 °С. Территория региона имеет недостаточное количество осадков в вегетационный период, оно увеличивается в юго-восточном направлении (в направлении Крымских гор). За период 1985–2018 гг. обнаружена тенденция к уменьшению количества атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Более 70 % площади Севастопольского региона имеет показатель ГТК менее 0,7, то есть относится к зоне недостаточного увлажнения. Расчёт индекса Хуглина за период 1985–2018 гг. показал, что 80 % территории относятся к теплой зоне (HI 2400–2700 °С). Согласно данным

Tonietto и Carbonneau, этот тёплый класс (HI+2) климата характеризуется потенциалом, который превышает гелиотермические потребности в созревании сортов, включая поздне (с некоторыми связанными с этим рисками стресса). Согласно градациям индекса Уинклера (WI), $\frac{2}{3}$ территории Севастопольского региона попадают в Регион 3 с диапазоном значений 1667–1944 °С. На основании данных о морозоопасности и теплообеспеченности проведено микроклиматическое районирование региона и выделены 13 экотопов, описаны их агроклиматические условия и подобраны оптимальные сорта винограда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках проекта № 20-45-920008.

Долгопериодная изменчивость гидрофизических и гидрохимических характеристик в поверхностном, подповерхностных и промежуточных слоях Чёрного моря под воздействием региональных климатических изменений

Е. А. Гребнева*, А. А. Валле, А. Б. Полонский, А. Н. Серебренников

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

*lenagrebneva12@gmail.com

Мониторинг параметров атмосферы и морской среды и прогнозирование их изменений на межгодовых и десятилетних масштабах для акватории Чёрного моря — актуальная задача как для фундаментальной науки, так и для многочисленных приложений. Исследование состояния и взаимодействия гидрофизических и гидрохимических параметров морской среды на этих временных масштабах — это одна из наиболее приоритетных задач современной науки. Изменчивость характеристик природной среды в Черноморском регионе в значительной степени определяют условия функционирования морских транспортных коридоров, эффективность добычи углеводородного сырья на шельфе, сельскохозяйственный и рекреационный потенциал региона и другие сферы хозяйственной деятельности. За последние несколько десятков лет произошли изменения атмосферной циркуляции над Черноморским регионом, а также многих гидрофизических и гидрохимических показателей вод Чёрного моря. Содержание растворённого кислорода в промежуточных горизонтах значительно уменьшилось. По данным за 1955–2015 гг., ряд авторов делает вывод об уменьшении за этот период общего запаса кислорода в Чёрном море на 44 %; средняя глубина проникновения кислорода снижается при этом с 140 до 90 м. Вместе с тем в поверхностном, подповерхностном и промежуточных слоях открытой части Чёрного моря обнаружена тенденция существенного понижения величины рН в последние десятилетия XX в. Вероятнее всего, однонаправленные тенденции в изменении содержания растворённого кислорода и величины рН в этих слоях в основном обусловлены влиянием климатических факторов. В связи с этим настоящее исследование межгодовых и междесятилетних изменений вышеуказанных параметров служит для выявления потенциально опасного воздействия меняющегося режима на морские экосистемы и на рекреационный потенциал региона.

В работе описаны сезонная изменчивость приповерхностного ветра и его завихренности, а также сезонная изменчивость геострофических течений для всего бассейна Чёр-

ного моря. Далее исследована межгодовая изменчивость поля ветра, геострофических течений и уровня Чёрного моря на основе спутниковых данных с 1980-х гг. по 2017 г. По данным наиболее представительного регионального массива океанологических данных, существенно пополненного в 2018–2019 гг., описаны крупномасштабная структура полей температуры, растворённого кислорода и рН в Чёрном море и их долговременная изменчивость в слое 0–150 м. Совместный анализ полей ветра и геострофических течений с одной стороны и гидролого-гидрохимических характеристик с другой позволил выделить наиболее вероятные причины долговременного понижения концентрации растворённого кислорода и увеличения кислотности промежуточных вод в промежуточных слоях Чёрного моря в последней четверти XX в. — начале XXI в., которые заключаются в обострении стратификации верхней части промежуточных вод и усилении циклонической завихренности поля ветра, что сопровождается интенсификацией вертикальных движений. Обострение стратификации приводит к ослаблению вентиляции подповерхностных и верхней части промежуточных вод, а усиливающиеся восходящие движения интенсифицируют подъём обеднённых кислородом и более кислых промежуточных вод.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант № 18-45-920014 p_a.

Полевые испытания системы экологического мониторинга водной среды на основе интеллектуального автономного миникорабля

А. Н. Греков¹, В. В. Никишин², В. В. Альчаков², А. А. Кабанов², Ю. Е. Шишкин^{1*}

¹Институт природно-технических систем, г. Севастополь

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

*iurii.e.shishkin@gmail.com

Проблема осуществления оперативного мониторинга акваторий прибрежных и шельфовых зон с использованием беспилотных аппаратов малых и сверхмалых габаритов, оснащённых специализированными датчиками физико-химических параметров, приобретает особую важность при проведении научных и прикладных исследований в настоящее время. Как правило, управление такими беспилотными транспортными средствами происходит за счёт специализированной системы автоматизированного управления, использующей модель взаимодействия среды и беспилотного аппарата совместно с оперативной системой предотвращения столкновений. Стоит отметить, что, несмотря на интенсивное развитие информационных технологий в данной области, задача управления до сих пор исчерпывающе и в полном объёме не решена, особенно в частях, касающихся разрешения неопределённостей состояния водной среды, выбора оптимальных траекторий движения автономных роботов в условиях динамически изменяющейся среды, а также выявления аномалий показателей экологической обстановки водной среды, вызванных хозяйственной деятельностью и неконтролируемыми антропогенными воздействиями.

Для решения обозначенной задачи авторами разработан и собран действующий образец автономного мини-корабля, оснащённый набором датчиков физико-химических показателей водной среды, который отличается от известных наличием интеллектуальной системы управления, обеспечивающей высокую степень автономности робота при выполнении исследовательских миссий. Интеллектуализация достигается за счёт механизма обучения, использующего спутниковые снимки среды и карты проведённого мониторинга исследуемого участка водной среды в предыдущие годы, который обеспечивает избирательную неравномерность плотности проведения замеров в зависимости от наличия в них аномалий в предыдущие периоды.

В качестве основы автопилота используется 8-битный микроконтроллер Atmel ATmega2560. Производительность контроллера достаточна для решения по-

ставленной задачи, а энергоэффективность обеспечена за счёт невысокой тактовой частоты. Разработанный автопилот прошёл испытания и подтвердил свою надёжность. Автопилот обрабатывает информацию с МЭМС-сенсоров пространственной ориентации (гироскоп и акселерометр) и по исходным данным рассчитывает кватернион с последующим пересчётом в углы крена и дифферента. Данные сенсоров используются для коррекции показаний магнитометра при вычислении курсового угла. Навигационная информация доступна через спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС.

Испытания проведены в районе бухты Голландия в г. Севастополе. В аппарат заранее были записаны координаты маршрутных точек. Во время движения отклонение по курсу не превышало $\pm 5^\circ$. Дальность автономного хода аппарата в среднем составила 2 км, при этом боковое отклонение от траектории не превышало ± 3 м.

Коллективом осуществлена установка на аппарат сенсоров, измеряющих рН и электропроводность. Данные от сенсоров заведены в автопилот, что позволяет упростить систему управления, так как не требуется дополнительных устройств передачи результатов измерений на береговую станцию. Это дало возможность в реальном времени реагировать на возмущения в градиентах полей факторного пространства данных мониторинга физико-химических параметров среды. В случае если система поддержки принятия решения сигнализирует о высокой вероятности возникновения аномалии градиента скалярного поля, исследователь может направить аппарат в интересующую область для детального изучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-48-920018.

Извлечение космогенных изотопов фосфора ^{32}P , ^{33}P из морской среды для изучения биодинамики фосфора

И. И. Довгий¹, О. Н. Козловская¹, Д. А. Кременчуцкий¹, Н. А. Бежин^{1*},
В. Ю. Проскурнин²

¹Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

²Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

* nickbezhin@yandex.ru

Изучение изменчивости содержания биогенных элементов в прибрежных экосистемах в условиях антропогенного воздействия является важной задачей. Изотопы фосфора ^{32}P , ^{33}P космогенного происхождения — удобные трассеры для изучения процессов биодинамики фосфора и определения резистентного времени пребывания растворённой неорганической и органической форм фосфора, поскольку их основным источником являются влажные атмосферные выпадения.

Методика извлечения изотопов ^{32}P , ^{33}P из морской воды описана нами ранее. Работы были проведены в 103-м (август — сентябрь 2018 г.) и 106-м (апрель — май 2019 г.) рейсах НИС «Профессор Водяницкий».

Выявлены преимущества и недостатки применения активного Al_2O_3 в сравнении с «классическим» методом извлечения изотопов ^{32}P , ^{33}P из морской воды. К преимуществам относится возможность прокачки морской воды с высокой скоростью — около $7 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ ($10 \text{ КО} \cdot \text{мин}^{-1}$). Основным недостатком является относительно низкий радиохимический выход извлечения ^{32}P , ^{33}P — около 50 %.

По результатам осенней экспедиции на основании данных отношения $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ в морской воде на различных горизонтах и в источнике — атмосферных выпадениях в сентябре 2018 г. (1,05) — рассчитаны значения времени обращения фосфора в неорганическую форму: $(2,6 \pm 1,1)$ дня. Из значений $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ во взвеси и источнике — морской воде — рассчитаны значения времени обращения фосфора в взвешенную органическую форму: $(14,8 \pm 7,3)$ дня.

По результатам весенней экспедиции на основании данных отношения $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ в морской воде на различных горизонтах и в источнике — атмосферных выпадениях в апреле (0,77) — рассчитаны значения времени обращения фосфора в неорганическую форму: $(3,5 \pm 1,1)$ дня. Из значений $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ во взвеси и источнике — морской воде — рас-

считаны значения времени обращения фосфора во взвешенную органическую форму: $(16,0 \pm 1,8)$ дня.

Наши результаты согласуются с величинами, полученными зарубежными исследователями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-43-920005, а также государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Прибрежные исследования», № 0827-2020-0004).

Характеристика качества морских вод Севастополя в 2020 г. по данным гидрохимического мониторинга Севастопольского отделения ФГБУ «ГОИН»

Н. Н. Дьяков*, Ю. А. Мальченко, С. А. Боброва

Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, г. Севастополь

*dyakoff@mail.ru

Комплекс природоохранных мер, предпринимаемых причерноморскими государствами в настоящее время, во многом доказал свою эффективность, что видно из большинства публикаций о содержании отдельных загрязняющих веществ. Типичные ксенобиотики (нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества и др.), которые ранее входили в список приоритетных загрязняющих веществ, в наши дни вытесняются другими, не менее опасными элементами. Прежде всего это биогенные вещества и тяжёлые металлы, попадающие в море со сточными водами. Очистка стоков от биогенных веществ и тяжёлых металлов, в отличие от очистки от нефтепродуктов и синтетических поверхностно-активных веществ, является сложным, затратным и, главное, длительным процессом. Именно поэтому в условиях постоянно растущей нагрузки на очистные сооружения всё чаще наблюдаются случаи сброса вод с незавершённым циклом очистки, в частности биологической, требующей длительной выдержки для полноты очистки от биогенных и других загрязняющих веществ. Нередко происходят и аварийные сбросы неочищенных вод. Всё это приводит к появлению в море локальных зон с повышенным содержанием загрязняющих веществ и эвтрофикантов.

Основной целью исследований, выполненных в рамках проекта, было выявить зоны локального загрязнения прибрежных морских вод г. Севастополя для идентификации их источников относительно действующих сбросов канализационных очистных сооружений и других техногенных объектов. Для достижения поставленной цели были решены две задачи — определены точные места расположения основных выпусков сточных вод у побережья г. Севастополя и разработана оптимальная схема станций гидрохимического мониторинга, учитывающая наличие основных источников загрязнения (сбросы сточных вод канализационных очистных сооружений, предприятий промышленности и аквакультуры, рекреационного комплекса, а также поступление загрязняющих веществ со стоком рек). Всего с февраля по сентябрь 2020 г. Севастопольским отделением ФГБУ «ГОИН» выполнено на собственном НИС «Пеленг» пять гидролого-гидрохимических съёмок на взморье г. Севастополя (от мыса Лукулл до мыса Сарыч) и одна съёмка бухты Севастопольской.

Анализ данных наблюдений показал, что прибрежные морские воды г. Севастополя в 2020 г. характеризовались существенной пространственно-временной неоднородностью и высоким уровнем загрязнения по БПК₅. Наибольшее количество случаев превышения предельно допустимых концентраций (далее — ПДК) по этому показателю на поверхностном горизонте отмечено в летний период. В придонном слое за весь 2020 г. установлен только один случай превышения ПДК — у оголовка выпуска сточных вод канализационных очистных сооружений «Южные-1». Зимой повышенные значения БПК₅ зарегистрированы исключительно у оголовков сбросов канализационных очистных сооружений г. Севастополя и Балаклавы, что свидетельствует об определяющей роли таких сбросов на формирование качества морских вод Севастопольского региона. В зимний сезон 2020 г. не выявлено ни одного случая превышения ПДК по содержанию нефтепродуктов и синтетических поверхностно-активных веществ, но в 8 % проанализированных проб зафиксировано превышение ПДК по меди.

По данным гидролого-гидрохимической съёмки, выполненной в августе 2020 г., превышение ПДК по БПК₅ зафиксировано в 39 % всех проб с поверхностного горизонта, причём наиболее загрязнёнными районами оказались морские воды вблизи г. Балаклавы и бухты Голубой, а также в районе у мыса Лукулл. В августе зарегистрированы случаи высокого загрязнения вод нефтепродуктами (до 6 ПДК), при этом их невозможно однозначно объяснить действием стационарных источников загрязнения, так как все они зафиксированы на достаточно большом удалении от берега. Наиболее вероятной причиной загрязнения нефтепродуктами является сброс льяльных вод с морского транспорта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-45-920016 р_а «Исследование изменения гидролого-гидрохимических характеристик и качества морской среды под воздействием диффузных источников загрязнения в Севастопольском регионе и выработка практических рекомендаций по снижению экологических рисков»).

Видовой состав зообентоса российского сектора Чёрного моря по результатам исследований 2020 г.

Н. С. Елфимова, Л. Н. Фроленко

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

В работе приведены результаты обработки проб макрозообентоса, которые были отобраны в комплексных рейсах, проводимых вдоль крымского и северо-восточного побережий Чёрного моря. Отбор проб осуществляли в июне 2020 г. на 23 станциях в диапазоне глубин от 18 до 83 м. На каждой станции делали два подъёма дночерпателя Петерсена с площадью захвата $0,1 \text{ м}^{-2}$. Обработку проб проводили по общепринятой методике. Названия биологических таксонов приведены в соответствии с World Register of Marine Species (WoRMS, <http://www.marinespecies.org/>).

В акватории крымского побережья Чёрного моря число видов донных организмов от станции к станции изменялось от 4 до 15. В целом по району исследований оно достигало 43 таксонов.

Средняя биомасса зообентоса составляла $217,6 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, изменяясь в диапазоне от $4,5$ до $667,3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Наиболее высокую биомассу (96 %) здесь формировали двустворчатые моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, *Flexopecten glaber ponticus* (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1889), *Pitar rudis* (Poli, 1795) и *Gouldia minima* (Montagu, 1803). Остальные группы суммарно составляли 4 % всей биомассы и были представлены в основном полихетами (1 %), асцидиями (1 %), брюхоногими моллюсками (0,9 %) и ракообразными (0,9 %).

Численность бентосных организмов варьировала в пределах от 320 до 6190 экз.· м^{-2} , в среднем составляя $2221 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$. Её основу формировали многочетинковые черви (52 %) и двустворчатые моллюски (40 %). Наибольшие значения численности отмечены в сообществах *P. rudis* и *G. minima*. Помимо указанных видов, основу численности формировали полихеты *Aricidea (Strelzovia) claudiae* Laubier, 1967 и *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864). Прочие организмы суммарно составляли 8 % общей численности и в основном были представлены такими группами, как ракообразные (3 %), брюхоногие моллюски (1,5 %), олигохеты (1,5 %) и коралловые полипы (1 %).

Общий фаунистический список зообентоса северо-восточного побережья Чёрного моря включал 63 вида донных организмов, меняясь по станциям в диапазоне от 7 до 20 видов. Средняя биомасса составляла $104,3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ при диапазоне от $10,3$ до $306,3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Самые высокие показатели демонстрировали двустворчатые моллюски (68 %), представ-

ленные в основном видами *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), *P. rudis* и *G. minima*. Второй по величине биомассы группой являлись асцидии (27 %) — *Ascidiella aspersa* (Müller, 1776) и *Molgula appendiculata* Heller, 1877. Остальные группы составляли 5 % общей биомассы и в основном были представлены полихетами (2 %) и коралловыми полипами (1,5 %).

Средняя численность организмов макрозообентоса составляла 2849 экз.·м⁻² и варьировала в диапазоне от 190 до 8240 экз.·м⁻². Наибольших показателей численности достигали многощетинковые черви (58 %), среди которых доминировала *A. (Strelzovia) claudiae*. Следующей по обилию группой являлись двустворчатые моллюски (34 %), в частности *G. minima*, *P. rudis* и *A. kagoshimensis*. Прочие группы составляли в сумме 8 %, их основу формировали ракообразные (5 %) и круглые черви (1 %).

Сравнение полученных в 2020 г. данных по качественному составу бентоса и его количественным характеристикам с материалами аналогичных съёмок предыдущих лет позволяет сделать вывод о том, что в исследованных акваториях Чёрного моря уровень развития зообентоса сохраняется; на отдельных участках отмечена трансформация донных биоценозов. Оценка изменений сообществ и определяющих эти изменения факторов является ближайшей задачей на перспективу.

Новые рекорды солёности Азовского моря

**С. В. Жукова, В. М. Шишкин, В. Г. Карманов, Т. И. Подмарева, Е. А. Безрукавая,
Д. С. Бурлачко, Л. А. Лутынская, И. Ф. Фоменко**

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

Одним из важнейших абиотических факторов условий среды обитания водных биологических ресурсов Азовского моря является солёность, которую сотрудники АзНИИРХ определяют по результатам ежегодных экспедиционных исследований, проводимых весной, летом и осенью по стандартной сетке станций (34 станции) с 1960 г. по настоящее время.

За указанный период мониторинга солёности Азовского моря изменения среднегодовых (определяемых как средневзвешенные) значений происходили в диапазоне от 9,29 ‰ (2006) до 13,76 ‰ (1976). Вследствие климатических и антропогенных преобразований материкового стока в Азовское море, особенно стока р. Дон, в циклических колебаниях которого с 2007 г. отмечается маловодная фаза, в процессах формирования среднегодовых значений солёности регистрируется чётко выраженная тенденция роста этого показателя. Впервые максимальное значение среднегодовой солёности 1976 г. было незначительно превышено в 2018 году. В 2019 г., вследствие формирования повышенного стока р. Дон, значение среднегодовой солёности осталось на уровне предшествующего года и составило 13,80 ‰.

Переломный момент наступил в 2020 г., когда в бассейне сформировались крайне низкие объёмы стока рек Дона и Кубани, фазы катастрофического маловодья на которых совпали из-за неблагоприятных условий зимнего периода (малоснежная тёплая зима, незначительное промерзание почвенного покрова в бассейне р. Дон, таяние ледников и снежников на месяц раньше обычного в бассейне р. Кубань). В результате за период с января по август 2020 г. со стоком р. Дон в море поступило 6,62 км³, а р. Кубань — 5,82 км³, что на 12 км³ меньше обычного стока за январь — август в зарегулированных условиях.

В результате в море отмечена тенденция беспрецедентного повышения солёности; в летний период установлены рекорды, не имеющие аналогов за период наблюдения 1960–2019 гг. (таблица 1).

Наибольшие средневзвешенные значения солёности Таганрогского залива, собственно моря и всего моря за летний период отмечены в августе; они являются абсолютным рекордом для летнего сезона периода наблюдений 1960–2019 гг. В пространствен-

ном распределении на большей части акватории собственно моря солёность достигала 14,5–15,0 ‰. На придонном горизонте на юге собственно моря в июне обнаружена мощная адвекция трансформированных черноморских вод с солёностью, равной 15,34 ‰.

Таблица 1. Солёность Азовского моря по районам моря летом 2020 г., среднемноголетняя (1960–2019) и максимальная из наблюдаемых солёность воды, ‰

Период	Район моря		
	Таганрогский залив	Собственно море	Всё море
Июнь	11,22	14,63	14,36
Июль	11,41	14,97	14,69
Август	11,63	15,14	14,86
Среднее (июль 1960–2019)	7,38	11,72	11,38
Исторический максимум	10,61	14,56	14,05
Год	1976	2018	2018

Основные климатические тенденции в бассейне Азовского моря на перспективу до 2030 г.

**С. В. Жукова, В. М. Шишкин, В. Г. Карманов, Т. И. Подмарева, Е. А. Безрукавая,
Л. А. Лутынская, Д. С. Бурлачко**

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

Экспертная оценка возможных изменений климатических характеристик Ростовской области, проведённая в соответствии с Климатической доктриной РФ, которая отражена во «Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации», а также со специальными региональными исследованиями ГГО, показала, что на период до 2021–2050 гг. ожидаются следующие климатические изменения:

1. Повышение средней температуры приземного воздуха во все сезоны (в прогнозе Всемирной метеорологической организации, опубликованном 09.07.2020, указывается, что «...В каждые последующие пять лет среднегодовая глобальная температура будет выше доиндустриального уровня (до 1900 г.) минимум на один градус Цельсия»); рост интенсивности и продолжительности волн тепла и жары; повторяемость эпизодов экстремальной жары становится более частой.
2. Уменьшение продолжительности и интенсивности волн холода; сокращение числа морозных суток, что приводит к изменению критериев суровости зим и потеплению зимних периодов.
3. Небольшой рост осадков зимнего периода, а летом — их уменьшение, однако основная часть летних осадков будет выпадать в виде сильных ливней, чаще всего локальных и непродолжительных и, вследствие этого, непродуктивных.
4. Развитие засушливых условий, увеличение продолжительности периодов без осадков, увеличение повторяемости и продолжительности засух.
5. Одновременно будет возрастать число случаев с экстремальными осадками и сопутствующими неблагоприятными и опасными явлениями погоды (шквалы, град, грозы).
6. В бассейне р. Дон продолжится тенденция снижения стока вследствие уменьшения годовых осадков и увеличения испарения в тёплый сезон.
7. Сокращение снежного покрова будет способствовать изменению внутригодового распределения стока р. Дон: уменьшится весенне-летняя составляющая годового стока и увеличится сток зимнего периода.

8. Период снеготаяния (начало весеннего половодья) сместится на более ранние сроки; возрастет риск наводнения на малых реках.
9. Сток рек в южных регионах России снизится на 3 % (до 2030 г.) и 4 % (2041–2060 и 2080–2099 гг.).

Исходя из этих климатических тенденций, а также данных экспедиционных исследований Азовского моря, выполненных АзНИИРХ в 1960–2019 гг., и наблюдений за стоком рек Дон и Кубань (данные Росгидромета, получаемые в рамках двусторонних договоров), определяющих материковую составляющую Азовского моря, выполнена прогнозная оценка материкового стока и солёности на период до 2030 г.

В основу прогноза положено уравнение зависимости солёности воды от материкового стока, полученное по данным мониторинга этих параметров в 1960–2014 гг. Произведён поэтапный расчёт снижения материкового стока на 3 % от величины материкового стока 2020 г., принятого равным $22,0 \text{ км}^3$; выполнен расчёт солёности на уровне 2030 г.

Расчётами установлено, что на период 2030 г. при материковом стоке, равном $21,4 \text{ км}^3$, среднегодовая солёность Азовского моря может достигнуть значения $(15,84 \pm 0,52) \%$. В пространственном распределении солёности в собственно море, вероятнее всего, будут преобладать значения от 16 до 15 %.

Современная эколого-рыбохозяйственная ситуация на Нижнем Дону и в Азовском море

С. В. Жукова, Ю. В. Косенко, И. В. Кораблина

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

В современный период под воздействием комплекса антропогенных и климатических факторов экосистема Азовского моря и её главные компоненты — Цимлянское водохранилище и бассейн Нижнего Дона — находятся на грани экологического бедствия. Произошедшие изменения в экосистеме предопределены в первую очередь снижением объёмов годового стока р. Дон и кардинальными преобразованиями его внутригодового распределения. По объёмам годового притока в Цимлянское водохранилище последние 5 лет относятся к самым маловодным с объёмами годового стока, уменьшающимися в 2015 и 2019 гг. до 10–12 км³, что вдвое ниже среднемноголетних значений. Сократился, соответственно, и сток р. Дон у станицы Раздорской, составив в среднем за период современного маловодного цикла (2007–2019) всего 15,48 км³, что более чем на 6 км³ ниже среднемноголетнего значения периода эксплуатации Цимлянского водохранилища (1952–2019).

Сокращение водности стало главной причиной отсутствия с 1994 г. весенних эколого-рыбохозяйственных попусков из Цимлянского водохранилища, необходимость регулярного осуществления которых предопределена биологическими особенностями естественного воспроизводства проходных и полупроходных рыб, происходящего на обводнённых пойменных нерестилищах. Естественное воспроизводство рыб на Нижнем Дону находится на катастрофически низком уровне, а масштабы искусственного воспроизводства в последние годы сокращаются. Со снижением донского стока и затянувшимся с 2007 г. маловодным периодом связано беспрецедентное повышение солёности Азовского моря, достигшей летом 2020 г. рекордных значений (14–15 ‰). Уменьшение водности и рост вероятности формирования сгонно-нагонных явлений на Нижнем Дону незамедлительно сказались на качестве водных ресурсов. За последние 60 лет среднегодовая минерализация воды р. Дон в районе г. Ростова-на-Дону увеличилась вдвое, достигая в отдельные годы средних значений 1200–1300 мг·дм⁻³, что неблагоприятно влияет как на жизнедеятельность ценных пресноводных видов рыб, так и на качество питьевого водоснабжения. По масштабам воздействия на количественные показатели состояния промысловой икhtiофауны химическое загрязнение сопоставимо с такими мощными факторами, как радикальные нарушения естественного воспроизводства и браконьерство. Нефтяное загрязнение вод Нижнего Дона в течение пяти последних лет наблюдений со-

храняется на постоянно повышенном уровне, а донных отложений — ежегодно возрастает. В отдельных пробах воды, донных отложений и мышц рыбы регулярно идентифицируют различные конгенеры ПХБ, среди которых встречаются наиболее опасные диоксиноподобные соединения. Масштабы дестабилизации состояния природных объектов значительно шире обозначенных проблем. Безусловно, к ним относятся удручающее состояние малых и средних рек-притоков р. Дон, нуждающихся в рекультивации и демонтаже плотин, необходимость ревизии существующих и создание новых рыбозащитных устройств, строительство рыбоводно-нерестовых каналов в обход плотин на реке, инвентаризация пойменных нерестилищ и придание им статуса особо охраняемых природных территорий, вывод искусственного воспроизводства на качественно новый уровень и др. Следует отметить, что, к сожалению, темпы деградации водных экосистем в настоящий период значительно опережают возможности своевременного принятия управленческих решений по реабилитации и сохранению, в частности, Цимлянского водохранилища, Нижнего Дона и Азовского моря.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») поддерживает иницируемую на правительственном уровне необходимость разработки государственной комплексной целевой программы по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса бассейна р. Дон и Азовского моря, осознавая, что задача сохранения экосистем Нижнего Дона и Азовского моря — стратегический вопрос продовольственной безопасности России.

Определение активности оползневых блоков и проектирование использования прибрежных зон для рекреации

В. С. Зубкова, О. И. Оскольская

Севастопольский центр эколого-натуралистического творчества учащейся молодёжи

Цель настоящей работы — экспериментальное моделирование движения оползневых блоков и разработка проекта рекультивации оползневых участков.

Описание экспериментальной установки. Для моделирования оползневых процессов подготовлено 5 желобов шириной 8 см и длиной 40 см, которые располагаются под разным углом наклона (от 0 до 75°). Из грунта оползневого тела (жёлтые глины) сформированы блоки размером 8,5×4,5×2,5 см и весом 165 г. Влажность составляла 19,4 %. Блоки располагали в верхней части желобов; рассчитывали скорость их скольжения в двух вариантах — по сухой поверхности и по зеркалу скольжения (с увлажнением поверхности жёлоба).

Установлена положительная корреляция между показателями угла наклона жёлоба и скоростью скольжения блоков, причём увлажнение ускоряло движение блоков многократно. Наклон от 0 до 15° практически не провоцирует динамических процессов, тогда как при наклоне от 30 до 75° скорость движения блоков по зеркалу скольжения возрастает с 10 до 100 см·сек⁻¹.

Предлагаемая модель универсальна: она позволяет имитировать любой угол уклона склонов, формировать блоки из разных по природе и составу почв, проводить эксперименты в полевых условиях. Экспедиционные исследования 2019–2020 гг. показали, что в береговой зоне от мыса Толстый до пляжа Учкучевка произошли катастрофические геоморфологические процессы — два сильных обвала (в августе 2018 г. и мае 2019 г.). Это привело к сползанию грунта с высоты 25 м по телу оползня со срывом вместе с массивными блоками дома и хозяйственных построек. Основная причина активизации динамических процессов — нарушение целевого использования земли. На садовых участках в зоне оползня выстроены капитальные дома, что увеличивает нагрузку на грунт. Строения не канализованы, и сточные воды уходят в почву, создавая зеркало скольжения для крупных блоков.

Результаты полевых исследований и экспериментов позволяют заключить, что для сохранения береговой полосы, снижения скорости оползневых процессов и создания сплошной рекреационной зоны от мыса Толстый до пляжа Учкучевка необходимо формировать террасы с уклоном не более 10°, укрепленные такими растениями, как:

- лох серебристый (*Elaeagnus angustifolia* L.), который имеет мощную и широко ветвящуюся корневую систему, связывающую пласты грунта, и серебристую крону, создающую прекрасную кружевную тень;
- метельник (*Spartium junceum* L.), который не только снижает эрозию склонов, но и обладает высокими декоративными качествами за счёт долгого обильного цветения, во время которого от растений исходит интенсивный фруктовый запах;
- жасмин голоцветковый (*Jasminum nudiflorum* Lindl.), который бурно цветёт звёздчатыми жёлтыми цветками с января по май, а его длинные гибкие побеги соединяют все элементы ландшафта в живописный комплекс.

Ширина террасы — 10–20 м. Наличие подпорных стенок и закрепление прибрежной зоны краснокнижными видами с мощными и глубокими корнями (катран приморский, мачок желтый, критум морской) спасут берег от размывания и образования абразионных ниш. Предлагаемый проект не только расширит зону рекреации и сохранит прибрежную зону, но и послужит природоохранным целям.

Генотипирование черноморских опецелидных трематод по митохондриальным маркерам

А. В. Катохин¹, Ю. М. Корнийчук²

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск

²Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

*katokhin@bionet.nsc.ru

Среди трематод семейство Opicoelidae Ozaki, 1925 (Trematoda: Opicoeloidea) в Чёрном море представлено максимальным количеством видов и родов. Мариты наиболее распространённых видов черноморских представителей семейства подробно описаны с применением методов световой микроскопии. В то же время сведений о структуре их геномов практически не имеется, а данные о митохондриальных геномах отсутствуют полностью.

Для амплификации фрагмента (257 нуклеотидов) гена 16S рРНК использовали ранее разработанные для реконструкции митогеномов трематод семейства Opistorchiidae праймеры OMP38 и OMP04; фрагмента (276 нуклеотидов) гена CO1 — разработанные в рамках настоящего исследования праймеры PlagiHenC1F и OpCo1uniR2. Последовательность ампликонов расшифровывали по методу Сэнгера. Для реконструкции филогенетических отношений анализируемых трематод использованы собственные данные и соответствующие данные GenBank с помощью алгоритма Maximum Likelihood и программы MEGA X.

Нами получены первые данные о строении участков митохондриального генома (фрагментов митохондриальных генов CO1 и 16S) черноморских опецелидных трематод: *Cainocreadium flesi* Korniyuchuk & Gaevskaya, 2000, *Gaevskajatrema perezi* (Mathias, 1926) Gibson & Bray, 1982 и *Helicometra fasciata* (Rudolphi, 1819) Odhner, 1902 — от разных видов дефинитивных хозяев-рыб.

У *C. flesi* по структуре фрагмента митохондриального гена CO1 не выявлено гостально-специфичных линий, в то же время отмечено высокое нуклеотидное разнообразие; по фрагменту митохондриального гена 16S РНК у этого вида трематод выявлены две существенно сходные линии — мариты, паразитирующие в средиземноморском морском налиме и в камбале-глоссе. У марит черноморских *H. fasciata* выявлена приуроченная к зеленушкам-руленам *Symphodus tinca* CO1-линия, таксономический статус которой требует дальнейшего уточнения; при анализе последовательностей фрагмента митохондриального гена 16S РНК гостальных генетических линий у хеликометра выявить не удалось.

У *G. perezi* не обнаружено значительных различий по фрагменту 16S между трематодами из окончательных хозяев разных видов, однако внутривидовое 16S-нуклеотидное разнообразие оказалось высоким.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 18-44-920027 р_а.

Многолетняя изменчивость концентрации висмута-214 в Севастопольском регионе

Д. А. Кременчуцкий, Г. Ф. Батраков, Ю. С. Куринная

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

*d.kremenchutsky@gmail.com

Радон-222 (далее — радон) — это газ без цвета и запаха с периодом полураспада 3,8 суток. В атмосферу радон поступает в результате диффузии из грунтов и строительных материалов, содержащих материнский изотоп радий-226. Радон распадается в полоний-218 (период полураспада — 3,1 мин), который распадается в свинец-214 (период полураспада — 26,8 мин), который распадается в висмут-214 (период полураспада — 19,9 мин), который распадется в полоний-214 (период полураспада — 164 мкс), который распадается в свинец-210 (период полураспада — 22,2 года). Интерес к исследованию радона и его короткоживущих продуктов распада обусловлен двумя причинами. Первая: порядка 64 % от суммарной величины дозы облучения человек получает от радона и его дочерних продуктов. Вторая: радон и его продукты распада могут быть полезными трассерами в исследовании перемешивания воздушных масс на синоптическом масштабе времени. В частности, свинец-214 и висмут-214 могут быть использованы для получения количественных оценок времени скорости осаждения атмосферных аэрозолей.

Мониторинг концентрации висмута-214 в Севастопольском регионе проводится с 2007 г. Концентрирование атмосферных аэрозолей выполняется с помощью высокопроизводительной ($525 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$) воздухофильтрационной установки на фильтроплатно Петрянова ФПП-15-1,5. Пробы воздуха отбираются с высоты 12 м с крыши здания Морского гидрофизического института. Пробы отбираются ежедневно в будние дни. За период исследований отобрана и обработана 2701 проба атмосферных аэрозолей. Полная погрешность расчёта концентрации висмута-214 не превышает 10 %.

По результатам измерений, концентрация висмута-214 в индивидуальных пробах аэрозоля изменялась от 0,1 до $11,4 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Средняя величина — $(2,7 \pm 1,5) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Во временной изменчивости концентрации висмута-214 выделяются периодичности в 29 суток, 66 суток, 110 суток и в 1 год. Максимальные среднемесячные величины концентрации фиксируются в летний сезон, минимальные — в зимний.

В последний год наблюдений отмечены рост концентрации висмута-214 в среднем на 22 % по сравнению со средней многолетней величиной его концентрации и изменение

в его годовом цикле. Такие изменения, вероятно, обусловлены строительными работами, проводимыми в центральной части города.

С использованием соотношения между концентрациями радона-222 и висмута-214 получены количественные оценки среднегодовой величины эффективной дозы от облучения радоном вне помещений. Эта величина составила $0,042 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

Данные для исследования получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 0827-2020-0004. Анализ данных проведён при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя, проект № 20-45-920007.

Распределение Mollusca в реке Чёрная (Юго-Западный Крым)

М. В. Макаров

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

Река Чёрная является самой крупной в Юго-Западном Крыму, её длина составляет 41 км. Она впадает в бухту Севастопольская. Исследования моллюсков в данной акватории ранее проводились автором преимущественно в устье реки. Пресноводная фауна Mollusca в р. Чёрная изучена мало: было лишь несколько работ по этой теме, и то достаточно давно. Цель работы — изучить распределение моллюсков в разных частях акватории р. Чёрная.

Пробы отобраны в июне — сентябре 2020 г. на пяти станциях, из которых две расположены в среднем течении реки (в районе села Хмельницкое, примерно в 0,5 км друг от друга) и три — в верхнем (в районе Инкермана — у железнодорожного моста, между железнодорожным и автомобильным мостами, возле автомоста). Глубина — 0,1 м. Площадь сбора — 0,04 м². Моллюсков определяли, взвешивали; у некоторых экземпляров дополнительно измеряли высоту раковины. Рассчитывали численность (экз.) и биомассу (г) на м². Измеряли солёность воды. Было взято 20 проб.

Всего нами обнаружено 15 видов Mollusca, из них 5 Bivalvia и 10 Gastropoda. В среднем течении отмечено только 2 вида — *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus, 1758) и *Th. euxinus* (Clessin, 1885), причём последний ранее не был указан для р. Чёрная. Это пресноводные моллюски, однако они способны выдерживать осолонение до 5 ‰. Средняя численность *Th. fluviatilis* несколько увеличивалась вниз по течению реки, составляя 125 и 238 экз.·м⁻², а *Th. euxinus* — уменьшалась с 38 до 13 экз.·м⁻². Средняя биомасса *Th. fluviatilis* по течению реки немного снижалась, составляя 0,3 и 6,4 г·м⁻². Это связано с присутствием молоди в пробах (высота раковин — 2,0 и 2,9 мм). Средняя биомасса *Th. euxinus* — 3,3 и 2,5 г·м⁻².

На станциях, расположенных в верховье реки в районе Инкермана, теодоксусы не обнаружены. Там встречены представители черноморской фауны. На станции у железнодорожного моста при солёности 0,3 ‰ найдены только гидробии — эвригалинный вид *Hydrobia acuta* Draparnaud, 1805 и *Hydrobia* sp. (средняя численность каждого — 13 экз.·м⁻²). Ниже по течению реки, между железнодорожным и автомобильным мостами (солёность — 10–13 ‰), отмечено 4 вида моллюсков. Помимо гидробий со средней численностью 213 экз.·м⁻², это 3 вида двустворок: *Abra segmentum* (Recluz, 1843) (50 экз.·м⁻²), *Cerastoderma glaucum* (Bruguiere, 1789) (108 экз.·м⁻²)

и *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) (4 экз.·м⁻²). По биомассе явно преобладает *S. glaucum*: 96,75 г·м⁻² при средней биомассе всех моллюсков 107,04 г·м⁻². Это максимальное значение показателя для Mollusca в нашем исследовании. На станции в устье реки, возле автомоста (солёность — 13–15 ‰), отмечено наибольшее количество видов — 11. Средняя численность была здесь максимальной и составила 2679 экз.·м⁻², причём в основном благодаря *H. acuta* (2546 экз.·м⁻²). Средняя биомасса — 49,3 г·м⁻² с явным доминированием *S. glaucum* (41,6 г·м⁻²).

Таким образом, видовой состав, численность и биомасса Mollusca по мере продвижения по течению р. Чёрная существенно меняются. В среднем течении отмечена пресноводная фауна, в нижнем — морская. Минимальные показатели численности и биомассы зарегистрированы у железнодорожного моста, где пресноводная фауна уже отсутствовала, а морская ещё фактически не встречалась, кроме эвригалинного вида в единичных экземплярах. По мере увеличения солёности количество видов, а также средние значения численности и биомассы возрастали за счёт морских видов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).

Оценка поступления биогенных элементов, хлорорганических ксенобиотиков, микроэлементов и антропогенных радионуклидов в Севастопольскую бухту с потоком реки Чёрной

Л. В. Малахова*, В. Ю. Проскурнин, А. П. Стецюк, В. В. Лобко, И. Г. Сидоров,
С. И. Архипова, Н. И. Бобко

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

* malakh2003@list.ru

С января по август 2020 г. (за исключением апреля и мая в связи с эпидемиологической ситуацией) были изучены временная динамика и пространственная изменчивость концентрации биогенных элементов, хлорорганических соединений, микроэлементов и антропогенных радионуклидов (Cs-137 и Sr-90) в воде реки Чёрной от устьевых районов до Байдарской долины и проведена балансовая оценка их поступления в Севастопольскую бухту с потоком р. Чёрной.

Концентрация биогенных элементов азотного комплекса и фосфатов, хлорорганического пестицида ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД, шести индикаторных полихлорированных бифенилов (далее — ПХБ), микроэлементов (V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Pb, Hg) и Sr-90 была повышенной в устьевом участке по сравнению с концентрацией в районах среднего течения реки. В целом по отношению к ПДК водных объектов рыбохозяйственного использования в воде реки (за исключением концентрации нитритов и Zn) не отмечено превышения нормативных значений биогенов, хлорорганических соединений и микроэлементов.

Определено, что даже в период межени речные воды оказали эвтрофирующее влияние на акваторию Инкерманского ковша, в которой вода была несколько распреснена (17,45 ‰) по сравнению с водой Нефтегавани (17,72 ‰) и в которой концентрация нитритов и нитратов была повышена в 1,5 и 3 раза по сравнению с концентрацией в акватории бухты Нефтегавани. Сток хлорорганических соединений в бухту с потоком р. Чёрной зависел в основном от степени загрязнённости реки и составил в среднем 15 и 38 % от пула для Σ ДДТ и Σ ПХБ₆ соответственно. Период оборота Σ ДДТ в воде Севастопольской бухты за счёт поступления с речным потоком — 6,5 года, Σ ПХБ₆ — 2,5 года. Основная доля микроэлементов в чернореченской воде переносилась в составе взвешенных частиц, а в поверхностном слое Севастопольской бухты находилась в растворённой форме. Кон-

центрация во взвеси в речной воде превысила содержание растворённой формы микроэлементов от 4 раз для Mo до $1,5 \cdot 10^4$ для Pb. За исключением поступления Zn и Mo, поступление микроэлементов с взвешенным веществом р. Чёрной превысило их поток в Севастопольскую бухту в растворённой форме от 1,3 раза (для Co) до 14 раз (для Pb). Период оборота микроэлементов изменялся от 4 месяцев для Cr до 25 лет для Mo. Оценочное значение пула ртути в воде бухты — 6,86 кг; с учётом среднего расхода реки в 2020 г. вынос ртути с потоком речной воды составил $3,03 \text{ кг} \cdot \text{год}^{-1}$, а период оборота ртути в воде Севастопольской бухты — 2,27 года.

Активность Sr-90 в воде устьевой части р. Чёрной оказалась выше на 41 % по отношению к активности в воде Севастопольской бухты, а активность Cs-137 оказалась в этом районе реки ниже в 3 раза по сравнению с активностью, характерной для выхода из бухты и открытых районов Чёрного моря, что приводит к разбавлению концентрации этого радионуклида в бухте за счёт поступления вод реки. Соответственно, период оборота в данном случае показывает, за какое время сток р. Чёрной приведёт к снижению концентрации цезия-137 в бухте по сравнению с таковой для открытого моря. Это время может составить при среднем расходе воды в 2020 г. при условии стационарного состояния в бухте 2,5 года. Общий пул Sr-90 в воде Севастопольской бухты, рассчитанный по данным летнего сезона 2020 г., — 757,6 МБк, а поток поступления с речным стоком — $564 \text{ МБк} \cdot \text{год}^{-1}$; отсюда период оборота в воде бухты за счёт поступления с речным стоком в среднем составляет 1,3 года.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и г. Севастополя № 20-45-920004 р_а «Балансовое изучение влияния стока реки Чёрной на эвтрофикацию и загрязнение Севастопольской бухты антропогенными радионуклидами, тяжёлыми металлами и хлорорганическими ксенобиотиками» (№ АААА-А20-120013090118-8).

Разработка методов фагодетекции и фагоидентификации галофильных вибрионов, патогенных для тихоокеанской устрицы

А. В. Марков^{1*}, А. В. Горовцов¹, М. А. Морозова²

¹Академия биологии и биотехнологии ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

²Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

*alex20103markow@gmail.com

Перспективными объектами культивирования устриц в Чёрном море являются европейская (плоская) (*Ostrea edulis*) и тихоокеанская (японская) (*Crassostrea gigas*) устрицы — ценный продукт, пользующийся популярностью. Между тем существующий дефицит популяции европейской (плоской) устрицы в Чёрном море не позволяет удовлетворить потребности россиян. Развитие марикультуры моллюсков может устранить данный дефицит, однако заболевания этих животных могут вызывать эпизоотии, охватывающие обширные акватории и целые регионы. Именно поэтому при промышленном выращивании устрицы сдерживание распространения инфекционных заболеваний представляет собой сложную задачу, в решении которой использование антибиотиков становится нецелесообразным.

Фаговый препарат демонстрирует долгосрочную экономическую эффективность и, что особенно важно, является экологически безопасным, поскольку бактериофаги изолированы из среды обитания и тканей моллюсков. Согласно ряду исследований, фаги — это эффективный антимикробный агент, поражающий исключительно бактериальные клетки, который позволяет проводить фагодетекцию и фаготипирование. В настоящее время в Азово-Черноморском филиале ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») выполняются исследования по выделению бактериофагов в отношении галофильных вибрионов, патогенных для тихоокеанской устрицы.

Для выделения бактериофагов использовали общепринятые методы, адаптированные к работе с фагами вибрионов. Метод включает фильтрацию бактериальной суспензии для получения очищенного препарата, потенциально содержащего фаговые частицы. Далее данный фильтрат высевали по методу Грациа для получения единичных отрицательных колоний. Фаговые бляшки выделяли и суспендировали в питательной среде для накопления препарата фага и для изучения его литической активности. Образцы с большей литической активностью будут применены для подавления бактериальной инфекции в формате фагового препарата.

В работе использованы 17 тест-штаммов галофильных вибрионов трёх видов — *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio harveyi* и *Vibrio pomeroi*. Штаммы выделены из образцов тканей предтоварных и товарных тихоокеанских устриц *Crassostrea gigas* из мидийно-устричных хозяйств Черноморского побережья Крыма и Кавказа.

В настоящее время наши исследования направлены на селекцию бактериофагов с высокой литической активностью по отношению к *V. alginolyticus*, *V. harveyi* и *V. pomeroi*. В перспективе фаговые коктейли будут апробированы в бассейнах с устрицами на мидийно-устричных фермах, владельцы которых проявляют интерес. При положительном результате, в частности при инактивации патогенных вибрионов, апробация препарата будет проведена путём его распыления на коллекторы.

В дальнейшем выделенные штаммы бактериофага могут использоваться для фаго-детекции и типирования инфекций, которые вызваны галофильными вибрионами, патогенными для тихоокеанской устрицы.

Воздействие нефтепродуктов на биолюминесценцию черноморских гребневиков-вселенцев *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* Mayer

О. В. Машукова*, М. И. Силаков

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

*olgamashukova@yandex.ru

Экологическое состояние любой акватории зависит от влияния совокупности антропогенных и природных факторов. Основные экологические проблемы, возникшие в Чёрном море ещё в конце XX в., — это эвтрофикация шельфовых зон и загрязнение морской среды токсическими веществами. Процессы биоаккумуляции нефтепродуктов у организмов разной таксономической принадлежности и поведенческие реакции гидробионтов на присутствие в среде различных фракций нефтепродуктов исследованы достаточно хорошо.

Биолюминесцентная система планктонтов, как один из ферментсубстратных модулей в комплексе внутренних биофизических циклов организма, испытывает определённые сдвиги при контакте с токсикантами. В ряде случаев показаны нарушения функциональных характеристик организмов, подавление или смещение фазового периода циркадных ритмов биолюминесценции и её характеристик под воздействием некоторых химических и физических агентов. В силу вышеизложенного одной из задач нашей работы было изучить воздействие нефтепродуктов на изменение характеристик биолюминесценции гребневиков. Подобных исследований с ктенофорами до сих пор не проводили.

В ходе настоящей работы была показана изменчивость амплитудно-временных характеристик светоизлучения черноморских гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* в зависимости от концентрации нефтепродуктов. Интенсивность и энергия свечения гребневиков снижаются с увеличением концентрации действующего нефтепродукта. Стимулирующий эффект наблюдается при концентрации 0,1 ПДК сырой нефти, что выражается в повышении интенсивности свечения гребневиков. Подавление свечения *M. leidyi* и *B. ovata*, напротив, выявлено при более высоких концентрациях нефтепродукта; оно достигало максимума при 10 ПДК. Ответная реакция гребневиков при воздействии нефтепродуктов напоминает таковую при действии на *M. leidyi* и *B. ovata* ряда тяжёлых металлов, особенно цинка. Полученные в наших экспериментальных исследованиях значения параметров сигнала свечения требуют дальнейшего сопоставления с данными полевых

экспедиционных работ в Чёрном море по изучению пространственного распределения светящихся гребневиков в районах с разными уровнями антропогенной нагрузки и концентрации нефтепродуктов.

Таким образом, выявленная в результате экспериментов высокая чувствительность светоизлучения гребневиков к воздействию нефтепродуктов позволит использовать их в качестве биоиндикаторов этих токсикантов, а также поможет оценить лимитирующие уровни накопления нефтепродуктов и их аккумуляцию в теле гребневиков. Наши исследования дают возможность использовать амплитудно-временные характеристики свечения гребневиков для целей биомониторинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920015 р_а «Биофизическая экология прибрежных вод Севастополя: исследование многолетних изменений светимости прибрежных вод Севастополя в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия», а также по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации АААА-А18-118020790229-7).

Новый формат представления информации для электронных определителей на примере атериновых рыб (Atherinidae, Pisces) Чёрного моря

А. А. Найда¹, С. А. Царин²

¹Центр дополнительного образования «Малая академия наук», г. Севастополь;
средняя общеобразовательная школа № 48, г. Севастополь

²Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Обычные книжные определители, принёсшие огромную пользу биологической науке, отживают свой век, и весьма актуальным стал вопрос переноса информации с бумажных носителей на электронные. В особенности это касается научной литературы — справочников и определителей. Практическая ценность электронного определителя состоит в компактности подачи материала, а также в возможности оперативно работать с ним, в частности благодаря разработанной в ФИЦ ИнБЮМ схеме «Таксакейс».

Значительная часть вод Чёрного моря — это экономическая зона России, а наиболее важный для человека биологический объект — рыбы, что обуславливает высокую необходимость иметь электронные атласы-определители рыб данного региона. Создание атласа-определителя рыб Чёрного моря поможет рациональному освоению его биоресурсов и охране важной экосистемы в водной экономической зоне России.

Цель работы — выполнить критический обзор систематики рыб семейства Atherinidae, создать структурированные описания признаков и подготовить справочную информацию о черноморских видах рыб этого семейства для разрабатываемого в ФИЦ ИнБЮМ атласа-определителя.

Выполнена таксономическая ревизия атерин Чёрного моря; отмечено, что для установления точного количества видов в нём необходим дополнительный генетический анализ. С помощью литературных данных и коллекционных материалов ФИЦ ИнБЮМ подготовлены диагностические описания морфологических признаков рыб и справочная информация по черноморским атериновым. Найдены оптимальные видовые рисунки и фотографии рыб семейства Atherinidae. Составлено диагностическое описание 14 морфологических признаков черноморских атериновых. Дано простое описание морфологических признаков и окраски рыб, заменяющее в электронных определителях видовой ключ. Отмечено: по части из этих признаков в дальнейшем возможно составление диагноза видов.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-118020790229-7.

Управление компактным датчиком температуры и солёности на малоразмерных беспилотных надводных аппаратах

В. В. Никишин¹, А. В. Багаев²

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

²Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

В настоящей работе представлен опыт применения кондуктометрического датчика ТМА-21 в задаче контроля ливневых стоков с помощью надводного беспилотного аппарата.

Контроль загрязнений внутренних бухт — обширная и сложная задача, и охватить весь спектр возможных измеряемых параметров не представляется возможным. Именно поэтому настоящая работа сосредоточена на одном из важнейших параметров — на солёности.

Особенностью представляемых промеров является применение малогабаритного беспилотного надводного судна с установленным на нём кондуктометром ТМА-21. Датчик реализует 4-электродный метод измерения — с двумя графитовыми и двумя платиновыми электродами. За температурную компенсацию отвечает встроенное программное обеспечение. Диапазон измерения электропроводимости составляет 0–200 мСм·см⁻¹. Диапазон измерения солёности — 5–60 г·кг⁻¹. Дискретность измерений — порядка 450 мс.

Результаты измерения датчика представляются в цифровом виде по интерфейсу Modbus RS-485. Для интеграции цифровой части датчика и электроники беспилотного аппарата нами разработана плата управления, которая с регулируемым интервалом отправляет запрос на измерение в ТМА-21. После получения ответа происходит преобразование измерения температуры и электропроводимости в текстовый вид для записи на съёмную флешку в виде csv-файла.

Стоит отметить и ещё одну особенность: параллельно с измерениями электропроводимости происходит измерение координат беспилотного аппарата. Таким образом, каждое измерение кондуктометра имеет геопривязку. Благодаря этому появляется возможность построения пространственных карт изменения электропроводимости на разном удалении от ливневых стоков. Для получения подробной карты распределения требуется провести беспилотный аппарат продольными и поперечными галсами по исследуемому району. Для автоматизации этого процесса в беспилотном аппарате применён разработанный нами автопилот, реализующий его движение по заранее загруженным координатам.

Первые тесты разработанного комплекса проведены в районе ливневого стока в бухте Омега г. Севастополя. Они показали, что применение комплекса имеет следующие достоинства: скорость развёртывания (требуется лишь несколько минут); удобство транспортировки (беспилотный аппарат можно перевозить в багажнике автомобиля); оперативность (благодаря высокой мобильности и высокой скорости приведения системы в рабочее состояние промеры можно производить сразу после дождей; нет необходимости в получении специальных разрешений на выход плавсредств).

Один из первых промеров выполнен в бухте Омега г. Севастополя после дождя. Он показал, что непосредственно у стока солёность составляет порядка $11 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, а на удалении от него примерно на 100 м значение показателя увеличивается до $15 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920019 р_а, а также внутреннего гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в рамках научного проекта № 516/06-31.

Индикация вибрионов групп *Splendidus* и *Harveyi* у культивируемых устриц в бухте Инал

Д. Д. Пивоварова¹, Ю. О. Пархоменко², М. А. Морозова², А. В. Горовцов¹,
Е. А. Иванова²

¹Академия биологии и биотехнологии ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

²Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

Двухстворчатые моллюски — естественные биоиндикаторы загрязнения: в процессе фильтрации они пропускают через себя различные поллютанты, тяжёлые металлы и микроорганизмы, которые могут накапливаться в их тканях в большом количестве. Несмотря на негативные аспекты, устричная индустрия становится перспективной отраслью марикультуры в России, и в частности на Черноморском побережье Кавказа и Крыма.

В качестве объекта исследования была выбрана тихоокеанская устрица *Crassostrea gigas*, культивируемая в бухте Инал. Как и всё побережье Черного моря, бухта Инал — это объект туризма. Несмотря на её активное рекреационное использование, концентрация поллютантов и тяжёлых металлов в воде была ниже критического уровня.

В морских экосистемах галофильные вибрионы наиболее многочисленны; они персистируют в океанах, морях и солёных озёрах и колонизируют водные организмы. Некоторые из них являются возбудителями заболеваний гидробионтов, моллюсков и креветок, а также могут вызывать пищевые токсикоинфекции при употреблении рыбы, нерыбных объектов промысла и продуктов, вырабатываемых из них.

Близкородственные виды вибрионов объединены в так называемые группы (clade). В настоящее время их насчитывается 14. Интерес представляют *Splendidus clade* и *Harveyi clade*, поскольку в их состав входят многие патогенные для двухстворчатых моллюсков и человека виды. В группе *Splendidus* патогенными для моллюсков считаются *Vibrio celticus*, *V. crassostreae*, *V. cyclitrophicus*, *V. tasmaniensis*, *V. splendidus*, *V. kanaloae* и *V. pomeroyi*, а в группе *Harveyi* — *Vibrio alginolyticus* и *V. harveyi*. Для человека признана патогенность *V. alginolyticus*, *V. harveyi* и *V. parahaemolyticus*, однако наиболее частым этиологическим агентом диарейных инфекций является *V. parahaemolyticus*.

Микробиологический анализ устриц проведён в мае и августе 2020 г. с использованием стандартных методик и MALDI-TOF масс-спектрометрии. Материалом служили образцы мантийной жидкости, мантии и мускула-замыкателя 30 экз. предтоварных и товарных тихоокеанских устриц. Выделение и идентификацию галофильных вибрионов проводили с использованием сред: 1%-ной пептонной воды с 2 % NaCl; агара HiCrome Vibrio;

TCBS; Хью-Лейфсона; набора реагентов № 1 — СИБ и НЕФЕРМтест 24. MALDI-TOF масс-спектрометрический анализ выполнен на приборе Autoflex Speed III с программным обеспечением Biotyper (Bruker Daltonics, Германия).

Исследования тихоокеанской устрицы, культивируемой в бухте Инал, показали, что только вибрионы из групп Splendidus и Harveyi колонизируют моллюсков. Вибрионы были представлены 6 видами: *V. giganteus*, *V. harveyi*, *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. fortis* и *V. pomeroiyi*. Значения Score составляли от 2,013 до 2,164. Среди выделенных видов преобладающим был *V. harveyi*. Кроме того, *V. giganteus* изолировали только весной, а *V. parahaemolyticus* — летом.

Устриц употребляют в основном без термической обработки, поэтому присутствие паразитического вибриона представляет опасность для здоровья человека.

Обнаружение патогенных для устриц и человека галофильных вибрионов указывает на необходимость дальнейшего микробиологического исследования этих двустворчатых моллюсков в бухте Инал.

Изменение таксономического состава Polychaeta в связи с повышением солёности в мелководной части Каркинитского залива (Чёрное море)

Д. В. Подзорова*, Н. А. Болтачева

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

*podzorova@imbr-ras.ru

Каркинитский залив расположен в северо-западной части Чёрного моря. Акватория вершинной части залива с 1970-х гг. распреснялась стоками из рыбоводных прудов и оросительных систем, вода в которые поступала из Северо-Крымского канала. В 2014 г., после перекрытия канала, солёность воды повысилась. Цель работы — сравнить состав таксоцены полихет в мелководной части Каркинитского залива в 2018 и 2008 гг. (период действия опреснения).

Исследования выполнены в августе 2008 и 2018 гг. на трёх разрезах (16 станций) от вершины Каркинитского залива до Лебяжьих островов на глубинах 0,2–1,7 м. Пробы макрозообентоса отбирали ручным дночерпателем площадью захвата 0,04 м².

Всего при исследованиях в 2008 г. отмечено 25 видов полихет, а в 2018 г. — 33. На первом разрезе в 2008 г. при значении солёности 1,5–2,3 ‰ обнаружено 2 вида — *Hediste diversicolor* и *Namanereis pontica*. В 2018 г. при солёности 27,3 ‰ на этом разрезе встречено 18 видов полихет, из которых руководящими (встречаемость 80 %) были *Glycera alba*, *Heteromastus filiformis* и *Nephtys hombergii*; характерными (встречаемость 60 %) — *G. trydactyla*, *Harmothoe imbricata*, *Leiochone leiopygos* и *Scolecopsis (Parascolecopsis) tridentata*. Индекс сходства Сёренсена для комплекса видов в эти два периода — 0,1.

На втором разрезе в 2008 г. при солёности 5,0–10,3 ‰ выявлено 8 видов. Самые распространённые — *H. diversicolor* (встречаемость — 83 %), *Polydora cornuta* и *S. tridentata* (встречаемость — 50 %). В 2018 г. солёность повысилась до 26,8 ‰, отмечено 13 видов: руководящие — *G. trydactyla* (100%-ная встречаемость), *Platynereis dumerillii* (75 %), *S. tridentata* и *G. alba* (50 %). Индекс сходства Сёренсена для комплекса видов в эти два периода — 0,38.

На третьем разрезе у Лебяжьих островов в 2008 г. солёность составляла 16,2–17,8 ‰, отмечено 21 вид полихет: руководящие — *H. imbricata*, *H. filiformis* (встречаемость — 85 %), *Capitella capitata*, *Mellina palmata*, *Phyllodoce mucosa* и *P. dumerillii* (встречаемость — 67 %). В 2018 г. в исследуемой акватории при солёности 19,8–20,4 ‰ зарегистри-

ровано 24 вида; только у *P. dumerillii* встречаемость составляла 63 %. Индекс сходства Сёренсена для комплекса видов в эти два периода — 0,66.

Объединённый список видов Polychaeta, зарегистрированных в акватории в 2008 и 2018 гг., включал 36 видов, из них 21 — общий для двух периодов исследования (индекс Сёренсена — 0,72). Установлено, что при солёности меньше 5,0–10,3 ‰ видовое богатство таксоцена полихет было ниже, чем при обычной черноморской солёности. В 2008 г. в условиях пониженной солёности в кутовой части Каркинитского залива преобладал эвригалитный вид *H. diversicolor*. При небольшом повышении солёности на втором разрезе количество видов увеличилось, к массовому *H. diversicolor* добавились виды, также толерантные к низким значениям солёности, такие как *P. cornuta*. Отмеченное в 2018 г. увеличение солёности до 27 ‰ практически не повлияло на видовой состав многощетинковых червей. Подобное явление можно объяснить тем, что в составе фауны Polychaeta Каркинитского залива преобладают средиземноморские виды, для которых естественно обитание в водоёмах с солёностью около 30 ‰.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).

Влияние взвешенного вещества на биогеохимический цикл тяжёлых металлов в прибрежной акватории г. Севастополя

**Н. В. Поспелова^{1*}, В. Н. Егоров¹, А. С. Приймак¹, С. С. Поспелов², А. С. Штрунц²,
К. М. Посторонюк², В. Ю. Проскурнин²**

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

²Центр дополнительного образования «Малая академия наук», г. Севастополь

* nvpospelova@mail.ru

В настоящее время актуальной проблемой является перенос загрязняющих веществ, в особенности тяжёлых металлов, в морских пищевых цепях. Это важный процесс, определяющий биоаккумуляцию металлов и их биогеохимический круговорот в морских экосистемах. В морской воде тяжёлые металлы распределены между водной и взвешенной фазами, и соотношение растворённой и взвешенной форм металлов в воде очень изменчиво: может преобладать то одна, то другая форма. Взвешенное органическое вещество морской воды играет роль концентратора, сорбента и транспортера микроэлементов из фотического слоя в донные отложения. Целью исследования было оценить влияние взвешенного вещества на биогеохимический цикл тяжёлых металлов в прибрежной акватории г. Севастополя. В работе впервые показаны уровни биологического накопления тяжёлых металлов взвешенным веществом, рассчитан пул тяжёлых металлов в воде и оценены периоды оборота каждого из исследованных металлов в прибрежной акватории г. Севастополя.

Для оценки выбрана акватория в районе внешнего рейда бухты Севастопольской с малыми глубинами (до 20 м). Тяжёлые металлы выделяли из морской воды методом экстракционного концентрирования, из проб взвеси — методом кислотной минерализации. Определение тяжёлых металлов проводили на базе ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре PlasmaQuant MS Elite.

Проанализировано содержание 15 металлов. Максимальных концентраций в воде и взвешенном веществе достигало железо, высокие значения отмечены для цинка, меди и бария. Коэффициенты накопления тяжёлых металлов взвесями имеют порядок 10^3 – 10^6 единиц.

Рассчитаны относительные (%) пулы металлов во взвеси по отношению к суммарному количеству элементов в среде. Пул Mo а взвесах минимален (около 0,2 %), пул Zn может

достигать 7 %, пулы V, Co, Ni, Cu, Cd превышают 10 %, а пулы As и Fe во взвесах составляют не менее 60 % от их общего содержания в морской воде. Значения этого показателя по остальным элементам — 100 %.

В районе исследования на глубине 20 м ранее была определена скорость седиментации. Анализ показал, что среднегодовая масса взвеси в этом районе принята равной $1,0 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, то есть в столбе воды 20 м содержится в среднем 20 г взвесей. Согласно расчётам, продукционный коэффициент взвеси $P/B = 33,2 \text{ год}^{-1}$. На основании этого рассчитаны скорости седиментации металлов в донные отложения. Максимальными значениями характеризовалось железо (около $14 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$), высокие скорости получены для цинка (более $1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$). Потоки годового поглощения металлов из водной среды в результате продукционных процессов во взвешенном веществе составляли величины от $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ (для Ag) до $14 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ (для Fe). Оборота тяжёлых металлов в водной среде за счёт их потребления в результате продукционных процессов во взвеси (за счёт фитопланктона) в подавляющем большинстве случаев имел масштаб времени от суточного до месячного или сезонного. Только период оборота Mo имел годовой масштаб времени.

Таким образом, показано, что взвешенное вещество может быть высоко значимым биогеохимическим фактором, значительно ускоряющим биогеохимические циклы оборота тяжёлых металлов в морской среде и потоки самоочищения вод. Барьерная роль взвешенного вещества по отношению к V, Co, Ni, Zn, Cu и Cd, а также к Cr, Fe и As имеет экологическую значимость и определяется не только их пулами в составе взвесей, но и периодами массообмена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001, а также в рамках темы НИР № АААА-А18-118020890090-2.

Эволюция гена *AqE* у водных позвоночных

М. В. Пузаков, Л. В. Пузакова, О. Л. Гостюхина

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

При переходе к наземному образу жизни организмы перестали испытывать дефицит кислорода, и многие анаэробные процессы, важные для гидробионтов, стали малозначимыми или даже излишними. В этих условиях могли происходить потери генов «гипоксических» метаболических систем. В частности, такие потери могли коснуться отдельных NAD(P)H-зависимых оксидоредуктаз — одной из наиболее важных групп ферментов, участвующих в углеводном обмене и играющих ключевую роль в адаптации организмов к условиям гипоксии.

Ген *AqE*, кодирующий NAD(P)H-зависимую LDH2/MDH2 оксидоредуктазу, был описан у живых организмов, преимущественно обитающих в водной среде. Было показано, что он присутствует у бактерий и архей; в растительном царстве данный ген имеется только у водорослей. У животных ген *AqE* есть во всех группах, начиная с простейших и заканчивая рыбами. У предка четвероногих ген исчезает и, соответственно, отсутствует у амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. Было предположено, что ген участвует в анаэробном дыхании и потеря гена у животных и растений связана с выходом на сушу и с соответствующей перестройкой метаболических путей, обусловленной насыщенностью среды кислородом и отсутствием естественной гипоксии, характерной для гидробионтов.

В этом исследовании впервые проанализированы представленность, структура и эволюция гена *AqE* у водных позвоночных с таксономическим разрешением до отряда. Проанализированы геномы 118 видов, представляющих 58 отрядов. Представители еще 28 отрядов не имели известных полногеномных последовательностей (whole-genome shotgun sequences, WGS). Нуклеотидные последовательности, гомологичные гену *AqE*, выявлены у 101 вида (56 отрядов). У 3 видов костистых рыб — *Tachysurus fulvidraco*, *Amphiprion ocellaris* и *Acipenser ruthenus* (отряды Siluriformes, Pomacentridae и Acipenseriformes соответственно) — ген *AqE* обнаружен в двух копиях. У 16 организмов, представляющих 2 отряда (Rajiformes: Chondrichthyes и Cypriniformes: Actinopteri), ген обнаружен не был. У рыб из отряда Salmoniformes ген *AqE* подвергся существенному делетированию и по всей видимости нефункционален. Данный результат подтвержден исследованием 7 видов этого таксона.

Экзон-интронная структура гена *AqE* у преобладающего числа водных позвоночных является достаточно консервативной. Кодированная последовательность гена *AqE* у боль-

шинства видов поделена на 11 экзонов. Однако вследствие различной длины интронов общая протяжённость гена *AqE* значительно различается (от 3 до 134 тысяч пар нуклеотидов).

Анализ транскриптомных баз данных показал, что у всех организмов, имеющих ген *AqE* и сборки транскриптомов, он активен. Для ряда организмов показано наличие альтернативных транскриптов. Какой-либо зависимости между наличием альтернативных транскриптов и таксономическим положением организмов установлено не было.

Результаты исследования представленности, структуры и эволюции гена *AqE* у водных позвоночных позволят провести анализ дифференциальной экспрессии гена *AqE* в различных условиях, что будет способствовать лучшему пониманию механизмов устойчивости к стрессовым воздействиям как обитателей Мирового океана в целом, так и водных экосистем Черноморского региона в частности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-920006.

Диатомовые водоросли и цианобактерии, формирующие микрорельефы на экспериментальных синтетических полимерных материалах в Чёрном море

Л. И. Рябушко*, **А. В. Бондаренко**, **Е. С. Мирошниченко**, **А. Г. Широян**, **Д. Н. Лишаев**

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

*larisa.ryabushko@yandex.ru

Микроводоросли и цианобактерии являются важными компонентами разнообразных донных сообществ как природных, так и искусственных субстратов в море. В морские прибрежные экосистемы постоянно поступает и накапливается большое количество техногенных отходов, включая разнообразные синтетические полимерные материалы (полиэтилен, полистирол, полипропилен, поливинилхлорид и др.). Они становятся частью среды обитания и служат дополнительным субстратом для активного их заселения микроорганизмами, которые участвуют в преобразовании и частичной утилизации этих полимерных образцов.

В настоящее время актуальность приобретают исследования микроорганизмов, обитающих на антропогенных субстратах, и их применение для решения вопросов рационального использования морских ресурсов и их охраны от загрязняющих материалов. Накопление и использование экспериментальных данных о диатомовых водорослях и цианобактериях с целью разработки морских технологий биоминерализации разнообразных субстратов находится на начальном этапе.

Между тем такой подход в исследовании перспективен для создания нового класса устойчивых материалов при разработке морских технологий биоминерализации, а также для поиска наиболее перспективных микроорганизмов, способных утилизировать техногенные отходы в природной среде. Цель работы заключалась в одновременном изучении видового состава диатомовых водорослей и цианобактерий перифитона и их влияния на архитектуру разных типов синтетических полимерных материалов в экспериментальных условиях на примере Карантинной бухты (44°61'83" с. ш., 33°50'34" в. д.), входящей в состав Севастопольской бухты Крымского побережья Чёрного моря. Предварительно была разработана схема конструкции коллектора с разными экспериментальными субстратами для экспонирования их в море. Для выявления роли бентосных диатомовых водорослей и цианобактерий в обрастании поверхности соответствующего образца обработку проб с коллектора проводили поэтапно. Коллектор представлял собой сетчатый

каркас, закреплённый верёвкой с камнем-якорем вертикально на конструкции, которая предназначена для выращивания моллюсков. Он был помещён в толщу воды на глубину 12 м и на 5 м от дна. Второй коллектор был расположен горизонтально на глубине 17 м. В каждом коллекторе находилось 8 контейнеров, открытых с двух сторон и закреплённых на определённом расстоянии друг от друга, в которые помещали образцы. В качестве экспериментальных образцов использовали полимерные материалы различных типов, имеющие разный химический состав: ПЭВД — полиэтилен высокого давления; ПЭТ — полиэтилентерефталат (ПЭТ_{голубой} и ПЭТ_{зелёный}); ПП — полипропилен; ПЭ — полиэтилен белый. Также для исследования использовали дополнительно фрагменты поплавка (ПЭТ), контейнеров (ПЭТ) и сеточного каркаса (ПП). Площадь образцов варьировала от 9,7 до 48,0 см².

В работе представлены результаты изучения видового состава диатомовых водорослей и цианобактерий перифитона экспериментальных синтетических прозрачных и непрозрачных полимерных материалов, экспонированных в бухте с 04.08.2018 по 18.09.2018. Всего обработано 45 типов материалов. Качественную обработку проб проводили в световом микроскопе Carl Zeiss Axioskop 40 с программным обеспечением AxioVision Rel. 4.6 при увеличении 10×40, 10×100.

Результаты исследования показали, что поверхности экспериментальных пластин обильно заселялись разнообразными видами-обрастателями мейобентоса (мшанки родов *Membranipora* белого цвета и *Lepralia* розового цвета, оболочник *Botryllus schlosseri*, а также балянусы, гидроиды, актиния и др.), конкурирующими за субстрат с диатомовыми и цианобактериями. Обнаружено 94 таксона, из них Суапрокариота — 27 видов, Bacillariophyta — 67. Диатомовые водоросли относятся к 3 классам и 34 родам с наиболее разнообразными представителями класса *Bacillariohyuseae* родов *Halamphora*, *Navicula*, *Nitzschia* и *Licmophora*, что в целом типично для морского микрофитобентоса Чёрного моря. Впервые найдены в Крымском побережье морские, бореально-тропические виды *Coscinodiscus reniformis* и *Amphora cruciata*.

На всех типах субстратов встречаемость видов в пробах была разной. Так, она отличалась у массовых колониальных типичных видов-обрастателей: *Grammatophora marina* и *Licmophora abbreviate* (по 34,7 %), *Berkeleya rutilans* (37,3 %), *Tabularia tabulata* (24 %) и *T. fasciculata* (20 %) — и у одиночно живущих бентопланктонных видов: *Cylindrotheca closterium* (36 %), *Halamphora hyalina* (60 %) и *Nitzschia sigma* (24 %).

Следует отметить, что некоторые виды являются безразличными к типу экспериментального материала, а другие обнаружены единично. К последним относятся как довольно редко встречающиеся виды (*Surirella ovalis*, *Amphora cruciata*, *A. proteus*, *Bacillaria paxillifera*, *Berkeleya micans*, *Biremis lucens*, *Coscinodiscus radiatus*, *C. reniformis*, *Diatoma vulgare*, *D. tenuis*, *Entomoneis paludosa*, *Gyrosigma prolongatum*, *Halamphora costata*,

Navicula ammophila var. *intermedia*, *Nitzschia distans*, *N. sigmoidea*, *Pleurosigma aestuarii*, *Pl. clevei*, *Rhabdonema arcuatum* и *Thalassionema nitzschioides*), так и виды, обычные для района исследования (*Tryblionella coarctata* и *Undatella lanceolata*).

Анализ диатомовой флоры показал, что 49 % и 38 % составляют морские и солоноватоводно-морские виды, по сапробности — бетамезосапробионты (15 %), встречающиеся в условиях умеренного органического загрязнения вод. Аркто-бореально-тропические виды и космополиты составляют 49 %. В перифитоне образцов полимерных материалов коллектора из придонного горизонтального слоя на глубине 17 м выявлено 18 видов диатомовых водорослей: *Amphora marina*, *A. ovalis*, *A. parvula*, *Biddulphia biddulphiana*, *Diploneis bombus*, *D. chersonensis*, *D. lineata*, *Gyrosigma prolongatum*, *G. tenuissimum*, *Halamphora hyalina*, *Haslea subagnita*, *Haslea* sp., *Lyrella lyroides*, *Nitzschia lanceolata*, *Nitzschia* sp., *N. vermicularis*, *Odontella aurita* и *Tryblionella hungarica*.

Впервые на полимерных материалах бухты исследованы цианобактерии. Они принадлежат к 19 родам; найдено 16 новых видов для Крымского побережья Чёрного моря. Среди них — редкая *Ammatoidea murmanica*, потенциально токсичный *Microcystis wesenbergii*, который продуцирует гепатотоксины, опасные для рыб и человека, а также *Phormidium thwaitesii* с наибольшей встречаемостью (40 %). Бентосные виды составляют 63 %, эвригалитные — 30 %, морские формы — 26 %. Также отмечено 7 видов — индикаторов сапробности воды, среди которых 5 являются мезосапробионтами, 30 % составляют космополиты, 26 % — аркто-бореально-тропические виды. Индекс сходства видов Чекановского — Сёренсена был показан для флоры диатомовых водорослей вертикального и горизонтального коллекторов и составлял 52 %.

В работе подробно рассмотрены особенности заселения донных микроорганизмов в зависимости не только от типа образца полимерного материала, но и от глубины нахождения его в море. Несмотря на вертикальное экспонирование разнообразных типов субстратов, в пелагиали моря на разных глубинах преобладают и по составу видов, и по частоте встречаемости бентосные формы. У одних видов выявлена предпочтительность заселения к определённому типу субстрата, а у других такой избирательности не обнаружено. Вероятно, для бентосных видов важное значение имеет не только характер субстрата, но и глубина обитания. Таким образом, на поверхности полимерных синтетических материалов, относящихся к антропогенному «мусору» в прибрежной части моря, обнаружены многочисленные и разнообразные бентосные организмы — обрастатели, такие как диатомовые и цианобактерии, а также беспозвоночные животные мейобентоса. Все они, благодаря своему биоразнообразию и биологическим отличительным свойствам, особенностям пространственной организации и способности продуцировать высокоактивные внеклеточные полимерные соединения, участвуют в формировании своеобразной архитектуры обрастания, биоминерализации, преобразовании этих субстратов. В результате

появляются новые биохимические свойства синтетических материалов, которые являются актуальными объектами биотехнологий, а в дальнейшем могут быть использованы в разных областях народного хозяйства.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-44-920012/19 «Морские технологии биоминерализации с помощью бентосных диатомовых водорослей для создания инновационных инженерных материалов в Севастопольской бухте (Чёрное море)».

Protozoa (Allogromiida, Gromiida) — важный компонент мейобентоса Чёрного и Азовского морей: разнообразие, обилие, проблемы идентификации

Н. Г. Сергеева^{*}, О. В. Анисеева

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

^{*}nserg05@mail.ru

Многолетние исследования мейобентоса Чёрного и Азовского морей, проводимые авторами с 1985 г., позволили получить убедительные данные о таксономическом богатстве и о значительном обилии бентосных простейших (мягкораковинных фораминифер и громиид) в составе донных сообществ. Рассматриваемые мягкораковинные фораминиферы и громииды в иерархии систематики (WoRMS) представляют единое царство Chromista и одну супергруппу Rizaria, но отнесены к разным типам — Foraminifera и Cercozoa. Некоторые авторы рассматривают громиид как сестринскую группу фораминифер.

В составе Foraminifera протисты группируются в отдельные отряды твёрдораковинных форм (hard-shelled 'monothalamous' или 'polythalamous') и мягкораковинных ('soft-walled' или 'soft-shelled', 'monothalamous') с мягкой гибкой раковиной из органического материала (отряд Allogromiida). У многих из них органические стенки агглютинированы минеральными частицами (отряд Astrorhizida, семейство Saccamminidae). Большинство видов являются однокамерными ('monothalamous'), за небольшим исключением среди аллогромиид.

По литературным и собственным данным, фауна мягкораковинных фораминифер в Азово-Черноморском бассейне представлена 16 видами и 78 морфотипами (определены до рода или семейств Allogromiidae и Saccamminidae).

Громииды — это амёбоидные протисты, с моноталамусной (однокамерной) протеиновой оболочкой и нитевидными псевдоподиями. Их размеры колеблются от 200–300 мкм до нескольких сантиметров. Многие виды громиид достигают довольно крупных размеров — до 10 см и более. В настоящее время они отнесены к одному роду — *Gromia*. Классификация *Gromia* всё ещё находится в состоянии изменения. По собственным предварительным данным, в Азово-Черноморском бассейне громииды представлены не менее чем 10 морфотипами.

В последние годы, наряду с использованием морфологических признаков, при описании новых видов, в том числе черноморских, и при ревизии известных видов применяют генетические методы, однако такие работы немногочисленны.

Благодаря активным исследованиям мейобентоса Чёрного и Азовского морей стало очевидным, что данные протисты являются важным компонентом бентосных сообществ. При этом некоторые из видов достигают размеров, позволяющих их классифицировать как представителей макробентоса.

Так, в юго-западной акватории Крыма (глубина — 80–300 м) в зависимости от условий обитания на бентосных одноклеточных (включая цилиат) приходилось от 3 до 46 % суммарных показателей количественного развития мейобентоса. Вдоль градиента глубины доля *Allogromiida* варьировала от 7 до 49 %, а *Gromiida* — от 3 до 50 % общего обилия протозоа. В районе Босфора по градиенту глубины (75–300 м) бентосные простейшие давали 5–12 % плотности поселения сообществ мейобентоса, при этом *Allogromiida* составляли 16–60 %, а *Gromiida* — 4–27 % суммарной численности простейших.

Исследователи азово-черноморского бентоса по разным причинам не учитывают мягкораковинных фораминифер и громиид в своих сборах. Очевидно, первопричинами являются недостаточность информации об этих гидробионтах и незнание их морфологических признаков. К тому же систематика мягкораковинных фораминифер и громиид на основе морфологических признаков до сих пор сталкивается с трудностями и является незавершённой.

Работа выполнена по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119060690014-5 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» и № АААА-А18-118020890074-2 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана».

Бентосные морфотипы, характерные для материкового склона и котловины Чёрного моря: разнообразие, обилие, пространственное и батиметрическое распределение

Н. Г. Сергеева^{1*}, Л. Л. Смирнова², О. Н. Буркацкий³

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

²Институт природно-технических систем, г. Севастополь

³АО «Южморгеология», г. Геленджик

* nserg05@mail.ru

В поверхностных осадках, а также в колонках донных осадков котловины и материковых склонов анаэробной области Чёрного моря в диапазоне исследованных глубин (250–2250 м) постоянно регистрируются несколько специфических морфотипов неизвестной природы и систематического положения. Несмотря на то, что некоторые объекты имеют сходную организацию, характерная внутренняя структура и морфология каждого из этих объектов позволяют чётко отличать их друг от друга, идентифицируя как отдельные морфотипы (“Form 3” – “Form 6”, “Form 11”). Объекты “Form 7” (предположительно Annelida), “Form 14” и “Form 15” (личиночные стадии и имаго Insecta), “Form 16” (личиночная стадия Crustacea) предварительно относим к водным непыльцевым палиноморфам.

“Form 3” представлена тремя морфотипами, отличающимися по форме и размеру (округлые, бобовидные, сигаровидные, размером от 180×180 до 650×150 мкм). Они компактны, а тело полностью покрыто определённо направленными щетинками неизвестной природы и функции. “Form 3” распространена в диапазоне глубины 375–2250 м; в толще осадка она обнаружена до глубины 4,5 см.

“Form 4”, “Form 5” и “Form 6” — одиночные нематодовидные организмы, имеющие прозрачную органическую оболочку, но разную плотность и отличие в центральной стержневой структуре и размерах (160–1300 мкм). В колонке грунта эти морфотипы наблюдали до горизонтов 6–8 см.

“Form 11” — самая многочисленная и широко распространённая в донных отложениях сероводородной зоны. Форма представлена двумя морфотипами (двухлучевая и четырёхлучевая); длинные лучи сочленены у переднего края. Оболочка гладкая, прозрачная. Оливково-коричневые и ярко-коричневые включения плотно упакованы в головной части, а в лучах они могут быть гомогенными или гетерогенными. Размеры — 500–1110 мкм

и более. Этот морфотип нередко наблюдается в колоссальном числе, не поддающемся учёту. В колонке грунта его регистрировали до горизонта 12 см, при этом чем ниже горизонт, тем его численность может быть больше.

Распределение тех или иных морфотипов неравномерно, обусловлено рельефом дна. Так, суммарное обилие морфотипов на площади дна в районе Кавказа в различные годы исследования широко варьировало: в 2002 г. — от 202 до 1145 экз. на 10 см² (глубина — 2100–2150 м); в 2003 г. — от 65 до 1447 экз. на 10 см² (1250–2100 м); в 2004 г. — от 35 до 1965 экз. на 10 см² (375–1490 м). Наиболее многочисленны были “Form 5”, “Form 6” и “Form 11”.

Обилие и разнообразие этих морфотипов в образцах донных осадков из различных регионов моря свидетельствует о том, что нахождение их в глубоководной перманентно токсичной сероводородной зоне — не случайность, а закономерность. Это подтверждается широким пространственным распространением данных форм на максимальных глубинах различных регионов Чёрного моря, их отчётливой морфологической идентичностью и сохранностью. В глубоководном детрите и в толще грунтов рассмотренные морфотипы более многочисленны, чем пыльца наземных растений, конидии микромицетов, фрагменты, подобные цианобактериям, и пр. Очевидно, их можно рассматривать как водные непыльцевые палиноморфы — маркеры процессов седиментации — для объяснения истории уникального водоёма и расшифровки палеоклиматических изменений.

Работа подготовлена по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119060690014-5 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» и ФГБНУ ИПТС № 0013-2019-0007 «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан — атмосфера и антропогенного воздействия», а также по программам фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 и 17 (АО «Южморгеология»).

Особенности вертикального распределения фитопланктона Прикерченского района Чёрного моря в летний период 2019 г.

М. М. Серeda*, Л. М. Сафронова, Л. Ю. Налетова, Д. В. Хренкин, Е. В. Иванченко,
Д. Ф. Афанасьев

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

*seredam@yandex.ru

Фитопланктон является ключевым звеном в формировании и функционировании морских экосистем. Систематическое обследование альгоценозов и изучение их вертикального распределения необходимы для выявления общих закономерностей развития морской биоты в целом.

Исследования выполняли в июле 2019 г. по сетке станций, представляющих собой систему разрезов, которые расположены перпендикулярно береговой линии. Пробы фитопланктона отобраны батометром Молчанова на 7 станциях с абсолютными глубинами от 30 до 2100 м. Отбор и обработку проб проводили стандартными методами для гидробиологических исследований. Горизонты отбора проб — поверхность, термоклин 12–18 м, холодный перемешанный слой 41–62 м.

Во всех районах исследования северо-восточной части Чёрного моря зафиксировано 60 видов и таксонов фитопланктона. В поверхностном гидрологическом слое обнаружено 35 видов фитопланктона. Доминируют Dinoflagellata и Bacillariophyta с наиболее высокими показателями численности и биомассы. Несколько менее развит по численности и биомассе фитопланктон в слое термоклина, хотя сообщества здесь богаче видами. Общее количество видов в слое — 36. Значительную роль играют динофлагеллятовые и диатомовые. Холодный перемешанный слой характеризовался низким разнообразием (12 видов) и был населён мало видовыми альгоценозами с преобладанием гаптофитовых водорослей с низкой численностью и биомассой.

Применимость спутниковых продуктов MODIS и VIIRS при изучении прибрежных вод Чёрного моря

Е. Ю. Скороход¹, Т. Я. Чурилова¹, Т. В. Ефимова¹, Н. А. Моисеева¹, В. В. Суслин²

¹Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

²Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

В данной работе представлено сравнение значений стандартных спутниковых продуктов, восстановленных по данным спектрорадиометров MODIS на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) Aqua и Terra и VIIRS на ИСЗ Suomi NPP, с результатами натуральных биооптических измерений в прибрежных водах Чёрного моря.

Спектрорадиометры MODIS и VIIRS в настоящее время активно используются для исследования Земли из космоса, в том числе играют важную роль в разработке интерактивных моделей Земной системы, способных предсказывать глобальные изменения.

Для решения многочисленных задач на региональном уровне при помощи данных дистанционного зондирования необходимо убедиться в том, что значения спутниковых продуктов отображают действительное состояние среды, в том числе в сложной прибрежной зоне. С этой целью в исследовании были сравнены значения спутниковых продуктов с результатами многолетних натуральных биооптических измерений день в день на станции «2 мили», расположенной напротив бухты Севастопольская.

Для оценки точности спутниковых данных были выбраны следующие продукты: концентрация хлорофилла *a* (C_a , $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$), показатель поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(443)$, м^{-1}) и показатель поглощения света растворённым окрашенным органическим веществом в сумме с неживой взвесью ($a_{CDM}(443)$, м^{-1}).

In situ: при измерениях C_a применяли спектрофотометрический метод; для измерения спектральных показателей поглощения света оптически активными компонентами руководствовались современным протоколом NASA.

Спутниковые данные: использовали данные Level 2 с пространственным разрешением 1 км в надир. Обработку данных проводили при помощи программного обеспечения SeaDAS 7.5.3, разработанного NASA.

Исследование показало, что спутниковые продукты, восстановленные по данным спектрорадиометров MODIS и VIIRS, искажают относительный вклад фитопланктона и неживых компонентов оптически активных веществ в среде, а следовательно, приводят к некорректной характеристике оптических свойств вод. Ошибка в определении C_a

и смена характера ошибки приводят к сглаживанию сезонного хода, совершенно игнорируя весеннее цветение фитопланктона и существенно (до 2,7 раза) завышая значения концентраций в летний период, что в дальнейшем сказывается на расчёте показателей, базирующихся на этом продукте.

Для использования спутниковых продуктов, восстановленных по данным спектрорадиометров MODIS и VIIRS, необходимо развитие региональных алгоритмов, учитывающих сезонные особенности спектральных биооптических показателей вод и их соотношение с концентрацией основного фотосинтетически активного пигмента — хлорофилла *a*.

Исследование выполнено по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119061190081-9 и при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-45-920070.

Пути адаптивной реорганизации метаболизма оксифильных тканей толерантных к дефициту кислорода морских рыб в условиях экспериментальной гипоксии (на примере сердца)

А. А. Солдатов*, И. В. Головина, Е. Э. Колесникова, Т. А. Кухарева

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

* alekssoldatov@yandex.ru

Миокард в большинстве работ рассматривается как ткань с аэробно-ориентированным типом метаболизма. Нарушение его кислородного режима обычно сопровождается диметаболическими перестройками, приводящими в конечном итоге к некротическим изменениям. Вместе с тем установлено, что миокард жаберного сердца рыб снабжается в основном венозной кровью, насыщение кислородом которой не превышает 60 %. Это означает, что он должен быть малочувствителен к условиям острой внешней гипоксии. Проверке этого положения и посвящена серия экспериментальных исследований, выполненных в рамках настоящего проекта в течение 2020 г.

В условиях эксперимента изучено влияние острой гипоксии на сердечную мышцу морского ерша (*Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758). Контрольную группу рыб содержали в воде при концентрации кислорода 4,5–6,7 мг $O_2 \cdot л^{-1}$ (нормоксия), экспериментальную — при 0,3–1,0 мг $O_2 \cdot л^{-1}$. Содержание кислорода в воде рабочей камеры снижали в течение 2,5–3,0 ч прокачиванием газообразного азота. Экспозиция составляла 90 минут. Навески тканей хранили при температуре $-80\text{ }^{\circ}C$ в морозильной камере (Forma 900 Series, Thermo Scientific, США). Активность цитоплазматических оксидоредуктаз — малатдегидрогеназы (МДГ, 1.1.1.37) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27) — измеряли спектрофотометрически. Субстратом для определения активности ЛДГ служил пируват, а для МДГ — оксалоацетат. Содержание белка в пробах определяли микробиуретовым методом. Содержание аденилатов (АТФ, АДФ, АМФ) регистрировали хемилюминесцентным методом с применением АТФ Luminometer (LKB-1250, Швеция). На основании полученных значений рассчитывали величину аденилатного энергетического заряда (АЭЗ). При регистрации пульсограмм использовали оригинальный неинвазивный волоконно-оптический метод измерения и анализа фотоплетизмограмм.

Обнаружено, что реакции предсердия и желудочка на гипоксическую нагрузку не совпадали. В предсердии отмечали значительное снижение пула аденилатов, особенно фракции АТФ (более чем в 5 раз). Это происходило на фоне уменьшения активности МДГ.

В желудочке не отмечали заметных изменений. Пул аденилатов и их отдельных фракций сохранялся на уровне контрольных значений. Аденилатный энергетический заряд (АЭЗ) составлял 0,7–0,8 единицы. В стенках данной камеры отмечали рост активности ЛДГ. В плазме крови наблюдали повышение содержания лактата при сохранении уровня глюкозы. Гипоксия вызывала развитие брадикардии у особей ерша. Частота сердечных сокращений понижалась более чем на 70 %. При изучении влияния тестовых нагрузок на состояние сердечной мышцы нами впервые был обнаружен феномен полного подавления сердечной активности у морского ерша и описан процесс выхода из этого состояния.

Исследование поддержано проектом РФФИ № 20-44-920001.

Реакция фитопланктонного сообщества прибрежных вод Чёрного моря на климатические изменения и антропогенное воздействие (регион Севастополя)

Л. В. Стельмах^{*}, Н. П. Ковригина, И. М. Мансурова, И. И. Бабич, Н. В. Минина

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

[*lustelm@mail.ru](mailto:lustelm@mail.ru)

Современный этап развития черноморской экосистемы совпал с периодом постепенного повышения температуры воды и изменения содержания биогенных веществ в поверхностном слое моря, а также усиления антропогенного воздействия на среду обитания гидробионтов. Наибольшему антропогенному воздействию подвергаются живые организмы в прибрежных районах Чёрного моря. Первичным звеном всех водных экосистем является фитопланктонное сообщество, представленное многочисленными видами одноклеточных микроводорослей. В силу своей простой организации и короткого жизненного цикла эти организмы, вероятно, должны быть более устойчивы к изменениям условий среды по сравнению с многоклеточными представителями растительного и животного мира.

На основе анализа собственных результатов, полученных в период с 2000 по 2020 г., выявлены некоторые пути адаптации фитопланктонного сообщества прибрежных вод Чёрного моря к изменениям температуры воды, содержанию биогенных веществ и антропогенному загрязнению на примере региона Севастополя. Повышение температуры воды и снижение содержания биогенных веществ в исследованных поверхностных водах в 2000–2014 гг. вызвали постепенное снижение концентрации хлорофилла *a* и суммарной биомассы фитопланктона и его перестройку в летний и осенний периоды. Перестройка фитопланктона выражалась, прежде всего, в сокращении относительной доли диатомовых водорослей в суммарной биомассе фитопланктона и в увеличении доли динофитовых, более толерантных к сложившимся условиям среды в силу своих эколого-физиологических особенностей. Среди доминирующих видов диатомовых водорослей возросла доля видов, устойчивых к действию высоких температур, низкому содержанию нитратов в воде и выеданию микрозоопланктоном. Снижение прессы выедания на фитопланктон способствовало поддержанию его биомассы на определённом уровне. Повышение содержания нитратов в исследованных водах в 2020 г. в результате усиления антропогенного влияния на среду привело к возрастанию суммарной биомассы фитопланктона относительно таковой 2014 г. и к преобладанию тех видов диатомовых водорослей, раз-

витие которых в данных условиях не приводило к возникновению цветений воды, регулярно наблюдавшихся ранее в Севастопольском регионе. Исследованные в 2020 г. поверхностные воды Чёрного моря по показателям, отражающим уровень их загрязнения органическими веществами, следует отнести к эпизодически загрязнённым водам. Выявлен низкий уровень эвтрофикации этих районов по индексу E-TRIX. По реакции водорослей-биотестов на эти воды можно судить о хроническом токсическом их воздействии в тёплый период года на мелкоклеточные виды диатомовых водорослей и о хроническом стимулирующем действии на динофитовые. Мы полагаем, что адаптация диатомовых водорослей к загрязнению среды направлена на преобладание видов с низкими значениями удельной поверхности клеток, что сокращает их контакт со средой и поступление токсикантов в клетки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и г. Севастополя № 20-45-920002 «Стратегии адаптации фитопланктона и его потребление микрзоопланктоном под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы Чёрного моря (район Севастополя)», а также по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-18021490093-4.

Особенности антициклонической активности в Черноморском регионе

О. Ю. Сухонос*, Е. Н. Воскресенская

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

*okyu89@gmail.com

Выполнена оценка изменений и изменчивости параметров антициклонической активности (частота, высота, площадь) в Черноморском регионе по данным атмосферного реанализа NCEP/NCAR за период 1951–2017 гг. Установлены особенности годового хода анализируемых параметров: среднегодовое значение частоты антициклонов в Черноморском регионе максимальна в летний сезон ($0,112 \cdot 10^{-6} \text{ км}^{-2}$), а высоты и площади антициклонов — в осенний период (3,86 гПа и $1,89 \text{ км}^2$). Выполненный анализ долгосрочных изменений параметров антициклонов показал, что частота антициклонов в Черноморском регионе характеризуется значимым на 95%-ном уровне увеличением в зимний сезон и уменьшением в летний период. Значимые на 95%-ном уровне изменения высоты антициклонов за анализируемый период отмечаются лишь в летний сезон: коэффициенты линейных трендов отрицательны и достигают $-0,32 \cdot 10^{-2} \text{ гПа} \cdot \text{год}^{-1}$.

Межгодовая-междесятилетняя изменчивость параметров антициклонической активности в Черноморском регионе обусловлена влиянием климатических процессов в системе океан — атмосфера. Основными являются процессы Североатлантического колебания (САК), Тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) и Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО). Проведённый композитный анализ различий параметров антициклонов в фазы отмеченных климатических сигналов показал следующее (приведены только значимые на 90%-ном уровне и более результаты). Положительная фаза САК, положительная фаза ТДО сопровождаются увеличением до 50 % зимней частоты антициклонов в Черноморском регионе. В то же время проявления фаз АМО в параметрах антициклонов в Черноморском регионе незначимы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920015.

Принципы управления сценариями устойчивого развития эколого-экономических систем «берег — море» Севастопольского региона

И. Е. Тимченко, Е. М. Игумнова, С. В. Свищев

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

Результаты исследований получены в 2018–2020 гг. в ходе выполнения проекта «Исследование принципов построения адаптивных моделей эколого-экономических систем и цифровых информационных технологий для управления сценариями устойчивого развития природно-хозяйственных комплексов Севастопольского региона», финансируемого РФФИ и Правительством г. Севастополя по гранту № 18-47-920001.

Основным результатом проведённых исследований явилась информационная технология управления устойчивым развитием природно-хозяйственного комплекса (далее — ПХК) «берег — море» Севастопольского региона, основанная на разработанных авторами проекта шести системных принципах управления. Каждый из них формулирует этап построения информационной технологии управления:

1. *Принцип соответствия* целевой установки развития ПХК имеющимся ресурсам и условиям её достижения служит основой для создания *предварительной вербальной модели* управления сценариями развития.
2. *Принцип целостности* системы управления ПХК служит для создания структуры *ментальной модели* управления, которая должна учитывать все наиболее важные факторы и процессы, определяющие условия развития.
3. *Принцип причинности* определяет этап ввода в структуру ментальной модели причинно-следственных связей, учитывающих взаимное влияние процессов развития ПХК. Баланс цепочек положительных и отрицательных обратных связей в этой структуре обеспечивает устойчивость системы управления развитием.
4. *Принцип подчинённости* учитывает внешние влияния на систему управления развитием ПХК. Применение этого принципа завершает разработку *концептуальной модели* управления развитием ПХК.

5. *Принцип адаптивного баланса влияний* обеспечивает формализацию концептуальной модели — превращение её в систему дифференциальных уравнений метода адаптивного баланса влияний, разработанного авторами проекта. Метод обеспечивает автоматическую подстройку моделируемых процессов друг к другу и к внешним влияниям. При этом за счёт отрицательных обратных связей между процессами и скоростями их изменения сохраняются материальные балансы взаимодействия процессов. На этом этапе формируется *адаптивная модель эколого-экономической системы ПХК*, дающая прогнозы сценариев его развития при различных внешних влияниях и имеющихся ресурсах развития.
6. *Принцип синергии* адаптивной модели эколого-экономической системы ПХК и данных наблюдений над процессами развития обеспечивает создание цифровой информационной технологии для управления сценариями устойчивого развития ПХК, согласованными с данными наблюдений. На этом этапе система логических агентов управления в структуре цифровой технологии контролирует показатели развития и управляет сценариями эколого-экономических процессов. На основе адаптации прогнозируемых сценариев к данным наблюдений принимаются решения по рациональному потреблению и воспроизводству возобновляемых ресурсов развития.

Перечисленные системные принципы были применены в исследованиях по проекту для создания базовой модели эколого-экономической системы «берег — море» и проведения вычислительных экспериментов, в которых с помощью этой модели были построены сценарии потребления и воспроизводства ассимиляционных, биологических и рекреационных ресурсов ПХК Севастопольского региона.

Исследованы механизмы управления сценариями экономических процессов, обеспечивающие допустимые объёмы изъятия морских ресурсов, по критериям устойчивого развития ПХК «берег — море». В качестве критериев использованы индексы уровня загрязнения, уровня биоразнообразия для контроля экологического состояния морской экосистемы ПХК, а также уровня экологической безопасности морской среды для целей рекреации. Предложена новая схема управления потреблением морских биологических и ассимиляционных ресурсов ПХК «берег — море», основанная на контроле баланса скоростей поступления в морскую среду загрязнений от береговой социально-экономической системы и их деструкции за счёт биохимических процессов разложения.

Предложены статистические методы усвоения данных наблюдений о процессах развития в информационных технологиях управления, основанные на теории оптимальной фильтрации Колмогорова и Калмана. Найдены простые способы оценки коэффициентов влияний в адаптивных моделях эколого-экономических систем, в которых использованы нормированные отношения средних значений моделируемых процессов. Выполнен зна-

чительный объём вычислительных экспериментов, подтвердивших правильность предложенных принципов управления сценариями устойчивого развития ПХК Севастопольского региона.

Новая методология системного моделирования, разработанная в проекте, применена в экспериментах по управлению сценариями объёмов производства условного морепродукта в ПХК «берег — Севастопольская бухта». Исследованы механизмы влияния штрафных санкций за загрязнение морской среды бухты на рентабельность производства береговой экономической системы. Изучено влияние динамики морской среды на сценарии развития эколого-экономических процессов. Разработана информационная технология управления объектами ПХК, оказывающими рекреационные услуги в условиях контроля уровня загрязнения прибрежной морской среды и её санитарно-эпидемиологического состояния. Построена пространственно-временная модель использования рекреационного потенциала центральной части г. Севастополя и исследованы сезонные изменения рентабельности потребления рекреационного ресурса в этом районе.

Научная значимость результатов исследований, полученных по проекту, заключается в создании методологии построения нового класса адаптивных моделей эколого-экономических систем и новых цифровых информационных технологий для управления ассимиляционными, биологическими и рекреационными ресурсами ПХК прибрежной зоны моря. Прикладная значимость этих результатов состоит в обосновании новых моделей и цифровых информационных технологий управления ассимиляционными ресурсами Севастопольской бухты и рекреационными потенциалами объектов рекреации Севастопольского региона.

Потоки биогенных элементов в очагах субмаринной разгрузки подземных вод у мыса Айя

Д. Ю. Чайкин^{1*}, А. В. Вертерич², О. Н. Козловская², И. И. Довгий²

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

²Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь

*chajkin.danil.02@inbox.ru

Изучение субмаринной разгрузки подземных вод является одним из актуальных вопросов современной гидрогеологии и океанологии. Ему посвящён ряд международных проектов, в том числе проект Научного комитета по океаническим исследованиям (Scientific Committee on Oceanic Research, SCOR) — рабочая группа 112 «Интенсивность субмаринной разгрузки подземных вод и её влияние на прибрежные океанографические процессы» — и МАГАТЭ. По мнению известных исследователей этой области Зекцера И. С. и Джамалова Р. Г., субмаринная разгрузка подземных вод является наименее изученным элементом водного и солевого баланса морей, поскольку приток не поддаётся прямым измерениям.

В Черноморском регионе субмаринные источники известны в Румынии. Кроме того, мощные подземные источники горного массива Арабика образуют в море обширную субмаринную депрессию около г. Гагры. Также субмаринные источники известны в Крыму. Источники субмаринной разгрузки у мыса Айя изучаются отечественными учёными около 40 лет. В 1980-е гг. работы выполнял Институт геологических наук АН УССР. Также в этот период исследования осуществлялись в Украинском государственном институте минеральных ресурсов (г. Симферополь). В Морском гидрофизическом институте НАН Украины работы проводились с 1990-х гг.

Экспедиционные работы по изучению субмаринной разгрузки подземных вод выполнялись в районе мыса Айя (Екатерининский грот) в марте и сентябре 2019 г., феврале и июле 2020 г. Были отобраны пробы для определения растворённого неорганического фосфора, общего растворённого фосфора, аммония, нитритов, нитратов, кремнекислоты, изотопов радия (^{226}Ra , ^{228}Ra); выполнены гидрологические измерения (солёность, температура, скорость течения в гроте). Работы проведены на 25 станциях: на 5 в полости, 5 на выходе из полости и 15 в небольшой бухте, образованной мысом Пелекето.

Полученные результаты показали, что для всех измеряемых показателей концентрация уменьшалась с отдалением от берега. Наибольшие значения наблюдались в кутовой части полости, наименьшие — в фоновой станции.

Самые высокие концентрации биогенных элементов зарегистрированы в феврале 2020 г., минимальные наблюдались в сентябре 2019 г. и были связаны с различием в потоках субмаринной разгрузки, которые зависят от количества выпавших на площади водосбора осадков за предшествующий период. По полученным данным, концентрация биогенных элементов коррелирует с солёностью. Аппроксимация значений концентрации к нулевой солёности даёт их предполагаемые концентрации в подземной воде.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания № 0827-2020-0004 (тема «Прибрежные исследования»).

Оценка рекреационного потенциала акваторий Севастопольского региона методами биоиндикации

И. И. Чеснокова, Т. Б. Сигачева, О. Л. Гостюхина, Т. И. Андреенко, Т. В. Гаврюсева

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

К водным рекреационным ресурсам относят совокупность водных объектов с благоприятными для различных видов рекреационной деятельности характеристиками. Для оценки рекреационного потенциала прибрежной территории г. Севастополя разными исследователями в качестве основного критерия были предложены: рельеф и морфометрические показатели берегов, оценка единовременной численности и плотности отдыхающих на пляжах, социологические исследования рекреационного спроса на водные виды отдыха в Севастопольском регионе. В то же время одним из важнейших факторов при выборе места для пляжного и других видов отдыха выступает чистота прибрежной зоны и особенно морской акватории, лежащие в основе районирования региона и определения возможностей развития различной рекреационной деятельности. В связи с этим особую ценность представляют методы биоиндикации, которые позволяют оценить качество морской среды по откликам живых организмов, обитающих в ней. Для прибрежных сева-стопольских акваторий предложен комплекс биохимических показателей мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 — характерного представителя бентосных сообществ Черноморского региона. В него включены: антиоксидантные ферменты, показатели тканевого повреждения при окислительном стрессе [показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и окислительной модификации белков (ОМБ)] и показатели физиологического состояния (активность аминотрансфераз). Таким образом, целью исследования было изучить комплекс биохимических параметров гепатопанкреаса и жабр черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* из некоторых бухт г. Севастополя с разным уровнем рекреационной и антропогенной нагрузки.

Установлено, что активность антиоксидантных ферментов в тканях черноморской мидии была достоверно ниже в гепатопанкреасе и жабрах из района мыса Хрустальный, тогда как уровень ОМБ был достоверно выше по сравнению с таковым в тканях мидий из бухты Круглая. При этом содержание ТБК-активных продуктов имело высокие значения в тканях мидий из этих акваторий и достоверно не отличалось. У моллюсков из бухты Качья установлено более низкое содержание ТБК-активных продуктов и продуктов ОМБ, чем у моллюсков из бухты Круглая и из района мыса Хрустальный, что указывает на менее интенсивные процессы свободнорадикального окисления в тканях мидий из данной аква-

тории. Низкие значения показателей окислительного стресса (содержание ТБК-активных продуктов и окисленных форм белков) и активности антиоксидантных ферментов, установленные у мидий из бухты Матюшенко, свидетельствуют о меньшем уровне комплексного загрязнения / рекреационной нагрузки в этой акватории по сравнению с таковыми других тестируемых бухт. Данные о состоянии прооксидантно-оксидантной системы в целом согласуются с результатами, полученными для биомаркеров физиологического состояния особей. Минимальные значения активности вышеуказанных ферментов как в гепатопанкрасе, так и в жабрах приходятся на особей из бухты Матюшенко, в то время как у мидий из районов мыса Хрустальный и бухты Круглая анализируемые показатели существенно выше.

Результаты исследования позволили характеризовать экологическое состояние акваторий и дать рекомендации по их рациональному использованию. Для пляжно-купального отдыха и рекреационного рыболовства наиболее пригодными являются бухты Матюшенко и Казачья. Экологически менее благополучные бухта Круглая и пляж Хрустальный требуют комплекса мер, направленных на улучшение качества поверхностных вод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-44-920010 р_а «Оценка рекреационного потенциала акваторий Севастопольского региона методами биоиндикации».

Рост и выедание популяций как функция структурных параметров планктона

В. Д. Чмыр, Р. И. Ли

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

Применяемый для изучения первичной продукции водоёмов метод склянок как в кислородном, так и в радиоуглеродном варианте позволяет определять суммарную продукцию фитопланктона. Расчёт скорости роста отдельных видов фитопланктона в условиях естественного сообщества впервые был проведён Т. М. Кондратьевой в 1961 г. в стеклянных цилиндрах, торцы которых были затянуты пористыми мембранами. По этой методике позже проводили определения на Байкале и в бухте Севастопольская; они позволили успешно рассчитывать как продукцию отдельных видов, так и первичную продукцию всего фитоцена. Между тем в дальнейшем метод Кондратьевой, требующий трудоёмкого анализа проб под микроскопом, игнорировали как устаревший, а определения первичной продукции, особенно в морских акваториях, проводили преимущественно радиоуглеродным методом.

На оценку интегральных параметров нацелен и предложенный в начале 1980-х гг. метод разбавления, хотя, в принципе, он может быть использован для определения как роста, так и выедания популяций отдельных видов. В апреле — мае 2017 г. мы разработали и применили новую модификацию метода разбавления и впервые рассчитали функциональные параметры отдельных популяций в устье бухты Севастопольская. В задачи эксперимента входило определение соотношения скорости видимого и действительного роста, чтобы оценивать значения скорости действительного роста и выедания по результатам короткопериодного мониторинга численности фитопланктона *in situ*. В действительности полученные в ходе экспериментов результаты не только выходят за рамки заявленных целей, но и позволяют перейти на новый уровень комплексных исследований планктонного сообщества.

По значениям видимого роста численности в цельной и разбавленной пробах были рассчитаны суточные коэффициенты скорости видимого роста k , выедания m и действительного роста μ популяций шести видов диатомовых водорослей с размерами клеток от 75 до 1413 мкм³ и найдены зависимости этих коэффициентов, а также их соотношений от объёма клеток. Самый высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,9544$) имеет зависимость скорости видимого роста k от объёма клетки. Это связано с тем, что k измеряют непосредственно в неразбавленном варианте эксперимента, в то время как скорость вы-

едания m ($R^2 = 0,7469$) рассчитывают по результатам сопоставления данных, полученных также и при разбавлении, а скорость действительного роста μ ($R^2 = 0,1665$) определяют как сумму $k + m$. Между тем все зависимости соотношений функциональных параметров от объёма клеток имеют высокие коэффициенты детерминации (R^2 от 0,89 до 0,93). Согласно результатам экспериментов, мельчайшие водоросли характеризуются максимальными скоростями действительного роста и выедания и минимальными значениями видимого роста. С увеличением размера клеток значения выедания стремятся к нулю, а значения видимого роста повышаются до уровня действительного роста. Полученные зависимости свидетельствуют о взаимосвязи структурных и функциональных параметров популяций в планктонном сообществе: трофическая роль популяций определяется размерами их клеток; более крупные организмы микрозоопланктона потребляют фитопланктон в соответствии с его структурными характеристиками.

Если рассматривать найденные зависимости как свойственные всем подобным планктонным сообществам в сходных условиях, то можно заключить, что уравнения с высокими значениями коэффициента детерминации (R^2 от 0,89 до 0,95), с учётом соответствующих температурных и других поправок, могут, в принципе, быть использованы для определения функциональных параметров других подобных популяций непосредственно по размерам их клеток, то есть для конкретных расчётов скорости роста, продукции и потребления по результатам обычного таксономического анализа фитопланктона.

Новый подход к разработке систем беспроводной передачи энергии

И. Б. Широков, А. А. Азаров, И. В. Сердюк, Е. И. Широкова

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Беспроводные способы передачи энергии находят всё большее применение в современном обществе. Особенно актуальным представляется их использование при зарядке батарей автономного электротранспорта.

Среди известных можно выделить индукционный и магнитно-резонансный методы передачи энергии. При совершенно очевидном прогрессе в этой области настораживает только одно обстоятельство: независимо от способа передачи и технических ухищрений, плотность энергии и напряжённость поля в зоне зарядной станции должны быть достаточно высокими. Информации о биологическом воздействии таких систем на людей пока нет, и человечество может судить об их негативном влиянии лишь косвенно. Что-то снова исчезнет из наших городов, как, например, исчезли из домов тараканы. В любом случае при организации систем беспроводной зарядки аккумуляторов необходимо строго следовать существующим стандартам, регулирующим воздействие электромагнитных полей на организм человека. Представляется, что описанные выше технологии неприемлемы для массового и повсеместного внедрения на городских улицах и дорогах.

В работе предложено использовать полосковую систему для беспроводной передачи высокочастотной энергии. Для асимметричной, или микрополосковой, линии передачи электромагнитное поле сосредоточено исключительно между металлической полоской и экранирующей пластиной. Доказано, что для этого типа линий практически отсутствует излучение энергии в свободное пространство. Для симметричной полосковой линии электромагнитное поле сосредоточено между обеими её сторонами и обеими экранирующими пластинами. Также хорошо известно, что эта линия характеризуется ещё меньшим паразитным излучением в свободное пространство. Для технологии симметричных полосковых линий передачи хорошо известен направленный ответвитель с лицевой связью полосковых линий. При этом стандартное конструктивно-технологическое решение предполагает использование четвертьволновых отрезков полосковых линий и оконечных балластных сопротивлений. Это решение обеспечивает коэффициент передачи энергии на уровне -3 дБ. В этом случае по меньшей мере половина входной мощности рассеивается в балластном резисторе. При передаваемой мощности в несколько киловатт просто недопустимо преобразовывать сопоставимую мощность в тепло.

В предлагаемом решении свободные концы микрополосковых структур закорачиваются или оставляются свободными, длина линий выбирается равной нескольким длинам волн (направленная передача энергии осуществляется многократно), а сами линии для экономии места и увеличения допусков сворачиваются в спирали. Одиночная микрополосковая структура не излучает электромагнитную энергию. По мере приближения микрополосковых структур лицом друг к другу между ними возникает электромагнитная связь, и часть энергии передаётся от одной структуры к другой. Потерь энергии из-за излучения в свободное пространство не происходит. Вся энергия, которая не была передана, возвращается источнику.

С одной стороны, нет рассеяния энергии на отсутствующих оконечных балластных сопротивлениях (непроизводительные потери). С другой стороны, волны, распространяющиеся в этих линиях передачи, отражаются от свободных концов микрополосковых линий, и отражённая волна также участвует в процессе передачи энергии в другую линию, что увеличивает общий коэффициент передачи энергии. Всё это, в сочетании с полным отсутствием паразитных излучений, а значит, и вредного воздействия на человека, делает предлагаемую систему исключительно полезной в заявленном применении, а сам подход — инновационным.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и г. Севастополя, проект № 20-48-920001.

Организация городской транспортной инфраструктуры для беспроводной зарядки батарей электротранспорта

И. Б. Широков, А. А. Азаров, И. В. Сердюк, Е. И. Широкова

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Современное устойчивое развитие общества предполагает повсеместное развитие транспортных систем, особенно городского масштаба. Негативное влияние автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания на экологию города заставляет человечество искать альтернативные решения.

Есть все основания полагать, что электротранспорт станет повсеместным в городах будущего благодаря своему минимальному влиянию на экологию. Вместе с тем у электромобиля есть большая проблема: он должен периодически останавливаться для зарядки аккумулятора, а мощность зарядной станции должна быть даже выше, чем мощность, потребляемая двигателем, ведь в противном случае время зарядки будет намного больше, чем время работы электромобиля.

Самый распространённый метод передачи энергии для зарядки автомобильных аккумуляторов сегодня — проводная технология, однако использование проводов и соединительных элементов крайне неудобно. Во время зарядки аккумуляторов большой ёмкости длина и сечение провода для передачи энергии играют первостепенную роль. Остро стоит проблема долговечности соединительных элементов для передачи энергии. Следует понимать, что для обеспечения подключения проводных цепей в большинстве случаев необходимо присутствие человека. Специализированные зарядные станции необходимо разместить в городской инфраструктуре. Занимаемая ими площадь должна быть намного больше, чем площадь обычных заправочных станций, поскольку время зарядки аккумулятора существенно больше, чем время, необходимое для заправки автомобильного бака, а зарядка должна осуществляться чаще. Увеличивать количество зарядных станций — это не лучшая идея, поскольку тогда должна быть существенно изменена городская инфраструктура. Дополнительным негативным фактором является увеличение численности обслуживающего персонала. Экономическая целесообразность в этом случае будет сомнительной.

Использование беспроводных методов передачи энергии — более перспективное направление в общем развитии городской транспортной инфраструктуры. Нет необходимости использовать коммутирующие элементы; исключён человеческий фактор; зарядные станции можно развёртывать сколько угодно, часто без глобальных изменений других

объектов городской инфраструктуры. Очевидно, что применение беспроводных методов передачи энергии для зарядки аккумуляторов электромобилей неоспоримо для города будущего.

В работе предлагается размещать объекты беспроводной передачи энергии на всех остановках общественного транспорта, а также на всех парковках и погрузочно-разгрузочных зонах. Сама система, техническая суть которой подробно рассмотрена в докладе «Новый подход к разработке систем беспроводной передачи энергии», состоит из двух частей. Излучатель первой части встраивается прямо в дорожное полотно, а блок генерации размещается в непосредственной близости. В дежурном режиме излучения электромагнитной энергии отсутствуют. Как только электромобиль заезжает на место остановки/парковки/погрузки, автоматически включается система генерации и осуществляется передача электрической энергии во вторую часть системы, принимающий элемент которой размещён под днищем кузова электромобиля. Проведённые исследования показали, что эффективная передача энергии начинается уже с расстояния 100–200 мм при примерно таком же допуске на взаимное смещение элементов системы. Вторым, решающим преимуществом предлагаемой системы является полное отсутствие паразитных излучений, оказывающих негативное влияние на находящиеся рядом биологические объекты, чего нельзя сказать относительно всех других известных способов беспроводной передачи энергии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и г. Севастополя, проект № 20-48-920001.

Экологический контроль воздуха в населённом пункте с помощью микроволн

И. Б. Широков, П. А. Евдокимов, Е. И. Широкова, М. И. Соколова

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Предлагаемый метод экологического контроля воздуха в населённом пункте основан на измерении флуктуаций набега фазы микроволнового сигнала при его двукратном прохождении через контролируемую среду с учетом её метеорологической составляющей. Устройство, позволяющее реализовать данный метод, состоит из измерительной станции и блока ретранслятора и работает следующим образом.

В измерительной станции при помощи генератора микроволновых колебаний получают сигнал с частотой f_1 , который модулируется в амплитудном модуляторе низкочастотным опорным сигналом с частотой F_1 , полученным путём деления частоты сигнала с выхода высокочастотного кварцевого опорного генератора. Далее модулированный сигнал излучается в направлении антенны блока ретранслятора, при этом при прохождении через исследуемую среду получает набег фазы, равный:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi f_1 d \sqrt{\varepsilon}}{c},$$

где d — длина измерительной трассы;

ε — относительная диэлектрическая проницаемость исследуемой воздушной среды;

c — скорость света в вакууме.

Полученный сигнал выделяют и усиливают при помощи полосно-пропускающего фильтра, настроенного на частоту f_1 , и микроволнового усилителя, после чего осуществляют демодуляцию при помощи амплитудного детектора. Демодулированный сигнал с частотой F_1 подают на систему фазовой автоподстройки частоты, после чего при помощи делителя частоты получают низкочастотный сигнал с частотой F_2 . Затем этот сигнал подают одновременно с усиленным сигналом с частотой f_1 на управляемый фазовращатель, в котором происходит монотонное изменение фазы микроволнового сигнала от 0 до 2π , что приводит к сдвигу на частоту Доплера. После этого трансформированный по частоте микроволновый сигнал с частотой $f_2 = f_1 + F_2$ излучают обратно в направлении антенны измерительной станции. Частота F_2 намного меньше частоты f_1 , поэтому $f_2 \approx f_1$. Следовательно, суммарный набег фазы микроволнового сигнала при его двукратном прохождении среды будет равен примерно $2\Delta\phi$. Затем вторично принятый и исходный сигнал

с частотой f_1 подают на смеситель, где на выходе в результате гомодинного преобразования частоты получают низкочастотный сигнал с частотой F_2 . Далее этот сигнал через усилитель-ограничитель подают на вход фазового детектора, на другой вход которого подают опорный сигнал с частотой F_2 , полученный путём деления частоты сигнала с выхода высокочастотного кварцевого опорного генератора. В результате на выходе фазового детектора получают сигнал, соответствующий изменению набега фазы микроволнового сигнала:

$$u_1(t) = K2\Delta\phi,$$

где K — коэффициент преобразования фазового детектора.

Для исключения фактора погодных условий в сигнале u_1 его подают в решающий блок, где из него вычитают значения сигналов, полученных с выхода датчика влажности и датчика температуры. В результате на устройстве вывода можно наблюдать изменение сигнала, соответствующего изменению содержания вредных газов в воздухе.

Описанное устройство также может быть использовано для метеорологического мониторинга прибрежных районов. Кроме того, оно может применяться в составе газоаналитических комплексов для контроля атмосферы на токсичных и взрывоопасных предприятиях.

Научное издание

Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020

Всероссийская онлайн-конференция
19–22 октября 2020 г.
Севастополь, Российская Федерация

Вёрстка, макет:
Сергеева А. В.

Корректор:
Копытова О. Ю.

*Ответственность за содержание опубликованных материалов
несут авторы.*

ФИЦ ИнБЮМ
пр-т Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ
Тел.: +7 8692 54-55-50

ISBN 978-5-6044865-4-2



9 785604 486542