

ISSN 2413-5577

№ 1

Январь – Март

2022

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря



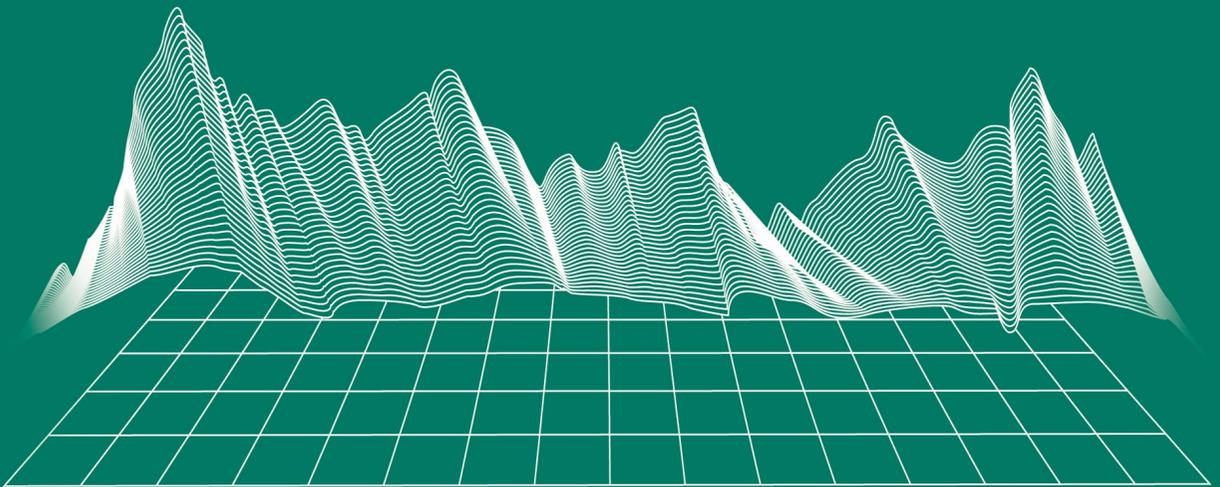
Ecological Safety of Coastal
and Shelf Zones of Sea

No. 1

January – March

2022

ecological-safety.ru



№ 1, 2022

Январь – Март

Выходит 4 раза в год

16+

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ

Научно-теоретический журнал

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», группа научных специальностей:

- 25.00.28 – Океанология (географические науки),
- 25.00.28 – Океанология (физико-математические науки),
- 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы (физико-математические науки),
- 25.00.35 – Геоинформатика (географические науки),
- 25.00.36 – Геоэкология (географические науки).

Издание находится под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (регистрационный номер ПИ № ФС77-73714 от 21.09.2018 г. и Эл № ФС77-82679 от 21 января 2022 г.).

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), EBSCO.

Журнал размещен в каталоге научной периодики РИНЦ на платформе научной электронной библиотеки eLibrary.ru, Киберленинка.

Плата за публикацию статей не взимается.

Электронный адрес: ecology-safety@mhi-ras.ru

Сайт журнала: <http://ecological-safety.ru>

Адрес учредителя, издателя и редакции:

299011, Россия, г. Севастополь,
ул. Капитанская, д. 2

Телефон, факс: +7 (8692) 54-57-16

No. 1, 2022
January – March

Publication frequency:
Quarterly

16+

ECOLOGICAL SAFETY OF COASTAL AND SHELF ZONES OF SEA

Scientific and theoretical journal

FOUNDER AND PUBLISHER:
Federal State Budget Scientific Institution
Federal Research Centre
“Marine Hydrophysical Institute of RAS”

Journal is on the list of peer reviewed academic journals of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation, where one may publish main research results of a Ph.D. thesis in the following field:

- 25.00.28 – Oceanology (geographical sciences),
- 25.00.28 – Oceanology (physical and mathematical sciences),
- 25.00.29 – Atmosphere and Hydrosphere Physics (physical and mathematical sciences),
- 25.00.35 – Geoinformatics (geographical sciences),
- 25.00.36 – Geocology (by fields) (geographical sciences).

Journal is under the scientific and methodological guidance of the Earth Sciences Department of the Russian Academy of Sciences.

Journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (registration number ПИ № ФС77-73714 of 21 September 2018 and Эл № ФС77-82679 of 21 January 2022.)

Journal coverage: The Russian Federation, other countries.

The Journal is indexed in and repositated at Russian Science Citation Index (RSCI), International Interactive Information and Bibliography System EBSCO.

Journal is in the catalog of scientific periodicals of the RSCI on the platform of the scientific electronic library eLibrary.ru, Cyberleninka.

There is no fee for publishing articles.

e-mail: ecology-safety@mhi-ras.ru

website: <http://ecological-safety.ru>

Founder, Publisher and Editorial Office address:

2, Kapitanskaya St.,
Sevastopol, 299011, Russia

Phone, fax: + 7 (8692) 54-57-16

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Горячкин Юрий Николаевич** – главный редактор, главный научный сотрудник ФГБУН ФИЦ МГИ, д. г. н., Scopus Author ID: 6507545681, ResearcherID: I-3062-2015, ORCID ID: 0000-0002-2807-201X (Севастополь, Россия)
- Рябушко Виталий Иванович** – заместитель главного редактора, заведующий отделом ФГБУН ФИЦ «ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН», главный научный сотрудник, д. б. н., ResearcherID: H-4163-2014, ORCID ID: 0000-0001-5052-2024 (Севастополь, Россия)
- Совга Елена Евгеньевна** – заместитель главного редактора, ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ МГИ, д. г. н., Scopus Author ID: 7801406819, ResearcherID: A-9774-2018 (Севастополь, Россия)
- Фомин Владимир Владимирович** – заместитель главного редактора, заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, д. ф.-м. н., ResearcherID: H-8185-2015, ORCID ID: 0000-0002-9070-4460 (Севастополь, Россия)
- Хмара Татьяна Викторовна** – ответственный секретарь, младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ МГИ, Scopus Author ID: 6506060413, ResearcherID: C-2358-2016 (Севастополь, Россия)
- Белокопытов Владимир Николаевич** – ведущий научный сотрудник, заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, д. г. н., Scopus Author ID: 6602809060, ORCID ID: 0000-0003-4699-9588 (Севастополь, Россия)
- Бердников Сергей Владимирович** – председатель ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, д. г. н., ORCID ID: 0000-0002-3095-5532 (Ростов-на-Дону, Россия)
- Бондур Валерий Григорьевич** – директор ФГБНУ НИИ «АЭРОКОСМОС», вице-президент РАН, академик РАН, д. т. н., ORCID ID: 0000-0002-2049-6176 (Москва, Россия)
- Васечкина Елена Федоровна** – заместитель директора ФГБУН ФИЦ МГИ, д. г. н., ResearcherID: P-2178-2017 (Севастополь, Россия)
- Гергман Исаак** – глава департамента Израильского океанографического и лимнологического исследовательского центра, руководитель Израильского морского центра данных, к. г. н., ORCID ID: 0000-0002-6953-6722 (Хайфа, Израиль)
- Демешев Сергей Германович** – заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, главный научный сотрудник, д. ф.-м. н., ResearcherID: C-1729-2016, ORCID ID: 0000-0002-5405-2282 (Севастополь, Россия)
- Дианский Николай Ардалианович** – главный научный сотрудник МГУ им. М. В. Ломоносова, доцент, д. ф.-м. н., ResearcherID: R-8307-2018, ORCID ID: 0000-0002-6785-1956 (Москва, Россия)
- Дулов Владимир Александрович** – заведующий лабораторией ФГБУН ФИЦ МГИ, профессор, д. ф.-м. н., ResearcherID: F-8868-2014, ORCID ID: 0000-0002-0038-7255 (Севастополь, Россия)
- Егоров Виктор Николаевич** – научный руководитель ФГБУН ФИЦ ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН, академик РАН, профессор, д. б. н., ORCID ID: 0000-0002-4233-3212 (Севастополь, Россия)
- Ефимов Владимир Васильевич** – заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, д. ф.-м. н., ResearcherID: P-2063-2017 (Севастополь, Россия)
- Залесный Владимир Борисович** – ведущий научный сотрудник ФГБУН ИВМ РАН, профессор, д. ф.-м. н., ORCID ID: 0000-0003-3829-3374 (Москва, Россия)
- Зацепин Андрей Георгиевич** – руководитель лаборатории ФГБУН ИО им. П.П. Ширшова РАН, главный научный сотрудник, д. ф.-м. н., ORCID ID: 0000-0002-5527-5234 (Москва, Россия)
- Кныш Василий Васильевич** – ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ МГИ, профессор, д. ф.-м. н., Researcher ID: B-3603-2018 (Севастополь, Россия)
- Коновалов Сергей Карпович** – директор ФГБУН ФИЦ МГИ, член-корреспондент РАН, д. г. н., ORCID ID: 0000-0002-5200-8448 (Севастополь, Россия)
- Коротаев Геннадий Константинович** – научный руководитель ФГБУН ФИЦ МГИ, член-корреспондент РАН, профессор, д. ф.-м. н., ResearcherID: K-3408-2017 (Севастополь, Россия)
- Косьян Рубен Дереникович** – главный научный сотрудник ЮО ИО РАН, профессор, д. г. н., ORCID ID: 0000-0003-0788-6644 (Геленджик, Россия)
- Кузнецов Александр Сергеевич** – ведущий научный сотрудник, заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, к. т. н., ORCID ID: 0000-0002-5690-5349 (Севастополь, Россия)
- Ли Михаил Ен Гон** – заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, профессор, д. ф.-м. н., ORCID ID: 0000-0002-2292-1877 (Севастополь, Россия)
- Малахова Людмила Васильевна** – ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН, к. б. н., ResearcherID: E-9401-2016, ORCID ID: 0000-0001-8810-7264 (Севастополь, Россия)
- Матишов Геннадий Григорьевич** – заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН – руководитель Секции океанологии, физики атмосферы и географии, научный руководитель ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, научный руководитель ФГБУН ММБИ КНЦ РАН, академик РАН, д. г. н., профессор, ORCID ID: 0000-0003-4430-5220 (Ростов-на-Дону, Россия)
- Мотыжев Сергей Владимирович** – главный научный сотрудник СевГУ, д. т. н., ResearcherID: G-2784-2014, ORCID ID: 0000-0002-8438-2602 (Севастополь, Россия)
- Празукин Александр Васильевич** – ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН, д. б. н., Researcher ID: H-2051-2016, ORCID ID: 0000-0001-9766-6041 (Севастополь, Россия)
- Самодуров Анатолий Сергеевич** – заведующий отделом ФГБУН ФИЦ МГИ, д. ф.-м. н., ResearcherID: V-8642-2017 (Севастополь, Россия)
- Трухчев Димитър Иванов** – старший научный сотрудник Института океанологии БАН, профессор, д. ф.-м. н. (Варна, Болгария)
- Шапиро Наум Борисович** – ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ МГИ, д. ф.-м. н., ResearcherID: A-8585-2017 (Севастополь, Россия)

EDITORIAL BOARD

- Yuri N. Goryachkin** – Editor-in-Chief, Chief Research Associate of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Geogr.), Scopus ID: 6507545681, ResearcherID: I-3062-2015, ORCID ID: 0000-0002-2807-201X (Sevastopol, Russia)
- Vitaly I. Ryabushko** – Deputy Editor-in-Chief, Head of Department of FSBSI FRC A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Chief Research Associate, Dr.Sci. (Biol.), ResearcherID: H-4163-2014, ORCID ID: 0000-0001-5052-2024 (Sevastopol, Russia)
- Elena E. Sovga** – Deputy Editor-in-Chief, Leading Research Associate of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Geogr.), Scopus ID: 7801406819, ResearcherID: A-9774-2018 (Sevastopol, Russia)
- Vladimir V. Fomin** – Deputy Editor-in-Chief, Head of Department of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: H-8185-2015, ORCID ID: 0000-0002-9070-4460 (Sevastopol, Russia)
- Tatyana V. Khmara** – Executive Editor, Junior Research Associate of FSBSI FRC MHI, Scopus ID: 6506060413, ResearcherID: C-2358-2016 (Sevastopol, Russia)
- Vladimir N. Belokopytov** – Leading Research Associate, Head of Department of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Geogr.), Scopus ID: 6602809060, ORCID ID: 0000-0003-4699-9588 (Sevastopol, Russia)
- Sergey V. Berdnikov** – Chairman of FSBSI FRC Southern Scientific Centre of RAS, Dr.Sci. (Geogr.), ORCID ID: 0000-0002-3095-5532 (Rostov-on-Don, Russia)
- Valery G. Bondur** – Director of FSBSI Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring “AEROCOSMOS”, vice-president of RAS, academician of RAS, Dr.Sci. (Tech.), ORCID ID: 0000-0002-2049-6176 (Moscow, Russia)
- Elena F. Vasechkina** – Deputy Director of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Geogr.), ResearcherID: P-2178-2017 (Sevastopol, Russia)
- Isaac Gertman** – Head of Department of Israel Oceanographic and Limnological Research Institute, Head of Israel Marine Data Center, Ph.D. (Geogr.), ORCID ID: 0000-0002-6953-6722 (Haifa, Israel)
- Sergey G. Demyshev** – Head of Department of FSBSI FRC MHI, Chief Research Associate, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID C-1729-2016, ORCID ID: 0000-0002-5405-2282 (Sevastopol, Russia)
- Nikolay A. Diansky** – Chief Research Associate of Lomonosov Moscow State University, associate professor, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: R-8307-2018, ORCID ID: 0000-0002-6785-1956 (Moscow, Russia)
- Vladimir A. Dulov** – Head of Laboratory of FSBSI FRC MHI, professor, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: F-8868-2014, ORCID ID: 0000-0002-0038-7255 (Sevastopol, Russia)
- Victor N. Egorov** – Scientific Supervisor of FSBSI FRC A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, academician of RAS, professor, Dr.Sci. (Biol.), ORCID ID: 0000-0002-4233-3212 (Sevastopol, Russia)
- Vladimir V. Efimov** – Head of Department of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: P-2063-2017 (Sevastopol, Russia)
- Vladimir B. Zalesny** – Leading Research Associate of FSBSI Institute of Numerical Mathematics of RAS, professor, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ORCID ID: 0000-0003-3829-3374 (Moscow, Russia)
- Andrey G. Zatsepin** – Head of Laboratory of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Chief Research Associate, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ORCID ID: 0000-0002-5527-5234 (Moscow, Russia)
- Vasilii V. Knysht** – Leading Research Associate of FSBSI FRC MHI, professor, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: B-3603-2018 (Sevastopol, Russia)
- Sergey K. Konovalov** – Director of FSBSI FRC MHI, corresponding member of RAS, Dr.Sci. (Geogr.), ORCID ID: 0000-0002-5200-8448 (Sevastopol, Russia)
- Gennady K. Korotaev** – Scientific Supervisor of FSBSI FRC MHI, corresponding member of RAS, professor, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: K-3408-2017 (Sevastopol, Russia)
- Ruben D. Kosyan** – Chief Research Associate of Southern Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, professor, Dr.Sci. (Geogr.), ORCID ID: 0000-0003-0788-6644 (Gelendzhik, Russia)
- Alexander S. Kuznetsov** – Leading Research Associate, Head of Department of FSBSI FRC MHI, Ph.D. (Tech.), ORCID ID: 0000-0002-5690-5349 (Sevastopol, Russia)
- Michael E. Lee** – Head of Department of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor, ORCID ID: 0000-0002-2292-1877 (Sevastopol, Russia)
- Ludmila V. Malakhova** – Leading Research Associate of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Ph.D. (Biol.), ResearcherID: E-9401-2016, ORCID ID: 0000-0001-8810-7264 (Sevastopol, Russia)
- Gennady G. Matishov** – Deputy Academician – Secretary of Earth Sciences Department of RAS, Head of Section of Oceanology, Physics of Atmosphere and Geography, Scientific Supervisor of FSBSI FRC Southern Scientific Centre of RAS, Scientific Supervisor of FSBSI Murmansk Marine Biological Institute KSC of RAS, academician of RAS, Dr.Sci. (Geogr.), professor, ORCID ID: 0000-0003-4430-5220 (Rostov-on-Don, Russia)
- Sergey V. Motyzhev** – Chief Research Associate of Sevastopol State University, Dr.Sci. (Tech.), ResearcherID: G-2784-2014, ORCID ID: 0000-0002-8438-2602 (Sevastopol, Russia)
- Alexander V. Prazukin** – Leading Research Associate of FSBSI FRC A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Dr.Sci. (Biol.), ResearcherID: H-2051-2016, ORCID ID: 0000-0001-9766-6041 (Sevastopol, Russia)
- Anatoly S. Samodurov** – Head of Department of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: V-8642-2017 (Sevastopol, Russia)
- Dimitar I. Trukhchev** – Institute of Metal Science, equipment, and technologies “Academician A. Balevski” with Center for Hydro- and Aerodynamics at the Bulgarian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Varna, Bulgaria)
- Naum B. Shapiro** – Leading Research Associate of FSBSI FRC MHI, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ResearcherID: A-8585-2017 (Sevastopol, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

№ 1. 2022

Январь – Март, 2022

<i>Горячкин Ю. Н., Ефремова Т. В.</i> Антропогенное воздействие на литодинамику черноморского побережья Крымского полуострова.....	6
<i>Ломакин П. Д.</i> Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклеийского полуострова (Крым) в августе 2019 года	31
<i>Куридная Ю. С., Гуров К. И., Забегаев И. А., Орехова Н. А.</i> Окислительно-восстановительные условия и характеристики донных отложений бухт Севастопольского региона	42
<i>Буфетова М. В.</i> Оценка способности взвесей Азовского моря концентрировать тяжелые металлы	55
<i>Гуськов Г. Е., Жердев Н. А., Бухмин Д. А.</i> Новые и редкие виды рыб у северного побережья Черного моря и антропогенные факторы, влияющие на их проникновение и натурализацию (обзор).....	66
<i>Ясакова О. Н.</i> Состояние сообщества фитопланктона в северо-восточной части Черного моря (2011–2020 гг.)	82
<i>Гусева Е. В., Алёмов С. В.</i> Мейобентос Севастопольской бухты (Черное море): современное состояние и многолетние изменения	104
<i>Гогоберидзе Г. Г., Румянцева Е. А., Косьян Р. Д.</i> Критериально-статистическая оценка устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем черноморского побережья Краснодарского края.....	113

CONTENTS

№ 1. 2022

January – March, 2022

<i>Goryachkin Yu. N., Efremova T. V.</i> Anthropogenic Impact on the Lithodynamics of the Black Sea Coastal Zone of the Crimean Peninsula	6
<i>Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I.</i> The Structure of Fields of Oceanological Quantities in the Upwelling Zone at the Herakleian Peninsula (Crimea) in August 2019	31
<i>Kurinnaya Yu. S., Gurov K. I., Zabegaev I. A., Orekhova N. A.</i> Redox Conditions and Characteristics of Bottom Sediments in the Bays of the Sevastopol Region	42
<i>Bufetova M. V.</i> Assessment of the Ability of Suspended Matter in the Sea of Azov to Concentrate Heavy Metals	55
<i>Gus'kov G. E., Zherdev N. A., Bukhmin D. A.</i> New and Rare Fish Species off the Northern Shore of the Black Sea and Anthropogenic Factors Affecting their Penetration and Naturalization (Review).....	66
<i>Yasakova O. N.</i> The Status of Plankton Allogocenosis in the North-East Part of the Black Sea (2011–2020)	82
<i>Guseva E. V., Alyomov S. V.</i> Meiobenthos of Sevastopol Bay (Black Sea): Current State and Long-Term Changes	104
<i>Gogoberidze G. G., Rumiantceva E. A., Kosyan R. D.</i> Criterion-Statistical Assessment of the Sustainability of Black Sea Local Coastal Eco-Socio-Economic Systems of the Krasnodar Krai.....	113

Антропогенное воздействие на литодинамику черноморского побережья Крымского полуострова

Ю. Н. Горячкин, Т. В. Ефремова*

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: efremova@mhi-ras.ru*

Аннотация

Динамика береговой зоны морей и океанов обусловлена сложным взаимодействием природных процессов, происходящих на стыке суши, моря и атмосферы, которое еще больше усложнилось из-за антропогенного фактора. Цель статьи – систематизация сведений об антропогенном воздействии на литодинамику черноморского побережья Крыма, классификация видов воздействий и их картографирование. Использовались материалы многолетних мониторинговых наблюдений, выполняемых Морским гидрофизическим институтом РАН. Показано, что наибольшее влияние на изменение литодинамики Западного Крыма оказывает гидротехническое строительство. Приводятся конкретные примеры с количественными характеристиками. Установлено, что строительство капитальных сооружений на пляжах ведет как минимум к сокращению пляжей, как максимум – к их полному исчезновению, что в дальнейшем приводит к увеличению затрат на защиту берега и снижению его рекреационных свойств. Отмечается, что уменьшение твердого стока рек из-за их зарегулирования повлияло в основном на пляжи Западного Крыма. Там же различными сооружениями закрыто 25 % общей протяженности клифов, что снизило поступление наносов от разрушения клифов на 16 000 м³ в год. Обсуждаются также проблемы, связанные с деградацией и исчезновением дюн, раскрытием пересыпей, сокращением количества донных моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков и др. Приводятся коэффициенты техногенной нагрузки на различные участки побережья и карты локализации отдельных видов антропогенного воздействия.

Ключевые слова: Черное море, береговая зона Крыма, антропогенное воздействие, литодинамика, берегозащитные сооружения

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0005. Авторы благодарят В. В. Долотова за помощь в оформлении карт.

Для цитирования: Горячкин Ю. Н., Ефремова Т. В. Антропогенное воздействие на литодинамику черноморского побережья Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 6–30. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-6-30

© Горячкин Ю. Н., Ефремова Т. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Anthropogenic Impact on the Lithodynamics of the Black Sea Coastal Zone of the Crimean Peninsula

Yu. N. Goryachkin, T. V. Efremova*

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: efremova@mhi-ras.ru*

Abstract

The dynamics of the coastal zone of seas and oceans is contingent on a complex interaction of natural processes occurring at the border of land, sea, and atmosphere. This interaction has become even more complicated due to the anthropogenic factor. The purpose of the article is to systematize information about the anthropogenic impact on the lithodynamics of the Crimean coastal zone, classify the types of impacts and map them. The authors used materials of long-term monitoring performed by Marine Hydrophysical Institute of RAS. It is shown that the greatest influence on the change in lithodynamics is exerted by hydraulic engineering. Specific examples with quantitative characteristics are given. It is found that construction of permanent facilities on the beaches leads at least to their reduction and at most to their complete disappearance, which then results in increase of coast protection costs and reduces recreational properties of the coast. It is noted that the decrease in the solid runoff of rivers due to their regulation have influenced mainly the beaches of the Western Crimea. In the same place, 25 % of the total length of the cliffs is covered with various structures, and this has reduced the flow of sediments due to cliff destruction by 16,000 m³ per year. The paper also discusses problems of degradation and disappearance of dunes, opening of bay-bars, reduction in the number of bottom mollusks, valves of which serve as a source material for the formation of sands, etc. The paper presents coefficients of anthropogenic load on various parts of the coast as well as maps localizing certain types of anthropogenic impact.

Keywords: Black Sea, coastal zone of Crimea, anthropogenic impact, lithodynamic, coast protection works

Acknowledgments: the work was carried out under state assignment no. 0555-2021-0005 of FSBSI FRC MHI RAS. The authors are grateful to V. V. Dolotov for his help with the map design.

For citation: Goryachkin, Yu.N. and Efremova, T.V., 2022. Anthropogenic Impact on the Lithodynamics of the Black Sea Coastal Zone of the Crimean Peninsula. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 6–30. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-6-30

Введение

Все более очевидно, что вмешательство человека в окружающую среду, повышая комфортность его существования, параллельно приводит к значительным проблемам уже сейчас и создает предпосылки для их увеличения в будущем. Самая известная проблема – глобальное потепление вследствие быстрого увеличения выбросов CO₂ и других парниковых газов в атмосферу Земли, с которым связывают события участившихся в последнее время экстремальных погодных явлений [1]. Если ранее возможные последствия, такие как повышение уровня Мирового океана, затопление прибрежных районов, экстремальная жара, обильные осадки и т. п., влияющие на экосистемы и инфраструктуру по всему миру, были предметом многолетних

обсуждений в ученом сообществе, то сейчас многие страны перешли к практическим решениям, которые в будущем серьезно повлияют на их экономику и, возможно, образ жизни.

Многие участки акваторий и территорий на планете уже давно испытывают отрицательные последствия хозяйственной деятельности. В значительной мере это относится к береговой зоне морей и океанов, которая отличается сложным взаимодействием между природными процессами, происходящими на стыке суши, моря и атмосферы. В последнее время к этим процессам прибавилось и антропогенное воздействие. Деятельность человека в настоящее время сопоставима с геологическими силами, поскольку в отдельных районах она радикально преобразует естественное состояние среды [2]. Так, например, считается, что более 50 % береговой линии развитых стран (США, Австралия, Япония, Дания, Нидерланды и др.) изменено инженерными сооружениями [3].

Вмешательство человека в естественную среду с отрицательными последствиями имеет множество аспектов, таких как биологические (например, воздействие загрязнения на морские экосистемы и биоресурсы), экономические (выведение из оборота ценных земель, разрушение прибрежной инфраструктуры) и другие. В настоящей работе мы рассматриваем один из таких аспектов – антропогенное воздействие на литодинамику береговой зоны. Объект исследования – черноморское побережье Крымского п-ова. В статье сделан акцент на Западном Крыме, поскольку этот регион наиболее перспективен для рекреационного развития, но уже сейчас испытывает определенные проблемы, связанные с хозяйственной деятельностью. Южный берег Крыма (ЮБК) в настоящее время является почти полностью урбанизированной территорией с экстремальной антропогенной нагрузкой, а восточный берег, в силу природных и социальных причин, наоборот, почти не пострадал от хозяйственной деятельности.

Цель статьи – систематизация сведений об антропогенном воздействии на литодинамику береговой зоны Крымского п-ова в пределах Черного моря, классификация видов воздействия и их картографирование.

Анализ публикаций и состояние вопроса

В Черном море, в бассейне которого проживают более 300 млн человек, а на берегах расположено около 20 городов с населением более 50 000 человек в каждом, антропогенная нагрузка на береговую зону возрастает. Она обусловлена урбанизацией и расширением хозяйственной, особенно рекреационной деятельности. В [4] мы дали обзор литературы, посвященной антропогенному воздействию на литодинамику побережья Турции, Румынии и Болгарии. Было отмечено, что, несмотря на разницу природных условий, источники техногенного воздействия в этих странах одинаковые: гидротехническое строительство, зарегулирование рек водохранилищами, строительство капитальных сооружений на пляжах, незаконная добыча песка, дноуглубление и т. д. Это воздействие изменяет естественную динамику наносов, создает их дефицит и разрушает береговые экосистемы.

Влияние различных типов гидротехнических сооружений на береговую зону российского и грузинского побережий и отрицательные стороны этого влияния были рассмотрены в [5, 6]. В работах [7, 8] отмечалось, что

на побережье Грузии вмешательство человека в природные процессы (отбор пляжных отложений, строительство плотин, водохранилищ, портовых сооружений в прибрежной зоне) не только не улучшило экономическое состояние страны, но и вместе с текущими природными явлениями спровоцировало усиление тенденции к абразии берегов и активизации исчезновения пляжей, а также привело к угрозе разрушения расположенной там инфраструктуры, что повлекло за собой огромные материальные потери (несколько миллиардов долларов США).

Антропогенное воздействие на устойчивость морских берегов Краснодарского края и факторы, лимитирующие их хозяйственное освоение, приведены в [9]. Среди них выделяются сокращение твердого стока, разрушение песчаных дюн, отбор песка с пляжей, снижение объема поступающих на берега биогенных наносов (ракуши) и другие. Негативное влияние гидротехнических сооружений на сопредельные участки береговой зоны в украинском секторе Черного моря рассмотрено в [10]. Некоторые аспекты антропогенного воздействия на берега Украины приводятся в [11].

Библиография по антропогенному воздействию на береговую зону Крыма относительно невелика. В основном в статьях приводились отдельные факты такого воздействия без подробного анализа. Пожалуй, впервые на проблему антропогенного влияния на литодинамику в Крыму обратил внимание В. П. Зенкович. В статье, посвященной изъятию пляжевого материала на Кавказском побережье и вызванным этим изъятием отрицательным последствиям, он упомянул и Крым: «... такие разработки [песка] ведутся ... даже в Ялте, на подводном склоне Желтышевского (ныне Приморского. – *Авторы*) пляжа» [12, с. 54].

В ответ на эту публикацию вышла небольшая статья, в которой приводятся факты изъятия галечного материала из береговой зоны Ялты и его последствия [13]. Уменьшение ширины Ливадийского и Чукурларского пляжей за 5–7 лет определяется в 22 и 65 см соответственно, однако эти значения меньше типичной изменчивости в цикле штиль – шторм. Позже этот же автор отмечал, что в результате добычи 2 млн м³ песка и гравия со дна Ялтинской бухты ширина Чукурларского пляжа уменьшилась за 12 лет с 17.8 до 14.6 м, а объем галечникового пляжа снизился до 28 % [14]. Из текста не очень понятно, снизился на 28 % или до 28 % от первоначального, скорее первое.

В работе [15] анализировались изменения вещественного состава наносов на пляже в б. Тихой (Восточный Крым, район Коктебеля). По мнению автора, из-за внедрения в Черное море хищника рапаны резко сократилось количество донных моллюсков. Если ранее доля раковин моллюсков в составе наносов равнялась 8 %, то в 1974 г. она сократилась до нуля. Наблюдается также разрушение песчаных дюн из-за вывоза их материала для строительных нужд, при этом ширина пляжа сократилась с 20–25 до 10–17 м (в настоящее время его ширина составляет 8–13 м. – *Авторы*). Делается вывод (но без конкретных фактов), что «аналогичная картина изменения вещественного состава и динамики песчаных пляжей отмечена также западнее Карадага в бухте Чалки, в районе Евпатории и в некоторых других местах Крыма» [15, с. 103].

Величины отступления берега в результате функционирования карьера по добыче гравийно-песчаных смесей в районе Сакской пересыпи приводятся в ряде работ [16–18]. В цикле работ [19–21], которые, впрочем, мало отличаются друг от друга текстуально и по приводимым фактам, рассматривается изменение пляжей в районе Евпатории и с. Приветного (район Алушты), приводятся данные об изменениях ширины пляжей в Евпатории за 1995–1998 гг. Автор этих работ, не будучи специалистом по береговым процессам, о чем говорит сам, путает основные и второстепенные факторы, влияющие на литодинамику. Главный вывод из его работ: «...за последние полвека основным фактором, вызывающим сокращение пляжей является антропогенный фактор – отбор песка и гальки для строительных целей и несанкционированное строительство различных объектов в прибрежной зоне, а также создание водохранилищ, задерживающих наносы» [20, с. 63].

Подробный анализ антропогенного воздействия на пляжи пгт Коктебель и пгт Курортное (ЮБК, район Карадага) проведен в [22]. Автор доказывает, что «искусственное изъятие наносов из береговой зоны и частичное зарегулирование твердого стока привело к сокращению естественных и необходимости создания искусственных пляжей» [22, с. 86].

Отдельные факты антропогенного воздействия на берега Крымского п-ова содержатся в нашей работе [23]. В кратком обзоре литературы по вопросу антропогенного воздействия на литодинамику береговой зоны Крыма мы не упомянули работы, в которых приводятся общие рассуждения без фактического материала, например [24]. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствует работа, обобщающая данные о техногенной нагрузке на естественную литодинамику береговой зоны Крымского п-ова.

Материалы и методы исследования

Нами использовались материалы многолетних мониторинговых наблюдений, выполняемых Морским гидрофизическим институтом РАН (эхолотный промер, георадарные съемки, гранулометрический анализ наносов, тахеометрические *GPS*-съемки, измерения волновых течений и др.). Анализировались данные аэрофотоснимков и космических снимков сверхвысокого разрешения, литературные и архивные источники. Отклик береговой зоны на антропогенное воздействие идентифицировался как изменение конфигурации береговой линии, появление ранее не существовавших участков размыва или аккумуляции, изменение вещественного и гранулометрического состава наносов. В работе мы использовали классификацию видов антропогенного воздействия, разработанную нами с некоторыми изменениями и уточнениями [23, 25].

Результаты и обсуждение

По убыванию отрицательных последствий на береговую зону Крымского п-ова нами были выделены следующие основные виды антропогенного воздействия: эксплуатация гидротехнических сооружений; капитальное строительство на пляжах; отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона; уменьшение твердого стока рек; закрытие клифов,

уничтожение дон; искусственное раскрытие пересыпей; изменение количества моллюсков. Рассмотрим их подробнее.

Эксплуатация гидротехнических сооружений. Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений по своему предназначению должны изменять природные процессы. При этом положительные последствия должны превалировать над отрицательными, немаловажно и обоснование необходимости этих сооружений. Введенный в 2017 г. свод правил «Проектирование морских берегозащитных сооружений» (СП 277.1325800.2016) прямо говорит, что берегозащитные сооружения должны обеспечивать минимальные нарушения природных факторов в физическом и экологическом аспектах в настоящем и будущем времени и не снижать эстетическую ценность побережья. При этом должно учитываться не только достижение поставленной цели на защищаемом участке, но также влияние этих сооружений на примыкающие участки берега. Недопустимы типовые решения, не учитывающие конкретные природные условия побережья.

Выше уже отмечалась высокая степень антропогенной нагрузки на ЮБК. К настоящему времени почти весь берег, за исключением труднодоступных участков, заполнен бетонными сооружениями, одних бун построено более 600. Коэффициент техногенной нагрузки $K = l/L$ (где l – линейные размеры сооружений; L – длина побережья) на побережье между м. Сарыч и Алуштой (около 75 км) равен 1.2, что является экстремальным значением согласно классификации, приведенной в [26]. Несомненно, построенные в 1970–1980-х гг. прошлого века берегозащитные сооружения уменьшили опасность активизации оползней, расширили площади пляжей и прилегающих территорий, однако породили и проблемы [27].

Так, подвижный материал искусственных пляжей почти полностью



Рис. 1. Антропогенный берег на ЮБК
Fig. 1. Anthropogenic coast on the SCC

уничтожает придонный биоценоз, в межбунном пространстве возникают застойные явления и скапливаются загрязняющие вещества, продуктивная площадь частично восстанавливается только на бетонных поверхностях [28]. Как следствие, прибрежная акватория ЮБК потеряла ценные виды флоры и фауны. Существенно, что бетонный берег с типовыми бунами на протяжении многих километров ухудшил восприятие уникальной в прошлом природы ЮБК, тем более что значительная часть сооружений находится или в аварийном, или в предаварийном состоянии (рис. 1). Застройка любого свободного участка земли, непомерная антропогенная нагрузка уже сейчас приводят к утрате привлекательности ЮБК как курорта.

Неудивительно, что отдыхающие и инвесторы все чаще обращают внимание на побережье Западного Крыма, где антропогенная нагрузка пока еще не так велика (рис. 2). При этом важно не допустить тех ошибок, которые здесь были сделаны ранее, в 1970–1990-х гг. Они были вызваны желанием облагородить берег искусственными сооружениями с применением стандартных решений, уже апробированных на ЮБК, но не учитывающих принципиально другие особенности литодинамики береговой зоны Западного Крыма. Справедливости ради отметим, что свою роль сыграла и неполная реализация проектных решений.

До вмешательства человека особенностью литодинамики побережья от Евпатории до Севастополя был почти единый вдольбереговой поток наносов, направленный против часовой стрелки, о чем впервые указывалось в [29]. Основным источником наносов является абразия клифов и бенчей. Из-за зарегулированности рек (Бельбек, Кача, Альма) твердый сток крайне мал. В результате строительства поперечных пляжеудерживающих сооружений (бун) побережье в настоящее время оказалось фактически разбито на ряд отдельных литодинамических ячеек, почти не обменивающихся наносами.

Характерным примером является район пгт Николаевка. К концу 1970-х гг. в связи с почти полным прекращением твердого стока р. Альмы пляжи в северной части поселка стали уменьшаться, усилилась абразия клифа, угрожая строениям баз отдыха. Дважды строились вертикальные стенки, но обе были уничтожены штормами, позже в районе безымянного мыса были построены две буны. Они позволили нарастить пляж к югу до ширины 25–35 м (сейчас его ширина 10–15 м). Вместе с тем к северу от бун (у комплекса рекреационных объектов) пляж полностью исчез на протяжении около 700 м.

Параллельно в течение 1980-х гг. проводилось строительство откосно-ступенчатых набережных, захвативших и территорию естественного пляжа. Сразу после завершения строительства пляжи (ширина которых составляла 20 м) стали сокращаться, к 1999 г. их ширина была 2 м. В отсутствие пляжа набережная стала стремительно разрушаться.

В начале XXI в. на южном участке было построено шесть поперечных бун с целью защиты уцелевших к этому времени участков набережных. Реализация проекта вызвала существенную перестройку литодинамики, дальнейшую деградацию пляжей и разрушение берегозащиты. Не приводя все подробности деградации пляжей в пгт Николаевка, которые изложены нами в [30], отметим, что сейчас пляжи во многих местах представляют собой нагромождение остатков конструкций и закрыты. Официально из оборота выведено более 1 км пляжей. Существует проект их восстановления стоимостью более 10 млрд руб. Огромные затраты на различные берегозащитные мероприятия за минувшие годы во многом превышают стоимость малоценных построек на клифе, которые в свое время нужно было просто снести.

Аналогично развивалась ситуация и в курортном поселке Песчаное, находящемся в устье р. Альмы. Здесь строительство курортной зоны было начато в 1970-е гг. без учета состояния главного рекреационного фактора – пляжа, который к тому времени уже начал деградировать вследствие почти



Р и с . 2. Отрицательное воздействие антропогенной деятельности на литодинамику береговой зоны (мало преобразованные дюны – оранжевые линии, значительно преобразованные – фиолетовые, уничтоженные – красные); кружки – отбор песка в промышленных масштабах; черным цветом показаны капитальные сооружения на пляжах

Fig. 2. Negative effect on lithodynamics of the coastal zone (slightly transformed dunes – orange lines, significantly transformed dunes – purple lines, destroyed dunes – red lines); circles – sand extraction on an industrial scale; black spots denote permanent facilities on the beaches

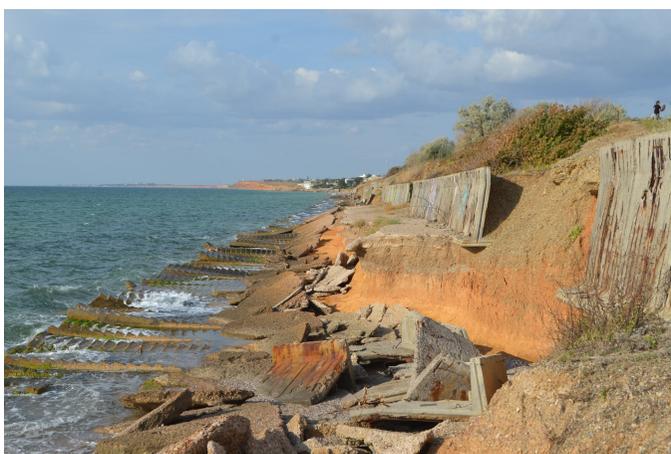
полного прекращения твердого стока р. Альмы. Прекрасный песчаный пляж шириной более 30 м к 1982 г. исчез почти полностью, резко возросла абразия клифа, создалась угроза прибрежным постройкам.

Берег сначала пытались защищать вертикальными стенками, а в 1980-х гг. началось строительство откосно-ступенчатых набережных и 15 бун, которое было закончено к 1990 г. После этого пляжи начали сокращаться, и к 1997 г. пляж перед набережной полностью отсутствовал на протяжении 200 м.

С этого же времени начался процесс разрушения берегозащитных сооружений, который вскоре приобрел необратимый характер. Набережная длиной 1.3 км была полностью разрушена к 2010 г. Часть разрушенных конструкций была впоследствии разобрана (более подробно см. в [30]). В результате всех действий в настоящее время более 1 км бывшего пляжа не используется (рис. 3). На большей части остальных пляжей (около 2 км) естественные песчано-галечниковые пляжи замещены искусственными валунно-щебеночными.

Типичным примером непродуманного подхода к рекреационному освоению побережья является история строительства в 1985–1989 гг. откосно-ступенчатой набережной в с. Береговое в устье р. Западный Булганак, которое было вызвано желанием сделать берег цивилизованным (более подробно см. в [30]). Здесь же отметим, что до строительства ширина галечно-песчаного пляжа была от 20 до 25 м. После окончания строительства пляж начал уменьшаться, к 2006 г. его максимальная ширина перед набережной равнялась 5 м, после чего пляж шириной до 2 м то появлялся, то исчезал.

В 2011 г. начался процесс деформации набережной, которая постепенно разрушалась. В 2021 г. она была восстановлена по новому проекту, в результате которого здесь появился искусственный пляж длиной всего 90 м, отсыпанный щебнем фракции 60–80 мм, под прикрытием двух бун. На остальной части набережной (300 м) вместо пляжа отсыпана глыбовая наброска, сброс воды из реки при паводках предусмотрен прямо на набережную. К северу



Р и с . 3 . Часть набережной в поселке Песчаное

F i g . 3 . Part of the embankment in the village of Peschanoe

от этого сооружения ширина пляжа сократилась с 15–20 м до 10 м, почти в два раза увеличилась скорость абразии клифа.

Негативные последствия значительно меньших масштабов (в основном аккумуляция и низовой размыв на протяжении до 100 м) отмечены и в системе бун и бетонных набережных на территории Севастополя (пгт Андреевка, микрорайоны Любимовка, Учкучевка). Меньший масштаб можно объяснить особенностями литодинамики района, в частности относительно маломощными и разнонаправленными во времени вдольбереговыми потоками наносов. В целом указанные проекты можно признать удачными, они решили основную задачу – создание с минимальным ущербом новых пляжных зон в местах отступающих обвальнo-оползневых берегов [31].

Выше мы рассматривали гидротехнические сооружения, основное предназначение которых – защита берега в рекреационных районах. Другой тип – сооружения только технического назначения. Примером может служить оградительное сооружение водозабора для военного объекта на северной границе пересыпи оз. Кызыл-Яр, близ г. Саки, построенное в начале 1980-х гг. С южной стороны оно представляет собой выдвинутый в море, поперечный берегу сплошной железобетонный мол Г-образной формы, а с северной – прямолинейный мол. Это сооружение перехватило идущий с юга вдольбереговой поток наносов, в результате чего южнее сооружения наносы стали аккумулироваться и береговая линия с течением времени выдвинулась на всю его длину – 80 м. Севернее начался низовой размыв с интенсивным отступанием берега, пострадала значительная часть побережья, расположенного вниз по потоку наносов. В результате к концу 1980-х гг. участок берега длиной около 3 км был признан аварийным, за период 1983–2006 гг. среднее значение отступления берега на протяжении 3 км составило 24–33 м.

Для защиты от наступления моря расположенные здесь санатории строили берегозащитные сооружения, в том числе и поперечные сооружения (короткие буны), но результат был неизменным – наращивание пляжа на защищаемом участке и сокращение на соседних. Реализуемый здесь в настоящее время проект «Строительство пешеходной набережной вдоль улицы Морская г. Саки», первоначально предусматривал строительство двух бун длиной по 125 м, хотя авторы статьи предупреждали о возможных последствиях. Однако уже на этапе строительства бун начался низовой размыв и изменение вещественного состава пляжей, что заставило уже реализуемый проект отправить на доработку. Это привело к расходу значительных финансовых средств и отодвинуло реализацию проекта как минимум на два года.

На пересыпи оз. Сасык-Сиваш (между городами Евпатория и Саки) с середины 1960-х гг. существует ныне заброшенный водозабор для пополнения озера, воды которого ранее служили сырьем для закрытого на данный момент химического завода. По конфигурации и геометрическим размерам это сооружение аналогично описанному выше водозабору, однако его возведение не привело к значительным отрицательным последствиям. Продолжительные инструментальные наблюдения на двух противоположных сторонах водозабора и анализ космических снимков показывают, что однонаправленного потока здесь не существует в явном виде. В зависимости от направления штормов по обе стороны от сооружения в противофазе наблюдаются

аккумуляция или размыв с амплитудой изменения береговой линии до 10 м, которые распространяются, как правило, на расстояние до 50 м от сооружения.

При проектировании портовых гидротехнических сооружений, как наиболее дорогостоящих, учитывается действие целого комплекса факторов на много лет вперед. По генеральному плану развития г. Евпатории, принятому в 1948 г., предполагалось сделать единую набережную длиной около 4 км от парка им. Фрунзе до восточной окраины Евпатории путем освоения пустыющего на тот момент участка в районе м. Карантинного в центре города.

Вместо этого в 1978 г. здесь был построен порт. Песчаные пляжи были забетонированы, построен мол длиной 200 м в виде монолитного бетонного сооружения, оконечность которого (70 м) возведена на сваях. В результате наносы стали аккумулироваться у западной части мола, наращивая пляж. Когда пляж достиг конца бетонной части, при юго-западных штормах наносы стали огибать сплошную часть мола, создавая отмель с противоположной стороны. Это вызвало необходимость дноуглубительных работ, в ходе которых, по данным порта, ежегодно изымалось до 150 000 м³ песка. Пляжи к западу от мола, лишённые обратного по направлению потока, стали стремительно сокращаться. Сравнение аэрофотоснимков 1941 и 1947 гг. с современными спутниковыми снимками показало, что на участке длиной 2.5 км площадь пляжей сократилась на 52 000 м², а среднее отступление береговой линии составило 20.8 м [32]. Ранее пляжи здесь были сложены из чистого желтого песка с преобладающей крупностью частиц от 0.25 до 0.5 мм [33]. В настоящее время из-за сокращения вертикальной мощности песчаных отложений резко возросло содержание крупной гальки и валунов из известняка, особенно в приурезовой зоне. В отдельных местах после штормов обнажаются глинистые отложения.

Интересно, что в XX в. в Евпаторийской бухте в разное время строились поперечные сооружения, при этом характер накопления наносов однозначно свидетельствовал об их двухстороннем вдольбереговом движении с преобладанием направления движения по часовой стрелке, что не было принято во внимание при проектировании порта [32]. Заметим, что его строительство не было экономически оправданным ни во времена СССР, ни тем более сейчас. Основной деятельностью порта, занимающего ценную приморскую территорию площадью 6.4 га, была добыча песка в озерезаливе Донузлав (в 40 км от порта). Много лет Евпаторийский порт пытались перевести на Донузлав. В настоящее время существует план перефиллировать его на яхтенную стоянку. Здесь уместно отметить, что и строительство Ялтинского грузового порта экономически не оправдалось. Не законченный строительством и почти не используемый по назначению, вот уже 30 лет он находится в частично разрушенном состоянии после жестокого шторма осенью 1992 г.

Возвращаясь к Евпатории, можно отметить, что параллельно со строительством порта после разрушения штормами очередной набережной (в XX в. их было построено три) в центральной части города была возведена новая. Для защиты берега был возведен фасонный волноотбойник длиной 1.8 км, при этом фронт набережной был выдвинут на 30–50 м от бывшего

уреза воды. После окончания строительства существовавшие здесь до этого песчаные пляжи полностью исчезли. Если ранее дно западной части бухты было сложено желтым биогенным песком, то по данным обследования 2012 г. оно было покрыто серо-черным иловатым песком с густыми зарослями *Zostera marina*. В настоящее время проводится реконструкция обветшавшей набережной с созданием искусственного галечного пляжа. Таким образом, в Евпатории в результате строительства гидротехнических сооружений пляжи полностью исчезли на протяжении 3 км и существенно сократились на протяжении 2.5 км. Места расположения берегозащитных сооружений Крыма приведены на рис. 4.

Капитальное строительство на пляжах (преимущественно рекреационных объектов), несмотря на законодательные запреты в СССР, Украине и Российской Федерации и его очевидное отрицательное воздействие на береговую зону, было и остается обычной практикой. Объекты документально оформляются как берегоукрепительные сооружения с комнатами отдыха, рыболовные боксы, спасательные станции, читальни и т. п. Карта, где показано расположение наиболее крупных таких сооружений, приведена на рис. 5. Из нее видно, что большая часть их размещена на ЮБК, но их достаточно и в других курортных зонах. Приведем несколько примеров.

На восточной окраине Евпатории еще в начале 1960-х гг., по данным аэрофотосъемки, ширина песчаных пляжей составляла около 50 м. После завершения строительства упомянутого выше мола и бетонной набережной в Евпатории они стали сокращаться. Тем не менее частные лица, дома которых располагались за фронтом пляжа, постепенно возводили различные постройки на пляже, приближаясь к урезу. В результате изменения профиля и ширины пляжей усилилось волновое воздействие на берег с его размывом. Вскоре эта зона и прилегающие к ней участки берега были объявлены аварийными. Попытки городских властей отселить дома ни к чему не привели.



Р и с . 4 . Берегозащитные сооружения

F i g . 4 . Coast protection works



Рис. 5. Капитальные сооружения на пляжах

Fig. 5. Permanent facilities on beaches

Собственники строений начали самостоятельное укрепление берега набросками и стенками, при этом ситуация значительно ухудшилась. Пляж исчез полностью на протяжении около 1 км, а на берегу возник непривлекательный искусственный клиф из строительного мусора высотой до 2 м, представляющий опасность для отдыхающих.

В балке, врезанной в клиф севернее пгт Николаевка, в 1989 г. были возведены жилые строения кооператива «Якорь». Срезав часть клифа и зафиксировав бетоном береговую линию на пляже, строители не учли, что берег является отступающим. В результате этого непродуманного строительства в береговой зоне возникли серьезные проблемы на многие годы. Со временем на месте набережной образовался мыс, выступающий на 50 м от естественной конфигурации берега. Как результат, пляж к северу исчез, а клиф ускорил свое отступление. Так, только за 2004–2014 гг. береговая линия отступила здесь на 15 м. Известно, что на мысах волновая энергия возрастает, и этот факт еще больше усугубляет ситуацию. Постройки, которые располагались ранее в тыловой части пляжа, впоследствии оказались на уресе. Во время штормов волны забрасывают камни в окна апартаментов первой линии, разрушается набережная.

В пгт Кача в 2004–2012 гг. был построен шестиэтажный комплекс апартаментов «Наш парус» длиной 400 м с официальным названием «Берегоукрепительное сооружение с помещениями для отдыха». Часть его построена на пляже, часть – на месте срезанного клифа. До начала строительства средняя ширина песчано-галечного пляжа составляла 15–20 м. Уже в период строительства наблюдалось изменение конфигурации линии уреза воды и уменьшение ширины пляжа. В настоящее время его ширина составляет 2–4 м (иногда он вовсе отсутствует), что сопровождается резким уменьшением объемов пляжеобразующего материала и увеличением содержания крупных фракций наносов. При прохождении штормов даже средней

интенсивности пляж подвергается волновой переработке по всей ширине, в результате увеличивается волновая нагрузка на сооружение. Нами отмечен подмыв основания и разрушение лестничных спусков к морю, истирание элементов железобетонных конструкций и обнажение арматуры. Южнее апартamentов находится комплекс шестиэтажных построек, так называемых лодочных эллингов, длиной по фронту берега 270 м. Постройки, принадлежащие частным лицам, находятся сейчас почти на урезе (ширина пляжа сейчас составляет от 0 до 6 м, ранее – 20–30 м) и угрожают безопасности людей.

Кроме строительства на пляжах, существенную опасность представляет возведение построек на бровках клифов, что наиболее характерно для Севастопольского региона: его северные берега представляют собой глинистые, обвало- и оползнеопасные обрывы. В период СССР здесь разрешалось только размещение огородов. После распада СССР началось интенсивное освоение этих участков для строительства дач и минигостиниц. В результате сейчас застроено около шести погонных километров, что привело к активизации оползней и разрушению построек. Эта ситуация обусловлена увеличением нагрузки на оползни строениями, замачиванием и утяжелением склонов из-за полива, утечек воды и отсутствия канализации.

Уместно отметить и эстетическую сторону. Так, огромный отель «Бухта мечты», построенный на урезе в заповедном урочище б. Ласпи на ЮБК, навсегда изменил живописный ландшафт. Кроме этого, его строительство велось на территории развития оползней и тектонических разломов. Штормы неоднократно размывали каменную наброску перед фасадом отеля, разбивали на отдельные фрагменты железобетонную волноотбойную стенку, деформировали набережную и эллинги.

Отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона в небольших масштабах для местного строительства проводился всегда. Долгое время это не считалось чем-то предосудительным. Евпаторийская городская дума, обсуждая такой отбор на пляжах восточной окраины города, в постановлении 1887 г. разрешила такую деятельность, обложив ее налогом. Рост экономики, урбанизация в XX в. привели к потребности строительной отрасли в большом количестве инертных материалов (песка, гравия, гальки). В Крыму период их промышленного отбора из береговой зоны начался в 1930-е гг.: песок из района Сакской пересыпи использовался для строительства ДнепроГЭСа (песок отличался хорошим качеством), в день добывалось до 1000 м³ песка. Настоящего размаха добыча здесь достигла в послевоенное время. Песок не только использовался для строительства в Крыму, но и вывозился железнодорожным и морским транспортом в Одессу и другие порты. Перемычки, отделявшие карьеры от моря, сузились под действием штормов и выгнулись в сторону карьера. Тогда же было отмечено сокращение пляжей до 100 м в местах, прилегающих к карьерам. В обследовании, проведенном специальной комиссией в 1962 г., отмечалось, что дальнейшие разработки песка и гравия должны быть остановлены. В связи с реальной опасностью изменения солености рапы в лечебном озере и угрозой знаменитым грязям карьеры были закрыты, а добыча песка продолжена путем его рефулирования со дна моря. Однако ситуация

по-прежнему ухудшалась, после чего добыча песка вскоре была полностью прекращена. На месте разработок песка вместо дон образовались соленые озера и так называемые засухи (заболоченные участки), существующие и поныне.

Еще в середине XX в. в Коктебеле (Восточный Крым) был песчано-гравийно-галечный пляж шириной 20–30 м. Он отличался необычным цветом из-за включения гальки из пород Карадага. Полудрагоценные камни с пляжей были желанным сувениром отдыхающих. Пляжевые отложения разрабатывались кустарно для местных строительных нужд в относительно небольших объемах. Но в 1954 г. в центральной части бухты началась промышленная добыча песчано-гравийных смесей. Проводилась она и в соседних районах у пгт Курортное, пгт Орджоникидзе и б. Тихой. Вывозили большие объемы смесей, в том числе для строительства разных стратегических объектов. Данные о реальных объемах добычи отсутствуют, однако известно, что она продолжалась до 1967 г.

В результате пляжи стали быстро сокращаться, и к середине 1960-х гг. их ширина в западной части бухты уже составляла 5–10 м, что привело к разрушению набережной штормовыми волнами [35]. Стремительное сокращение пляжей заставило строить дорогостоящие берегозащитные сооружения, отсыпать искусственные пляжи с гораздо худшим вещественным составом, по сравнению с природным в Коктебеле и Курортном. Впоследствии строительство капитальных сооружений на пляжах в этих поселках привело ко второй волне исчезновения пляжей. В настоящее время разрабатывается проект их повторного восстановления.

Крупный район добычи песчано-гравийных смесей с подводного склона судами-рефулерами в 1950–1960-х гг. находился в северной части Севастополя, в устьевой части рек Бельбек и Кача, а также в районе пляжа «Учкуевка». В последнем районе добыча повлияла особенно сильно, в результате чего образовался оползень длиной по фронту 1.5 км. До сих пор он остается наиболее активным в регионе, периодически происходят его катастрофические подвижки, разрушающие постройки на бровке головного срыва. В районе устья р. Качи пляж в целом отступил на 20–30 м, на что повлияло и зарегулирование реки. На пляжи в районе устья р. Бельбек это повлияло в меньшей мере, поскольку твердый сток до настоящего времени сохранил до 80 % ранее существовавшего объема. Еще в конце 1950-х гг. В. П. Зенкович писал: «Аллювиальный и пляжевый материал выбирается в низовьях рек Бельбек и Кача, но эти изъятия восполняются в паводки и, по-видимому, не представляют опасности для устойчивости берега» [29, с. 199]. Однако в ту эпоху реки еще не были зарегулированы. До 1970-х гг. добыча инертных материалов проводилась почти везде, где это было возможно (рис. б.), что привело к тяжелым последствиям в береговой зоне. В связи с этим вышло постановление Совета министров СССР № 40 от 17.01.1969 г. «О неотложных мерах по защите берегов Черного моря от разрушения и рациональному использованию территорий курортов черноморского побережья», где в числе прочих мер по уменьшению антропогенной нагрузки на берега, предлагалось «...принять меры к прекращению использования для нужд строительства галечника и песка морской прибрежной полосы».



Рис. 6. Достоверно известные места добычи инертных материалов в промышленных масштабах

Fig. 6. Proved sites of extraction of inert materials on an industrial scale

В целом это постановление выполнялось. Нам известен только один пример незаконного забора песка со дна, который проводился южнее Севастополя и в районе Бакальской косы (северо-западное побережье) в 2011–2012 гг. В результате многочисленных протестов общественности добыча песка была запрещена. После вхождения Крыма в РФ этой же компании была выдана лицензия на добычу песка на Бакальской банке до 2019 г. Сейчас из-за протестов общественности добыча тоже прекращена. В 2019 г. на клiffe северной стороны Севастополя под видом создания рекреационной зоны была организована добыча гравийно-галечниковых смесей на двух карьерах, на одном из них (меньшем) добыто 165 000 м³ [36]. Решением городских властей эта работа сейчас приостановлена. В настоящее время действует только один официальный подводный карьер, во внутренней части оз. Донузлав, который оказывает минимальное воздействие на литодинамику береговой зоны соседних участков [37]. Нам известно о недавних попытках лицензировать добычу песка в Крыму на нескольких подводных месторождениях, однако неизвестно, какие решения приняты. Отметим, что только на отрезке Форос – Алушта на дне разведаны запасы в 88 млн т, которые отнесены к категории забалансовых и привлекают внимание строителей.

Уменьшение твердого стока рек и временных водотоков из-за зарегулирования рек в 1960–1970-х гг. повлияло в основном на районы Западного Крыма. В 1964 г. в верховьях р. Бельбек были построены три водохранилища – Ключевское, Счастливое-I и Счастливое-II, а в 1975 г. на р. Кача – Загорское водохранилище. Кроме этого, был построен целый каскад прудов-накопителей меньшего масштаба. Из-за увеличения площади застройки различными объектами и другой хозяйственной деятельности уменьшился и эрозионный смыв в бассейнах рек. Полностью прекратился сток р. Западный Булганак. Производится самовольный отбор материала непосредственно

из русла рек. В результате снизились объемы твердых наносов, особенно крупных фракций, формирующих пляжи. В наибольшей степени уменьшение твердого стока повлияло на аккумулятивные пляжи в устьях рек Качи и Альмы, о чем речь шла выше. На пляж в устье р. Бельбек оно, по-видимому, повлияло мало, поскольку это самая крупная река Крыма, к тому же сохранившая значительный объем стока. Следует отметить, что в 2021 г. в 15 км от ее устья был построен водозабор. Первые полгода его эксплуатации показали, что он в значительной мере аккумулирует твердые наносы. Дана рекомендация при его очистке полученный материал сбрасывать в устьевой зоне. В настоящее время считается, что объем твердого стока р. Качи составляет 6.72 тыс. м³/год, или 12.1 тыс. т/год, а р. Бельбек – 18.0 тыс. м³/год, или 32.4 тыс. т/год [38]. На эти сведения ссылаются и авторы более поздних работ, например [39]. Приведенные данные вызывают определенные сомнения, поскольку наблюдения в устье указанных рек давно не проводятся.

Закрытие клифов различными сооружениями приводит к уменьшению поступления наносов волнового поля в береговую зону и, как итог, к сокращению пляжей. Этот фактор наиболее важен в Западном Крыму. Существование пляжей зависит в первую очередь от запасов наносов на пляже и возможности их непрерывного поступления. Основным источником пополнения наносами береговой зоны района от устья р. Бельбек до оз. Кызыл-Яр протяженностью около 50 км являются продукты разрушения клифов в результате абразионных и обвально-оползневых процессов, а именно слои и линзы аллювиальной гальки и песка древней речной сети. В разное время часть клифов была выведена из баланса поступления наносов в береговую зону в результате строительства берегозащитных сооружений, создания карьеров и террасирования склонов. Протяженность активных клифов в пределах г. Севастополя от устья р. Бельбек до м. Тюбек составляет около 23 км. В настоящее время, по нашим подсчетам, протяженность берегов с закрытым или выведенным из поступления в береговую зону клифом составляет 4.3 км, или 19 % от общей длины. На участке м. Тюбек – оз. Кызыл-Яр (около 26 км) закрыто 8.5 км, или 32 % клифов. В целом в Западном Крыму 25 % от общей длины клифов не является источником наносов. Наши расчеты показали, что средний удельный снос с одного погонного метра в год в среднем составляет 1.27 м³, что означает, что из приходной части баланса наносов выведено около 16 000 м³ в год. Этот показатель в четыре раза меньше, чем приведенный в [40]. Наша оценка представляется более обоснованной, поскольку базируется на конкретных данных о скорости абразии за длительный период и данных о строении клифов, полученных на буровых скважинах и при геоморфологических обследованиях.

Уничтожение дюн – один из факторов негативного антропогенного воздействия на береговую зону. Известно, что прибрежные дюны являются природным аккумулятором песка, естественной преградой, защищающей песчаные берега от размыва. Кроме этого, песчаные дюны на морском побережье – это уникальные экосистемы с богатым разнообразием растительных сообществ, в ряде районов они играют существенную роль в балансе наносов. Еще недавно прибрежные дюнные ландшафты занимали достаточно большие участки берегов Крыма. Достаточно посмотреть на старинные

фотографии Евпатории и Феодосии, чтобы убедиться, что прибрежные части были заняты дюнами. Наиболее крупный их ареал находился в Западном Крыму.

Ранее дюны частично разрушались, изменяли конфигурацию в ходе экстремальных штормов, а затем постепенно восстанавливались. Однако в последние десятилетия наиболее разрушительным фактором стала человеческая деятельность. Антропогенное воздействие на дюны вызвано усилившейся прибрежной урбанизацией и выражается в строительстве на дюнах различных объектов рекреации, дорог, парковок, нерегулируемых кемпингов и «временных» построек, планировании естественного рельефа пляжей. Поскольку пляжи во многих местах слагаются, кроме песка, из обломков известнякового гравия и валунов, то выдувание песка довольно быстро приводит к появлению на поверхности пляжа гряд указанного материала (рис. 7). Изменяется вещественный состав пляжей, резко ухудшаются его рекреационные свойства.

Кроме этого, дюны часто являются местом незаконной добычи песка. Разрушение растительного покрова, в том числе квадроциклами, которые все чаще используются как элемент отдыха, приводит к усилению эолового выноса песка с пляжа в море и на территорию рекреационных объектов. Следы таких выносов, например в пгт Заозерное, видны повсеместно. Возведение высоких зданий вблизи дюн препятствует возврату на пляж песка, вынесенного ветром из прибрежной зоны, что является еще одной причиной отступления берега.

До начала активного освоения черноморского побережья Крыма протяженность его берегов с дюнным ландшафтом, по нашей оценке, составляла 94 км. В настоящее время такие берега исчезли полностью на протяжении около 14 км, частично – на 33 км. Их площадь продолжает сокращаться (рис. 8). Из-за антропогенного воздействия дюнные ландшафты Крыма в настоящее время находятся под угрозой деградации или исчезновения. Их естественное восстановление либо происходит очень медленно, либо вообще



Р и с . 7 . Дюны до (а) и после (б) планирования пляжа в с. Штормовом

F i g . 7 . Dunes before (a) and after (b) planning of the beach in the vil. of Shtormovoe



Р и с. 8. Местоположение дюн (мало преобразованные дюны – оранжевые линии, значительно преобразованные дюны – фиолетовые линии, уничтоженные дюны – красные линии)

Fig. 8. Location of dunes (slightly transformed dunes – orange lines, considerably transformed dunes – purple lines, destroyed dunes – red lines)

невозможно, поэтому они нуждаются в защите и восстановлении. В декабре 2021 г. на пересыпи оз. Ойбурское, где находится крупный дюнный комплекс, благодаря многолетней борьбе местных жителей вместо креветочной фермы создана ООПТ.

Искусственное раскрытие пересыпей соленых озер имеет пока ограниченное распространение, хотя имеются планы использования озер Западного Крыма для устройства яхтенных стоянок, существовал план строительства порта в оз. Богайлы. Отрицательное воздействие раскрытия пересыпей заключается в уменьшении протяженности пляжей и изменении динамики наносов в прилегающих районах. В результате возникает необходимость возводить берегозащитные сооружения. В 1950–1960-х гг. в Западном Крыму были раскрыты пересыпи оз. Панского (Сасык) в Ярылгачской бухте, оз. Донузлав, оз. Ойбурского (в настоящее время пересыпь закрыта), а также в бухтах Круглой и Казачьей (Севастополь).

Сразу после прорытия канала в оз. Донузлав в 1962 г. для определения изменений литодинамического режима были организованы наблюдения за динамикой береговой линии. После завершения строительства канала в течение 1961–1966 гг. линия берега на участках, прилегающих к каналу, отступила на 25–60 м. В последующие годы наблюдались знакопеременные изменения береговой линии с ее постепенным выравниванием. После того как были построены две бетонные шпоры, к 1980-м гг. берег стабилизировался.

До 1960-х гг. в южной и западной частях б. Круглой (Севастополь) находились две песчаные пересыпи, отделявшие соленые озера. Здесь же до Крымской войны (1854–1856 гг.) была грязелечебница военного ведомства,

по некоторым данным, она существовала и в античное время. Как свидетельствует аэрофотосъемка 1941 г., песчаная пересыпь в южной части имела длину около 400 м, ширину – до 80 м. В послевоенное время пересыпь была почти полностью разобрана на строительный песок, а озеро превратилось в мелководную (около 0.5 м) кутовую часть бухты, заросшую морской растительностью. Еще в середине 1990-х гг. здесь сохранялась часть пересыпи с пляжем. В начале XXI в. пляж был уничтожен, прямо на урезе под видом рыболовных боксов были построены апартаменты. В настоящее время на урезе для защиты апартаментов выполнена каменная наброска из крупных валунов, покрытая сверху строительным мусором.

Изменение количества моллюсков в Черном море стали фиксировать уже с начала 1960-х гг. Этот факт обычно связывают с внедрением в Черное море из Тихого океана вселенца – хищного моллюска *Rapana venosa*, который успешно адаптировался к новым условиям и резко сократил популяции аборигенных моллюсков, став преобладающим видом донных сообществ. Вселенец нанес серьезный урон устричным и мидиевым биоценозам, но сейчас из-за подрыва собственной кормовой базы численность рапаны существенно сократилась [41]. Однако в некоторых работах по изучению пищевого рациона рапаны отмечалось, что устрица не является для нее предпочтительным объектом питания. Кроме того, на северо-западе Черного моря вспышка смертности среди устриц началась до массового появления рапаны, так что вопрос о влиянии последней на поселения устриц Черного моря до сих пор остается дискуссионным [42].

Кроме этого, на динамику количества моллюсков, очевидно, повлияло и антропогенное загрязнение акватории и донных осадков прибрежной зоны коммунальными и промышленными стоками. В совокупности эти факторы привели к уменьшению численности донных растительных сообществ, закрепляющих грунт, а также к сокращению количества моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков. У приглубых берегов это фактически не оказывает какого-либо заметного влияния на объем наносов.

Наблюдения за процессом изменения количества моллюсков в свое время не были организованы, поэтому публикаций на эту тему мало. В одной из них анализируются изменения таксономического состава донных биоценозов крымского побережья [43]. В другой отмечается, что по сравнению с 1940 гг. масса зообентоса снизилась более чем в восемь раз [44]. В целом этот фактор действует как фоновый и важен для мелководных районов Западного и отчасти Восточного Крыма.

Мы рассмотрели основные виды антропогенного воздействия на литодинамику береговой зоны Черного моря. Кроме отмеченных выше, можно указать и кустарную «берегозащиту» в виде отсыпки в приурезовую зону различного материала, вплоть до строительного мусора, разрытие параллельных берегу траншей на пляжах или собирание песка в валы на зимний период, установку бетонных плит на пляжах и т. д. Степень техногенной нагрузки для различных районов черноморского побережья Крыма показана в таблице. Из нее видно, что максимальная нагрузка характерна для Севастополя и ЮБК.

Техногенная нагрузка (K) для различных районов черноморского побережья Крыма
 Anthropogenic load (K) for various districts of the Black sea coast of Crimea

Участок побережья / Coastal area	K	Степень нагрузки по [26] / Load degree according to [26]
с. Портовое – г. Евпатория / vil. Portovoe – Evpatoriya	0.02	минимальная / minimal
г. Евпатория – г. Севастополь / Evpatoriya – Sevastopol	0.28	средняя / average
г. Севастополь / Sevastopol	1.18	экстремальная / extreme
м. Херсонес – м. Сарыч / Cape Chersonesos – Cape Sarych	0.02	минимальная / minimal
м. Сарыч – г. Алушта / Cape Sarych – Alushta	1.21	экстремальная / extreme
г. Алушта – с. Морское / Alushta – vil. Morskoye	0.60	максимальная / maximal
с. Морское – г. Феодосия / vil. Morskoye – Feodosiya	0.05	минимальная / minimal
г. Феодосия – м. Такиль / Feodosiya – Cape Takil	0.03	минимальная / minimal

Заключение

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы. Гидротехническое строительство оказывает наибольшее влияние на изменение литодинамики береговой зоны Крыма. Строительство поперечных гидротехнических сооружений (бун) на береговом склоне в Западном Крыму блокировало естественный вдольбереговой поток и разбило его на отдельные литодинамические ячейки. Последствия проявились в виде низового размыва, охватывающего значительные участки побережья.

Несмотря на ранее полученный отрицательный опыт, проектирование и возведение таких сооружений продолжается. Строительство капитальных сооружений на пляжах приводит как минимум к сокращению пляжей, как максимум – к их полному исчезновению, что в дальнейшем требует затрат на защиту берега и снижает его рекреационные свойства. Наибольший урон наносится в зоне, непосредственно примыкающей к капитальным сооружениям.

Ранее осуществлявшийся отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона побережья Крыма потребовал значительных материальных затрат для восстановления деградировавших или исчезнувших пляжей.

Уменьшение твердого стока рек и временных водотоков из-за зарегулирования повлияло в основном на районы Западного Крыма, при этом в наибольшей степени – на аккумулятивные пляжи в устьях рек Качи и Альмы.

Закрытие клифов различными сооружениями приводит к уменьшению поступления наносов волнового поля в береговую зону и, как итог, к сокращению пляжей. Этот фактор наиболее важен в Западном Крыму, где

25 % от общей длины клифов не является источником наносов, из приходной части баланса наносов выведено около 16 000 м³ в год.

На Крымском п-ове до начала его активного освоения протяженность берегов с дюнным ландшафтом составляла 94 км. Из-за антропогенного воздействия дюны находятся под угрозой деградации или исчезновения, на протяжении около половины длины они уже полностью исчезли или деградировали, их площадь продолжает сокращаться.

Отрицательное воздействие раскрытия пересыпей, которое сейчас носит ограниченный характер, заключается в уменьшении протяженности пляжей и изменении динамики наносов в прилегающих районах.

Сокращение количества донных моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков, действует как фоновый фактор и важно для мелководных районов Западного и отчасти Восточного Крыма. Экстремальная техногенная нагрузка отмечается в Севастополе и на Южном берегу, а минимальная – на восточном и северо-западном побережьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Human influence on tropical cyclone intensity / A. H. Sobel [et al.] // *Science*. 2016. Vol. 353, iss. 6296. P. 242–246. doi:10.1126/science.aaf6574
2. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene / C. N. Waters [et al.] // *Science*. 2016. Vol. 351, iss. 6269. P. 138–147. doi:10.1126/science.aad2622
3. Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures / K. A. Dafforn [et al.] // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2015. Vol. 13, iss. 2. P. 82–90. <https://doi.org/10.1890/140050>
4. *Ефремова Т. В., Горячкин Ю. Н.* Антропогенное воздействие на береговую зону южного и западного побережья Черного моря (обзор) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2021. № 2. С. 5–29. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-5-29
5. *Пешков В. М.* Береговая зона моря. Краснодар : Лаконт, 2003. 350 с.
6. *Пешков В. М.* Галечные пляжи неприливных морей. Основные проблемы теории и практики. Краснодар, 2005. 444 с.
7. Modern conceptual and technological approaches to the Georgia Black Sea coastline protection / N. Tsvitivadze [et al.] // *Earth Sciences*. 2015. Vol. 4, special issue 5-1 : Modern Problems of Geography and Anthropology. P. 46–53. doi:10.11648/j.earth.s.2015040501.19
8. Natural-geographical zoning and geo-ecological problems of Georgia's Black Sea Coast / M. Alpenidze [et al.] // *American Journal of Environmental Protection*. 2015. Vol. 4, № 3-1. P. 58–66. doi:10.11648/j.ajep.s.2015040301.20
9. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В.* Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
10. *Шуїський Ю. Д.* Портове сооружения и их влияние на береговую зону Черного моря // *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24, № 1. С. 53–82. doi:10.18524/2303-9914.2019.1(34).169712
11. *Goryachkin Yu. N.* Ukraine // *Coastal erosion and protection in Europe* / Ed. E. Pranzini and A. Williams. London : Earthscan, 2013. Chapter 21. P. 413–426. <https://doi.org/10.4324/9780203128558>

12. *Зенкович В. П., Жданов А. М.* Почему исчезают черноморские пляжи // Природа. 1960. № 10. С. 51–54.
13. *Корженевский И. Б., Лоенко А. А., Черевков В. А.* Судьба пляжей Южного берега Крыма // Природа. 1961. № 2. С. 60.
14. *Корженевский И. Б.* Об охране пляжей Южного берега Крыма // Материалы научной сессии Крымского отд. общества охраны природы. Симферополь : Крымиздат, 1962. С. 9–12.
15. *Захаржевский Я. В.* Об изменении вещественного состава и динамики песчаных пляжей Крыма // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1977. № 1. С. 102–104.
16. Влияние промышленных разработок строительных песков на динамику берегов и состояние зообентоса Черного моря / Ю. Д. Шуйский [и др.] // Водные ресурсы. 1985. № 5. С. 142–156.
17. *Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В., Педан Г. С.* Основные результаты исследования влияния подводных карьеров по добыче песка на динамику берегов Черного моря // Природные основы берегозащиты / Отв. ред. В. П. Зенкович, Е. И. Игнатов, С. А. Лукьянова. М. : Наука, 1987. С. 68–82.
18. *Агаркова И. В.* Влияние хозяйственной деятельности на динамику Сакского побережья // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 1999. Т. 12, № 1. С. 35–38.
19. *Олиферов А. Н.* Крымские пляжи и их охрана // Вестник физиотерапии и курортологии. 1997. № 2. С. 45–49.
20. *Олиферов А. Н.* Динамика Крымских пляжей // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2008. Вып. 1–2. С. 59–64.
21. *Олиферов А. Н.* Состояние крымских пляжей как рекреационного ресурса // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24, № 2-2. С. 130–136.
22. *Клюкин А. А.* Баланс наносов в береговой зоне Черного моря у Карадага // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 2004. Т. 17, № 3. С. 82–90.
23. *Горячкин Ю. Н., Долотов В. В.* Морские берега Крыма. Севастополь : Колорит, 2019. 256 с.
24. *Игнатов Е. И., Санин А. Ю.* Антропогенный фактор в функционировании береговых морфосистем побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 353–357.
25. *Горячкин Ю. Н.* Антропогенное воздействие на черноморские берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2010. Вып. 23. С. 193–198.
26. *Айбулатов Н. А., Артюхин Ю. В.* Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 304 с.
27. *Горячкин Ю. Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Южный берег // Гидротехника. 2016. № 3. С. 34–39.
28. *Rybalka A. T.* South coast of the Crimea: environmental specificity and coast protection problems // Coastlines of the Black Sea. New-York : American Society of Civil Engineers, 1993. P. 432–446.

29. *Зенкович В. П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря: в 2 т. М. : Изд-во АН СССР, 1960. Т. 2. 216 с.
30. *Горячкин Ю. Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Часть 2 // Гидротехника. 2016. № 2. С. 38–43.
31. *Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф.* Берегозащитные сооружения региона Севастополь // Гидротехника. 2021. № 2. С. 30–35.
32. *Горячкин Ю. Н.* Изменения береговой зоны Евпатории за последние 100 лет // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 5–21. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-5-21
33. *Карбасников М. Н.* Результаты обследования донных пород Евпаторийской бухты // Известия Центрального гидрометеорологического бюро. 1927. № 7. С. 184–202.
34. *Зенкович В. П.* Берега Черного и Азовского морей. М. : Географгиз, 1958. 374 с.
35. *Клюкин А. А.* Экзогеодинамика Крыма. Симферополь, 2007. 320 с.
36. Природные условия и антропогенное изменение береговой зоны в районе пос. Кача / Ю. Н. Горячкин [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 4. С. 5–21. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-5-21
37. *Горячкин Ю. Н., Фомин В. В.* Волновой режим и литодинамика в районе аккумулятивных берегов Западного Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 451–466. doi:10.22449/0233-7584-2020-4-451-466
38. *Дедков А. П., Мозжерин В. И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань : КГУ, 1984. 264 с.
39. *Фокина Н. А.* Уменьшение твердого стока в результате регулирования русел рек // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь : Национальная академия природоохранного и курортного строительства, 2007. Вып. 18. С. 126–131.
40. *Шуйский Ю. Д.* Основные закономерности морфологии и динамики западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. Вып. 13. С. 62–72.
41. *Переладов М. В.* Современное состояние популяции и особенности биологии рапаны (*Rapana venosa*) в северо-восточной части Черного моря // Труды ВНИРО. М. : Изд-во ВНИРО, 2013. Т. 150. С. 8–20.
42. *Переладов М. В.* Современное состояние популяции черноморской устрицы // Труды ВНИРО. М. : Изд-во ВНИРО, 2005. Т. 144 : Прибрежные гидробиологические исследования. С. 254–274.
43. *Ревков Н. К.* Таксономический состав донной фауны Крымского побережья Черного моря // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. С. 209–218.
44. *Котий В. Г., Лисицкая Е. В.* Современное состояние популяции *Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872 (Polychaeta: Saccocirridae) прибрежной зоны Крыма (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2012. Т. 11, № 4. С. 39–44.

Поступила 20.12.2021 г.; одобрена после рецензирования 14.01.2022 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Горячкин Юрий Николаевич, главный научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-2807-201X**, **ResearcherID: I-3062-2015**, ynigor@mhi-ras.ru

Ефремова Татьяна Владимировна, инженер, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), efremova@mhi-ras.ru

About the authors:

Yuri N. Goryachkin, Chief Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-2807-201X**, **ResearcherID: I-3062-2015**, ynigor@mhi-ras.ru

Tatiana V. Efremova, Engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), efremova@mhi-ras.ru

Заявленный вклад авторов:

Горячкин Юрий Николаевич – постановка проблемы, обработка и анализ данных, подготовка текста статьи

Ефремова Татьяна Владимировна – постановка проблемы, обработка и анализ данных, подготовка текста статьи и картографического материала

Contribution of the authors:

Yuri N. Goryachkin – problem statement, data processing and analysis, article text and map preparation

Tatiana V. Efremova – problem statement, data processing and analysis, article text preparation

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклейского полуострова (Крым) в августе 2019 года

П. Д. Ломакин *, А. И. Чепыженко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Аннотация

На основе данных экспедиции, проведенной Морским гидрофизическим институтом в августе 2019 г., рассмотрены закономерности структуры полей температуры, солёности, концентрации общего взвешенного вещества и концентрации окрашенного растворенного органического вещества на двух смежных участках, расположенных вдоль северо-западного (участок 1) и юго-западного (участок 2) берегов Гераклейского полуострова. Используются методы и подходы классической океанографии, основанные на анализе структуры полей рассматриваемых величин. Показано, что на участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, преобладали адвективные процессы, а структура полей океанологических элементов не содержала антропогенных признаков. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод из глубинных горизонтов к поверхности моря. Здесь в толще вод обнаружены линзы с пониженной солёностью, повышенным содержанием общего взвешенного и растворенного органического веществ. Эти линзы возникли под влиянием сточных вод, распространявшихся в системе восходящей циркуляции апвеллинга из находящегося рядом коллектора.

Ключевые слова: температура, солёность, общее взвешенное вещество, окрашенное растворенное органическое вещество, апвеллинг, загрязнение, Гераклейский полуостров, Крым

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

Для цитирования: Ломакин П. Д., Чепыженко А. И. Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклейского полуострова (Крым) в августе 2019 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 31–41. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-31-41

© Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

The Structure of Fields of Oceanological Quantities in the Upwelling Zone at the Herakleian Peninsula (Crimea) in August 2019

P. D. Lomakin *, A. I. Chepyzhenko

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Abstract

Based on the data obtained during an expedition of Marine Hydrophysical Institute in August 2019, the paper considers the morphology of the fields of temperature, salinity, content of total suspended matter and coloured dissolved organic matter in two adjacent areas located along the north-west (area 1) and south-west (area 2) coasts of the Herakleian Peninsula. The authors used methods and approaches based on classical oceanographic analysis of field structure of quantities under study. It is shown that in area 1 with the coastline oriented at an acute angle to the wind arrow, advective processes prevailed, and the structure of the fields of oceanological elements contained no anthropogenic features. In area 2, the coastline of which is located along the normal to the wind arrow, the surge effect and the rise of water from deep horizons to the sea surface were noted. Here, in the water column, lenses with low salinity, increased content of total suspended and dissolved organic matter were found. These lenses arose under the influence of wastewater distributed in the upwelling ascensional circulation system from a nearby wastewater collector.

Keywords: temperature, salinity, total suspended matter, coloured dissolved organic matter, upwelling, contamination, Herakleian Peninsula, Crimea

Acknowledgments: the research was funded under state assignment no. 0555-2021-0005 of FSBSI RFC MHI “Complex interdisciplinary studies of oceanologic processes which determine functioning and evolution of ecosystems in the coastal zones of the Black Sea and the Sea of Azov”.

For citation: Lomakin, P.D. and Chepyzhenko, A.I., 2022. The Structure of Fields of Oceanological Quantities in the Upwelling Zone at the Herakleian Peninsula (Crimea) in August 2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 31–41. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-31-41 (in Russian).

Введение

Прибрежная акватория Черного моря у Гераклеийского п-ова (рис. 1) достаточно хорошо изучена. В настоящее время имеется ряд публикаций [1–8], которые посвящены динамике вод, моделированию, спутниковым исследованиям распространения загрязняющих веществ¹⁾, гидрохимическому режиму региона²⁾. Особый интерес к этой акватории обусловлен возросшей в последние годы антропогенной нагрузкой на водную среду.

В одной из недавно вышедших работ [9] проанализированы современные сведения, касающиеся источников загрязнения рассматриваемой прибрежной акватории, объемов поступающих в нее сточных вод, химического

¹⁾ URL: http://dvs.net.ru/SWCrimea/stoki_ru.shtml (дата обращения: 18.03.2022).

²⁾ Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / Под ред. А. Н. Коршенко М. : Наука, 2016. 184 с.

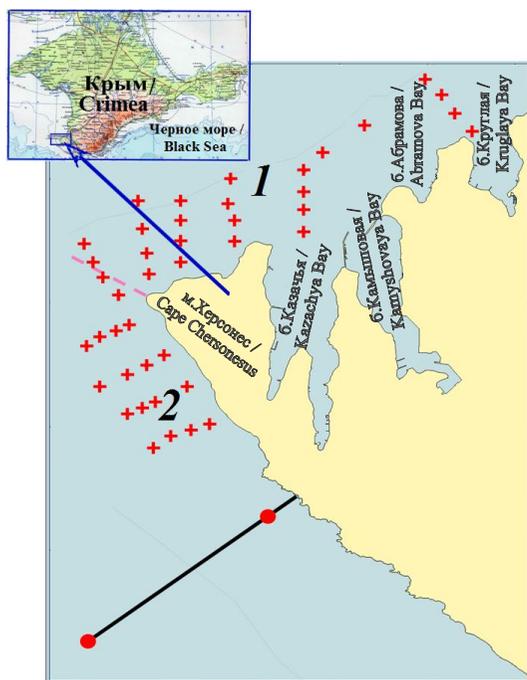


Рис. 1. Схема станций океанологической съемки, проведенной 23 августа 2019 г. (1, 2 – условно выделенные участки акватории; черная линия с двумя красными кружками – трубопровод очистных сооружений с двумя выпусками). На врезке – географическое положение исследуемой акватории

Fig. 1. Diagram of oceanographic stations of the survey conducted on August 23, 2019 (1, 2 – conditionally designated areas of the water area; black line with two red circles – the sewage treatment plant pipeline with two outlets). Inset map – the geographical position of the studied water area

состава загрязняющих веществ. Лишь в отдельных указанных публикациях анализировались поля океанологических элементов, которые использовались в основном в качестве фона. С точки зрения океанологии эта прибрежная область Крымского п-ова остается недостаточно исследованной.

Цели статьи:

- на базе экспедиционных данных выявить закономерности структуры термохалинного поля, а также полей концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ) и окрашенного растворенного органического вещества (РОВ) у берега Гераклейского п-ова;
- определить в структуре полей анализируемых величин признаки антропогенного воздействия на водную среду;
- рассмотреть факторы, формирующие прибрежную зону загрязнения.

Исходные данные и методы исследования

Анализ выполнен по материалам экспедиции, проведенной Морским гидрофизическим институтом 23 августа 2019 г., в ходе которой в слое 0–25 м велись синхронные наблюдения за температурой, соленостью, концентрацией ОВВ и РОВ. Съёмка проведена по схеме станций, показанной на рис. 1. Диапазон глубин на полигоне – от 6 до 150 м. На каждой станции все четыре параметра среды синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0.1 м при помощи зондирующего комплекса «Кондор»³⁾.

³⁾ URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 8.03.2022).

Отметим, что ОВВ и особенно РОВ относят к числу наиболее информативных показателей качества вод. В настоящее время РОВ активно используется в мировой практике как индикатор загрязнения (в том числе и бактериального) прибрежных морских и океанских акваторий [10–12].

На сегодняшний день предельно допустимая концентрация ОВВ и окрашенного РОВ как численный показатель загрязнения водной среды не определена. Поэтому для оценки значимости антропогенной составляющей в поле концентрации этих веществ их фактическое содержание сравнивалось с концентрацией, типичной для открытых вод Черного моря у берегов Крыма.

По результатам многочисленных экспедиций нами установлено, что в верхнем слое вод толщиной 20–30 м у берегов Крыма поле содержания РОВ однородно. Его характерная концентрация изменяется в пределах 1.4–2.1 мг/л при солёности 18.2–18.4 ЕПС [13].

Участки акватории, подверженные антропогенному воздействию, выделяются на окружающем фоне в виде локальных максимумов содержания этого вещества. В районе севастопольского взморья концентрация РОВ антропогенного происхождения на поверхности моря изменяется в интервале 2.2–14.8 мг/л. Максимальная концентрация этого вещества обнаружена в районе выпуска сточных вод Балаклавы, находящегося восточнее входа в Балаклавскую бухту [14].

Изолиния концентрации РОВ, равной 2.2 мг/л, на схемах горизонтального распределения данной величины может быть принята в качестве условной границы, разделяющей воды, содержащие антропогенную составляющую, и воды, где антропогенная добавка незначительна. По расположению локальных максимумов концентрации РОВ можно определить объекты, оказывающие антропогенное воздействие на водную среду [13].

Согласно [15], в центральной части Черного моря концентрация ОВВ равна 0.2 мг/л. В прибрежных водах Крыма, не испытывающих антропогенной нагрузки, из-за влияния берега и дна она гораздо выше – 0.8 мг/л [16].

Поэтому концентрация окрашенного РОВ и ОВВ, 2 мг/л и 0.8 мг/л соответственно, условно принята в качестве природной нормы содержания данных веществ в черноморских водах у Крымского п-ова.

Используя термин «загрязнение», мы придерживаемся определения *contamination*, заимствованного из работы [17]. Загрязнение (*contamination*) – это присутствие вещества там, где его не должно быть, или в концентрациях выше фона. *Pollution* – загрязнение, которое приводит или может привести к неблагоприятным биологическим последствиям для местных сообществ.

Обнаруженные в структуре полей рассматриваемых величин образования, не свойственные природному распределению и выделявшиеся на окружающем фоне, принимались в качестве признаков антропогенного воздействия.

Обсуждение результатов

Погода во время съёмки определялась юго-восточной периферией антициклона с центром над Белоруссией. Съёмка сопровождалась северным, северо-восточным ветром со средней за сутки скоростью 6 м/с. В море во время выполнения съёмки его скорость достигала 8–13 м/с. Волнение моря – 3–4 балла.

Для удобства описания и с учетом особенностей гидрологического режима вся рассматриваемая акватория нами условно разделена на два участка. Участок 1 – воды северо-западной части севастопольского взморья, от б. Омега (Круглая) до м. Херсонес. Участок 2 – воды, омывающие юго-западный берег Гераклеийского п-ова. Первый участок – относительно мелководная (глубина менее 30 м) акватория, где поля исследуемых величин формировались под влиянием адвективных процессов. Состояние полей океанологических величин второго участка, который расположен над свалом, в районе с преобладающим пологим рельефом и довольно резким увеличением глубины у берега, в значительной степени определялось вертикальной циркуляцией вод (рис. 1).

На участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, превалировал ветровой нагон и соответствующий перенос вод, направленный к берегу. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод к поверхности моря. Структура вод на соответствующих акваториях характеризовалась качественными различиями.

Между выделенными участками наблюдалась природная граница в виде фронтального раздела в полях всех четырех анализируемых величин, который был хорошо выражен на поверхности моря (рис. 2) и обозначен пунктирной линией красного цвета на рис. 1.

На участке 1 водная толща характеризовалась однородностью и параметрами, близкими к параметрам вод открытой части севастопольского взморья. Здесь наблюдался перенос с севера вод повышенной температуры и солености с минимальным содержанием ОБВ (0.6–0.8 мг/л) и РОВ (1.6–1.8 мг/л) (рис. 2).

На участке 2 на поверхности моря в поле температуры отчетливо виден очаг апвеллинга (минимум 21.6–22.2 °С), вытянутого вдоль юго-западного берега Гераклеийского п-ова. В полях других элементов на поверхности моря эффект сгона не столь очевиден (рис. 2).

Более детальную информацию об апвеллинге содержат особенности вертикальной стратификации анализируемых величин в подповерхностном слое вод (рис. 3).

На обоих участках наблюдалась типичная для летнего сезона двухслойная вертикальная структура поля температуры с монотонно убывающим профилем $T(z)$. Верхний квазиоднородный слой толщиной 10–15 м был отчетливо выражен. Он подстилался сезонным термоклином, глубже которого температура воды медленно понижалась с глубиной до 11–13 °С на горизонтах 20–25 м. На участке 1 термоклин располагался в слое 13–20 м, а его поверхность была почти горизонтальной. На участке 2 под влиянием апвеллинга термоклин был приподнят у берега и находился на меньшей глубине, между горизонтами 8–15 м (рис. 3, а).

Соленость в верхнем слое вод на первом участке, равная 18.1–18.3 ЕПС, была выше на 0.1–0.2 ЕПС по сравнению с участком 2. То есть в системе восходящей циркуляции к поверхности участка 2 вышли менее соленые воды (рис. 3, б).

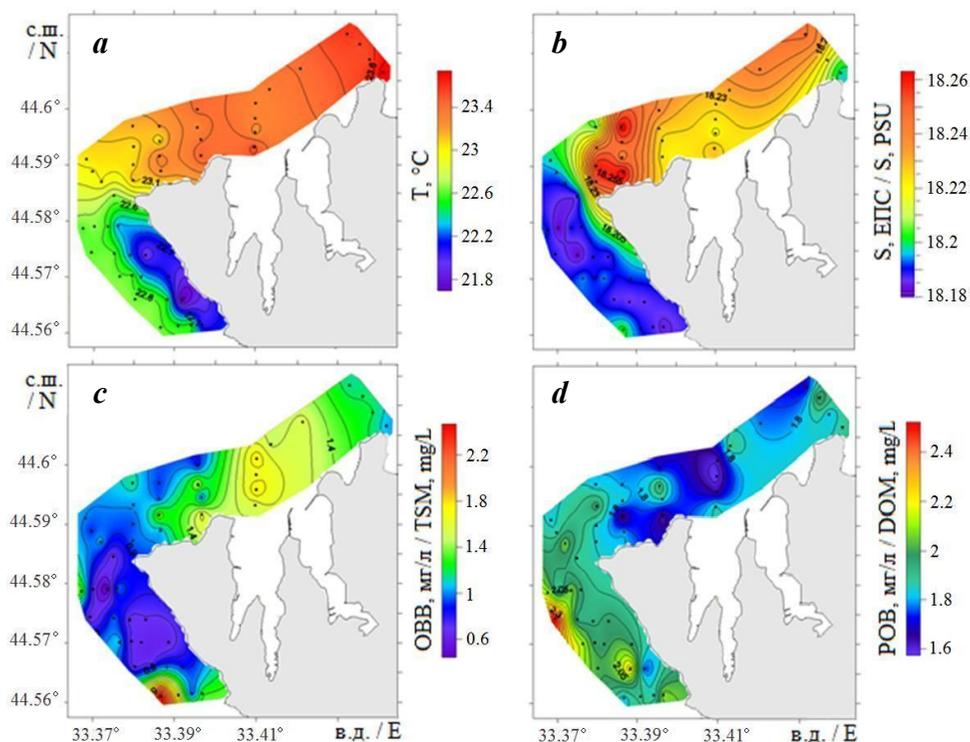


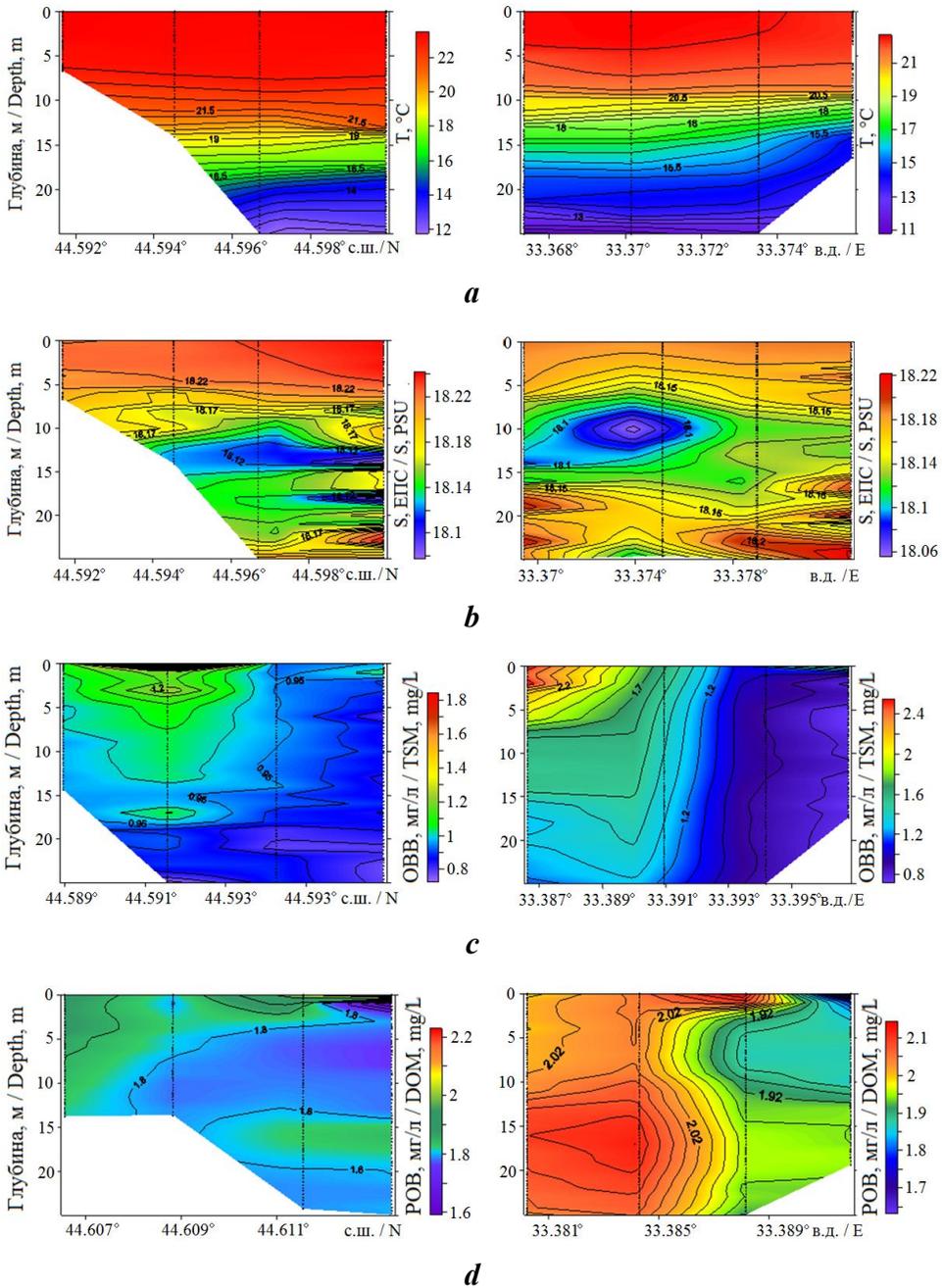
Рис. 2. Распределение: *a* – температуры, °С; *b* – солёности, ЕПС; *c* – концентрации ОБВ, мг/л; *d* – концентрации окрашенного РОВ, мг/л, в верхнем слое вод в августе 2019 г. по данным экспедиции МГИ

Fig. 2. Distribution of *a* – temperature, °C; *b* – salinity, PSU; *c* – TSM concentration, mg/L; *d* – coloured DOM concentration, mg/L in the upper water layer in August 2019 according to the MNI expedition data

В отличие от структуры поля температуры, поле солёности было относительно однородным по вертикали. От поверхности до нижнего горизонта зондирования солёность на всей рассматриваемой акватории изменялась в интервале 0.2–0.3 ЕПС и характеризовалась немонотонной вертикальной стратификацией. Распределение $S(z)$ – немонотонная функция глубины с промежуточным минимумом, который располагался в слое 5–20 м (рис. 3, *b*).

Важный элемент стратификации халинного поля – наличие в подповерхностных водах структурных неоднородностей с пониженной на 0.05–0.17 ЕПС относительно окружающего фона солёностью. Эти образования были наиболее выраженными на участке 2, где они выделялись в виде отдельных линз с вертикальным и горизонтальным масштабом около 10 м и 200–400 м (рис. 3, *b*).

Структура поля концентрации ОБВ на анализируемых участках также существенно различалась. На поверхности моря на мелководном участке 1 концентрация ОБВ изменялась в интервале 1.1–2.0 мг/л. Поле этой величины характеризовалось однородностью. На поверхности преобладающей части акватории участка 2 содержание ОБВ было минимальным (0.4–1.1 мг/л),



Р и с . 3 . Вертикальное распределение: *a* – температуры, °С; *b* – солёности, ЕПС; *c* – концентрации ОВВ, мг/л; *d* – концентрации окрашенного РОВ, мг/л на участке 1 (слева) и на участке 2 (справа) в августе 2019 г., по данным экспедиции МГИ

Fig. 3. Vertical distribution of *a* – temperature, °C; *b* – salinity, PSU; *c* – concentration of TSM, mg/L; *d* – concentration of coloured DOM, mg/L in Section 1 (left) and in Section 2 (right) in August 2019 according to the MHI expedition data

за исключением его крайней южной области. Здесь на фоне малоградиентного поля ОБВ отчетливо выделялась линза с вертикальным масштабом 5–7 м и максимальной в пределах всей рассматриваемой акватории концентрацией 2.4–2.5 мг/л, что в три раза превышало природную норму (рис. 3, *c*).

В вертикальной структуре поля концентрации ОБВ, как и в структуре халинного поля, в толще вод выявлены неоднородности в виде линз с повышенным относительно окружающего фона содержанием этого вещества. Причем подобные структурные образования чаще наблюдались на участке 2, где они были более выраженными (рис. 3, *c*).

Поле концентрации окрашенного РОВ также имело заметные структурные различия. На поверхности преобладающей части акватории участка 2 содержание данного вещества было близким к норме (2.0–2.1 мг/л). В юго-западной части этого участка наблюдалась линза с максимальной концентрацией РОВ (до 2.4 мг/л), которая прослеживалась во всей толще вод от поверхности до нижнего горизонта зондирований. На большей части акватории участка 1 на поверхности концентрация РОВ была минимальной (1.6–1.8 мг/л) (см. рис. 2).

В вертикальной структуре поля концентрации окрашенного РОВ, как и в структуре халинного поля и поля содержания ОБВ, в толще вод отмечены отдельные линзы с повышенным содержанием этого вещества. Подобные структурные образования чаще наблюдались на участке 2, где они были более выраженными, а концентрация РОВ в их ядрах достигала 2.5–2.7 мг/л, что превышало природную норму в 1.2–1.4 раза (рис. 3, *d*).

Рассмотренные выше сведения указывают на то, что поля солености, концентрации ОБВ и РОВ на участке 2 имели составляющую, которой не было на участке 1. На участок 2 в системе восходящей циркуляции, вызванной апвеллингом, к поверхности моря поступали воды с глубинных горизонтов, которые обладали низкой соленостью и высокой, превышавшей природную норму, концентрацией ОБВ и РОВ. Эти воды имели явно антропогенное происхождение.

На базе анализа серии гидрохимических съемок, методов численного моделирования и спутниковой гидрофизики [3–9] установлен основной источник загрязнения рассматриваемой акватории – канализационный коллектор очистительных сооружений «Южные». Следы распространения канализационных вод из данного источника отчетливо видны на спутниковых снимках (рис. 4).

Заключение

На основе данных экспедиции, проведенной в районе Гераклеийского п-ова в августе 2019 г., проанализирована структура полей температуры, солености, содержания ОБВ и окрашенного растворенного органического вещества РОВ.

Условно выделены два участка исследуемого региона: акватория, расположенная вдоль северо-западного (участок 1) и акватория у юго-западного (участок 2) берега Гераклеийского п-ова, где поля анализируемых величин формировались под влиянием различных факторов и обладали собственными свойствами.

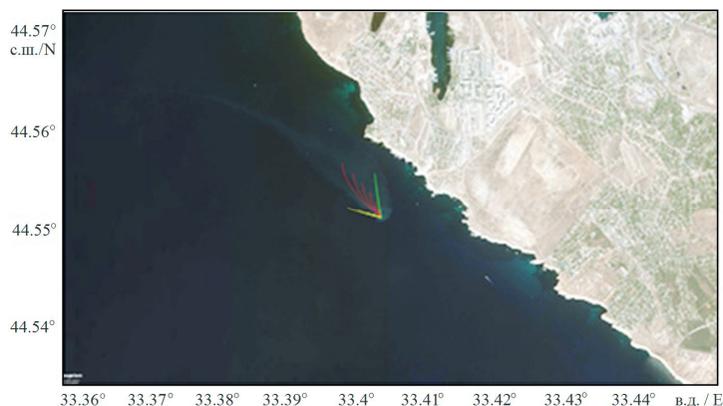


Рис. 4. Следы распространения сточных вод из коллектора очистительных сооружений «Южные» на спутниковом снимке участка акватории у Гераклейского п-ова (снимок *Google Earth*)

Fig. 4. Traces of the spread of wastewater from the collector of the *Yuzhnye* treatment facilities in the satellite image of the water area near the Heracleian Peninsula (*Google Earth* image)

На участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, преобладали адвективные процессы, а структура полей океанологических элементов не содержала антропогенных признаков. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод из глубинных горизонтов к поверхности моря. В толще вод обнаружены отдельные линзы с пониженной соленостью и содержанием ОВВ и РОВ, превышавшим природную норму.

Показано, что основной источник загрязнения рассмотренной акватории связан с канализационным коллектором очистительных сооружений «Южные».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море / Ильин Ю. П. [и др.]. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 421 с.
2. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь : МГИ, 2011. 209 с.
3. Дулов В. А., Юровская М. В., Козлов И. Е. Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 43–60.
4. Бондур В. Г., Гребенюк Ю. В. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглуженными стоками: моделирование, эксперименты // Исследование Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
5. Определение местоположения начального поля концентрации возможного источника загрязнения в акватории черного моря у Гераклейского полуострова на основе метода сопряженных уравнений / С. Г. Демьшев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 226–237. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-226-237

6. *Иванов В. А., Фомин В. В.* Численное моделирование заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклеийского полуострова // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 6. С. 89–103.
7. *Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А.* Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения морских вод в прибрежных акваториях Севастополя // *Труды ГОИН*. М. : ГОИН, 2015. Вып. 216. С. 326–339.
8. Сезонная динамика содержания и локальные источники биогенных элементов в водах прибрежной акватории Гераклеийского полуострова / Е. Е. Совга [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2017. № 1. С. 56–65. doi:10.22449/0233-7584-2017-1-56-65
9. Источники загрязнения прибрежных вод севастопольского района / В. М. Грузинов [и др.]. *Океанология*. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. doi:10.31857/S0030-1574594579-590
10. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf / E. Boss [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2001. Vol. 106, iss. C5. P. 9499–9507. doi:10.1029/2000JC900008
11. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) / M. Tedetti [et al.] // *Environmental Chemistry*. 2012. Vol. 9, iss. 5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
12. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341 / C. M. G. Karlsson [et al.] // *Microbial Biotechnology*. 2019. Vol. 12, iss. 5. P. 892–906. doi:10.1111/1751-7915.13441
13. Контроль системы течений и полей концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ в озере Донузлав в мае 2019 года / П. Д. Ломакин [и др.] // *Системы контроля окружающей среды*. 2021. Вып. 1. С. 87–94. doi:10.33075/2220-5861-2021-1-87-94
14. *Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A.* Formation peculiarities of natural and pollutant substances' fields structure in Balaklava bay (Sevastopol) according to hydrooptic observations data // *Proceedings of SPIE, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2–5 July 2018*. Tomsk, 2018. Vol. 10833. 1083341. doi:10.1117/12.2503924
15. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. Киев : Наукова думка, 1971. 252 с.
16. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А.* Поле концентрации общего взвешенного вещества в Керченском проливе на базе оптических наблюдений // *Морской гидрофизический журнал*. 2017. № 6. С. 65–77. doi:10.22449/0233-7584-2017-6-65-77
17. *Chapman P. M., Hayward A., Faithful J.* Total suspended solids effects on freshwater lake biota other than fish // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017. Vol. 99. P. 423–427. doi:10.1007/s00128-017-2154-y

Поступила 15.11.2021 г.; одобрена после рецензирования 20.12.2021 г.;
принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Ломакин Павел Демьянович, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, профессор, **ResearcherID: V-7761-2017, IstinaresearcherID (IRID): 18552240, p_lomakin@mail.ru**

Чепыженко Алексей Ильич, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ResearcherID: AAG-7929-2020, Scopus Author ID: 6504344211, IstinaresearcherID (IRID): 6647872, ecodvice@yandex.ru**

About the authors:

Pavel D. Lomakin, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), professor, **ResearcherID: V-7761-2017, Scopus Author ID: 6701439810, IstinaresearcherID (IRID): 18321047, p_lomakin@mail.ru**

Alexey I. Chepyzhenko, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Tech.), **ResearcherID: AAG-7929-2020, Scopus Author ID: 6504344211, IstinaresearcherID (IRID): 6647872, ecodvice@yandex.ru**

Заявленный вклад авторов:

Ломакин Павел Демьянович – общее научное руководство исследованием; формулировка целей и задач исследования; написание основного текста статьи и его редактирование

Чепыженко Алексей Ильич – подготовка измерительного комплекса; проведение экспедиционных работ; проведение наблюдений за течениями, температурой, соленостью, концентрацией ОВВ и РОВ; обработка исходных данных; представление основного графического материала, редактирование текста статьи

Contribution of the authors:

Pavel D. Lomakin – general scientific supervision of the study; study task and objective statement; main text writing and revision

Alexey I. Chepyzhenko – measuring complex preparation; performance of expedition works; observation of currents, temperature, salinity, concentrations of TSM and DOM; raw data processing; main visual material preparation; paper text revision

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Окислительно-восстановительные условия и характеристики донных отложений бухт Севастопольского региона

Ю. С. Куринная*, К. И. Гуров, И. А. Забегаев, Н. А. Орехова

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: kurinnaya-jul@yandex.ru*

Аннотация

Цель работы – оценить окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Камышовой бухты по сравнению с другими бухтами Севастопольского региона, изучить геохимические характеристики донных отложений и химического состава поровых вод. Проанализированы данные, полученные в ходе экспедиционных исследований на НИС «Виктория» в июле 2021 г. С помощью полярографического метода анализа с использованием стеклянного Au-Hg-микроэлектрода получены натурные данные вертикального распределения кислорода, сероводорода, окисленных и восстановленных форм железа в поровых водах Камышовой бухты в летний сезон. Определены геохимические характеристики донных отложений: гранулометрический состав, содержание органического углерода. Рассмотрены особенности их пространственного и вертикального распределения. Гранулометрический состав осадков в бухте разнообразен. В верховье бухты отложения представлены ракушечным гравием и песком, а в центральной и южной частях преобладают алевритовые и пелитовые илы. Содержание органического углерода в поверхностном слое донных отложений Камышовой бухты изменяется от 0.3 до 2.2 % сухой массы при среднем значении 1.2 % сухой массы, что ниже, чем в других бухтах Севастопольского региона. Установлено, что основные характеристики поровых вод определялись процессами с участием растворенных форм железа (Fe (II, III)) и сероводорода. В верхнем слое отложений отмечены субкислородные условия, что указывает на развитие дефицита кислорода и формирование зон экологического риска экосистемы бухты.

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, кислород, полярография, гранулометрический состав, органический углерод, Черное море, Камышова бухта

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования», а также при поддержке проекта РФФИ № 20-35-90103 «Факторы, определяющие потоки кислорода и сероводорода на границе вода – донные отложения в морских экосистемах».

Для цитирования: Окислительно-восстановительные условия и характеристики донных отложений бухт Севастопольского региона / Ю. С. Куринная [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 42–54. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-42-54

© Куринная Ю. С., Гуров К. И., Забегаев И. А., Орехова Н. А., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Redox Conditions and Characteristics of Bottom Sediments in the Bays of the Sevastopol Region

Yu. S. Kurinnaya*, K. I. Gurov, I. A. Zabegaev, N. A. Orekhova

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: kurinnaya-jul@yandex.ru*

Abstract

The paper aims at assessing redox conditions in the bottom sediments of Kamyshovaya Bay in comparison with those in other bays of the Sevastopol region, and at studying the geochemical characteristics of bottom sediments and the chemical composition of pore waters. The data obtained during expedition research onboard the R/V *Victoria* in July 2021 were analyzed. Using the polarographic method of analysis with the use of a glass Au-Hg microelectrode experimental data were obtained on the vertical distribution of oxygen, hydrogen sulfide, oxidized and reduced forms of iron in the pore waters of Kamyshovaya Bay in summer. Geochemical characteristics of bottom sediments were determined, such as particle size distribution and organic carbon content. The peculiarities of their spatial and vertical distribution were considered. The particle size distribution of sediments in the bay varies. In the upper part of the bay, sediments are represented by shell gravel and sand, and in the central and southern parts, aleurite and pelite silts prevail. The content of organic carbon in the surface layer of Kamyshovaya Bay bottom sediments ranges from 0.3 to 2.2 % dry weight, with an average value of 1.2 % dry weight, which is lower than in other bays of the Sevastopol region. It was found that the main characteristics of pore waters were determined by processes involving dissolved forms of iron (Fe (II, III)) and hydrogen sulfide. In the upper layer of sediments, suboxic conditions were noted, which indicates the development of oxygen deficiency and formation of ecological risk zones for the bay ecosystem.

Keywords: bottom sediments, pore waters, oxygen, polarographic analysis, particle size distribution, organic carbon, Black Sea, Kamyshovaya Bay

Acknowledgements: the work was carried out under state assignment on topic no. 0555-2021-0005 “Complex interdisciplinary research of oceanologic processes, which determine functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems” of FSBSI FRC MHI of RAS and supported by RFBR grant no. 20-35-90103.

For citation: Kurinnaya, Yu.S., Gurov, K.I., Zabegaev, I.A. and Orekhova, N.A., 2022. Redox Conditions and Characteristics of Bottom Sediments in the Bays of the Sevastopol Region. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 42–54. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-42-54

Введение

Донные отложения представляют собой термодинамически неравновесную систему с некоторым запасом энергии, в общем случае определяемым содержанием органического вещества (ОВ) и процессами его трансформации¹⁾. В зоне сопряжения вода – дно наблюдаются значительные градиенты концентрации веществ, формируются потоки веществ, которые зависят от условий и характеристик как придонного слоя вод, так и самих донных

¹⁾ Химия океана. Т. 2 : Геохимия донных осадков / Отв. ред. И. И. Волков. М. : Наука, 1979. 536 с.

отложений. В наибольшей степени это касается кислорода и сероводорода. Они являются определяющими веществами при исследовании особенностей формирования окислительно-восстановительных условий среды, а также компонентами, обуславливающими возможность и условия существования бентосных организмов [1]. Следует отметить, что сероводород является каталитическим ядом и приводит к угнетению дыхания и гибели бентосных организмов [2].

Известно, что растворенный кислород из поверхностного слоя вод поступает в придонный слой вод и донные отложения вследствие процессов адвекции и диффузии. Если скорость его потребления в процессах окисления превышает скорость его поступления, развивается дефицит кислорода [3]. При этом протекание и интенсивность биогеохимических процессов, связанных с вовлечением кислорода, в первую очередь зависят от геохимических характеристик донных отложений (содержание органического углерода и гранулометрический состав осадков) [4]. Расход кислорода на дыхание микроорганизмов, а также его вовлечение в биогеохимические процессы с участием ОВ и других восстановленных соединений приводит к тому, что процесс анаэробного окисления ОВ может стать преобладающим.

Соответственно, в верхнем слое донных осадков появляются восстановленные формы азота, металлов и серы, формируются зоны аноксии [5]. Таким образом, химический состав поровых вод отражает биогеохимические процессы, протекающие в донных отложениях [6].

Увеличение числа прибрежных экосистем, в донных отложениях и придонном слое вод которых наблюдается дефицит кислорода, связано в первую очередь с увеличением потока ОВ вследствие антропогенной деятельности [7].

Камышовая бухта – характерный пример морской прибрежной экосистемы, подверженной антропогенному воздействию. На ее берегах расположен Севастопольский морской рыбный порт, нефтяной терминал, два постоянно действующих и один аварийный выпуски сточных вод, стоки ливневой канализации, цементный завод, котельная, многоэтажная застройка [8, 9]. Заградительный мол на входе в бухту затрудняет водообмен с открытой частью моря и способствует накоплению загрязняющих веществ, в том числе и органического углерода, в донных отложениях.

На протяжении многих лет сотрудники Института биологии южных морей РАН (ИнБИОМ, Севастополь) изучают экосистему Камышовой бухты. В работах [9, 10] исследованы основные гидрологические характеристики вод и геохимические характеристики осадка, приводятся оценки содержания хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) и углеводородов в поверхностном слое донных отложений бухты. Установлено, что натуральная влажность в донных отложениях Камышовой бухты изменялась от 28 до 52 %, ее величина была близка к показателям Севастопольской бухты. Окисленные условия (E_h от +276 мВ) в песках устья бухты сменялись восстановленными (E_h до –59 мВ) в илах центральной части, а рН колебался от 7.3 до 8.3. Однако большая часть поверхностного слоя донных отложений характеризуется окисленными условиями. Загрязнение донных осадков ХЭВ и нефтепродуктами отмечено в центральной части бухты, при этом значения

их концентраций здесь на порядок ниже, чем в других бухтах Севастопольского региона [9, 10].

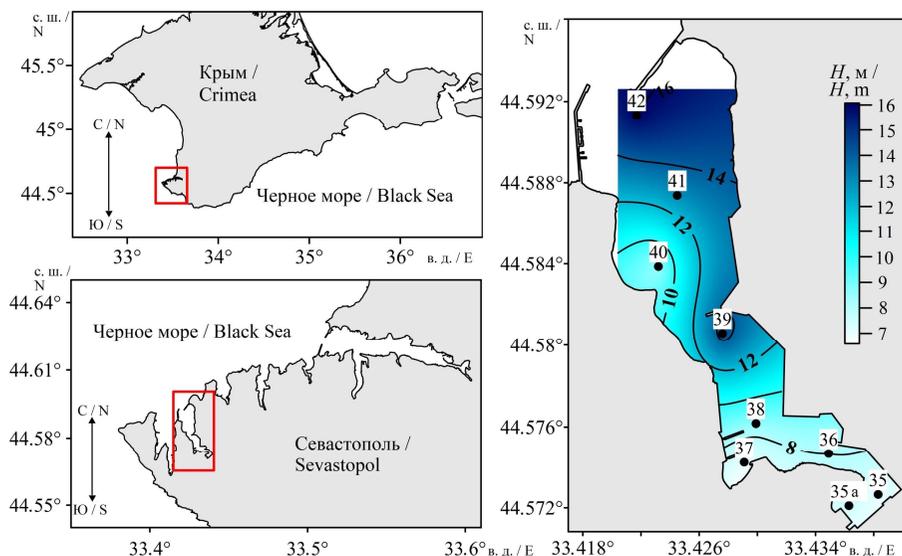
Начиная с 2014 г. грузооборот рыбного порта Камышовой бухты сократился, количество входящих в порт судов уменьшилось. К 2017 г. грузооборот упал с 2.5 млн до 300 тыс. т [10]. Тем не менее уровень загрязнения донных отложений сохраняется, хотя на отдельных участках отмечено некоторое его снижение [11]. При этом исследования, посвященные особенностям пространственного и вертикального распределения в донных отложениях Камышовой бухты органического углерода (C_{org}), а также вертикального распределения кислорода, сероводорода и других ключевых компонентов поровых вод, ранее не проводились. Подобные работы были выполнены для бухт Севастопольского региона: Балаклавской [12], Севастопольской [4, 13], Омеги [13] – и прибрежных районов шельфа Крыма [14, 15].

Цель данной работы – оценка окислительно-восстановительных условий в донных отложениях Камышовой и других бухт Севастопольского региона, изучение геохимических характеристик донных отложений и химического состава поровых вод.

Материалы и методы

Пробы донных отложений для исследования физико-химических характеристик отложений и химического состава поровых вод были отобраны в июле 2021 г. Всего было отобрано девять проб поверхностного слоя донных отложений и две колонки (рис. 1).

Отбор и подготовка проб донных осадков выполнялись в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 17.1.5.01-80; ISO 5667-19:2004). Пробы верхнего слоя осадков (0–5 см) отбирались с помощью дночерпателя Петерсона. Колонки донных отложений для изучения вертикальной структуры



Р и с . 1 . Схема станций отбора проб донных отложений

F i g . 1 . Map of bottom sediment sampling stations

осадка отобрали с помощью трубок из оргстекла, которые герметично закрывали сверху и снизу. Такой метод отбора проб позволил сохранить тонкую структуру поверхностного слоя донных отложений и придонного слоя воды.

Для получения химического профиля поровых вод применялся полярографический метод анализа с использованием стеклянного Au-Hg-микроэлектрода [4, 16, 17]. Хлорсеребряный электрод, насыщенный хлоридом серебра, использовали в качестве электрода сравнения, а платиновый электрод – в качестве вспомогательного. Профилирование колонок донных отложений проводилось с вертикальным разрешением от 1 до 10 мм. Главное достоинство метода – возможность проводить анализ состава поровых вод донных отложений в условиях, максимально приближенных к естественным, без разрушения пробы и дополнительной пробоподготовки, с высокой чувствительностью (в том числе O_2 – 5 мкМ, H_2S – 3 мкМ). Погрешность метода – 10 %. С помощью данного метода возможно изучение динамических процессов, происходящих в верхнем слое отложений, где протекает множество реакций, включая минерализацию ОВ [4, 16, 17]. Для анализа физико-химических характеристик в лаборатории колонки разделяли на слои толщиной 1–2 см с помощью ручного экструдера и кольца из акрила.

Гранулометрический состав донных отложений определяли по массовому содержанию частиц различной крупности, выраженному в процентах, по отношению к массе сухой пробы грунта, взятой для анализа. При этом применялся комбинированный метод просеивания и седиментации. Алеврито-пелитовая фракция (≤ 0.05 мм) отделялась методом мокрого просеивания с последующим определением сухой массы гравиметрически. Крупнозернистые фракции (> 0.05 мм) разделялись ситовым методом сухого просеивания с использованием стандартных сит (ГОСТ 12536-2014).

Содержание $C_{орг}$ определялось кулонометрически на экспресс-анализаторе АН-7529 по методике, адаптированной для морских донных отложений [18].

Результаты и обсуждение

Гранулометрический состав осадков в бухте разнообразен (рис. 2, табл. 1). Установлено, что средний размер частиц осадка в Камышовой бухте (1.5 мм) выше среднего размера частиц в Севастопольской (0.23 мм), Казачьей (0.45 мм) [19] и Балаклавской (0.46 мм) [20] бухтах.

В верховье бухты (ст. 40–42) отложения представлены ракушечным гравием и детритом, а также песком (рис. 2, *a, b*). В этой части бухты отмечено максимальное сосредоточение крупнодисперсного гравийно-галечного материала (34–76 %) и минимальное – мелкодисперсных пелито-алевритовых илов (1–2 %). По направлению к кутовой части доля крупнозернистого ракушечного материала уменьшается, а доля мелкозернистых пелитовых илов возрастает. В центральной части бухты (ст. 37–39) отложения состоят преимущественно из алевритовых и пелитовых илов (рис. 2, *c, d*), а доля илистой фракции на этом участке в среднем составляет 94 %. Для отложений в южной части бухты характерно наличие ракушечного детрита (до 33 %), а также максимальное содержание пелитового материала (81 %) в кутовой станции (ст. 35а).

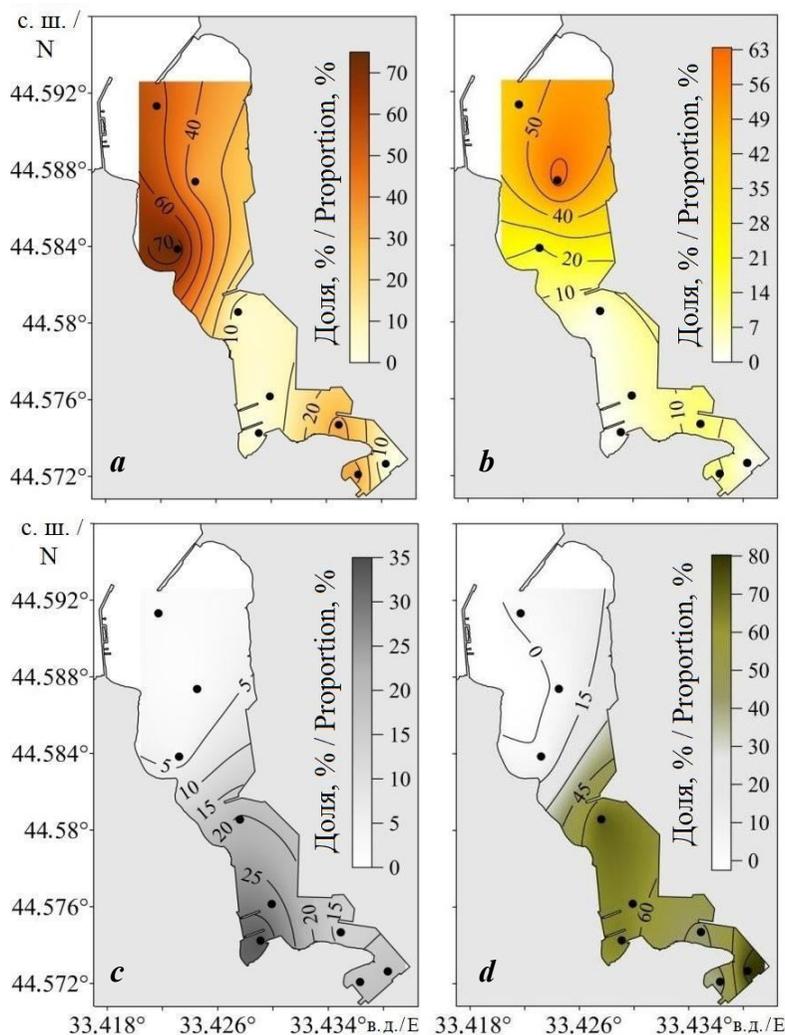


Рис. 2. Распределение гравийной (a), песчаной (b), алеврито-пелитовой (c), пелито-алевритовой (d) фракций в донных отложениях

Fig. 2. Distribution of gravel (a), sand (b), aleurite-pelite (c), pelite-aleurite (d) fractions in bottom sediments

Повышенная доля мелкодисперсного материала в центральной и особенно в южной мелководной частях бухты определяется в первую очередь особенностями морфометрии бухты, большим количеством причалов и пирсов, выполняющих роль волновой тени и обеспечивающих накопление материала, а также особенностями гидродинамики и слабым водообменом. Таким образом, весь материал, поступающий сюда с ливневыми и коммунально-бытовыми стоками, здесь же и накапливается.

Это отразилось на распределении органического углерода в поверхностном слое донных отложений Камышовой бухты (рис. 3, a; табл. 1), которое изменялось от 0.3–0.4 % сух. масс. на станциях в районе выхода из бухты

Таблица 1. Фракционный состав донных отложений и содержание органического углерода

Table 1. Particle size distribution of bottom sediments and organic carbon content

№ станции / Station no.	Фракции, % / Fractions, %				C _{орг} , % / C _{org} , %
	гравийная (10–1 мм) / gravel (10–1 mm)	песчаная (< 1–0.1 мм) / sand (< 1–0.1 mm)	алеврито-пелитовая (< 0.1–0.05 мм) / aleurite-pelite (< 0.1–0.05 mm)	пелито-алевритовая (< 0.05–0.001 мм) / pelite-aleurite (< 0.05–0.001 mm)	
42	53.4	44.2	1.3	1.1	0.3
41	33.8	63.6	1.2	1.4	0.3
40	75.8	19.3	3.1	1.8	0.4
39	5.1	2.3	20.7	71.9	1.9
38	5.0	5.1	27.0	63.0	1.3
37	0	1.1	33.7	65.2	2.2
36	33.0	12.1	12.9	42.0	1.2
35	32.8	11.0	17.0	39.2	1.8
35a	0	1.3	18.1	80.6	1.4

до 2–2.2 % сух. масс. на станциях в центральной части бухты с постепенным снижением в кутовой части. Средняя величина содержания C_{орг} в донных отложениях Камышовой бухты (1.2 % сух. масс.) оказалась ниже по сравнению с другими бухтами Севастопольского региона: бухтой Омега (1.4 % сух. масс.), Балаклавской бухтой (1.97 % сух. масс.) [20], Казачьей (2.7 % сух. масс.) [21], Севастопольской (3.7 % сух. масс.) и Стрелецкой (4.3 % сух. масс.) [21]. Это может свидетельствовать об отсутствии постоянного источника ОВ в бухте. Максимальные значения содержания органического углерода отмечены в местах скопления мелкодисперсного материала (рис. 2; 3, а). Для проб поверхностного слоя отложений отмечена высокая положительная корреляция (0.91) между концентрациями C_{орг} и содержанием пелито-алевритового материала.

Помимо пространственной изменчивости содержания органического углерода в поверхностном слое донных отложений, для ст. 35а и 39 был изучен и его вертикальный профиль (рис. 3, b; табл. 2). Установлено, что для центральной части бухты (ст. 39) значение C_{орг} в слое 0–10 см практически не изменялось (в пределах 0.1 %), а в слое 12–14 см возрастало, достигая максимума – 2.2 % сух. масс. Такой характер вертикального C_{орг} может указывать на то, что уровень техногенной нагрузки на донные отложения Камышовой бухты в последние годы не изменяется.

Для кутовой южной части бухты (ст. 35а) концентрация C_{орг} в слое 0–10 см убывала от 1.6 до 0.7 % сух. масс., а затем увеличивалась до 1.5 % сух. масс. в слое 16–18 см. Повышенные концентрации C_{орг} в верхних слоях кутовой части бухты указывают на имеющиеся в этом районе источники ОВ, вероятно антропогенного происхождения.

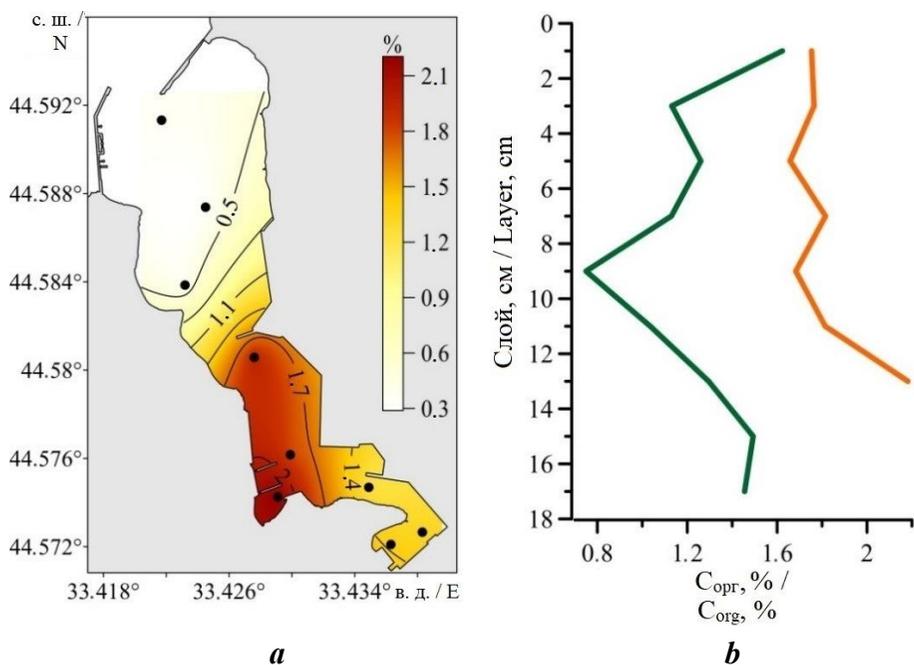


Рис. 3. Особенности пространственного (а) и вертикального (b) распределения C_{org} в донных отложениях бухты (зеленая линия – ст. 35а, оранжевая – ст. 39)

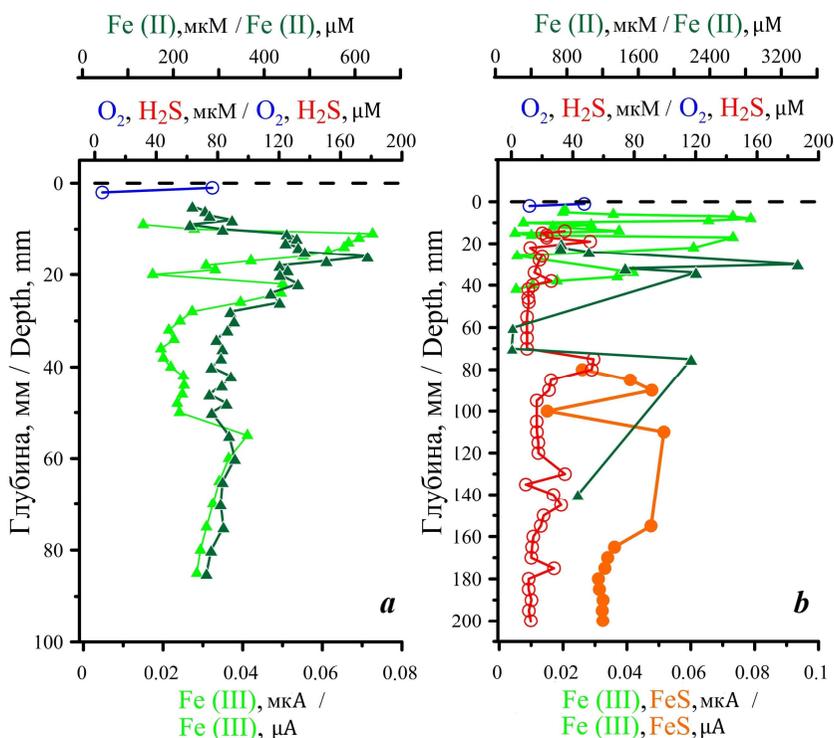
Fig. 3. Peculiarities of spatial (a) and vertical (b) distribution of C_{org} in bottom sediments of the bay (green line – St. 35a, orange line – St. 39)

Таблица 2. Вертикальное распределение органического углерода в донных отложениях

Table 2. Vertical distribution of organic carbon in bottom sediments

№ станции / Station no	C_{org} , %, в слое осадка, см / C_{org} , %, in sediment layer, cm								
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18
35	1.62	1.13	1.26	1.13	0.75	1.04	1.30	1.49	1.46
39	1.75	1.76	1.66	1.82	1.68	1.81	2.18	–	–

Анализ поровых вод донных отложений показал развитие дефицита кислорода в верхнем слое отложений на ст. 39 (67 % нас., 163 мкМ). Аналогичная ситуация наблюдается в Севастопольской (122 мкМ) [13] и Казачьей (126 мкМ) бухтах. Для сравнения: концентрация кислорода в верхнем слое отложений прибрежных районов шельфа Крымского п-ова в среднем изменялась от 200 до 300 мкМ [4, 15]. Кислород на ст. 39 проникал в осадок на глубину до 2 мм (рис. 4, а). В целом незначительную глубину проникновения кислорода в осадок можно объяснить мелкодисперсным характером осадков в бухте Камышовой.



Р и с. 4. Вертикальные профили поровых вод Камышово́й бухты на станциях 39 (а) и 35а (b) в июле 2021 г.

Fig. 4. Vertical profiles of pore waters of Kamyshovaya Bay at Stations 39 (a) and 35a (b) in July 2021

Основным компонентом поровых вод было железо (рис. 4, а). Концентрация Fe (II) увеличивалась с глубиной, достигая максимума (628 мкМ) в слое 16 мм, а затем убывала. Максимальное содержание Fe (III) отмечено в слое 11 мм, особенности вертикального распределения были схожи с Fe (II). Сероводород на этой станции зафиксирован не был. Таким образом, в поверхностном слое донных отложений отмечены субкислородные условия. Основные биогеохимические процессы протекали с участием железа (Fe (II, III)).

В поверхностном слое донных отложений кутовой части (ст. 35а) содержание кислорода снижалось до 48 мкМ (20 % нас.). Химия поровых вод определялась процессами с участием растворенных форм железа (Fe (II, III)) и сероводорода (рис. 4, b). Преобладающим компонентом поровых вод был сероводород. В целом его распределение было равномерным, с наличием максимумов в слоях 19 и 75 мм (со значениями 51 и 53 мкМ соответственно). Пик сероводорода в верхней части колонки может указывать на «свежий» источник ОВ. Однако содержание сероводорода в поровых водах данного района было ниже по сравнению с его содержанием в других бухтах Севастопольского региона: в Балаклавской бухте максимальные концентрации сероводорода достигали 73 мкМ [12], в бухте Омега – 213 мкМ, в Казачьей бухте – 941 мкМ, в Южной бухте – 1538 мкМ [13]. Для сравнения: на западном побережье Крымского п-ова концентрация сероводорода в донных

отложениях достигала 276–435 мкМ [15]. При этом поровые воды донных отложений кутовой части Камышовой бухты отличались высоким содержанием Fe (II) с максимальной концентрацией 3384 мкМ в верхнем слое отложений (0–30 мм). Полученные значения значительно выше, чем в Балаклавской (861 мкМ) и Казачьей (2005 мкМ) бухтах, и близки к значению, полученному на станции в районе Ялты (4500 мкМ) [15], но ниже, чем в Южной бухте (8292 мкМ). По вертикальному профилю компонентов поровых вод можно заключить, что в верхней части осадка (0–10 мм) все еще наблюдаются субкислородные условия, однако ниже преобладающими становятся анаэробные.

Выводы

Были получены и проанализированы новые натурные данные химического состава поровых вод (вертикальное распределение кислорода, сероводорода, окисленных и восстановленных форм железа) и геохимических характеристик донных отложений (гранулометрический состав, содержание органического углерода) для Камышовой бухты.

Установлено, что химия поровых вод определялась процессами с участием растворенных форм железа (Fe (II, III)) и сероводорода. Отмечено, что в верхнем слое отложений наблюдаются субкислородные условия, что указывает на формирование зон экологического риска экосистемы бухты.

В верховье бухты осадки представлены ракушечным гравием и песком, а в центральной и южной частях – алевритовыми и пелитовыми илами. Содержание органического углерода в поверхностном слое донных отложений Камышовой бухты менялось в пределах от 0.3 до 2.2 % сух. масс., что ниже, чем в других бухтах Севастопольского региона.

Анализ полученных результатов позволяет предположить отсутствие значимых постоянных источников ОВ. Однако, несмотря на отмеченное ранее общее снижение техногенной нагрузки на экосистему бухты за последние годы, содержание ОВ увеличивается. По-видимому, увеличение содержания ОВ на фоне уменьшающейся антропогенной нагрузки объясняется влиянием естественных факторов: поступлением терригенного материала с ливневыми стоками, особенностями морфологии кутовой части бухты, ее слабым водообменом с другими частями акватории и с открытым морем.

Сохранение таких тенденций может привести к тому, что наблюдаемые в настоящее время субкислородные условия в донных отложениях могут смениться анаэробными. Повысится риск заморных явлений, в результате это приведет к появлению безжизненных участков в акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development / J. Zhang [et al.] // *Biogeosciences*. 2010. Vol. 7, iss. 5. P. 1443–1467. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1443-2010>
2. *Moodley L., Heip C. H. R., Middelburg J. J.* Benthic activity in sediments of the northwestern Adriatic Sea: sediment oxygen consumption, macro- and meiofauna dynamics // *Journal of Sea Research*. 1998. Vol. 40, iss. 3–4. P. 263–280. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(98\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(98)00026-4)

3. *Diaz R. J.* Overview of hypoxia around the world // *Journal of Environmental Quality*. 2001. Vol. 30, iss. 2. P. 275–281. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302275x>
4. *Орехова Н. А., Коновалов С. К.* Полярография донных осадков Севастопольской бухты // *Морской гидрофизический журнал*. 2009. № 2. С. 52–66.
5. Reactive transport in surface sediments. I. Model complexity and software quality / F. J. R. Meysman [et al.] // *Computers & Geosciences*. 2003. Vol. 29, iss. 3. P. 291–300. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(03\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(03)00006-2)
6. Distribution of oxygen in surface sediments from central Sagami Bay, Japan: In situ measurements by microelectrodes and planar optodes / R. N. Glud [et al.] // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2005. Vol. 52, iss. 10. P. 1974–1987. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2005.05.004>
7. *Holmer M.* The effect of oxygen depletion on anaerobic organic matter degradation in marine sediments // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1999. Vol. 48, iss. 3. P. 383–390. <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0424>
8. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья / Е. А. Куфтаркова [и др.] // *Труды ЮГНИРО*. Керчь: ЮГНИРО, 2008. Т. 46. С. 110–117.
9. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Отв. ред. О. Г. Миронова, С. В. Алёмова. Симферополь : ИП «АРИАЛ», 2018. 270 с. URL: https://repository.marine-research.org/bitstream/299011/5423/1/Санитарно-биол_иссл_2018.pdf (дата обращения: 22.01.2022).
10. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с. URL: https://repository.marine-research.org/bitstream/299011/1466/1/Sanitarно-biologicheskije_Aspekty.pdf (дата обращения: 22.01.2022).
11. *Соловьёва О. В., Тихонова Е. А.* Динамика содержания органического вещества в донных отложениях портовых акваторий Севастополя // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. 2018. Т. 4 (70), № 4. С. 196–206. URL: http://sn-biolchem.cfuv.ru/wp-content/uploads/2018/12/ilovepdf_com-196-206.pdf (дата обращения: 22.01.2022).
12. *Орехова Н. А., Овсяный Е. И., Тихонова Е. А.* Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. 2019. Т. 5, № 3. С. 49–64. URL: https://www.researchgate.net/publication/338005651_ORGANICESKOE_VESESTVO_I_OKISLITELNO-VOSSTANOVITELNYE_USLOVIA_V_DONNYH_OTLOZENIAH_BALAKLA_VSKOJ_BUHTY (дата обращения: 22.01.2022).
13. *Орехова Н. А., Коновалов С. К.* Кислород и сульфиды в донных отложениях прибрежных районов Севастопольского региона Крыма // *Океанология*. 2018. Т. 58, № 5. С. 739–750. doi:10.1134/S0030157418050106
14. *Orekhova N. A., Konovalov S. K.* Biogeochemistry of oxygen deficiency in nearshore Black Sea regions of Crimea // *Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2019, 22–26 October 2019, Marmaris, Turkey*. Mugla, Turkey : MEDCOAST Foundation, 2019. Vol. 1. P. 297–306. URL: https://www.researchgate.net/publication/337679521_Biogeochemistry_of_Oxygen_Deficiency_in_Nearshore_Black_Sea_Regions_of_Crimea (date of access: 22.01.2022).

15. *Kurinnaya Y., Orekhova N.* Coastal hypoxia in areas under anthropogenic pressure // Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2020 (Albena, Bulgaria, 16–25 August, 2020). Sofia, Bulgaria, 2020. Vol. 20, iss. 3.1. P. 823–830. doi:10.5593/sgem2020/3.1/s15.106
16. *Brendel P. J., Luther III G. W.* Development of a gold amalgam voltammetric micro-electrode for the determination of dissolved Fe, Mn, O₂, and S(-II) in pore waters of marine and fresh water sediments // Environmental Science & Technology. 1995. Vol. 29, iss. 3. P. 751–761. doi:10.1021/es00003a024
17. Simultaneous measurement of O₂, Mn, Fe, I-, and S (-II) in marine pore waters with a Solid-State voltammetric microelectrode / G. W. Luther III [et al.] // Limnology and Oceanography. 1998. Vol. 43, iss. 2. P. 325–333. <https://doi.org/10.4319/lo.1998.43.2.0325>
18. *Люцарев С. В.* Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // Океанология. 1986. Т. 26, вып. 4. С. 704–708.
19. Некоторые геохимические показатели донных отложений прибрежной акватории под влиянием антропогенного фактора (на примере бухты Казачья, г. Севастополь) / Е. А. Котельянец [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27, вып. 1. С. 5–13.
20. Загрязняющие вещества в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) / Е. А. Котельянец [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 5. С. 469–480. doi:10.22449/0233-7584-2019-5-469-480
21. Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / Н. А. Орехова [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 6. С. 523–533. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-523-533

Поступила 29.10.2021 г.; одобрена после рецензирования 20.12.2021 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Куринная Юлия Сергеевна, инженер, аспирант, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-9826-4789**, kurinnaya-jul@yandex.ru

Гуров Константин Игоревич, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: L-7895-2017**, gurovki@gmail.com

Забегав Иван Андреевич, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), zabegaev84@gmail.com

Орехова Наталья Александровна, заведующая отделом биогеохимии моря, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1387-970X**, **ResearcherID: I-1755-2017**, natalia.orekhova@mhi-ras.ru

About the authors:

Yuliya S. Kurinnaya, Engineer, Postgraduate Student, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0002-9826-4789**, *kurinnaya-jul@yandex.ru*

Konstantin I. Gurov, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: L-7895-2017**, *gurovki@gmail.com*

Ivan A. Zabegaev, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), *zabegaev84@gmail.com*

Natalia A. Orekhova, Head of Marine Biogeochemistry Department, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-1387-970X**, **ResearcherID: I-1755-2017**, *natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Куринная Юлия Сергеевна – формулировка и постановка задачи, качественный и количественный анализ результатов, их интерпретация

Гуров Константин Игоревич – отбор проб, качественный и количественный анализ результатов, подготовка графических материалов

Забегав Иван Андреевич – определение содержания органического углерода

Орехова Наталья Александровна – формулировка и постановка задачи, критический анализ и доработка текста

Contribution of the authors:

Yuliya S. Kurinnaya – problem statement, qualitative and quantitative analysis of the results and their interpretation

Konstantin I. Gurov – sampling, qualitative and quantitative analysis of the results, preparation of visual materials

Ivan A. Zabegaev – determination of organic carbon content

Natalia A. Orekhova – problem statement, critical analysis and elaboration of the text

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Оценка способности взвесей Азовского моря концентрировать тяжелые металлы

М. В. Буфетова

*Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия
e-mail: mbufetova@mail.ru*

Аннотация

Обладая большой удельной поверхностью, взвешенное вещество может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней. Опускаясь в результате гравитации, взвешенные частицы могут депонировать загрязнения в толщу донных отложений, таким образом участвуя в самоочищении морской воды. Цель работы заключалась в оценке способности взвесей Азовского моря концентрировать Pb, Zn, Cu, Cd и Hg. Для исследования были выделены два района Азовского моря – Таганрогский залив и центральная часть моря, что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями. Массовые концентрации Pb, Zn, Cu, Cd определялись электротермическим атомно-абсорбционным методом; измерения массовой концентрации Hg проводились методом беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Содержание каждого металла во взвеси по отношению к его содержанию в воде было рассчитано на основе коэффициентов накопления. Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк. Концентрирование кадмия на взвесах было незначительным, это связано с тем, что в поверхностных водах кадмий мигрирует в основном в растворенном состоянии, взвешенные формы, как правило, не превышают 20–30 % от его валового содержания. Содержание свинца во взвешенном веществе не превышало 12.4 % в центральной части моря и 15.8 % в Таганрогском заливе от общего его содержания. Показано, что при значениях коэффициентов накопления тяжелых металлов взвешенным веществом, больших 10^5 , практически весь объем исследуемых тяжелых металлов находится на взвеси. Эти данные свидетельствуют о значимости фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод от тяжелых металлов.

Ключевые слова: Азовское море, взвешенное вещество, ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, коэффициент накопления

Благодарности: работа выполнена при использовании предоставленных данных ФГБУ «Информационно-аналитический центр по водопользованию и мониторингу Азовского моря» (г. Таганрог).

Для цитирования: Буфетова М. В. Оценка способности взвесей Азовского моря концентрировать тяжелые металлы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 55–65. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-55-65

© Буфетова М. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Assessment of the Ability of Suspended Matter in the Sea of Azov to Concentrate Heavy Metals

M. V. Bufetova

*Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI),
Moscow, Russia
e-mail: mbufetova@mail.ru*

Abstract

With a large specific surface area, suspended matter can concentrate heavy metals to high levels. Falling down by gravity, suspended particles can deposit pollutants into the bottom sediments thus participating in the self-purification of sea water. The purpose of this work is to assess the ability of suspended matter in the Sea of Azov to concentrate Pb, Zn, Cu, Cd, and Hg. For the purpose of the study, two areas of the Sea of Azov were identified (Taganrog Bay and the central part of the sea) given their morphometric and hydrological features. Mass concentrations of Pb, Zn, Cu, Cd were determined by the electrothermal atomic absorption method; measurements of the mass concentration of Hg were carried out by the method of flameless atomic absorption spectrometry. The content of each metal in suspended matter was calculated in relation to that in water based on the accumulation factors. The obtained accumulation factors indicate a high ability of suspended matter to concentrate mercury, copper and zinc. The concentration of cadmium in the suspended matter was insignificant. This is because in surface waters cadmium migrates mainly in a dissolved state, with the suspended forms normally not exceeding 20–30 %. The content of lead in the suspended matter did not exceed 12.4 % in the central part of the sea and 15.8 % in Taganrog Bay, both of its total content. It is shown that when the values of the factors of heavy metal accumulation by suspended matter exceed 10^5 , almost the entire volume of the studied heavy metals is in the suspended matter. These data indicate the high significance of the suspended matter concentrating ability for self-purification of water from heavy metals.

Keywords: Sea of Azov, suspended matter, mercury, lead, cadmium, copper, zinc, accumulation factor

Acknowledgements: the work was performed using the data provided by the Federal State Budgetary Institution “Information and Analytical Center for Water Use and Monitoring of the Sea of Azov” (Taganrog).

For citation: Bufetova, M.V., 2022. Assessment of the Ability of Suspended Matter in the Sea of Azov to Concentrate Heavy Metals. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 55–65. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-55-65

Введение

Характерной особенностью биосферных циклов массообмена является их незамкнутость, проявляющаяся в несбалансированности масс на «входе» и «выходе» из цикла. Выведение избыточной части мигрирующих масс из миграционного цикла с аккумулярованием их в каком-либо компоненте природной среды (в осадках, почве, крупном водном массиве и т.п.) или с передислокацией их в другой миграционный поток поддерживает стацио-

нарное состояние открытых неравновесных природных систем и направленность их развития¹⁾.

При изучении биогеохимических особенностей поведения тяжелых металлов в морских экосистемах возможны два подхода. Первый основан на определении концентрации металлов в различных компонентах экосистем. Второй подразумевает оценку потоков металлов, вызванных физическим транспортом вещества и биогеохимическими процессами, изменяющими это вещество. В реальности это взаимосвязанные характеристики, так как изменение концентрации в системе происходит только тогда, когда входящий поток не равен исходящему. Любое изменение концентрации металла влечет за собой возникновение соответствующего потока. Необходимо отметить, что обратное верно не всегда, т. е. достаточно обычны ситуации, когда весьма интенсивные потоки металлов в системе не сопровождаются изменением концентрации. Это происходит, когда входящий поток равен исходящему. В идеале для изучения поведения металлов в морских экосистемах необходимо создание и использование моделей, соединяющих концентрационные и потоковые характеристики²⁾.

Тяжелые металлы, в отличие от большинства органических загрязняющих веществ, подверженных постепенной деструкции, лишь перераспределяются между различными составляющими экосистем. Основным биогеохимическим механизмом самоочищения морских вод от тяжелых металлов является их седиментация взвешенным веществом [1, 2]. Обладая большой удельной поверхностью, взвешенное вещество может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней. Опускаясь в результате гравитации, взвешенные частицы могут депонировать загрязнения в толщу донных отложений, таким образом, участвуя в самоочищении морской воды¹⁾.

Растворенные формы металлов, поступающие в прибрежную зону с речным стоком, плоскостным смывом или аэральным путем, ассимилируются фитопланктоном и сорбируются на различных взвешенных частицах. Часть элементов переходит обратно в раствор при деструкции планктона. Металлы, оставшиеся в твердой фазе, либо осаждаются, либо переходят по пищевой цепи в зоопланктон. Металлы, поглощенные зоопланктоном, также частично возвращаются в раствор, частично осаждаются в составе органоминеральных агрегатов. У самого дна и в верхнем слое донных осадков происходит комплекс биогеохимических процессов, сопровождающийся как мобилизацией части металлов в поровые и придонные воды, так и обратным связыванием металлов в образующиеся сульфиды и гидроксиды. Движущей силой трансформации металлов на границе дна и в осадках являются процессы преобразования и деструкции органического вещества.

¹⁾ Добровольский В. В. Диапазон масс рассеянных химических элементов, мигрирующих в системе почва-растительность в зональных фитоценозах мировой суши // Материалы Второй Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы», Москва, 25-28 января 1999 г. М.: ГЕОХИ РАН, 1999. С. 32-33; Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохимическая экология. М.: Энергоатомиздат, 1986. 176 с.

²⁾ Шулькин В. М. Тяжелые металлы в речных и прибрежно-морских экосистемах: дис. ... д-ра геогр. наук. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДО РАН, 2007. 289 с.

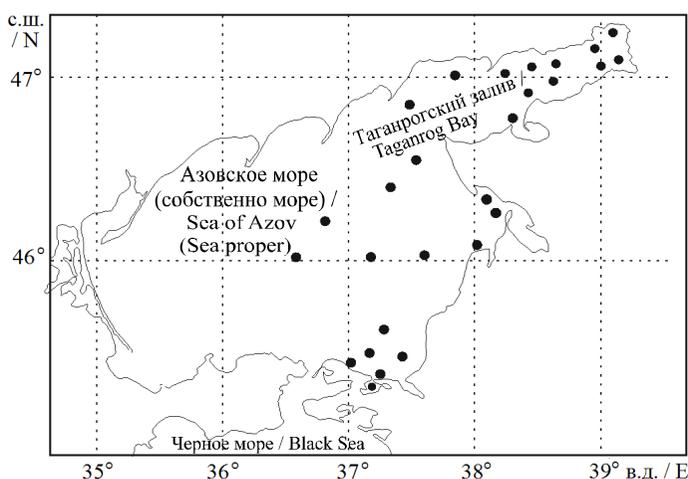
Судя по довольно низкому уровню содержания большинства растворенных металлов в морских и тем более в океанических водах, по сравнению с речными, общая тенденция в поведении большинства тяжелых металлов состоит в удалении и связывании в составе осаждающегося материала и далее в донных отложениях. Металлы, исходно поступающие в море с терригенной взвесью, в основном продолжают мигрировать в ее составе, хотя при высокой концентрации в терригенной взвеси подвижных форм металлов возможна их десорбция в воду при увеличении солености в эстуариях [3].

Изучению содержания тяжелых металлов в воде и донных отложениях Азовского моря в разные годы посвящено множество работ [2, 4–8]. Интересны результаты исследования А. В. Михайленко (2018) по установлению закономерностей пространственного распределения концентраций тяжелых металлов в воде и взвешенном веществе Азовского моря [5]. Так как взвешенное вещество, обладая большой удельной поверхностью, может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней, то оценка накопления Pb, Zn, Cu, Cd и Hg взвесью представляется актуальным исследованием.

Цель данного исследования – оценить способность взвеси концентрировать ртуть, медь, кадмий, цинк и свинец в весенне-летний и осенне-зимний периоды в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе. Оно продолжает серию исследований, начатых работой [9].

Материалы и методы

В работе были использованы данные о концентрации Pb, Zn, Cu, Cd, Hg в воде и взвешенном веществе Азовского моря в 2015 г., предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ. Пробы воды для анализа отбирались пробоотборной системой ПЭ-1220 согласно ГОСТ Р 51592-2000 в поверхностном (0–5 м) слое в 27 точках (рисунок) весной (март – апрель), летом (июнь – июль), осенью (сентябрь – октябрь) и зимой (декабрь). Определение металлов проводилось в нефилтрованных пробах (валовая форма).



Точки отбора проб
Sampling points

Химический анализ проб воды на содержание свинца производился в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.0002 мг/л; кадмия – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.00001 мг/л; меди – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.0001 мг/л; цинка – М-МВИ-539-03, нижний предел чувствительности – 0.001 мг/л; ртути – ПНД Ф 14.1:2:4.260-2010, нижний предел чувствительности 0.01 мг/л. Концентрации указанных тяжелых металлов были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА.

В работе в Азовском море были выделены два района: Таганрогский залив и открытая акватория Азовского моря (собственно море), что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями.

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) для рассмотренных нами тяжелых металлов в морской воде представлены в табл. 1.

Для определения концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе Азовского моря были также использованы литературные данные [5].

Коэффициенты накопления тяжелых металлов взвешенным веществом ($K_{взв}$) вычисляли по уравнению

$$K_{взв} = \frac{1000 \cdot C_{взв}}{C_{в}},$$

где $C_{взв}$ – концентрация тяжелого металла во взвешенном веществе, мкг/г, в расчете на сухую массу; $C_{в}$ – концентрация тяжелого металла в воде, мкг/л [1].

Расчеты коэффициентов накопления по результатам наблюдений выполнялись с точностью до трех значащих цифр, что соответствовало погрешности не более 0.1 %.

Содержание тяжелого металла во взвесах ($\Pi_{взв}$) по отношению к его содержанию в водной среде рассчитывалось по формуле [1]

$$\Pi_{взв} = \frac{m_{уд} \cdot K_{взв} \cdot 100}{m_{уд} \cdot K_{взв} + 1} (\%), \quad (1)$$

где $m_{уд}$ – удельная масса взвесей в воде, г/м³.

Т а б л и ц а 1. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в морской воде (ПДК_в)³⁾

T a b l e 1. Threshold limit values of heavy metals in water (TLV_w)

Характеристика / Parameter	Металл / Metal				
	Pb	Zn	Cu	Cd	Hg
Класс опасности / Class of hazard	3	3	3	2	1
ПДК _в , мкг/л / TLV _w , µg/L	10.0	50.0	5.0	10.0	0.1

³⁾ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (дата обращения: 25.02.2022).

Результаты и обсуждения

Представленные в табл. 2 материалы показали, что в наблюдаемый период времени (2015 г.) концентрации Hg, Pb, Zn и Cu во многих пробах превышали ПДК. Обращают на себя внимание средние значения концентрации меди в воде, которые превышали ПДК во все сезоны в собственно море и в Таганрогском заливе, а также высокие концентрации цинка в Таганрогском заливе. Высокие концентрации меди наблюдались и во взвешенном веществе (табл. 3).

Взвешенное вещество представляет собой сложную полидисперсную многокомпонентную систему. Вещественный состав взвеси Азовского моря характеризуется значительным разнообразием. По генетическому признаку во взвешенном материале выделяются минеральные компоненты терригенного и хемогенного происхождения, а также органические остатки, находящиеся на различной стадии минерализации. Как показывают исследования Ю. П. Хрусталева (1981), в течение года терригенная составляющая взвеси преобладает⁴⁾. Терригенный тип взвеси характеризуется преобладанием в своем составе продуктов абразии берегов и речного стока (более 70 %)

Т а б л и ц а 2. Содержание тяжелых металлов в воде Азовского моря в 2015 г. (валовая форма), мкг/л

T a b l e 2. Content of heavy metals in water of the Sea of Azov in 2015 (total form), µg/L

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море (15) / Sea proper (15)	<u>0.003–0.283</u> 0.045	<u>4.0–23.8</u> 10.10	<u>0.1–1.4</u> 0.41	<u>7.3–34.0</u> 31.60	<u>3.9–34.0</u> 12.18
Таганрогский залив (12) / Taganrog Bay (12)	<u>0.002–0.042</u> 0.034	<u>9.2–20.5</u> 14.1	<u>0.2–1.7</u> 0.89	<u>8.0–127.0</u> 57.2	<u>1.0–13.0</u> 4.46
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море (15) / Sea proper (15)	<u>0.004–0.460</u> 0.069	<u>27.0–27.3</u> 8.7	<u>0.2–1.7</u> 0.82	<u>7.1–74.1</u> 35,1	<u>5.4–11.0</u> 7.9
Таганрогский залив (12) / Taganrog Bay (12)	<u>0.008–0.130</u> 0.061	<u>1.6–27.7</u> 8.8	<u>0.01–6.6</u> 1.44	<u>9.7–120.0</u> 34.2	<u>3.4–17.0</u> 7.45

Примечание: в скобках – количество проб; над чертой – диапазон концентраций; под чертой – среднее значение.

Note: in brackets – number of samples; above the line – concentration range; under the line – average value.

⁴⁾ Хрусталева Ю. П., Ганичева Л. З., Волкова Э. Н. Геохимия взвеси Азовского моря // Географические аспекты изучения гидрологии и гидрохимии Азовского бассейна. Л., 1981. С. 76–87.

Т а б л и ц а 3. Содержание тяжелых металлов во взвешенном веществе Азовского моря в 2015 г., мкг/л [5, с. 103]

Table 3. Content of heavy metals in the suspended matter of the Sea of Azov in 2015, µg/L [5, p. 103]

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море / Sea proper	<u>0.001–0.234</u> 0.043	<u>1.0–19.0</u> 9.6	<u>0.03–0.09</u> 0.035	<u>3.6–50.7</u> 29.2	<u>2.94–3.10</u> 1.1
Таганрогский залив / Taganrog Bay	<u>0.005–0.027</u> 0.013	<u>0.3–31.1</u> 11.2	<u>0.01–0.14</u> 0.06	<u>4.3–83.4</u> 31.5	<u>0.72–1.58</u> 1.32
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море / Sea proper	<u>0.001–0.09</u> 0.020	<u>0.3–31.1</u> 7.5	<u>0.02–0.6</u> 0.14	<u>3.1–80.1</u> 31.6	<u>0.21–2.77</u> 0.98
Таганрогский залив / Taganrog Bay	<u>0.003–0.314</u> 0.055	<u>0.4–29.3</u> 7.7	<u>0.03–0.7</u> 0.05	<u>3.3–79.4</u> 27.0	<u>0.27–1.48</u> 1.18

Примечание: над чертой – диапазон концентраций, под чертой – среднее значение.

Note: above the line – concentration range; under the line – average value.

и представлен преимущественно пелитовыми фракциями. Содержание алевритовых частиц возрастает (до 50 %) в преддельтовых областях рек в период половодья и при интенсивных волнениях в прибрежной зоне [10, с. 52].

В Азовском море существует район постоянно высокого содержания взвешенного вещества (Таганрогский залив) и район более низких его концентраций (собственно море). Необходимо отметить, что в условиях ветровой активности содержание взвешенного вещества может увеличиваться в 2–6 раз. При этом указанные изменения концентрации зависят от характера грунта в районе волнения. Наиболее интенсивно в водную толщу мобилизуются донные осадки илистых грунтов [11].

В вертикальном распределении взвешенных частиц установлено четкое увеличение их количества от поверхностного горизонта водной толщи к придонному. В придонном слое концентрация взвеси по осредненным данным составляет 111.0–165.8 мг/л. Количество взвешенного вещества в придонном слое определяется уровнем протекания седиментационных процессов, характером грунта и его предрасположенностью к взмучиванию. Максимальные значения концентраций взвеси отмечены на придонном горизонте над глинистыми илами (218–229 мг/л), а минимальные – над песчаными и ракушечными грунтами (83.5–87.4 мг/л)⁵⁾.

⁵⁾ Мирзоян З. А. Взвесь Азовского моря и ее роль в питании планктонных и донных животных : дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д : АЗНИИРХ, 1984. 168 с.

Таблица 4. Коэффициенты накопления тяжелых металлов взвешенным веществом ($K_{взв}$) и содержание тяжелых металлов во взвесах ($P_{взв}$), %, по отношению к их содержанию в водной среде

Table 4. Factors of heavy metal accumulation by suspended matter (C_{sm}) and content of heavy metals in suspensions (P_{sm}), %, in relation to their content in the aquatic environment

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море / Sea proper	$\frac{1.132}{95.6}$	$\frac{1.011}{95.0}$	$\frac{0.005}{8.3}$	$\frac{0.640}{92.4}$	$\frac{0.005}{9.1}$
Таганрогский залив / Taganrog Bay	$\frac{0.016}{38.2}$	$\frac{0.099}{79.4}$	$\frac{0.002}{6.7}$	$\frac{0.031}{55.1}$	$\frac{0.011}{29.6}$
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море / Sea proper	$\frac{0.021}{29.0}$	$\frac{0.329}{86.2}$	$\frac{0.011}{17.1}$	$\frac{0.475}{90.0}$	$\frac{0.007}{12.4}$
Таганрогский залив / Taganrog Bay	$\frac{0.235}{90.2}$	$\frac{0.179}{87.5}$	$\frac{0.001}{3.5}$	$\frac{0.096}{78.9}$	$\frac{0.005}{15.8}$

Примечание: над чертой – $K_{взв} \cdot 10^6$, под чертой – $P_{взв}$

Note: above the line – $C_{sm} \cdot 10^6$; under the line – P_{sm}

Результаты расчета коэффициента накопления тяжелых металлов взвешенным веществом и содержание тяжелого металла во взвесах по отношению к его содержанию в водной среде приведены в табл. 4.

Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк в весенне-летний и осенне-зимний периоды как в Таганрогском заливе, так и в собственно море. Рассчитанное содержание тяжелых металлов во взвесах составило от 29 до 95.6 % от их общего содержания в водной среде.

Сходные результаты представлены в исследованиях А. П. Стецюк и В. Н. Егорова (2018), в которых были определены зависимости концентрирования ртути взвешенным веществом крымского шельфа Черного моря. В работе [12, с. 3] показано, что коэффициенты способности взвесей концентрировать ртуть находились в диапазоне $0.023 \cdot 10^6$ – $7.067 \cdot 10^6$, а содержание ртути на взвесах доходило до 98 % от общего содержания ртути в водной среде.

Содержание кадмия на взвесах было незначительным: 3.5–6.7 % для Таганрогского залива и 8.3–17.1 % для собственно моря. Это может быть связано с тем, что в поверхностных водах кадмий мигрирует в основном в растворенном состоянии, взвешенные формы, как правило, не превышают 20–30 %⁶⁾.

⁶⁾ Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. : МГУ, 2000. 565 с.

Свинец характеризуется низкой степенью растворимости, что обуславливает его поступление в речном стоке Дона и Кубани преимущественно во взвешенном состоянии. Коэффициенты накопления свинца взвешенным веществом, а следовательно, и его содержание на взвесах ожидалось более высокие. Тем не менее полученные нами результаты показывают, что содержание свинца во взвешенном веществе не превышает 12.4 % в собственно море и 15.8 % в Таганрогском заливе от общего его содержания в водной среде. Такая ситуация может быть объяснена тем фактом, что величина коэффициента накопления взвешенным веществом зависит от концентрации тяжелого металла в воде: при низких значениях C_v коэффициент накопления возрастает, а с увеличением C_v он снижается. Концентрация свинца в центральной части моря и в Таганрогском заливе в период исследования была высокой, часто превышала ПДК в 2–3 раза. Этот факт может свидетельствовать о проявлении эффекта насыщения свинцом взвеси. Подобные зависимости получены при исследовании сорбционной способности донных отложений Азовского моря в отношении свинца. Представленные материалы в работе академика Г.Г. Матишова (2017) показывали, что повышенная интенсивность седиментационного самоочищения вод при низких концентрациях свинца в воде обеспечивалась высокой (при $K_n > n \cdot 10^4$ единиц) концентрирующей способностью донных отложений. С увеличением степени загрязнения вод свинцом до ПДК (10 мкг/л) значение K_n снижалось более чем на два порядка величин и, соответственно, уменьшался вклад седиментационных процессов в самоочищение вод [2].

В целом результаты, представленные в работе, показали, что коэффициент накопления можно интерпретировать как важный показатель интенсивности биогеохимических циклов загрязняющих веществ в морской среде.

Выводы

Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк в весенне-летний и осенне-зимний периоды как в Таганрогском заливе, так и в собственно море. Проведенные исследования показали, что при значениях коэффициентов накопления $K_{взв} > 10^5$ практически все содержание исследуемых тяжелых металлов находится на взвеси. Эти данные подтверждают высокую значимость фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод от тяжелых металлов.

Содержание кадмия на взвесах было незначительным – до 6.7 % в Таганрогском заливе и до 17.1 % в собственно море, что можно объяснить слабой комплексобразующей способностью кадмия по сравнению с другими металлами.

Высокие концентрации свинца в водах Азовского моря могут обуславливать низкие коэффициенты накопления этого металла взвесями. Этот факт может свидетельствовать о насыщении свинцом взвесей. Таким образом, значимость концентрирующей способности взвесей зависит от концентрации тяжелых металлов в воде: при низких значениях она превалирует над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод, а с увеличением концентрации снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егоров В. Н.* Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. doi:10.21072/978-5-6042938-5-0
2. *Матишов Г. Г., Буфетова М. В., Егоров В. Н.* Нормирование потоков поступления тяжелых металлов в Азовское море по оценкам интенсивности седиментационного самоочищения вод // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 1. С. 44–58. doi:10.23885/2500-0640-2017-13-1-44-58
3. *Шулькин В. М., Богданова Н. Н.* Поведение Zn, Cd, Pb, Cu при взаимодействии речной взвеси с морской водой // Геохимия. 2004. № 8. С. 874–883.
4. *Михайленко А. В., Федоров Ю. А., Доценко И. В.* Картографирование распределения ртути в компонентах ландшафта Азовского моря // Цифровая география : материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.) : в 2 т. Т. 1 : Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии. Пермь, 2020. С. 281–284. URL: <https://elis.psu.ru/node/628521> (дата обращения: 04.03.2022).
5. *Михайленко А. В., Федоров Ю. А., Доценко И. В.* Тяжелые металлы в компонентах ландшафта Азовского моря. Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2018. 214 с.
6. *Федоров Ю. А., Доценко И. В., Михайленко А. В.* Поведение тяжелых металлов в воде Азовского моря во время ветровой активности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 108–112. doi:10.18522/0321-3005-2015-3-108-112
7. Комплексные исследования Азовского, Черного и Каспийского морей на научно-исследовательском судне «Денеб» в 2007 г. / Г. Г. Матишов [и др.] // Океанология. 2009. Т. 49, № 2. С. 313–318.
8. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Клёнкин [и др.] // Краснодар: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2007. 324 с. URL: <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/1656> (дата обращения: 04.03.2022).
9. *Буфетова М. В.* Загрязнение вод Азовского моря тяжелыми металлами // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10, № 3. С. 112–120. doi:10.18470/1992-1098-2015-3-112-120
10. *Хрусталеv Ю. П.* Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1999. 247 с.
11. О динамике ртутного загрязнения донных отложений Таганрогского залива по результатам экспедиционных работ / Ю. А. Федоров [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды. Ростов н/Д : Изд-во РГАСМ, 1999. Вып. 3. С. 13–15.
12. *Стецюк А. П., Егоров В. Н.* Способность морских взвесей концентрировать ртуть в зависимости от ее содержания в акваториях шельфа // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 33. С. 123–132. doi:10.33075/2220-5861-2018-3-123-132

Поступила 18.10.2021 г.; одобрена после рецензирования 25.01.2022 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторе:

Буфетова Марина Васильевна, доцент кафедры экологии и природопользования, экологический факультет, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) (117997, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23), доцент, кандидат географических наук, **SPIN-код: 9133-4070**, **ORCID ID: 0000-0002-6247-1698**, *mbufetova@mail.ru*

About the author:

Marina V. Bufetova, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Ecology, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI) (23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation), Associate Professor, Ph.D. (Geogr.), **SPIN-code: 9133-4070**, **ORCID ID: 0000-0002-6247-1698**, *mbufetova@mail.ru*

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Новые и редкие виды рыб у северного побережья Черного моря и антропогенные факторы, влияющие на их проникновение и натурализацию (обзор)

Г. Е. Гуськов^{1*}, Н. А. Жердев², Д. А. Бухмин¹

¹ Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² Азово-Черноморский филиал «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

*e-mail: gleb_guskov@mail.ru

Аннотация

В настоящее время ихтиофауна Черного моря насчитывает, по разным источникам, около 260 видов и подвидов рыб. В акватории Черного моря за период 1999–2014 гг. было обнаружено 25 новых представителей ихтиофауны, это примерно 10 % от общего числа. При этом только за последние двадцать лет число бентосных организмов, являющихся основным кормом донных и придонных рыб, увеличилось на 29 видов, что составляет почти половину от всех новых обнаруженных бентосных животных за сто лет наблюдений. Проникновению средиземноморских видов с последующей натурализацией в Черном море способствует целый комплекс различных факторов: это не только резкое изменение климата, но и изменение природного ландшафта побережья, связанное с хозяйственной деятельностью человека. В последнее время возрастает товарооборот между странами, основная часть товаров доставляется при помощи морского транспорта, что в свою очередь повышает интенсивность судоходства и увеличивает риск проникновения вселенцев с балластными водами судов. В то же время из-за хозяйственной деятельности в прибрежной зоне формируются новые условия обитания, иные экологические системы, привлекающие представителей чужеродных видов. В настоящей работе проанализированы литературные данные о новых и редких видах ихтиофауны в Черном море за последние 20 лет. На данный момент только у северных берегов Черного моря по обобщенным данным насчитывается 30 новых и редких видов и подвидов рыб. С 2014 г. в разных районах северной части моря обнаружены *Seriola dumerili*, *Lithognathus mormyrus*, *Dentex dentex*, *Gobius couchi*, *Lagocephalus sceleratus*, *Acanthurus monroviae* и др. Рассмотрены возможные последствия строительства судоходного канала «Стамбул» (дублера пролива Босфор), который, как планируется, свяжет Мраморное и Черное моря. После реализации этого проекта возрастет опасность проникновения новых чужеродных видов в Азово-Черноморский бассейн.

Ключевые слова: Черное море, антропогенный фактор, новые виды, ихтиофауна, инвазивные виды

© Гуськов Г. Е., Жердев Н. А., Бухмин Д. А., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: публикация подготовлена в рамках государственного задания (00-22-09, номер госрегистрации 122020100328-1) по теме ЮНЦ РАН «Анализ современного состояния, процессов формирования ихтиофауны южных морей России в условиях антропогенного стресса, глобальных изменений климата и разработка научных основ технологий сохранения и восстановления популяций хозяйственно-ценных видов рыб».

Для цитирования: Гуськов Г. Е., Жердев Н. А., Бухмин Д. А. Новые и редкие виды рыб у северного побережья Черного моря и антропогенные факторы, влияющие на их проникновение и натурализацию (обзор) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 66–81. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-66-81

New and Rare Fish Species off the Northern Shore of the Black Sea and Anthropogenic Factors Affecting their Penetration and Naturalization (Review)

G. E. Gus'kov^{1*}, N. A. Zherdev², D. A. Bukhmin¹

¹ Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

² Azov-Black Sea Branch of "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don, Russia

*e-mail: gleb_guskov@mail.ru

Abstract

Currently, according to various sources, the ichthyofauna of the Black Sea includes up to 260 species and subspecies of fish. From 1999 to 2014, twenty-five new representatives of ichthyofauna were discovered in the Black Sea, which is about 10 % of the total number. Over the last twenty years alone, the number of benthic organisms that are the main food of bottom and near-bottom fish has increased by 29 species, which is almost half of all benthic animals newly discovered over a hundred years of observations. A whole range of various factors is responsible for the penetration of Mediterranean species with subsequent naturalization in the Black Sea. These include not only a dramatic change in climate, but also a change in the natural coast landscape associated with economic activities. Goods exchange between countries has been increasing lately, most of the goods are transported by sea, which in turn intensifies shipping, and this increases the risk of invaders with ship ballast water. Meanwhile, due to economic activities in the coastal zone, new habitat conditions and other ecological systems are forming attracting representatives of alien species. The paper analyzes the literature data on new and rare species of ichthyofauna in the Black Sea over the past 20 years. At the moment, according to generalized data, there are 30 new and rare species and subspecies of fish at the northern shores of the Black Sea alone. Since 2014, *Seriola dumerili*, *Lithognathus mormyrus*, *Dentex dentex*, *Gobius couchi*, *Lagocephalus sceleratus*, *Acanthurus monroviae* have been found in different parts of the northern part of the sea. The paper also considers possible consequences of construction of the *Istanbul* shipping canal (a back-up route for the Bosphorus Strait), which is planned to link the Marmara and Black Seas. After the implementation of this project, the risk of invasion of new alien species into the Azov-Black Sea basin will increase.

Keywords: Black Sea, anthropogenic factor, new species, ichthyofauna, invasive species

Acknowledgements: the publication was prepared under state assignment (00-22-09, state registration no. 122020100328-1) of SSC RAS on the topic “Assessment of the current state, analysis of the processes of formation of aquatic bioresources of the southern seas of Russia under anthropogenic stress and development of scientific foundations for the technology of restoration of ichthyofauna, conservation and restoration of economically valuable fish species”.

For citation: Gus'kov, G.E., Zherdev, N.A. and Bukhmin, D.A., 2022. New and Rare Fish Species off the Northern Shore of the Black Sea and Anthropogenic Factors Affecting their Penetration and Naturalization (review). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 66–81. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-66-81 (in Russian).

Введение

При описании новых видов-вселенцев и анализе причин появления того или иного вида в биоценозе исследователи, как правило, ссылаются на климатические изменения последних лет, обусловленные повышением температуры воды и атмосферы, снижением паводков рек и пр. Несомненно, эти факторы существенно влияют на биоразнообразие морей, однако наиболее значительное воздействие на изменение биоты оказывают антропогенные факторы.

Не только резкое изменение климата способствует проникновению средиземноморских видов в Черное море – миграционному процессу с последующей натурализацией новых видов содействует и изменение природного ландшафта побережья, вызванное хозяйственной деятельностью человека. Кроме того, проникающие с балластными водами судов организмы не погибают в новой среде, а создают устойчивые, репродуктивные популяции. Все это формирует новые условия обитания, иные экологические системы, привлекающие представителей чужеродных видов.

Наглядным примером взаимосвязи антропогенного фактора и появления новых видов в местах активной хозяйственной деятельности человека является ситуация, сложившаяся с 1997 по 2007 г. в прибрежной зоне вдоль северо-восточного побережья Турции. Здесь в этот период произошли глобальные изменения ландшафтной структуры дна, обусловленные строительством вдоль берега шоссе, волнорезов, рыболовных портов, гаваней и пр.

Таким образом, впервые вдоль юго-восточного берега Черного моря возникла новая геологическая среда, представляющая собой большую защищенную территорию с песчаным дном, которая охватывает, по разным источникам, 400–500 км береговой линии и до 10 м глубины [1, 2]. Для сравнения: протяженность черноморского побережья Краснодарского края от Керченского пролива до Адлера с учетом изрезанности береговой линии также составляет около 400 км. По масштабам Черного моря это достаточно обширная территория.

В новых сформировавшихся условиях обитает большое количество морских беспозвоночных, в частности двустворчатые моллюски, веслоногие рачки, мелкие полихеты. Последние являются наиболее привлекательным источником пищи как для местных видов рыб, так и для рыб-вселенцев. Примером может служить атлантический землерой *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758), который, проникнув из Средиземного моря, нашел в конце

1990-х – начале 2000-х гг. у черноморского побережья Турции благоприятные условия обитания [1]. Оттуда, вероятно, он и начал распространяться вдоль береговой линии на север Черного моря, где сформировал устойчивую репродуктивную популяцию [3–6].

Немало изменений за последние годы произошло и у российского побережья Черного моря. Это строительство Керченского путепровода, добыча песка на м. Фиолент и Бакальской косе в Крыму и пр. Любые изменения ландшафта приводят, как правило, к появлению новых видов-вселенцев. Основными группами среди чужеродных видов являются полихеты, ракообразные, моллюски, а это именно те группы бентосных животных, которые как раз преобладают в фауне Черного моря. Известно, что в Черноморском бассейне за вековой период исследований был зафиксирован 61 чужеродный вид представителей бентоса. При этом только за последние двадцать лет их число увеличилось на 29 новых видов, что составляет почти половину (48 %) от всех обнаруженных бентосных животных за сто лет наблюдений [7].

Кроме того, как свидетельствуют литературные источники, в акватории Черного моря к 2014 г. было обнаружено 25 новых видов и подвидов рыб, а это примерно 10 % от всех известных видов местной ихтиофауны [8]. При этом максимальное количество находок зарегистрировано в семействе бычковых (Gobiidae) и морских карасей (Sparidae) [5]. Надо отметить, что представители данных видов предпочитают прибрежную зону, где в основном и преобладает такой антропогенный фактор, как изменение структуры дна, обусловленное хозяйственной деятельностью человека.

Целью нашего исследования является анализ данных о появлении новых видов рыб в северной части Черного моря за последние двадцать лет наблюдений и выявление взаимосвязи антропогенных факторов с причинами вселения и адаптации новых вселенцев в Черноморском бассейне.

Результаты и обсуждение

В настоящее время ихтиофауна Черного моря насчитывает, по разным источникам, от 184¹⁾ до 263²⁾ видов и подвидов рыб, включая случайных, известных по единичным находкам [9].

Экосистема Черного моря на данном этапе все еще далека от стабильного состояния и поэтому очень чувствительна к внешним воздействиям. Небогатое видовое разнообразие представителей ихтиофауны обуславливает низкую сопротивляемость к проникновению чужеродных видов.

Освоение Черного моря средиземноморской фауной – процесс достаточно молодой, что является следствием сравнительно недавнего по геологическим меркам объединения его со Средиземным морем. В этом бассейне все еще не сложилось устойчивое сообщество видов. Формирование ихтиофауны здесь продолжается постоянно и в настоящее время.

¹⁾ *Васильева Е. Д.* Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С.В. Богородским. М. : Изд-во ВНИРО, 2007. 238 с.

²⁾ *Болтачев А. Р., Карпова Е. П.* Морские рыбы Крымского полуострова. Симферополь : Бизнес-Информ, 2017. 376 с.

Значительная часть современных представителей черноморских видов рыб являются средиземноморскими вселенцами, которые проникли в Черное море вслед за появлением Босфорского пролива. Лишь незначительное количество обитателей ихтиофауны – это сугубо местные, понто-каспийские виды рыб.

С развитием промышленности разных стран возрастает и товарообмен между ними. Одним из экономически выгодных способов доставки грузов является водный транспорт. Это, в свою очередь, увеличивает риск проникновения вселенцев как с балластными водами, так и на обросших подводных частях судов.

Число видов биоты Азово-Черноморского бассейна растет непрерывно, нестабильность экосистемы Черного моря делает чрезвычайно важными наблюдения за процессами, происходящими в популяциях морской фауны. Так, в частности, необходимо контролировать появление инвазивных видов, а также анализировать динамику их численности.

Любая хозяйственная деятельность человека в прибрежной зоне так или иначе влияет на биоразнообразие не только определенного участка береговой линии, где произошли изменения, но и всего Азово-Черноморского бассейна в целом.

При анализе собранных данных нас интересовали в основном случаи находок новых видов ихтиофауны в северной части Черного моря, а именно у побережья Кавказа и Крыма, как наиболее доступных для дальнейшего исследования территорий, однако для полноты картины мы включили в таблицу случаи находок и в северо-западной части моря. Видовой состав новых и редких видов рыб, описанных в литературных источниках, за последние двадцать лет представлен в таблице.

Некоторые виды рыб в северной части Черного моря встречались и ранее (более двадцати лет назад). Это, к примеру, золотистый спар, или дорада, *Sparus aurata* Linnaeus, 1758, который отмечен у берегов Кавказа в 1937 г. [18, с. 278], круглая сардинелла, или алаша, *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 зафиксирована у берегов Крыма в 1981 и 1988 гг. [12]. Интересно отметить, что число находок этих видов после 1999 г. возросло. Кефаль головач *Liza ramada* (Risso, 1810) зарегистрирован у берегов Крыма в 1930 г., долгие годы он не наблюдался и только в осенний период 2006 г. и 2012 г. встречен подводными охотниками около Балаклавской бухты [8, 14]. Европейская сфирена *Sphyraena sphyraena* (Linnaeus, 1758) обнаружена в 2007 г. возле Стрелецкой бухты (Крым) [14]. Ранее ее находки зафиксированы возле Одессы, в Балаклавской бухте в 1905 г. и возле Севастополя в 1950 г. [14, 18].

Как описано ранее, по количеству новых видов самыми массовыми в Черном море остаются бычковые (Gobiidae) (рисунок). О процентном соотношении биомассы видов на данном этапе судить сложно.

Из таблицы следует, что основная доля (~ 80 %) чужеродных видов рыб, обнаруженных в северной части Черного моря за исследуемый период, ведет донный и придонный образ жизни. Стайные пелагические виды совершают сезонные миграции и появляются в Черном море, как правило, периодически.

Новые и редкие виды рыб, зарегистрированные у северного побережья Черного моря с 1998 г.

New and rare fish species registered off the northern coast of the Black Sea since 1998

Русское название / English name	Латинское название / Latin name	Год обнаружения / Year of detection		Группы / Groups	Питание / Feeds	Источник / Source
		Крым / Crimea	Кавказ / Caucasus			
I. Сельдевые / Herrings (Clupeidae)						
1. Круглая сардинелла, или алаша / Round sardinella	<i>Sardinella aurita</i> Valenciennes, 1847	1981 1998	н/д / NA	<i>P.</i>	–	[8–12] ₃ , работа ³⁾
II. Тресковые / Cods (Gadidae)						
2. Северная пугассу / Blue whiting	<i>Micromesistius poutassou</i> (Risso, 1827)	1999	н/д / NA	<i>P.</i> – <i>Nb.</i>	–	[8, 10, 13], работа ²⁾
III. Кефалевые / Mulletts (Mugilidae)						
3. Губач / Thicklip grey mullet	<i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)	1999	?	<i>P.</i>	+	[9, 10] ₃ , работы ^{1–3)}
4. Кефаль головач / Thinlip grey mullet	<i>Liza ramada</i> (Risso, 1810)	1930 2006	?	<i>P.</i>	+	[8, 10, 14] ₃ , работы ^{1, 3)}
IV. Иглобые / Pipefishes (Syngnathidae)						
5. Обыкновенная морская игла / Greater pipefish	<i>Syngnathus acus</i> (Linnaeus, 1758)	2006	н/д / NA	<i>Nb.</i>	+	[8, 14] ₂ , работа ²⁾
V. Ставридовые / Carangids (Carangidae)						
6. Большая сериола / Greater amberjack	<i>Seriola dumerili</i> (Risso 1810)	–	2018	<i>P.</i>	–	[15] ₁ , работа ¹⁾
VI. Долгопёровые, или крылопёровые / Flying Gurnards (Dactylopteridae)						
7. Средиземноморский долгопёр / Flying gurnard	<i>Dactylopterus volitans</i> (Linnaeus, 1758)	2013	н/д / NA	<i>Nb.</i>	+	[8] _{1, 2)} , работы ^{1, 2)}

³⁾ Мовчан Ю. В. Риби України. Київ : Золоті ворота, 2011. 444 с.

Русское название / English name	Латинское название / Latin name	Год обнаружения / Year of detection		Группы / Groups	Питание / Feeds	Источник / Source
		Крым / Crimea	Кавказ / Caucasus			
VII. Скорпеновые / Scorpionfishes (Scorpaenidae)						
8. Темный окунь / Korean rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i> Hilgendorf, 1880	2013	2019	Nb.	–	[16]
VIII. Спаровые / Seabreams (Sparidae)						
9. Сальпа / Salema	<i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus, 1758)	1999	2007	Nb.	+	[8, 10, 17], работа ²⁾
10. Дорада, или золотистый спар / Gilthead bream Gilthead seabream	<i>Sparus aurata</i> (Linnaeus, 1758)	1999	1937	Nb.	+	[8, 10, 18], работа ²⁾
11. Белый сарг / White seabream	<i>Diplodus sargus</i> (Linnaeus, 1758)	2008	н/д / NA	Nb.	+	[19], работы ^{1, 2)}
12. Атлантический землерой, мормор / Striped seabream	<i>Lithognathus, mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)	2013	2016	Nb.	+	[3–6, 9], работа ¹⁾
13. Зубан обыкновенный / Common dentex	<i>Dentex dentex</i> (Linnaeus, 1758)	2014	н/д / NA	Nb.	+	[9, 20], работы ^{1, 2)}
IX. Щетинозубовые, или рыбы-бабочки / Butterflyfishes (Chaetodontidae)						
14. Белоперая кабуца / Pennant coralfish	<i>Heniochus acuminatus</i> (Linnaeus, 1758)	2003	н/д / NA	P.– Nb.	+	[8, 21], работа ²⁾
X. Собачковые / Blennies (Blenniidae)						
15. Зеленая собачка / Incognito blenny	<i>Parablennius incognitus</i> (Bath, 1968)	2002	2001	B.	+	[8, 11, 14, 22], работа ²⁾
XI. Присосковые / Clingfishes (Gobiesocidae)						
16. Малоголовая присоска / Small-headed clingfish	<i>Apletodon dentatus bacescui</i> (Murgoci, 1940)	2013	н/д / NA	B.	+	[11, 23, 24], работа ²⁾

Русское название / English name	Латинское название / Latin name	Год обнаружения / Year of detection		Группы / Groups	Питание / Feeds	Источник / Source
		Крым / Crimea	Кавказ / Caucasus			
XII. Бычковые / Gobies (Gobiidae)						
17. Красноротый бычок / Red-mouthed goby	<i>Gobius cruentatus</i> Gmelin, 1789	2002	2004	B.	+	[8, 9, 14, 19, 25, 26], работы ^{2, 3)}
18. Лысун Бага / Bath's goby	<i>Pomatoschistus bathi</i> Miller, 1982	2003	н/д / NA	B.	+	[8, 9, 26–28], работы ^{2, 3)}
19. Китайский полосатый трехзубый бычок / Chameleon goby	<i>Tridentiger trigonocephalus</i> (Gill, 1859)	2006	н/д / NA	B.	+	[8, 26, 29, 30], работы ^{1, 2)}
20. Златоглавый (золотой) бычок / Yellow-headed goby	<i>Gobius xanthocephalus</i> Heymer & Zander, 1992	2007	2003	B.	+	[8, 12, 14, 26, 27, 31], работы ^{1–3)}
21. Бычок Миллера / Large-headed goby	<i>Millerigobius macrocephalus</i> (Kolombatovic, 1891)	2009	н/д / NA	B.	+	[10, 26], работы ^{2, 3)}
22. Бычок Штейница / Steinitz's goby	<i>Gammogobius steinitzi</i> (Bath, 1971)	2011	н/д / NA	B.	+	[8, 26, 31, 32], работы ^{2, 4)}
23. Четырехполосый хромогобиус / Chestnut goby	<i>Chromogobius quadrivittatus</i> (Steindachner, 1863)	2012	1939	B.	+	[8, 26, 33, 34], работы ^{2, 4)}
24. Хромогобиус зебровый / Kolombatovic's goby	<i>Chromogobius zebratus</i> (Kolombatović, 1891)	2013	н/д / NA	B.	+	[8, 26, 31, 35], работа ²⁾
25. Бычок-зебра / Zebra goby	<i>Zebrus zebrus</i> (Risso, 1827)	2013	н/д / NA	B.	+	[8, 26], работа ²⁾
26. Бычок Кауча / Couch's goby	<i>Gobius couchi</i> Miller & El-Tawil, 1974	2016	н/д / NA	B.	+	[36], работа ⁴⁾

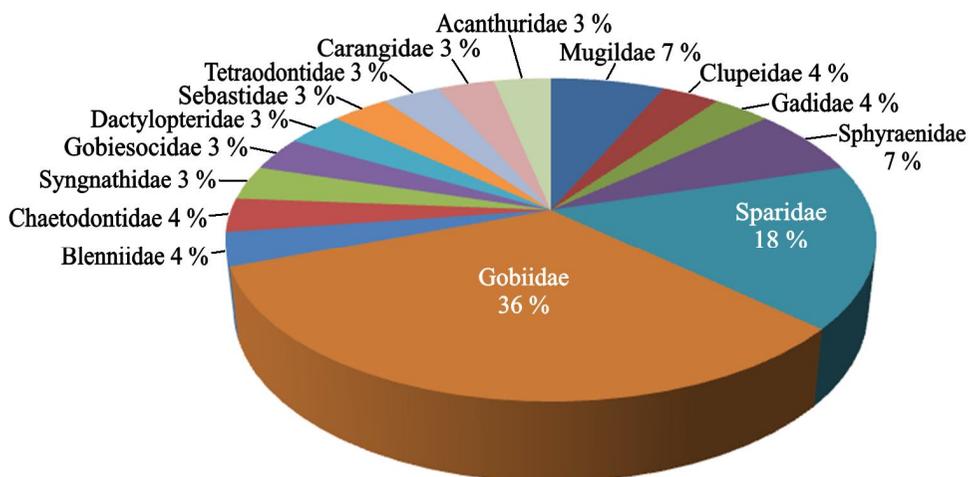
⁴⁾ Парин Н. В., Евсеенко С. Л., Васильева Е. Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Товарищество научных изданий КМК, 2014. Т. 53. 217 с.

Русское название / English name	Латинское название / Latin name	Год обнаружения / Year of detection		Группы / Groups	Питание / Feeds	Источник / Source
		Крым / Crimea	Кавказ / Caucasus			
XIII. Барракудовые / Sea pikes (Sphyraenidae)						
27. Красная барракуда / Red barracuda	<i>Sphyraena pinguis</i> Günther, 1874	1999	н/д / NA	<i>P.</i>	–	[8, 37], работа ²⁾
28. Европейская сфирена / European barracuda	<i>Sphyraena sphyraena</i> (Linnaeus, 1758)	1950 2007	н/д / NA	<i>P.</i>	–	[14], работы ^{1, 2)}
XIV. Иглобрюхие / Blowfishes (Tetraodontidae)						
29. Серебристый иглобрюх / Silver-cheeked toadfish	<i>Lagocephalus sceleratus</i> (Gmelin, 1789)	2014	н/д / NA	<i>Nb.</i>	+	[38, 39], работа ²⁾
XV. Хирурговые / Surgeonfishes (Acanthuridae)						
30. Западноафриканский хирург / Monrovia doctorfish	<i>Acanthurus monroviae</i> Steindachner, 1876	2018	н/д / NA	<i>Nb.</i>	+	[40]

Примечание: *P.* – пелагические; *Nb.* – придонные; *B.* – донные; +/- в питании присутствуют/отсутствуют бентосные организмы; н/д – нет данных; ? – данные не уточнены.

Note: *P.* – pelagic, *Nb.* – near bottom, *B.* – bottom, +/- presence/absence of benthic organisms in the diet; NA – no data available; ? – data are not specified.

Бычковые (Gobiidae), собачковые (Blenniidae), серрановые (Serranidae) и др. относятся к так называемым местным видам рыб, которые не перемещаются на значительные расстояния. Большая часть представителей этих видов теплый период года проводит в прибрежной зоне моря, совершая незначительные нагульные и нерестовые миграции, а в зимний период уходит на глубину. Спаровые (Sparidae), или морские караси, предпочитают в основном области материкового шельфа, иногда выходя за его кромку. Очевидно, часть этих видов постепенно мигрировала из Средиземного, Эгейского и Мраморного морей, другие проникли с балластными водами судов, выпущены аквариумистами и теперь нашли благоприятные условия обитания в водах Черного моря.



Процентное соотношение новых семейств рыб, обнаруженных в северной части Черного моря с 1999 г.

The percentage of new fish families found in the northern part of the Black Sea since 1999

Некоторые виды, такие как белоперая кабуба *Heniochus acuminatus* (Linnaeus, 1758), западноафриканский хирург *Acanthurus monroviae* Steindachner, 1876, красная барракуда *Sphyraena pinguis* Günther, 1874, вероятно, случайно проникли в Черное море и в настоящей климатической среде вряд ли смогут найти подходящие условия для выживания.

Осмелимся предположить, что, возможно, в скором будущем в водах Черного моря появится новый вселенец – красноморская зубатая барабуля *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976). Предположение основано на фактах стремительного распространения этого вида в Средиземном море. До 2000-х гг. этот вид был обычен в Красном море и Аденском заливе. В результате миграции через Суэцкий канал (так называемая Лессепсианская миграция) *P. forsskali* проникла в Средиземное море. В декабре 2012 г. описана первая находка – *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) в восточной части Средиземного моря к северу от Бейрута (Ливан) [41]. В 2013 г. описан первый случай поимки *P. forsskali* у берегов Израиля [42]. У берегов Кипра первое обнаружение этого вида зафиксировано в августе 2014 г. [43]. Недалеко от берегов Сирии первая находка датирована 2016 г. [44]. Сейчас этот вид стал массовым у южных берегов Турции. По наблюдениям турецких рыбаков, в районе Кемера (Турция) в 2021 г. уловы красноморской зубатой барабули превосходили уловы местных видов Mullidae. Сейчас *P. forsskali* отмечена уже у берегов Бодрума (Турция) в Эгейском море.

В 2014 г. А. Р. Болтачев с соавторами описали в Черном море 25 новых представителей ихтиофауны, из которых 21 вид был обнаружен в прибрежной зоне Крыма [8].

Итак, на данный момент у северных берегов Черного моря по обобщенным данным насчитывается 30 новых и редких видов и подвидов рыб, принадлежавшим к 15 семействам (см. таблицу).

Хотим отметить, что в 2014 г. атлантический землерой *L. mormyrus* (Linnaeus, 1758) был отнесен к группе эпизодически встречающихся видов [8]. Теперь он натурализовался и дает потомство в северной части Черного моря [4, 5]. Тогда же в группу случайно обнаруживаемых видов (единичные находки) был включен зубатый групер *E. caninus* Valenciennes, 1834, пойманный в апреле 2013 г. в прибрежной зоне Крыма у м. Айя [8]. Позднее оказалось, что данная особь является темным окунем *Sebastes schlegelii* Hilgendorf, 1880, находки которого участились у берегов не только Крыма, но и Кавказа, «что с большой долей вероятности указывает на успешное вселение вида» [16, с. 34].

Такие виды, как усатый центракант *Centracanthus cirrus* Rafinesque, 1810, морской юнкер *Coris julis* (Linnaeus, 1758), прилипало *Echeneis naucrates* Linnaeus, 1758 и некоторые другие, отмеченные ранее у берегов Турции, Болгарии и Румынии, относятся¹⁾ к периодически встречающимся видам в Черном море [8]. Однако у северных берегов Черного моря эти рыбы до сих пор обнаружены не были.

Заключение

Итак, если сопоставить имеющиеся данные последних исследований биоты Черного моря, то очевидным становится факт, что за последние двадцать лет почти наполовину выросло число чужеродных видов зообентоса – основного корма придонных и донных рыб, и за эти же годы примерно на 10 % увеличилось количество новых представителей ихтиофауны. Конечно, процессы вселения представителей зообентоса и рыб могут идти параллельно, но, несомненно, они взаимосвязаны. Интересно отметить, что именно в это время, а точнее в конце 1990-х – начале 2000-х гг., в прибрежном ландшафте юго-восточного побережья Черного моря происходили существенные изменения, которые, по-видимому, и создали благоприятные условия обитания и распространения для некоторых новых вселенцев. Безусловно, все эти миграционные процессы происходят и в связи с изменением климата, однако антропогенные факторы ускоряют естественные изменения в биоте Черного моря. При этом стоит принять во внимание, что отдельные виды могут оказаться инвазивными, а это в дальнейшем, возможно, отразится и на аборигенных видах.

Основные пути проникновения чужеродных видов в акваторию Азово-Черноморского бассейна могут осуществляться двумя основными способами:

а) интродукцией – путем намеренного или случайного вселения видов человеком в неестественные для них места обитания. К такому способу стоит отнести проникновение организмов с балластными водами, на корпусах судов;

б) естественным путем – путем миграции через пролив Босфор.

Периодически в средствах массовой информации возникают дебаты о сомнительных с точки зрения экологии проектах в районе Азовского и Черного морей. Это обусловлено как экономическими, так и политическими соображениями.

Один из таких проектов – турецкий «Стамбул». Это строительство канала, который по замыслу проляжет параллельно Босфору, в 20–30 км западнее и юго-западнее г. Стамбула. Реализация проекта может в дальнейшем обеспечить проход из Мраморного в Черное море примерно 185 судам

ежедневно. Строительство начато в 2021 г., а завершить его планируется через 6–7 лет, заявленная длина канала около 45 км с минимальной шириной 275 м и глубиной 20–25 м⁵⁾.

После запуска судоходного канала в эксплуатацию существенно возрастет опасность проникновения чужеродных видов. При этом будут реализованы оба фактора проникновения, о которых мы писали выше, что, естественно, повлияет на увеличение числа новых вселенцев в Черном море.

Несомненно, осуществление этих планов значительно изменит биоценозы Черного и Азовского морей, находящиеся в настоящее время и так в нестабильном состоянии. Возможное сокращение запасов промысловых рыб из-за пищевой конкуренции с вселенцами или влияния иных факторов (новые заболевания, уничтожение икры другими видами) имеет стратегическое значение для государства.

Можно спрогнозировать, какие представители ихтиофауны проникнут в Черное море, но при их натурализации в данном бассейне сложно предсказать влияние вселенцев на весь биоценоз в целом.

Перед воплощением подобных глобальных проектов (типа «Стамбул») целесообразно проведение детальных международных экологических экспертиз с участием ученых всех стран Черноморского бассейна. Кроме того, необходимо разработать общедоступную интерактивную карту для постоянного мониторинга любых, как предполагаемых, так и ведущихся строительных работ в прибрежной зоне моря. Такие открытые данные смогли бы помочь ученым прогнозировать экологические риски при реализации любых строительных проектов. Подобная геоинформационная система могла бы объединить разрозненные данные строительных, экологических экспертиз, а также помогла бы более точно выполнить расчеты ущерба водным биоресурсам.

Актуальной остается задача по введению новых профилактических мер и разработке технических устройств на судах для предотвращения попаданий чужеродных видов в балластные воды. Международная морская организация (ИМО) приняла новую конвенцию по контролю балластных вод⁶⁾ (*Ballast water management convention*), которая уже действует с 8 сентября 2017 г. Однако зачастую эти требования не соблюдаются. Сотрудниками ЮНЦ РАН неоднократно фиксировались случаи сброса как балластных, так и фекальных вод с транспортных судов в непредназначенных для этого районах. Рекомендуем установку станций-буев или использование уже имеющихся бакенов для контроля качества воды в определенных районах. Это позволит при повышении загрязнения отследить, какое судно находилось в данном районе. Ужесточение контроля над исполнением конвенции является наиважнейшей задачей.

⁵⁾ Турция приступила к реализации проекта канала «Стамбул» в обход Босфора // ТАСС : [сайт]. 2021. 26 июня. URL: <https://tass.ru/ekonomika/11760907> (дата обращения: 4.03.2022).

⁶⁾ URL: <https://www.ballast-water-treatment.com/en/ballast-water-management-regulation/imo-bwm-convention> (дата обращения: 3.03.2022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Occurrence and new geographical record of striped seabream *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758) in the Turkish coast of Black Sea / S. Engin [et al.] // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2015. Vol. 15. P. 937–940. doi:10.4194/1303-2712-v15_4_18
2. Ефремова Т. В., Горячкин Ю. Н. Антропогенное воздействие на литодинамику береговой зоны южного и западного побережий Черного моря (обзор) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 2. С. 5–29. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-5-29
3. Болтачев А. Р., Карпова Е. П., Кирич М. П. Первая находка землероя атлантического *Lithognathus mormyrus* (L., 1758) (Steichthyes, Sparidae) в черноморской прибрежной зоне Крыма // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 4. С. 96.
4. Обнаружение атлантического землероя *Lithognathus mormyrus* в сетных уловах у Кавказского побережья Российской Федерации / Г. Е. Гуськов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. С. 341.
5. Карпова Е. П. Натурализация атлантического землероя *Lithognathus mormyrus* (Sparidae) в Чёрном море // Российский журнал биологических инвазий. 2020. Т. 13, № 2. С. 40–46.
6. Гуськов Г. Е. Анализ распространения атлантического землероя *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758) (Actinopterygii: Sparidae) в Чёрном море // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14, № 1. С. 64–70. doi:10.35885/1996-1499-2021-14-1-64-70
7. Шаловенков Н. Н. Тенденции вселения чужеродных видов зообентоса в Чёрное море // Российский журнал биологических инвазий. 2020. Т. 13, № 1. С. 72–80.
8. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Фаунистическая ревизия чужеродных видов рыб в Черном море // Российский журнал биологических инвазий. 2014. № 3. С. 2–26.
9. Дроздов В. В. Многолетняя изменчивость рыбопромысловых ресурсов Чёрного моря: тенденции, причины и перспективы // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. Вып. 21. С. 137–154.
10. Болтачев А. Р., Юрахно В. М. Новые свидетельства продолжающейся медитеранизации ихтиофауны Черного моря // Вопросы ихтиологии. 2002. Т. 42, № 6. С. 744–750.
11. Рыбы (Pisces) / А. Р. Болтачев [и др.] // Вселенцы в биоразнообразии и продуктивности Азовского и Чёрного морей. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. С. 76–113.
12. О находке круглой сардинеллы *Sardinella aurita* (Clupeidae) в Черном море у берегов Крыма / А. П. Болтачев [и др.] // Вопросы ихтиологии. 2000. Т. 40, № 2. С. 275–276.
13. Болтачев А. Р. Псевдо-экспансия адвентивных видов рыб на примере Черного моря, или еще раз о проблеме научной этики // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 3. С. 100–106.
14. Болтачев А. Р., Карпова Е. П., Данилюк О. Н. Находки новых и редких видов рыб в прибрежной зоне Крыма (Чёрное море) // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49, № 3. С. 318–332.
15. Лужняк В. А., Чепурная Т. А., Живоглядоев А. А. Первая находка большой сериолы *Seriola dumerili* (Carangidae) в российских водах черноморского побережья Кавказа // Вопросы ихтиологии. 2020. Т. 60, № 2. С. 239–243. doi:10.31857/S0042875220020125

16. Карпова Е. П., Тамойкин И. Ю., Кулешов В. С. Находки темного окуня *Sebastes schlegelii* Hilgendorf, 1880 в Чёрном море // Биология моря. 2021. Т. 47, № 1. С. 34–39. doi:10.31857/S0134347521010034
17. Пашков А. Н., Решетников С. И. Первая поимка *сальпы* *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) Perciformes, Sparidae) в водах России // Вопросы ихтиологии. 2012. Т. 52, № 5. С. 601–603.
18. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. М. : Наука, 1964. 554 с.
19. Ткаченко П. В. Первая находка морского караса *Diplodus sargus sargus* в северо-западной части Черного моря // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 3. С. 54.
20. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Первая находка зубана обыкновенного *Dentex dentex* (L., 1758) (Osteichthyes, Sparidae) возле черноморского берега Крыма // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13, № 3. С. 12.
21. Болтачев А. Р., Астахов Д. А. Необычная находка длинноперой вымпельной рыбы-бабочки *Heniochus acuminatus* (Chaetodontidae) в Балаклавской бухте (Севастополь, юго-западный Крым) // Вопросы ихтиологии. 2004. Т. 44, № 6. С. 853–854.
22. Богородский С. В. Обнаружение *Parablennius incognitus* (Blennidae) у восточного побережья Черного моря, северная Абхазия // Вопросы ихтиологии. 2006. Т. 46, № 1. С. 22–28.
23. Карпова Е. П., Болтачев А. Р., Данилюк О. Н. Распространение редкого вида морских уточек – малоголовой присоски *Apletodon dentatus* (Actinopterygii, Gobiiesocidae) – у берегов Крыма // Морской биологический журнал. 2017. Т. 2, № 2. С. 41–48. doi:10.21072/mbj.2017.02.2.04
24. Шаганов В. В., Кулиш А. В. О встречаемости малоголовой рыбы-присоски *Apletodon dentatus* (gobiesocidae) в прибрежной зоне юго-восточного Крыма (Черное море) // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 3. С. 373–375. doi:10.7868/S0042875218030165
25. Прокофьев А. М. *Gobius cuentatus* (Gobiidae) в российских водах черноморского побережья Кавказа // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56, № 1. С. 117–120. doi:10.7868/S0042875216010124
26. Манило Л. Г., Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Бычки-вселенцы морских вод Крыма // Збірник праць Зоологічного музею. 2013. № 44. С. 50–69.
27. Васильева Е. Д., Богородский С. В. Два новых вида бычков (Gobiidae) в ихтиофауне Чёрного моря // Вопросы ихтиологии. 2004. Т. 44, № 5. С. 599–606.
28. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Бычок лысун Бата *Pomatoschistus bathi* (Perciformes, Gobiidae) – новый вид для ихтиофауны крымского побережья Чёрного моря // Морской экологический журнал. 2010. Т. 9, № 2. С. 57.
29. Болтачев А. Р., Васильева Е. Д., Данилюк О. Н. Первая находка китайского полосатого трехзубого бычка *Tridentiger trignocephalus* (Perciformes, Gobiidae) в Черном море (эстуарий реки Черная, Севастопольская бухта) // Вопросы ихтиологии. 2007. Т. 47, № 6. С. 847–850.
30. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Натурализация тихоокеанского полосатого трехзубого бычка *Tridentiger rignocephalus* (Perciformes, Gobiidae) в Черном море (Крым, Севастопольская бухта) // Вопросы ихтиологии. 2010. Т. 50, № 2. С. 231–239.
31. Карпова Е. П., Саксаганский В. В. Распределение рыб семейства бычковых (Gobiidae) у черноморского побережья Крыма // Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології: Тези IV Міжнар. іхтіол. наук.-практ. конф. Одеса, 2011. Одеськ. нац. ун-т ім. І.І. Мечнікова, 2011. С. 117–118.

32. Ковтун О. А. Первая находка бычка *Gammogobius steinitzi* Bath, 1971 (Actinopterygii, Perciformes, Gobiidae) в морских подводных пещерах западного Крыма (Черное море) // Морской экологический журнал. 2012. № 11(3). С. 56.
33. Ковтун О. А. Новая находка редкого бычка *Chromogobius quadrivittatus* (Actinopterygii, Perciformes, Gobiidae) в морской подводной пещере п-ова Тарханкут (Черное море) // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 1. С. 18.
34. Пашков А. Н., Решетников С. И., Махров А. А. К вопросу о встречаемости в водах Краснодарского края четырехполосого хромогобиуса *Chromogobius quadrivittatus* (Steindachner, 1863) (Pisces, Gobiidae) // Материалы VIII международной конференции «Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона». Керчь., 2013. С. 83–87. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library-7.pdf> (дата обращения: 14.02.2022).
35. Ковтун О. А., Карпова Е. П. *Chromogobius zebratus* (Kolombatovic, 1891) (Actinopterygii, Perciformes, Gobiidae) – новый для Черного моря вид бычка из морской подводной пещеры полуострова Тарханкут (западный Крым) // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13, № 1. С. 72.
36. Карпова Е. П., Болтачев А. Р. Распространение и биологические характеристики нового для Чёрного моря вида – бычка Кауча *Gobius couchi* (Gobiidae) // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 3. С. 267–275. doi:10.7868/S0042875218030049
37. Болтачев А. Р. Уточнение видовой принадлежности барракуды группы *Sphyræna obtusata* (Pisces: Sphyrænidae), обнаруженной в Черном море // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49, № 1. С. 135–137.
38. Первая находка *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) (Osteichthyes, Tetraodontidae) в Черном море в Севастопольской бухте, Крым / А. Р. Болтачев [и др.] // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13, № 4. С. 14.
39. Ихтиофауна прибрежной зоны Чёрного моря в районе бухты Ласпинская (Крым) / Э. Р. Аблязов [и др.] // Морской биологический журнал. 2021. Т. 6, № 2. С. 3–17. doi:10.21072/mbj.2021.06.2.01
40. Boltachev A., Karpova E. Penetration of Monrovia Surgeonfish *Acanthurus monroviae* (Perciformes: Acanthuridae) to the Black Sea // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2020. Vol. 20, iss. 8. P. 623–627. doi:10.4194/1303-2712-v20_8_05
41. Bariche M., Bilecenoglu M., Azzurro E. Confirmed presence of the Red Sea goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) in the Mediterranean Sea // BioInvasions Records. 2013. Vol. 2, iss. 2. P. 173–175. doi:10.3391/bir.2013.2.2.15
42. First record of the Red Sea goatfish, *Parupeneus forsskali* (Perciformes: Mullidae) from the Mediterranean coast of Israel / O. Sonin [et al.] // Marine Biodiversity Records. 2013. Vol. 6. P. 105. doi:10.1017/S175526721300079
43. Chartosia N., Michailidis N. First confirmed presence of the Red Sea goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) from Cyprus // Marine Biodiversity Records. 2016. Iss. 9. 33. doi:10.1186/S41200-016-0032-7
44. Первая поимка красноморской зубатой барабули *Parupeneus forsskali* (Osteichthyes: mullidae) у побережья Сирии (восточная часть Средиземного моря) / М. Али [и др.] // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56, № 4. С. 490.

Поступила 3.08.2021 г.; одобрена после рецензирования 22.10.2021 г.;
принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Гуськов Глеб Евгеньевич, научный сотрудник, Южный научный центр РАН (344006, Россия, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), **Author ID: 565650, ORCID ID: 0000-0002-3241-983X, Web of Science ResearcherID: AAP-3360-2021, Scopus Author ID: 57225102237, gleb_guskov@mail.ru**

Жердев Николай Александрович, ведущий научный сотрудник, Азово-Черноморский филиал «ВНИРО» («АзНИИРХ»), (344002, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-0580-1654, Russian Index Science Citation ID: 5337-4934, zherdev_52@mail.ru**

Бухмин Даниил Александрович, младший научный сотрудник, Южный научный центр РАН (344006, Россия, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), **Author ID: 691012, ORCID ID: 0000-0002-9046-986X, ResearcherID: L-7632-2016, greek_d@list.ru**

About the authors

Gleb E. Gus'kov, Research Associate, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation), **Author ID: 565650, ORCID ID: 0000-0002-3241-983X, Web of Science ResearcherID: AAP-3360-2021, Scopus Author ID: 55330382400, gleb_guskov@mail.ru**

Nikolay A. Zherdev, Leading Researcher, Azov-Black Sea Branch of “VNIRO” (“AzNIIRKH”) (21v Beregovaya St., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0002-0580-1654, Russian Index Science Citation ID: 5337-4934, zherdev_52@mail.ru**

Daniil A. Bukhmin, Junior Researcher Associate, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation), **Author ID: 691012 ORCID ID: 0000-0002-9046-986X, ResearcherID: L-7632-2016, greek_d@list.ru**

Заявленный вклад авторов:

Гуськов Глеб Евгеньевич – разработка концепции, формулировка и постановка задачи

Жердев Николай Александрович – формулирование выводов

Бухмин Даниил Александрович – подбор литературы по проблеме исследования

Contribution of the authors:

Gleb E. Gus'kov – development of the concept, problem statement

Nikolay A. Zherdev – conclusion formulation

Daniil A. Bukhmin – review of literature sources on the research problem

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Состояние сообщества фитопланктона в северо-восточной части Черного моря (2011–2020 гг.)

О. Н. Ясакова

Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: yasak71@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты исследования таксономического состава и количественного развития фитопланктона в районе Абхазии (Черное море) в весенне-осенний периоды 2011–2020 гг. Пробы воды отбирали с борта НИС «Денеб» ЮНЦ РАН на нескольких горизонтах, расположенных в верхнем слое моря, до 50 м. Обнаружено 109 видов фитопланктона из 10 классов, среди них 18 потенциально токсичных и вредоносных и два новых для восточного побережья Черного моря вида планктонных водорослей. Средние по акватории значения численности и биомассы составили 40.26 тыс. кл./л (от 8.8 тыс. кл./л осенью до 90 тыс. кл./л весной) и 74 мг/м³ (от 64 мг/м³ осенью до 78 мг/м³ летом). Наиболее высокие значения (79 тыс. кл./л и 113 мг/м³) отмечены в поверхностном слое моря (0–2 м), что в 1.5–18 раз выше, чем в других исследуемых слоях (10–50 м). Максимальное количество планктонных клеток (476 тыс. кл./л) наблюдали в верхнем слое моря в мае 2013 г., что было связано с интенсивным развитием примнезиевых водорослей (*Emiliania huxleyi*), которые в этот период формировали 95 % общей численности и 53 % биомассы. В целом основу численности и биомассы фитопланктона формировали диатомовые (30 и 31 % соответственно) и динофитовые водоросли (30 и 60 % соответственно). Весной и осенью повышалась роль криптофитовых водорослей (до 20 % общей численности).

Ключевые слова: фитопланктон, таксономический состав, численность, биомасса, район Абхазии, Черное море

Благодарности: публикация подготовлена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН № 122011900153-9. Выражаю глубокую признательность директору ЮНЦ РАН С. В. Бердникову, научному руководителю ЮНЦ РАН академику Г. Г. Матишову за организацию работ; команде НИС «Денеб» и научной группе ЮНЦ РАН за помощь в отборе гидробиологического материала в исследуемой акватории моря.

Для цитирования: Ясакова О. Н. Состояние сообщества фитопланктона в северо-восточной части Черного моря (2011–2020 гг.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 82–103. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-82-103

© Ясакова О. Н., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

The Status of Plankton Algocenosis in the North-East Part of the Black Sea (2011–2020)

O. N. Yasakova

*Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: yasak71@mail.ru*

Abstract

The paper presents the research results of taxonomic composition and quantitative development of phytoplankton in the Abkhazian sector of the Black Sea in spring-and-autumn periods 2011–2020. Water was sampled onboard the R/V *Deneb* of SSC RAS on several horizons in the upper layer of the sea, up to 50 m. One hundred and nine (109) species of phytoplankton of 10 classes were found, among them 18 potentially toxic and harmful and 2 new for the eastern coast of the Black Sea species of planktonic algae. The average values of abundance and biomass in the water area were 40.26 thousand cells/L (from 8.8 thousand cells/L in autumn to 90 thousand cells/L in spring) and 74 mg/m³ (from 64 mg/m³ in autumn to 78 mg/m³ in summer). The highest values (79 thousand cells/L and 113 mg/m³) were observed on the sea surface (0–2 m), which was 1.5–18 times higher than on other studied horizons (10–50 m). The maximum abundance of plankton cells (476 thousand cells/L) was observed in the upper sea horizon in May 2013. This was associated with intense development of primnesian algae (*Emiliania huxleyi*), which formed 95 % of the total abundance and 53 % of the biomass during that period. The basis of the phytoplankton abundance and biomass generally was formed by diatomic (30 % and 31 %, respectively) and dinophytic algae (30 % and 60 %, respectively). In spring and autumn, the role of cryptophytic algae increased (up to 20 % of the total abundance).

Keywords: phytoplankton, taxonomic composition, abundance, biomass, Abkhazian sector, Black Sea

Acknowledgements: the paper is prepared under SSC RAS state assignment no. 122011900153-9. The author is most grateful to S. V. Berdnikov, Director of SSC RAS, and G. G. Matishov, Scientific Supervisor of SSC RAS, for organization of work, and to R/V *Deneb* crew and scientific group of SSC RAS for assistance with hydrobiological sampling in the studied water area.

For citation: Yasakova, O.N., 2022. The Status of Plankton Algocenosis in the North-East Part of the Black Sea (2011–2020). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 82–103. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-82-103

Морские научные исследования в водах Республики Абхазия проводились до середины 1980-х гг. и были полностью прекращены в 1991 г. в связи с распадом СССР и военным конфликтом между Абхазией и Грузией. В июне 2010 г. в территориальных водах Республики Абхазия сотрудниками ЮНЦ РАН были возобновлены комплексные экосистемные исследования и сделана фоновая оценка современного экологического состояния абхазских вод. В составе фитопланктона идентифицирован 91 таксон (рангом ниже рода) микроводорослей из 8 отделов. Наибольшим видовым разнообразием отличались динофитовые и диатомовые водоросли – 49 и 17 видов

соответственно. Наибольшее количество видов было выявлено в родах *Chaetoceros*, *Protoperidinium*, *Prorocentrum*, *Gynmodinium*, *Dinophysis*, *Ceratium*. Основной вклад в формирование численности фитопланктона вносили мелкоклеточные зеленые и динофитовые водоросли [1, 2]. Максимальные значения численности и биомассы отмечены в приповерхностном слое моря (663.7 тыс. кл./л и 1.7 г/м³). Биомасса фитопланктона формировалась преимущественно за счет развития двух групп фитопланктона: динофитовых и диатомовых водорослей, что типично для летнего периода развития альгоценоза Черного моря [2]. В марте 2011 г. и в конце мая 2013 г. отмечали «цветение» кокколитофорид ($2 \cdot 10^6 - 4.4 \cdot 10^6$ кл./л) в Абхазском секторе Черного моря [3, 4].

В июне – сентябре 2016–2017 гг. в фитопланктоне Сухумского залива было обнаружено 55 таксонов: Bacillariophyta (21), Dinophyta (28), а также Cyanophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Chrysophyta. Средние значения численности фитопланктона за исследуемый период составили 234.0 ± 67.9 тыс. кл./л, биомассы – 471.0 ± 141.2 мг/м³. Максимальная численность (582 тыс. кл./л) наблюдалась в июле, максимальная биомасса (658–1120 мг/м³) – в августе. Летом (июнь – июль) повышалось значение кокколитофориды *Emiliana huxleyi* (80–96 % от общей численности фитопланктона). Диатомовые водоросли доминировали в конце лета – начале осени (82–94 % от общего обилия фитопланктона). В августе наблюдали обилие *Dactyliosolen fragilissimu*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, *Talassiosira* sp., *Skeletonema costatum* и в сентябре – *Cylindrotheca closterium*. Доля динофлагеллят в общей биомассе фитопланктона в июне – июле варьировала от 65 до 48 % (300–130 мг/м³). Массовыми были *Prorocentrum micans*, *Scrippsiella trochoidea*, *Dinophysis rotundata*, виды родов *Protoperidinium*, *Gyrodinium*, *Glenodinium*, *Gymnodinium*. Среди динофитовых водорослей зарегистрирован редкий для Черного моря вид *Peridinium quinquecorne*. В ходе исследования 2–8 % от общего обилия фитопланктона было сформировано эвгленовыми водорослями (родов *Eutreptia*, *Euglena*) и цианобактериями (*Oscillatoria*, *Lyngbya*). Присутствие этих видов указывает на более высокий уровень питательных веществ, загрязнение и опреснение морской акватории [5]. В составе фитопланктона устьевых участков рек побережья Абхазии было выявлено 84 таксона рангом ниже рода, среди них диатомовых – 44, зеленых – 17, эвгленовых – 10, других – 13 [6].

Таким образом, ранее проведенные в районе Абхазии исследования фитопланктона носили эпизодический характер и не отражали особенностей сезонных изменений обилия планктонных водорослей за многолетний период. Поэтому цель нашей работы – проследить основные изменения, происходящие в таксономической структуре, величинах численности и биомассы планктонных альгоценозов в основной вегетационный период (весна – осень) в 2011–2020 гг.

Характеристика района исследования

Гидрофизические условия в районе Абхазии были изучены в 2011–2013 гг. [3, 4]. Анализ многолетних данных, полученных в районе исследования показал, что среднемесячная температура воды на поверхности моря в течение года меняется от 8.7 °С в феврале до 25.7 °С в августе. Годовой диапазон среднемесячных значений солености в прибрежных районах моря не столь велик: средние значения были отмечены в июне – июле (16.63–16.68 ‰), наибольшие значения солености наблюдали с августа по январь (17.35–17.74 ‰), с февраля по май в связи с увеличением объема территориального стока значения солености сокращались (с 17.07 до 16.08 ‰).

Материал и методы

Исследования были выполнены в открытой части Черного моря в районе Абхазии в рейсах НИС «Денеб» ЮНЦ РАН в разные сезоны 2011–2020 гг. Изучение вертикальной структуры фитопланктона проводили на горизонтах 0, 5, 10, 25 и 50 м либо на 3–5 горизонтах: поверхность, ½ слоя воды до термоклина; в начале, непосредственно в слое и в конце термоклина. Всего было отобрано и обработано 247 проб. Пробы фитопланктона отбирали в светлое время суток в бутылки объемом 1–1.5 л, фиксировали раствором Люголя. С целью сохранения кокколитофорид дубликат проб фиксировали формалином до конечной концентрации 1–2 %. Для концентрирования проб применяли осадочный метод^{1,2)}. Количественный учет организмов фитопланктона производили с помощью микроскопов МИКМЕД-2 и МИКМЕД-5 в камерах объемом 0.05 и 0.1 мл с помощью объективов 10×/0.30 и 40×/0.65 не менее чем в трех повторностях. Для определения редких и крупных форм фитопланктона просматривали часть концентрата (1/5–1/10). Минимальный размер учитываемых клеток – 3–5 мкм. При идентификации видов использовали руководства [7, 8]. Сырую биомассу водорослей оценивали объемным методом, исходя из размеров и форм клеток по наиболее сходному геометрическому подобию, считая удельный вес водорослей равным единице, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток для каждого вида [9].

Для оценки сходства таксономического состава³⁾ микроводорослевых сообществ исследуемых акваторий Черного моря использовали коэффициент Сёренсена – Чекановского (Дайса) (C_s) [10]:

$$C_s = (2C / (A+B)) \cdot 100 \%,$$

где A , B – общее число видов, зарегистрированных в сравниваемых пробах; C – количество форм, общих для двух сравниваемых проб.

¹⁾ Макаревич П. Р., Дружков Н. В. Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч.1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество. Апатиты : КНЦ РАН, ММБИ, 1989. 50 с.

²⁾ Фёдоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М. : МГУ, 1979. С. 106–108.

³⁾ Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л. : ЛГУ, 1984. 288 с.

Результаты исследований

Таксономический состав

В период с 2011 по 2020 г. в составе фитопланктона исследованного района Абхазии было обнаружено 109 видов водорослей и несколько не идентифицированных до вида таксономических форм, относящихся к классам Bacillariophyceae (диатомовые), Dinophyceae (динофитовые), Prymnesiophyceae (примнезивые), Cyanophyceae (сине-зеленые), Dictyochophyceae (диктиоховые) и Ebridiphyceae (эбридиевые), Cryptophyceae (криптофитовые), Euglenophyceae (эвгленовые), Prasinophyceae (празинофитовые) и Chlorophyceae (зеленые) (приложение, табл. А.1). Наибольшим видовым разнообразием отличались динофитовые (71 вид) и диатомовые водоросли (27 видов). Другие классы насчитывали от 1 до 3 видов. Ранее (весенне-осенние периоды 2005–2011 гг.) проведенные исследования показали, что таксономический состав фитопланктона в открытой северо-восточной части Черного моря (СВЧМ) – от Керченского пролива до Абхазии – включает значительное количество видов динофитовых (78), в то время как разнообразие диатомовых водорослей (37) значительно им уступает [11]. Показатель общности видового состава (C_s) в районе Абхазии и российской открытой СВЧМ составил 86 %. Наибольшее количество видов (62–71) в районе Абхазии обнаружено в весенне-летние сезоны (май – июль) 2011–2013 гг., что обусловлено высоким разнообразием в составе альгоценоза тепловодных видов динофитовых водорослей (43–58). В другое время общее число видов фитопланктона было несколько ниже (42–50).

Солоноватоводные представители сине-зеленых (родов *Oscillatoria*, *Planktolyngbya*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*) и эвгленовых водорослей (*Eutreptia lanowii*, *Euglena viridis* и *Euglena* sp.), типичные для опресненных и эвтрофных водоемов, не были широко распространены и предпочитали верхние слои моря (0–15 м). Немногочисленные представители диктиоховых (*Dictyocha speculum*, *Octactis octonaria*) и эбридиевых (*Hermesinum adriaticum*) обычно обнаруживались в нижних исследуемых слоях (30–50 м). В районе исследований было выявлено 14 потенциально токсичных и вредоносных видов планктонных динофитовых водорослей родов *Ceratium*, *Prorocentrum*, *Dinophysis*, *Lingulodinium*, *Polykrikos*, *Protoceratium*, *Protoperidinium*; 2 вида диатомовых рода *Pseudonitzschia*; 2 вида сине-зеленых родов *Planktolyngbya*, *Aphanizomenon*, которые вследствие небольшой численности не могли оказать существенного негативного воздействия на морскую флору и фауну (приложение, табл. А.1).

В сентябре 2014 г. в исследуемом районе моря в небольшом количестве (в среднем 23 кл./л) встречался новый для восточной части Черного моря вид динофитовых водорослей – *Oxyphysis oxytoxoides* Kofoid. В своей обзорной статье по динофитовым водорослям Черного моря Л. М. Теренько указывает его как экзотический вид, известный только в водах болгарского побережья, где он, однако, зачастую становился причиной «цветения» воды [12, 13]. В мае 2013 г. был обнаружен (со средней численностью 8 кл./л) еще один новый для исследуемого района моря вид *Spatulodinium pseudonoctiluca* (Pouchet) J.Cachon & M.Cachon.

Количественные величины развития и их вертикальное распределение

Средние за весь исследуемый период значения численности и биомассы составили 40.26 тыс. кл./л и 74 мг/м³ соответственно. Значения численности были близки к среднемноголетним показателям (54 тыс. кл./л), отмеченным в открытой СВЧМ в слое 0–50 м в весенне-осенние периоды 2007–2011 гг.; а значения биомассы существенно (в четыре раза) им уступали (280 мг/м³) [11]. Наиболее высокие значения численности и биомассы в районе Абхазии (79 тыс. кл./л и 113 мг/м³) были отмечены на поверхности моря (0–2 м). В слое 10–20 м эти значения были в 1.4–2.3 раза ниже (35 тыс. кл./л и 81 мг/м³), а в слое 25–30 м (19 тыс. кл./л и 48 мг/м³) – в 2.3–4 раза ниже (рис. 1 и 2). В нижнем исследуемом слое моря (40–50 м) значения обилия фитопланктона (4.5 тыс. кл./л и 28 мг/м³) соответственно в 4–18 раз уступали поверхностным значениям.

Максимальное обилие планктонных клеток (476 тыс. кл./л) наблюдали в верхнем слое моря в мае 2013 г. Высокие значения численности (51 и 104 тыс. кл./л) на поверхности моря отмечали также в летние периоды 2011 и 2012 гг. Все пики численности были обусловлены интенсивным развитием примезиевых водорослей (*Emiliania huxleyi*), которые в этот период формировали до 95 % общей численности и 53 % биомассы фитопланктона⁴⁾. По сведениям исследователей ИО РАН, этот вид был причиной «цветения» воды в районе Абхазии на поверхности моря весной 2011 и 2013 гг. [3, 4]. В другие сезоны значения численности на поверхности моря не превышали 26 тыс. кл./л. В слое 10–20 м было отмечено два пика плотности клеток (87 и 112 тыс. кл./л) в июле 2012 г. и в мае 2013 г. В слое 25–30 м обнаружен один пик обилия (68 тыс. кл./л) в мае 2013 г.

Высокие значения биомассы (120–216 мг/м³) на поверхности моря отмечали в мае, июле 2011–2013 гг., в октябре 2011 г. и сентябре 2014 г.; в другое время эти значения в верхнем слое моря изменялись в диапазоне 45–92 мг/м³. Максимальные значения биомассы (140 мг/м³) в слое 10–20 м наблюдали в июле 2012 г., в течение остального исследуемого периода они составляли 32–93 мг/м³. В слое 25–30 м значения биомассы изменялись от 33 мг/м³ (июль 2011 г.) до 72 мг/м³ (апрель 2012 г.).

Сезонная динамика доминирующих классов и видов водорослей

В целом наиболее высокие общие значения численности фитопланктона в исследуемом столбе воды (поверхность – 50 м) были зарегистрированы в весенний период (90 тыс. кл./л). Летом общая численность снизилась более чем в два раза (39 тыс. кл./л), осенью – была минимальной (8.8 тыс. кл./л) и на порядок уступала весенним значениям. В то же время значения биомассы всего сообщества планктонных микроводорослей в исследуемом слое моря мало изменялись в зависимости от сезона: 66 мг/м³ весной и 64 мг/м³ – осенью, при этом некоторое увеличение биомассы наблюдали в летний период (78 мг/м³).

⁴⁾ Ясакова О. Н. Развитие фитопланктона в акватории Черного моря, район Абхазии в весенне-осенний период 2012 года // Материалы конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2015), г. Москва, 19-21 мая 2015 г. 2015. Т. 2. С. 362–365.

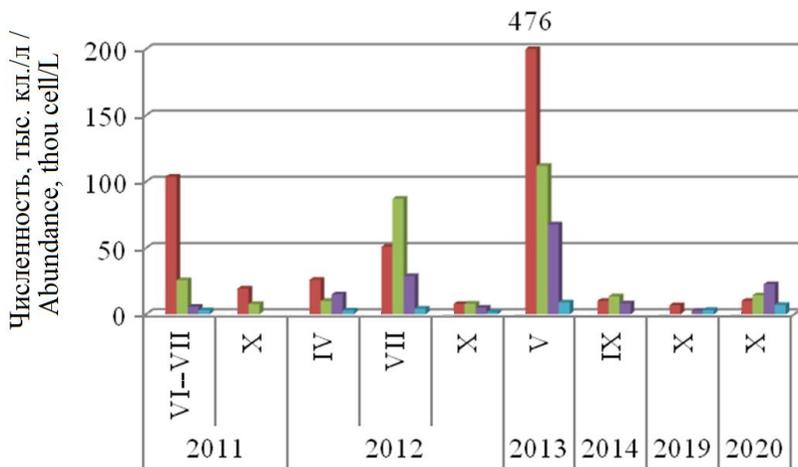


Рис. 1. Вертикальное распределение значений общей численности фитопланктона в слоях 0–2 м (красный цвет), 10–20 м (зеленый цвет), 25–30 м (фиолетовый цвет), 40–50 м (синий цвет) в районе Абхазии в разные сезоны 2011–2020 гг.

Fig. 1. Vertical distribution of the total phytoplankton abundance in layers 0–2 m (red), 10–20 m (green); 25–30 m (purple), 40–50 m (blue) in the Abkhazian sector of the Black Sea in different seasons of 2011–2020

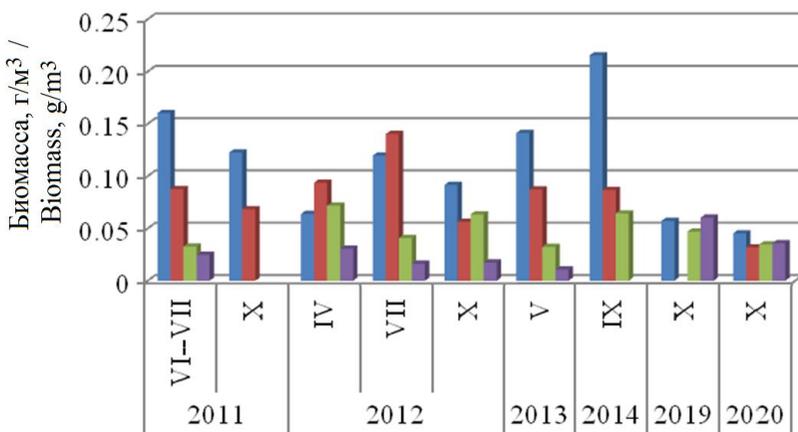


Рис. 2. Вертикальное распределение значений общей биомассы фитопланктона в слоях 0–2 м (синий цвет), 10–20 м (красный цвет), 25–30 м (зеленый цвет), 40–50 м (фиолетовый цвет) в районе Абхазии в разные сезоны 2011–2020 гг.

Fig. 2. Vertical distribution of the total phytoplankton biomass in layers 0–2 m (blue), 10–20 m (red), 25–30 m (green), 40–50 m (purple) in the Abkhazian sector of the Black Sea in different seasons of 2011–2020

Как указывалось выше, примнезиевые водоросли были одним из доминирующих компонентов планктона: они формировали от 36–68 % численности в июле 2011 и 2012 гг., 35–45 % – в октябре 2019 и 2020 гг., до 95 % численности в мае 2013 г.

Криптофитовые водоросли значительную часть численности (от 4 до 20 %) составляли в 2011, 2012 и 2014 гг. с максимальной долей (17–20 %), наблюдавшейся в апреле 2012 г. и сентябре 2014 г.

Диатомовые водоросли в среднем за период исследования формировали 30 % (от 1 до 55 %) общей численности и 31 % (от 5 до 77 %) биомассы. Их максимальную долю в значениях численности (55 %) наблюдали в апреле 2012 г.; в значениях биомассы (58–77 %) – в осенний период 2014 и 2019 гг. В значительном количестве среди них встречались некрупные виды водорослей родов *Chaetoceros*, *Pseudonitzschia*, а также *Dactyliosolen fragilissimus*, *Nitzschia tenuirostris*, *Thalassionema nitzschioides* и др. (приложение, табл. А.2). Основу биомассы диатомовых, как правило, формировал крупноклеточный вид *Pseudosolenia calcar-avis*, иногда повышалась роль *Proboscia alata*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. curvisetus* и *Thalassionema nitzschioides*.

Динофитовые водоросли также формировали в среднем 30 % общей численности (от 3 до 59 %), при этом на их долю приходилась основная компонента биомассы фитопланктона – в среднем 60 % (от 22 до 84 %). Высокую долю (50–59 %) динофитовых в значениях численности отмечали в осенний период 2012 и 2014 гг. В значениях биомассы (76–84 %) их роль возрастала в весенне-летние периоды 2011, 2012 гг. и в осенние периоды 2014 и 2020 гг. Доминирующими по численности были мелкие виды водорослей родов *Prorocentrum*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, а также *Heterocapsa rotundata*, *Katodinium glaucum*, *Torodinium robustum*. Основу биомассы чаще всего формировали крупноклеточные представители родов *Ceratium*, *Protoperidinium*, *Dinophysis*, а также *Polykrikos cofoidi*, *Gyrodinium spirale*, *Protoceratium reticulatum*, *Diplopsalis lenticula* и некоторые другие.

Надо отметить, что если в верхних слоях (0–20 м) наблюдали обилие примнезиевых водорослей, то в более глубоких слоях моря (30–50 м) повышалась роль динофитовых водорослей, вероятно вследствие их возможного перехода на гетеротрофный и миксотрофный типы питания.

Основу численности фитопланктона в открытой СВЧМ в весенне-осенние периоды 2007–2011 гг. также формировали диатомовые (40 %), примнезиевые (34 %) и динофитовые (23 %) водоросли. Наибольший вклад в биомассу фитопланктона вносили диатомовые (55 %) и динофитовые (42 %) водоросли. Руководящими видами по численности среди диатомовых были *Nitzschia tenuirostris*, *Thalassionema nitzschioides*, *Proboscia alata*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Skeletonema costatum*, виды родов *Chaetoceros* и *Pseudo-nitzschia*; среди динофитовых – *Prorocentrum cordatum*, *Scrippsiella trochoidea*, представители родов *Gymnodinium* и *Gyrodinium* [11]. Основную компоненту биомассы формировали многочисленные средне- и крупноклеточные виды диатомовых – *Proboscia alata*, *Pseudosolenia calcar-avis* и динофитовых водорослей родов *Ceratium*, *Protoperidinium*, *Scrippsiella* и *Prorocentrum*. В теплый период года (июнь – июль) в диапазоне температур от 20 до 24 °С также наблюдали увеличение доли *Emiliania huxleyi* (до 67 % обилия фитопланктона), вид предпочитал верхний (до 20 м) слой моря.

Выводы

В весенне-осенние периоды 2011–2020 гг. в районе Абхазии было обнаружено 109 видов фитопланктона из 10 классов, среди них 18 потенциально токсичных и вредоносных, и 2 новых для восточного побережья Черного моря вида планктонных водорослей. Видовое разнообразие несколько уступало видовому разнообразию, отмеченному в российском секторе открытой СВЧМ в 2005–2011 гг. (136 видов), однако показатель общности видового состава (коэффициент Сёренсена – Чекановского (Дайса), Cs) в сравниваемых районах был довольно высоким – 86 %.

Средние по акватории значения численности составили 40.26 тыс. кл./л и были близки к среднемноголетним показателям (54 тыс. кл./л), отмеченным в открытой СВЧМ в слое 0–50 м в весенне-осенние периоды 2007–2011 гг. Средние значения биомассы (74 мг/м^3) значительно (в четыре раза) уступали среднемноголетним значениям (280 мг/м^3).

В сезонной динамике пик численности фитопланктона (90 тыс. кл./л) в исследуемом слое моря (поверхность – 50 м) был зарегистрирован в весенний период; летом и осенью эти значения уменьшались в 2–10 раз. Значения биомассы мало изменялись в зависимости от сезона: 66 мг/м^3 – весной, 64 мг/м^3 – осенью и 78 мг/м^3 – летом.

Наиболее высокие значения (79 тыс. кл./л и 113 мг/м^3) отмечены в поверхностном слое моря (0–2 м), что в 1.5–18 раз выше, чем в других исследуемых слоях (10–50 м). Максимальное количество планктонных клеток (476 тыс. кл./л) наблюдали в верхнем слое моря в мае 2013 г., что было связано с интенсивным развитием примнезиевых водорослей (*Emiliania huxleyi*), которые в этот период формировали 95 % общей численности и 53 % биомассы. Повышение доли примнезиевых в теплый период года в целом регистрируют на всей открытой акватории СВЧМ.

Максимальное значение биомассы (216 мг/м^3) на поверхности моря отмечали в сентябре 2014 г. На 77 % она была образована крупноклеточным видом диатомовых водорослей *Pseudosolenia calcar-avis*, являющимся одним из доминирующих видов фитопланктона Черного моря.

В период исследований диатомовые и динофитовые водоросли в районе Абхазии так же, как и в российской открытой СВЧМ, формировали основу численности (в сумме 60 %) и биомассы фитопланктона (91 %). В апреле 2012 г. и сентябре 2014 г. значительную часть (17–20 %) общей численности составляли криптофитовые водоросли.

Таким образом, представленные материалы существенно дополняют опубликованные ранее результаты исследований фитопланктона Абхазского сектора Черного моря. Приведены новые данные о сезонной динамике видового разнообразия, количественного развития и горизонтального распределения планктонных водорослей в исследуемом районе моря.

Таблица А.1. Таксономический состав фитопланктона Черного моря в районе Абхазии в 2011–2020 гг.

Table A.1. Taxonomic composition of phytoplankton in the Abkhazian sector of the Black Sea in 2011–2020

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012			2013	2014	2019	2020	
	VI–VII	X	IV	VII	X	V	IX	X	X	
<i>BACILLARIOPHYCEAE:</i>										
<i>Serataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>Chaetoceros anastomosans</i> Grun	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Chaetoceros insignis</i> Proshkina-Lavrenko	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Chaetoceros scabrosus</i> Proshkina-Lavrenko	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Chaetoceros tortissimus</i> Gran	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Chaetoceros</i> spp.	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012		2013	2014	2019	2020		
	VI-VII	X	IV	VII	X	IX	X	X		
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunow	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyrosigma</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mer.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Planktoniella sol</i> (Wallich) Schutt	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>Pleurosigma elongatum</i> Smith	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle (complex)**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H.Peragallo (complex)**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudonitzschia</i> sp.	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundstrom	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-
DINOPHYCEAE:										
<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) Hansen et Moestrup**	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
<i>Alexandrium</i> sp.**	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012			2013	2014	2019	2020	
	VI-VII	X	IV	VII	X	V	IX	X	X	
<i>Amphidinium amphidinooides</i> (Geitler) Schiller	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Amphidinium crassum</i> Lohmann	-	-	-	-	-	+	-	+	-	
<i>Amphidinium longum</i> Lohmann	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Amphidinium sphenoides</i> Wulff	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Amphidinium</i> sp.	+	+	-	-	-	+	+	-	-	
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Ceratium fuscus</i> (Ehrenberg) Dujardin**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Ceratium tripos</i> (O.F.Müller) Nitzsch**	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
<i>Cochlodinium archimedes</i> (Pouchet) Lemmermann	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Cochlodinium citron</i> Kofoed & Swezy	+	+	+	+	-	+	-	+	+	
<i>Cochlodinium</i> sp.	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Dinophysis acuminata</i> Clap. et Lachm.**	+	-	+	+	+	+	-	+	-	
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg**	+	+	-	+	+	+	+	+	+	
<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Dinophysis hastata</i> Stein	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Dinophysis odiosa</i> (Pavillard) Tai & Skogsberg	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Dinophysis pulchella</i> (Lebour) Balech	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Dinophysis sacculus</i> Stein	+	+	-	-	-	+	+	-	-	

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012			2013	2014	2019	2020	
	VI-VII	X	IV	VII	X	V	IX	X	X	
<i>Dinophysis</i> sp.	+	+	-	-	+	+	-	-	-	
<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Diplopsalis</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Dissodinium pseudolumula</i> Swift ex Elbrächter & Drebes	-	-	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Ensculifera carinata</i> Matsuoka, Kobayashi & Gains	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Glenodinium</i> sp.	+	-	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Gymnodinium agile</i> Kofoid et Swezy, 1921	-	+	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Gymnodinium aglifforme</i> J. Schiller, 1928	-	+	-	+	+	+	+	-	-	
<i>Gymnodinium blax</i> Harris.	+	-	-	+	-	+	+	-	+	
<i>Gymnodinium nana</i> Schiller	+	+	-	+	+	-	-	-	-	
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohm.) Kofoid et Swezy	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
<i>Gymnodinium wulffii</i> Schill.	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
<i>Gymnodinium</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Gyrodinium flagellare</i> Schiller	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid & Swezy	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
<i>Gyrodinium spirale</i> (Bergh) Kofoid et Swezy	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Gyrodinium</i> sp.	+	+	-	+	+	+	-	+	-	
<i>Gonyaulax digitalis</i> (Pouchet) Kofoid	+	+	-	+	+	+	-	+	-	
<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Clap. et Lachm.) Diesing	+	-	+	+	+	+	+	+	-	

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012			2013	2014	2019	2020	
	VI-VII	X	IV	VII	X	V	IX	X	X	
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech	-	-	-	+	-	+	-	-	+	
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Protoperidinium crassipes</i> (Kofoid) Balech**	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech	+	-	+	+	-	+	+	-	+	
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech	+	+	+	+	+	+	+	+	-	
<i>Protoperidinium globulus</i> (Stein) Balech	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech	+	-	+	-	-	+	-	-	-	
<i>Protoperidinium knipowitschii</i> (Usachev) Balech	-	+	-	+	+	+	-	-	-	
<i>Protoperidinium oblongum</i> (Auriv.) Parke et Dodge	+	-	-	+	+	+	+	+	-	
<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld) Balech	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh	+	-	+	+	-	+	+	-	+	
<i>Protoperidinium sinaticum</i> (Matzenauer) Balech	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen) Balech	+	+	-	+	+	+	+	+	+	
<i>Protoperidinium thorianum</i> (Paulsen) Balech	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Protoperidinium</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Polykrikos kofoidii</i> Chatton**	+	+	+	+	+	+	-	-	+	
<i>Protoperidinium reticulatum</i> (Clap. et Lachm.) Butschli**	+	+	-	+	+	+	+	+	+	
<i>Protoperidinium areolatum</i> Kofoid**	-	-	-	-	+	+	-	-	-	
<i>Pyrocystis lunula</i> (Schütt) Schütt (= <i>Gymnodinium lunula</i> Schütt)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	

Продолжение таблицы / Continued

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012		2013	2014	2019	2020		
	VI-VII	X	IV	VII	X	IX	X	X		
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Balech ex Loeblich	+	+	+	+	+	+	-	-	+	
<i>Spatulodinium pseudonostilica</i> (Pouchet) J.Cachon & M.Cachon*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Torodinium robustum</i> Kofoed & Swezy	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Spora dinophyta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRYMNESIOPHYCEAE:										
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay et Mohler	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+
<i>Isochrysis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
DICTYOCOPHYCEAE:										
<i>Dityocha speculum</i> Ehrenberg	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+
EBRIAPHYCEAE:										
<i>Hermesinium adriaticum</i> Zacharias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
CYANOPHYCEAE:										
<i>Anabaena</i> sp.	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Aphanizomenon elenkinii</i> Kisselev**	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komarková-Legnerová & Cronberg**	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+

Таксоны водорослей / Algae taxa	Год и месяц исследования / Year and month of the study									
	2011		2012		2013	2014	2019	2020		
	VI-VII	X	IV	VII	X	V	IX	X	X	X
CRYPTOPHYCEAE: <i>Plagioselmis prolonga</i> Butcher ex Novarino	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
EUGLENOPHYCEAE: <i>Euglena</i> sp.	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+
<i>Euglena viridis</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Eutreptia lanowii</i> Steuer	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
PRASINOPHYCEAE: <i>Pterosperma undulatum</i> Ostensfeld	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
CHLOROPHYCEAE: <i>Scenedesmus</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-

* Новый для восточной части Черного моря вид / New for the eastern part of the Black Sea species.

** Потенциально токсичный или вредоносный вид / Potentially toxic or harmful species.

Примечание: Названия видов даны в соответствии с международной классификацией *Algaebase* (URL: <https://www.algaebase.org/search/species>) и *WORMS* (URL: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search>).

Note: Species names are given according to global classification *Algaebase* (Available at: <https://www.algaebase.org/search/species>) and *WORMS* (Available at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search>).

Таблица А.2. Доминирующие классы и виды водорослей в районе Абхазии в разные сезоны 2011–2020 гг.
 Table A.2. Dominant taxa of phytoplankton in the Abkhazian sector of the Black Sea in different seasons of 2011–2020

Год и месяц исследования / Year and month of the study	Доминирующие по численности / Dominant in abundance	Доминирующие по биомассе / Dominant in biomass
VI–VII	Криптофитовые, 6 %: <i>Plagioselmis prolonga</i> Примнезневые, 36 %: <i>Emiliania huxleyi</i> Диадомовые, 39 %: <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Thalassionema nit-schitoides</i> Динофитовые, 17 %: <i>Gyrodinium fusiforme</i> , виды рода <i>Gymnodinium</i> , <i>Prorocentrum cordatum</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i>	Диадомовые, 22 %: <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 76 %: <i>Ceratium tripos</i> , <i>C. furca</i> , <i>Diplopsalis lenticula</i> , <i>Ensiculifera carinata</i> , <i>Protoperidinium divergens</i> , <i>P. crassipes</i> , <i>P. steinii</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> .
2011	Криптофитовые, 9 %: <i>Plagioselmis prolonga</i> Диадомовые, 47 %: <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Ch. compressum</i> , <i>Dactylosolen fragilissimus</i> , <i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i> , <i>Thalassionema nit-schitoides</i> , <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 42 %: виды рода <i>Gymnodinium</i> , <i>Prorocentrum cordatum</i> , <i>P. micans</i> , <i>Katodinium glaucum</i> , <i>Torodinium robustum</i>	Диадомовые, 34 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 65 %: виды рода <i>Ceratium</i> , <i>Dinophysis caudata</i> , <i>D. rotundata</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Protoperidinium divergens</i> , <i>P. crassipes</i> , <i>P. steinii</i> , <i>Protoceratium reitculatum</i>
2012	Криптофитовые, 17 %: <i>Plagioselmis prolonga</i> Диадомовые, 55 %: <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>C. insignis</i> , <i>C. curvisetus</i> , <i>Chaetoceros</i> sp., <i>Nitzschia tenuirostris</i> , <i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i> и <i>Proboscia alata</i> Динофитовые, 26 %: <i>Prorocentrum cordatum</i> , <i>Katodinium glaucum</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> , виды родов <i>Gymnodinium</i> и <i>Gyrodinium</i>	Диадомовые, 22 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> и <i>Proboscia alata</i> , виды родов <i>Chaetoceros</i> и <i>Coscinodiscus</i> Динофитовые, 77 %: <i>Ceratium tripos</i> , <i>C. fusus</i> , <i>C. furca</i> , <i>Diplopsalis lenticula</i> , <i>Protoperidinium crassipes</i> и <i>P. depressum</i>

Год и месяц исследования / Year and month of the study	Доминирующие по численности / Dominant in abundance	Доминирующие по биомассе / Dominant in biomass
VII	<p>Примнезевые, 68 %: <i>Emiliana huxleyi</i></p> <p>Диадомовые, 5 %: <i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i>, <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> и <i>Nitzschia tenuirostris</i></p> <p>Днофитовые, 21 %: <i>Gymnodinium simplex</i>, <i>G. nana</i>, <i>G. blax</i>, <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Gyrodinium fusiforme</i>, <i>Katodinium glaucum</i>, <i>Prorocentrum cordatum</i>, <i>Lessardia elongata</i>, <i>Amphidinium longum</i></p>	<p>Диадомовые, 12 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i>.</p> <p>Днофитовые, 83 %: <i>Ceratium furca</i>, <i>C. tripos</i>, <i>Diplopsalis lenticula</i>, <i>Dinophysis caudata</i>, <i>D. rotundata</i>, <i>Lingulodinium polyedrum</i>, <i>Protoperidinium divergens</i>, <i>P. crassipes</i>, <i>Polykrikos kofoidii</i></p>
2012	<p>Криптофитовые, 4 %: <i>Plagioselmis prolonga</i></p> <p>Диадомовые, 45 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i>, <i>Chaetoceros affinis</i>, <i>Thalassionema nitzschioides</i>, <i>Chaetoceros compressum</i>, <i>Skeletonema costatum</i>, <i>Hemiaulax hauckii</i></p> <p>Днофитовые, 50 %: <i>Prorocentrum cordatum</i>, род <i>Gymnodinium</i>, <i>Gyrodinium fusiforme</i> <i>Scrippsiella trochoidea</i>, <i>Torodinium robustum</i></p>	<p>Диадомовые, 42 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i></p> <p>Днофитовые, 57 %: <i>Ceratium furca</i>, <i>C. tripos</i>, <i>Dinophysis rotundata</i>, <i>Akashiwo sanguinea</i>, <i>Protoperidinium divergens</i>, <i>P. crassipes</i></p>
2013	<p>Примнезевые, 95 %: <i>Emiliana huxleyi</i></p> <p>Диадомовые, 1 %: <i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i></p> <p>Днофитовые, 3 %: виды родов <i>Gymnodinium</i>, <i>Gyrodinium</i>, <i>Prorocentrum</i>, <i>Scrippsiella trochoidea</i>, <i>Torodinium robustum</i></p>	<p>Примнезевые, 53 %: <i>Emiliana huxleyi</i></p> <p>Диадомовые, 5 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i></p> <p>Днофитовые, 41 %: <i>Ceratium furca</i>, <i>C. tripos</i>, <i>P. micans</i>, <i>Protoperidinium crassipes</i>, <i>Dinophysis acuta</i>, <i>D. rotundata</i>, <i>Spatulodinium pseudonociluca</i>, <i>Polykrikos kofoidii</i></p>

Год и месяц исследования / Year and month of the study	Доминирующие по численности / Dominant in abundance	Доминирующие по биомассе / Dominant in biomass
2014	IX Криптофитовые, 20 %: <i>Plagioselmis prolunga</i> Диадомовые, 20 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> и <i>Thalassionema nitzschioides</i> Динофитовые, 59 %: <i>Gyrodinium fusiforme</i> , <i>Katodinium glaucum</i> , <i>Akashiwo sanguinea</i> , род <i>Gymnodinium</i>	Диадомовые, 77 %: <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 22 %: <i>Ceratium tripos</i> , <i>C. fuscus</i> , <i>C. furca</i> , <i>Dinophysis rotundata</i> , <i>Protoperidinium depressum</i>
2019	X Примнезневые, 35 %: <i>Emiliania huxleyi</i> Диадомовые, 44 %: <i>Proboscia alata</i> , <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Ch. scabrosus</i> , <i>Ch. tortissimus</i> , <i>Pseudo-nitzschia seriata</i> , <i>Ps. pseudodelicatissima</i> , и <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 17 %: <i>Prorocentrum cordatum</i> и <i>P. micans</i> , виды родов <i>Gymnodinium</i> , <i>Gyrodinium</i>	Диадомовые, 58 %: <i>Proboscia alata</i> , род <i>Chaetoceros</i> , <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 41 %: <i>Ceratium furca</i> , <i>C. fuscus</i> , <i>Diplopsalis lenticula</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Protoceratium reticulatum</i> , представители родов <i>Dinophysis</i> , <i>Gyrodinium</i> и <i>Protoperidinium</i>
2020	X Примнезневые, 45 %: <i>Emiliania huxleyi</i> и <i>Isochrysis</i> sp. Диадомовые, 17 %: <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i> Динофитовые, 36 %: <i>Prorocentrum cordatum</i> , <i>P. micans</i> , <i>Heterosapsa rotundata</i> , <i>Katodinium glaucum</i> , <i>Torodinium robustum</i>	Диадомовые, 9 %: <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i> и <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Динофитовые, 84 %: <i>Dinophysis rotundata</i> , <i>Polykrikos cofoidi</i> , <i>Gyrodinium spirale</i> , <i>Protoceratium reticulatum</i> , <i>Protoperidinium divergens</i> , <i>Ceratium tripos</i> , <i>C. fuscus</i> , <i>C. furca</i> и <i>Prorocentrum micans</i>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г. Г., Матишов Д. Г., Степаньян О. В. Оценка современного состояния экосистемы Черного моря (Республика Абхазия) // Доклады Академии наук. 2014. Т. 454, № 6. С. 715–719. <https://doi.org/10.7868/S0869565214060218>
2. Матишов Г. Г., Степаньян О. В. Морские исследования у берегов Абхазии // Природа. 2014. № 11. С. 70–78.
3. Гидрофизические условия формирования цветения кокколитофорид в водах Абхазского сектора северо-восточной части Черного моря в марте 2011 г. / В. Г. Якубенко [и др.] // Экология гидросферы. 2018. № 1.
4. Гидрофизические факторы формирования интенсивного «цветения» кокколитофориды *Emiliania huxleyi* в Абхазском секторе Черного моря в конце мая 2013 г. / В. Г. Якубенко [и др.] // Экология гидросферы. 2019. № 1(3). С. 52–67.
5. Study of ecosystem of the Sukhum Bay with emphasis anthropogenic impact, Abkhazian Black Sea coast / Zh. P. Selifonova [et al.] // Ecologica Montenegrina. 2019. Vol. 22. P. 108–116. <https://doi.org/10.37828/em.2019.22.8>
6. Состояние устьевых участков рек республики Абхазия и их влияние на побережье Черного моря / Н. М. Мингазова [и др.] // Морской биологический журнал. 2016. Т. 1, № 4. С. 30–39. <https://doi.org/10.21072/mbj.2016.01.4.04>
7. Dodge J. D. Marine Dinoflagellates of the British Isles. London : HMSO, 1982. 303 p.
8. Identifying marine phytoplankton / Edited by C. R. Tomas. Academic Press, 1997. 821 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9>
9. Зотов А. Б. Унификация расчета объема клеток микроводорослей Черного моря в соответствии со стандартом ЕС // Альгология. 2018. Т. 28, № 2. С. 208–232.
10. Clarke K. P., Warwick R. M. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Bournemouth : Natural Environment Res. Council, 1994. 144 p.
11. Ясакова О. Н., Макаревич П. П. Фитопланктон северо-восточной части Черного моря. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 176 с.
12. Теренько Л. М. Видовой состав и распространение динофитовых водорослей (DINOPHYTA) Черного моря // Альгология. 2007. Т. 17. С. 53–70.
13. Moncheva S., Krastev A. Some aspects of phytoplankton long-term alterations off Bulgarian Black Sea shelf // Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea / Edited by E. Özsoy, A. Mikaelyan. Dordrecht : Springer, 1997. P. 79–93. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-5758-2>

Поступила 17.09.2021 г.; одобрена после рецензирования 18.01.2022 г.;
принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторе:

Ясакова Ольга Николаевна, научный сотрудник, Южный научный центр РАН (344006, Россия, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-0728-6836**, **ResearcherID: AAQ-2213-2021**, **Scopus Author ID: 21744327900**, *yasak71@mail.ru*

About the author:

Olga N. Yasakova, Research Associate, Southern Scientific Center of RAS (41 Chekhova Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-0728-6836**, **ResearcherID: AAQ-2213-2021**, **Scopus Author ID: 21744327900**, *yasak71@mail.ru*

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Мейобентос Севастопольской бухты (Черное море): современное состояние и многолетние изменения

Е. В. Гусева, С. В. Алёмов*

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

*e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru

Аннотация

Приведены данные о плотности и таксономическом составе мейобентосного населения б. Севастопольской (Черное море) в 2018 г., которые сравнены с результатами предыдущих исследований. Данные получены стандартными гидробиологическими методами. В составе многоклеточного мейобентоса бухты определены 11 крупных таксонов: Nematoda, Harpacticoida, Ostracoda, Kinorhyncha, Halacaridae, которые отнесены к эвмейобентосу, и мелкие экземпляры Polychaeta, Oligochaeta, Turbellaria, Nemertea, Amphipoda, Cumacea псевдомейобентоса. Доминировали нематоды, составляя в среднем от 37.7 до 88.5 % общей численности мейобентоса. Численность мейобентоса изменялась от 8 до 248 экз./10 см², при этом наблюдалась неравномерность распределения мейобентоса по бухте. Стабильно низкими показателями численности характеризуются б. Артиллерийская и участок в центре б. Севастопольской. На других участках наблюдали широкую вариабельность характеристик мейобентоса. Более подробно рассмотрены вершина б. Севастопольской и б. Южная, где за 25 лет произошли наибольшие изменения по изучаемым параметрам. В 2018 г. здесь отмечены самые высокие показатели таксономического разнообразия и плотности поселения организмов мейобентоса. Неравномерность распределения мейобентоса в очень протяженной б. Севастопольской связана как с разным гранулометрическим составом донных отложений, так и с влиянием многочисленных разнообразных источников загрязнения. Эта неравномерность сохраняется в течение длительного времени при достоверной разнице между показателями разных лет, изменения в различных частях бухты происходят довольно синхронно.

Ключевые слова: мейобентос, многолетние изменения, Севастопольская бухта, Черное море

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8), гранта РФФИ № 18-44-920028 р_а «Анализ современного состояния структурно-функциональной организации донных биоценозов Севастопольского региона и их устойчивости под влиянием изменчивости природно-антропогенных факторов».

© Гусева Е. В., Алёмов С. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Гусева Е. В., Алёмов С. В. Мейобентос Севастопольской бухты (Черное море): современное состояние и многолетние изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 104–112. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-104-112

Meiobenthos of Sevastopol Bay (Black Sea): Current State and Long-Term Changes

E. V. Guseva, S. V. Alyomov*

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

**e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru*

Abstract

The paper presents data (density, taxonomic composition) on the meiobenthos population of Sevastopol Bay (the Black Sea) in 2018 as compared with the results of previous studies. The data were obtained using standard hydrobiological methods. Eleven large taxa were identified as part of the bay's multicellular meiobenthos: Nematoda, Harpacticoida, Ostracoda, Kinorhyncha, Halacaridae categorized as eumeobenthos, and small specimens of Polychaeta, Oligochaeta, Turbellaria, Nemertea, Amphipoda, Cumacea categorized as pseudomeiobenthos. Nematodes dominated, averaging from 37.7 to 88.5 % of the total number of meiobenthos. The meiobenthos density varied from 8 to 248 ind./10 cm² while the meiobenthos distribution across the bay was uneven. Artilleryyskaya Bay and an area in the centre of Sevastopol Bay were marked by consistently low values of the meiobenthos density. At other sites, meiobenthos characteristics varied widely. The paper considers in greater detail Yuzhnaya Bay and the top of Sevastopol Bay, where the largest changes in the studied parameters have occurred over the past 25 years. In 2018, the highest indices of taxonomic diversity and the density of meiobenthos organisms were noted here. Uneven distribution of meiobenthos in very extended Sevastopol Bay is associated both with different particle size distribution of bottom sediments and with the influence of numerous various sources of pollution. This unevenness persists for a long time with a significant difference among the values of various years; changes in different parts of the bay occur rather synchronously.

Keywords: meiobenthos, long-term changes, Sevastopol Bay, Black Sea

Acknowledgements: the work was performed under state assignment of IBSS on topic “Molismological and biogeochemical foundations of the marine ecosystems homeostasis” (no. 121031500515-8) and RFBR grant “Analysis of the current state of the structural and functional organization of bottom biocenoses of the Sevastopol region and their stability under the influence of variability of natural and anthropogenic factors” (no. 18-44-920028 p_a).

For citation: Guseva, E.V. and Alyomov, S.V., 2022. Meiobenthos of Sevastopol Bay (Black Sea): Current State and Long-Term Changes. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 104–112. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-104-112

Введение

Изучение мейобентоса прибрежных акваторий Севастополя имеет значительную историю. Так, первые сведения о нематодах даны в работах И. Н. Филиппева в 1918 г. Фаунистические исследования разных таксономических групп этой группировки бентоса проводились в течение XX в. [1]

и продолжают сейчас [2, 3]. Направление работ, выполняемых в отделе морской санитарной гидробиологии ФИЦ ИнБЮМ, – изучение зависимости распределения мейобентосных организмов от уровня загрязнения донных осадков. Эти работы начаты более 30 лет назад и выполняются с периодичностью комплексных санитарно-биологических съемок раз в три года. Севастопольская бухта вытянута в широтном направлении и имеет протяженность 7 км, в вершине находится место впадения р. Черной, чьим палеоруслом бухта и является; устье, суженное молами, раскрыто на запад. Береговая линия сильно изрезана и образует множество меньших бухт, которые отличаются друг от друга глубиной, типами донных осадков и характером водообмена. По берегам и в акватории бухты расположены различные промышленные объекты, которые, как и жилищная застройка, являются источниками гетерогенных загрязнений [4]. Характер и уровень загрязнения бухты за четверть века неоднократно менялись, что было вызвано социально-экономическими причинами [5, 6].

В связи с накопленными в ходе многолетнего мониторинга новыми данными цель работы – охарактеризовать современное состояние мейобентоса б. Севастопольской и провести сравнение с аналогичными показателями предыдущих лет [7, 8]. Подробнее рассмотрены наиболее замкнутые участки с ограниченным водообменом, относимые к умеренно- и сильно-загрязненным [9, 10].

Материалы и методы

В 2018 г. мейобентос донных осадков б. Севастопольской исследовали на 27 постоянных мониторинговых станциях (рис. 1) в сезон «биологического лета» [11] (в июле – августе), как и во время съемок 1994–2006 гг. Материал отбирали трубкой диаметром 3.4 см в трех повторностях из грунта, поднятого на борт судна дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.038 м². Пробы донных отложений промывали через сито с диаметром ячеек 1 мм для отделения организмов макробентоса. Фильтрат улавливали мельничным газом 76ПА-50 (размер ячеек 0.082 мкм), осадок фиксировали 96 %

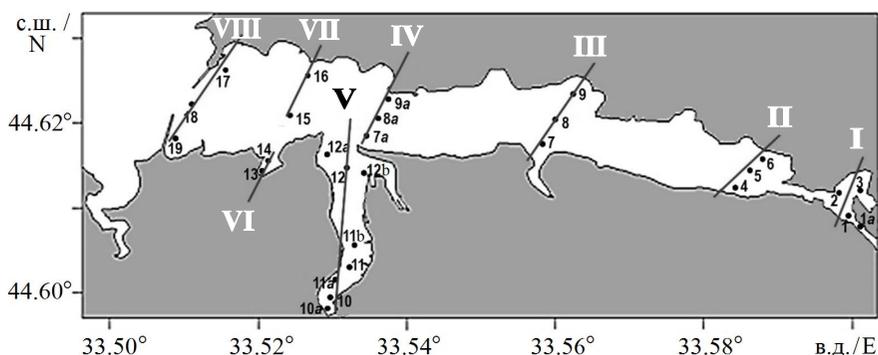


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб мейобентоса в комплексных санитарно-биологических съемках. Римскими цифрами обозначены разрезы

Fig. 1. Grid of meibenthos sampling stations during complex sanitary and biological surveys. Roman numerals stand for transects

этанолом. Пробы микроскопировали с использованием камеры Богорова для определения численности представителей основных таксономических групп мейобентоса с пересчетом плотности организмов на 10 см².

Результаты и обсуждение

В отобранных пробах обнаружены представители таксонов Nematoda, Harpacticoida, Ostracoda, Kinorhyncha, Halacaridae, относимых к эвмейобентосу, и мелкие Polychaeta, Oligochaeta, Turbellaria, Nemertea, Amphipoda, Cumacea, относящиеся к псевдомейобентосу. Всего определено 11 крупных таксонов (рис. 2).

На рис. 2 видно, что доминируют нематоды, составляя в среднем от 34.9 до 85.7 % общей численности мейобентоса. Гарпактикоиды также представлены на всех станциях, составляя от 14.6 до 25.1 %. Остальные группы встречены не на всех станциях, и их доля составляла менее 10 %, за исключением киноринх в устьевой части бухты (16.6 %) и полихет в вершине (25.7 %), а также в устье (15.2 %). Численность мейобентоса изменялась от 8 до 248 экз./10 см² (рис. 3). Минимальные значения отмечены на разрезах III и VI (б. Артиллерийская), максимальные – на разрезе V (б. Южная).

Подробно рассмотрены участки бухты, где донные отложения в течение длительного времени относятся к загрязненным [7, 8, 10]. Это районы Инкерманского ковша и прилегающей акватории (разрезы I и II), а также б. Южная (разрез V).

Мейобентос вершины б. Севастопольской на ст. 1–6 представлен восьмью крупными таксонами с преобладанием эвмейобентоса, в котором, в свою очередь, доминировали нематоды (от 20.0 до 100.0 %) (рис. 4). Гарпактикоиды составляли до 41.4 % общей численности. На ст. 3 значительный вклад в численность вносили остракоды. Псевдомейобентос представлен червями с преобладанием полихет, вклад которых в общую численность был значительным на предустьевом участке (место впадения р. Черной, ст. 1). В самом устье (ст. 1а) численность мейобентоса незначительная. Общая

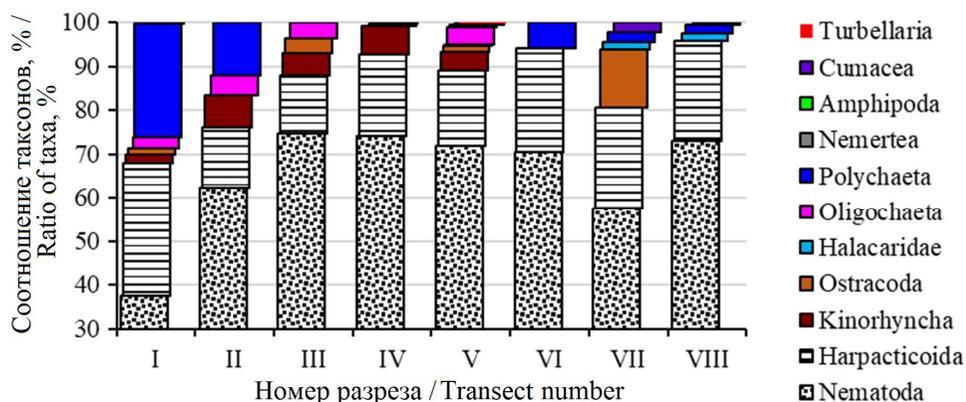
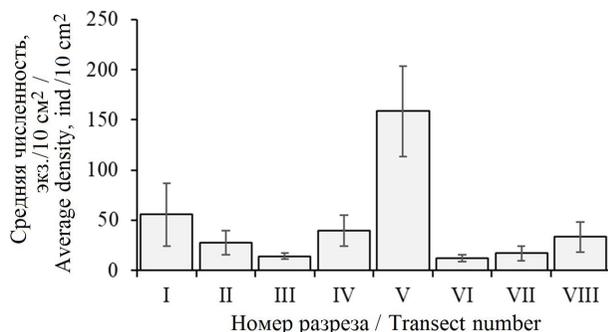


Рис. 2. Представленность и соотношение таксонов мейобентоса в б. Севастопольской в 2018 г.

Fig. 2. Representation and ratio of meiobenthos taxa in Sevastopol Bay in 2018



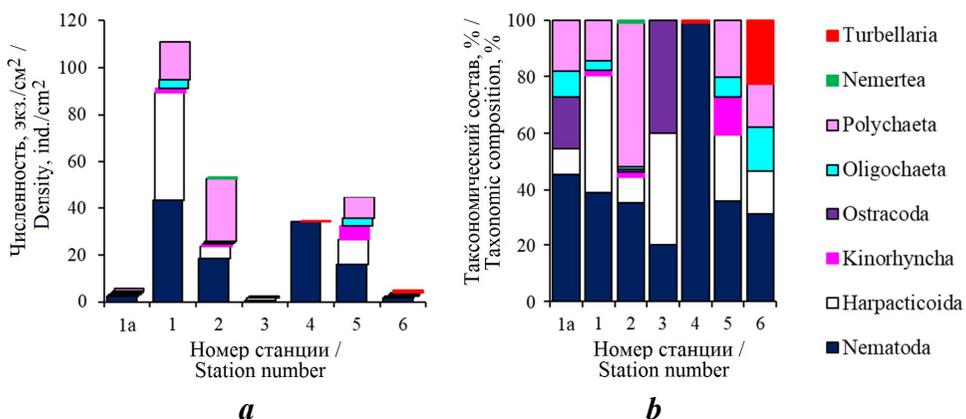
Р и с. 3. Средняя численность мейобентоса в б. Севастопольской в 2018 г.

Fig. 3. The average density of meiobenthos of Sevastopol Bay in 2018

численность изменялась в пределах 4.4–128.2 экз./10 см² с максимальными значениями на ст. 1, там же отмечено максимальное таксономическое разнообразие.

Мейобентос б. Южной (ст. 10–12) представлен девятью крупными таксонами со значительным преобладанием эвмейобентоса (рис. 5). В нем, в свою очередь, доминировали нематоды (37.1–83.0 %). Гарпактикоиды составляли от 3.1 до 58.4 % общей численности. Псевдомейобентос представлен в основном ювенальными экземплярами червей с преобладанием олигохет. На двух станциях отмечены высшие ракообразные (кумацеи). Общая численность мейобентоса изменялась в пределах 32.3–321.6 экз./10 см² с тенденцией к возрастанию по направлению к выходу из бухты.

Ввиду малого объема выборки для сравнения полученных на станциях I, II, V данных о численности мейобентосного населения и его таксономического богатства в 2018 г. с аналогичными показателями прошлых



Р и с. 4. Численность (a) и таксономический состав (b) мейобентоса вершинной трети б. Севастопольской бухты, 2018 г.

Fig. 4. Density (a) and taxonomic composition (b) of meiobenthos at the top third of Sevastopol Bay, 2018

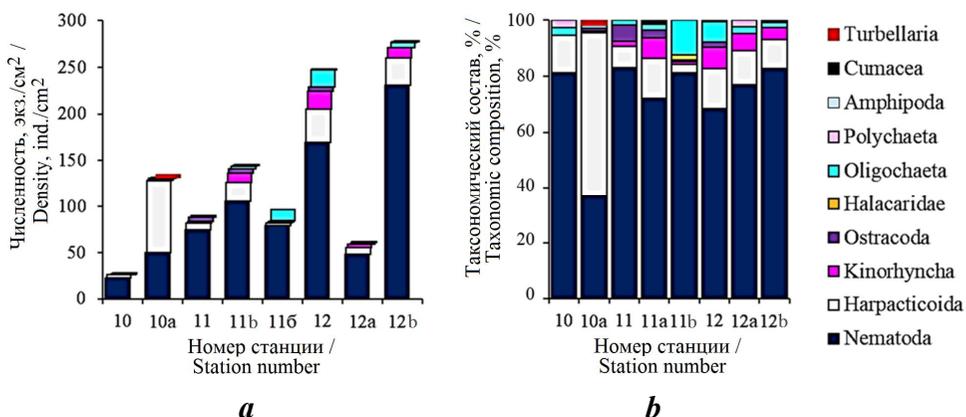


Рис. 5. Численность (а) и таксономический состав (б) мейобентоса б. Южной, 2018 г.

Fig. 5. Density (a) and taxonomic composition (b) of meiobenthos of Yuzhnaya Bay, 2018

съемок использовали непараметрические методы статистики. Для проверки достоверности гипотезы о пространственной и межгодовой изменчивости плотности поселения и его таксономического разнообразия мейобентоса использовали дисперсионный анализ Фридмана (*Friedman ANOVA and Kendall's concordance*). Различия считали статистически достоверными при уровне значимости 0.05. Обработку данных производили с помощью программных пакетов *Microsoft Excel* и *Statistica 12*.

Дисперсионный анализ показал отсутствие статистически достоверных различий в изменении плотности поселения мейобентоса по станциям разрезов I, II, V ($p = 0.48$, коэффициент конкордации ($CC = 0.14$)) (рис. 6, а).

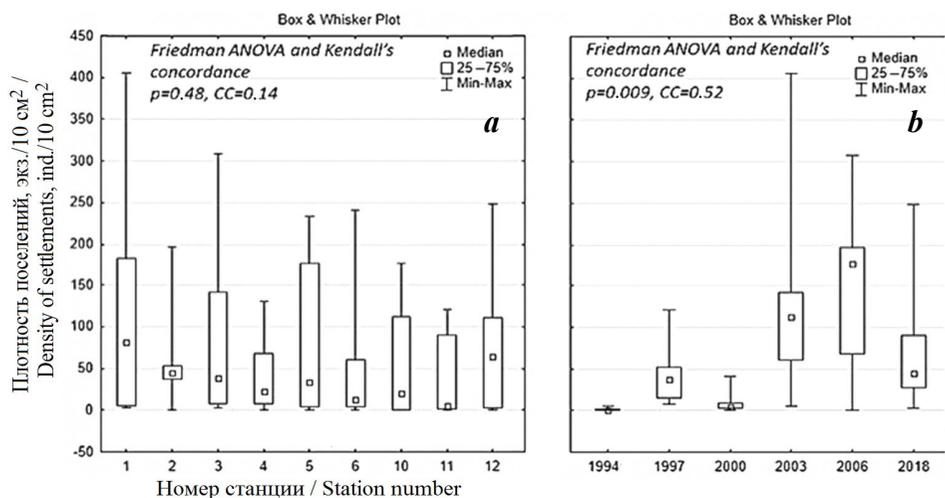
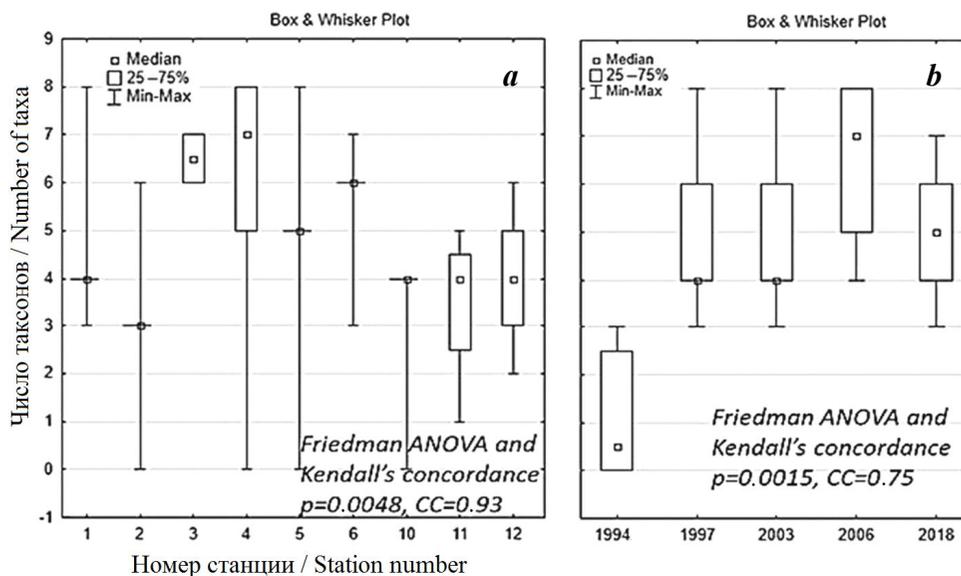


Рис. 6. Изменения плотности поселений мейобентоса на станциях разрезов I, II, V в 1994–2018 гг.: а – по станциям; б – по годам

Fig. 6. Changes in the density of meiobenthos settlements at stations of transects I, II, V in 1994–2018: а – by stations; б – by years



Р и с . 7. Изменения числа таксонов мейобентоса на станциях разрезов I, II, V в 1994–2018 гг.: *a* – по станциям; *b* – по годам

F i g . 7. Changes in the number of meiobenthic taxa at stations of transects I, II, V in 1994–2018: *a* – by stations; *b* – by years

Анализ изменений во времени показал достоверность различий в численности мейобентоса на I, II, V разрезах в разные годы (рис. 6, *b*); большие значения наблюдали в 2003 и 2006 гг., минимальные – в 1994 и 2000 гг. Ранее было отмечено, что в начале XXI в. произошло увеличение численности и биомассы мейобентоса как в восточной части Черного моря, так и в приустьевом взморье Дуная [12, 13].

Анализ данных по таксономическому богатству мейобентоса в б. Севастопольской показывает достоверное различие как между станциями (рис. 7, *a*), так и между отдельными годами исследований (рис. 7, *b*).

З а к л ю ч е н и е

Приведенные результаты, отражающие современное состояние мейобентосного сообщества б. Севастопольской, показали, что в донных осадках акватории сохраняются ранее отмечаемые «депрессивные участки», – это б. Артиллерийская и центр б. Севастопольской. Южная бухта, напротив, имела в 2018 г. самые высокие показатели таксономического разнообразия и плотности поселения организмов мейобентоса. Высокая численность и разнообразие также отмечены в вершине б. Севастопольской.

С П И С О К Л И Т Е Р А Т У Р Ы

1. *Сергеева Н. Г., Колесникова Е. А.* Результаты изучения мейобентоса Черного моря // *Экология моря.* 1996. Т. 45. С. 54–62.
2. *Заика В. Е., Иванова Е. А., Сергеева Н. Г.* Сезонные изменения мейобентоса в бухтах Севастополя с анализом влияния донной гипоксии // *Морской экологический журнал.* 2011. Отд. вып. № 2. С. 29–36.

3. Зообентос в условиях хронического техногенного загрязнения: состав и структурная организация (на примере Севастопольской бухты, Черное море) / Н. К. Ревков [и др.] // Проблемы биологической океанографии XXI века : Тезисы докладов международной научной конференции, посвященной 135-летию ИнБЮМ. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. С. 33.
4. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона / Е. И. Овсяный [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. Вып. 2. С. 138–152.
5. *Мионов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с. URL: <https://repository.marine-research.org/handle/299011/1466> (дата обращения: 08.02.2022).
6. *Тихонова Е. А., Осадчая Т. С., Волков Н. Г.* Физико-химические характеристики и показатели загрязнения донных отложений // Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века. Симферополь : ИТ «Ариал», 2018. С. 50–79.
7. *Гусева Е. В., Алёмов С. В., Кирюхина Л. Н.* Мейобентос севастопольских бухт по данным 1994–1997 г. // Экология моря. 1998. Т. 47. С. 7–12.
8. *Гусева Е. В.* Мейобентос илистых донных осадков некоторых севастопольских бухт (Черное море) в период с 1994 по 2003 гг. // Экология моря. 2004. Т. 66. С. 37–41.
9. *Осадчая Т. С., Алёмов С. В., Витер Т. В.* Комплекс «донные осадки – бентос» в оценке экологического статуса Севастопольской бухты (Черное море) // Сб. статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г. Севастополь : Колорит, 2018. С. 188–193.
10. *Стокозов Н. А.* Морфометрические характеристики Севастопольской и Балаклавской бухт // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. Вып. 23. С. 198–208.
11. *Сергеева Н. Г., Мазлумян С. А.* Изучение динамики трофической структуры мейобентоса рыхлых грунтов с помощью индекса сезонности (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2001. Вып. 1. С. 128–138.
12. Многолетние изменения в мейобентосе восточной части Чёрного моря / В. О. Мокиевский [и др.] // Океанология. 2010. Т. 50, № 6. С. 994–1001.
13. *Воробьева Л. В., Кулакова И. И.* Мейобентос в системе биологического мониторинга контактных зон моря // Системы контроля окружающей среды. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 19. С. 262–267.

Поступила 29.10.2021 г.; одобрена после рецензирования 25.01.2022 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Гусева Елена Владимировна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), **AuthorID: 963363**, guseva_ev@ibss-ras.ru

Алёмов Сергей Викторович, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-3374-0027**, **Scopus Author ID: 24070027300**, **AuthorID: 658344**, *alyomov_sv@ibss-ras.ru*

About the authors:

Elena V. Guseva, Junior Research Associate, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **AuthorID: 963363**, *guseva_ev@ibss-ras.ru*

Sergey V. Alyomov, Leading Research Associate, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-3374-0027**, **Scopus Author ID: 24070027300**, **AuthorID: 658344**, *alyomov_sv@ibss-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Гусева Елена Владимировна – анализ состава и численности мейобентоса, подготовка графических материалов, анализ литературных данных, анализ результатов и их интерпретация, формирование статьи

Алёмов Сергей Викторович – постановка задачи исследования, анализ и обсуждение результатов, редактирование рукописи

Contribution of the authors:

Elena V. Guseva – analysis of composition and abundance of meiobenthos, preparation of graphic materials, literature data analysis, analysis of the results and their interpretation, article composition

Sergey V. Alyomov – research problem statement, analysis and discussion of the results, manuscript editing

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Критериально-статистическая оценка устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем черноморского побережья Краснодарского края

Г. Г. Гогоберидзе^{1*}, Е. А. Румянцева¹, Р. Д. Косьян²

¹ Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

² Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Южное отделение, Геленджик, Россия

*e-mail: gogoberidze.gg@gmail.com

Аннотация

Береговая зона моря характеризуется крайне интенсивными природными процессами. Кроме того, она является областью особенно высокой экономической экспансии. Это приводит к необходимости рассматривать морскую береговую зону как единую береговую эко-социо-экономическую систему, учитывающую пространственные масштабы воздействия и степень устойчивости происходящих процессов: от локального к районному и далее к региональному и глобальному уровням. При этом необходим комплексный мониторинг устойчивости не только регионов, но и территорий более низких иерархических уровней. Однако в настоящее время не существует унифицированных методов определения устойчивости низкоуровневых береговых территориальных систем. В работе предлагается критериально-статистический подход к оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем в виде совокупности индикаторов по трем факторам устойчивости: природно-экологическому, экономическому и социальному. В результате становится возможным получить количественные оценки устойчивости по отдельным факторам и в виде комплексного интегрального индекса устойчивости локальной береговой эко-социо-экономической системы. Применение данного подхода позволяет оценить стабильность локальных береговых систем и выполнить соответствующий пространственный анализ с выявлением устойчивых (узловых) и неустойчивых локальных береговых систем как территориальных единиц локального уровня управления. Данный подход является универсальным и апробирован на 18 локальных приморских муниципальных образованиях районов черноморского побережья Краснодарского края. В дальнейшем подход будет использован при реализации ГИС-оболочки «Береговые эко-социо-экономические системы Краснодарского края», что позволит осуществлять пространственное территориальное планирование и прогнозировать устойчивое развитие береговых эко-социо-экономических систем на всех уровнях управления (региональный, районный и локальный).

Ключевые слова: береговая эко-социо-экономическая система, локальный пространственный уровень, устойчивость, критериально-статистический подход, система индикаторов, Черное море, Краснодарский край

© Гогоберидзе Г. Г., Румянцева Е. А., Косьян Р. Д., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230001 р_а. Детальная информация по отдельным районам черноморского побережья от Таманского полуострова до Анапы получена в том числе при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00009, от Анапы до реки Псоу при поддержке проекта РФФИ № 20-17-00060.

Для цитирования: Гогоберидзе Г. Г., Румянцева Е. А., Косьян Р. Д. Критериально-статистическая оценка устойчивости локальных береговых эко-социально-экономических систем черноморского побережья Краснодарского края // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 113–131. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-113-131

Criterion-Statistical Assessment of the Sustainability of Black Sea Local Coastal Eco-Socio-Economic Systems of the Krasnodar Krai

G. G. Gogoberidze^{1*}, E. A. Rumiantceva¹, R. D. Kosyan²

¹ *Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

² *P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, South Branch, Gelendzhik, Russia*

**e-mail: gogoberidze.gg@gmail.com*

Abstract

The marine coastal zone is characterized by extremely intense natural processes. It is also an area of particularly intense economic expansion. This makes it necessary to consider the coastal zone as a single eco-socio-economic system, which takes into account the variability of the spatial scale of the impact and stability of the existing processes – from local to district and further to regional and global levels. This requires comprehensive monitoring of the sustainability not only of regions but also of lower-level territories. However, at present, there are no unified methods for determining the sustainability of such coastal territorial systems. The paper proposes a criterion-statistical approach to assess the sustainability of local coastal eco-socio-economic systems in the form of a complex system of indicators by three factors of sustainability: natural-ecological, economic and social ones. As a result, it becomes possible to obtain quantitative estimates for individual factors and those in the form of a comprehensive integral index of the sustainability of the local coastal eco-socio-economic system. The application of the approach allows assessing the sustainability of local coastal systems and performing an appropriate spatial analysis, with the identification of stable (key) and unstable local coastal systems as territorial units of the local level of governance. This approach is universal and is approved in 18 local Black Sea coastal municipalities of the Krasnodar Krai. In the future, the approach will be used for implementation of the *Coastal eco-socio-economic systems of the Krasnodar Krai* GIS, which will allow for spatial territorial planning and forecasting of sustainable development of coastal eco-socio-economic systems at all levels of governance (regional, district and local).

Keywords: coastal eco-socio-economic system, local spatial level, sustainability, criterion-statistical approach, indicator system, Black sea, Krasnodar Krai

Acknowledgments: the reported study was funded by RFBR and Krasnodar Krai Administration, project number 19-45-230001. The detailed information on certain areas of the Black Sea coast from the Taman Peninsula to Anapa was obtained partly with the assistance of the RFBR (project number 20-05-00009) and that for areas from Anapa to the Psou River was obtained with the assistance of the RSF (project number 20-17-00060).

For citation: Gogoberidze, G.G., Rumiantceva, E.A. and Kosyan, R.D., 2022. Criterion-Statistical Assessment of the Sustainability of Black Sea Local Coastal Eco-Socio-Economic Systems of the Krasnodar Krai. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 113–131. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-113-131

Введение

Рассматривая различные виды экономической деятельности, реализующиеся в морях и океанах, необходимо отметить, что фактически все они тесно связаны с береговой зоной. Являясь естественным приграничным районом трех сред, она характеризуется крайне интенсивным взаимодействием природных процессов и увеличивающимися масштабами хозяйственной деятельности, что сопровождается в целом усилением антропогенного воздействия на природную среду. Это приводит к необходимости рассматривать береговую зону как единую эко-социо-экономическую систему, учитывающую изменчивость пространственных масштабов воздействия на природную среду и устойчивость происходящих процессов: от локального к районному и далее к региональному и глобальному уровням. При этом, говоря об устойчивости территориальных систем, в большинстве случаев рассматривают факторы и параметры устойчивости глобального и регионального масштабов, реже – районного пространственного уровня и совсем незначительное внимание уделяют локальным территориальным системам. Хотя управление территориями как эко-социо-экономическими системами зависит не только от экономических и общественных, но и от природных факторов и экосистемных закономерностей [1–4].

Таким образом, необходим комплексный мониторинг устойчивости территориальных объектов, включая эко-социо-экономический анализ факторов развития не только регионов в целом, но и территорий более низких иерархических уровней. В применении к локальному пространственному уровню такой подход позволит существенно повысить надежность и обоснованность прогнозов комплексного развития, отразит реализуемость стратегических целевых установок развития территорий высокого пространственного масштаба в целом (районов и регионов) [5–11].

В работе рассматривается критериально-статистический подход к оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем, которая рассчитывается через совокупность индикаторов различных факторов устойчивости. В качестве локальной береговой системы рассматривается локальное приморское муниципальное образование в совокупности с внутренними водами. Примером таких береговых систем являются черноморские приморские муниципальные образования поселений Краснодарского края. Такой подход позволяет провести сравнительную оценку устойчивости локальных береговых систем как в целом, так и по различным составляющим, а также выявить наиболее значимые факторы, влияющие на устойчивость территориального приморского объекта.

Основные подходы к оценке устойчивости береговых эко-социо-экономических систем

Под устойчивостью системы понимается ее способность обеспечения нормального функционирования процессов ресурсопользования при текущей совокупности природных, экологических, социально-экономических и иных

факторов [1]. В настоящее время существуют различные подходы к оценке устойчивости эко-социо-экономических систем, в том числе ориентированные и на береговые территориальные образования. Однако большая часть исследований концентрируется на уровне стран и регионов, тогда как на локальном уровне, за исключением городов, механизмы сбалансированного развития территорий рассмотрены слабо [10, 12, 13]. Ряд работ имеет при этом специализированный характер по территориальным образованиям определенного типа ¹⁾, в том числе береговым территориям [1, 13–18]. Кроме того, отдельные работы в той или иной мере содержат комплексный подход к оценке устойчивости территории, рассматривая эколого-экономическую, экономико-управленческую и иные взаимосвязи. Но эти исследования носят в большей части региональный характер [19–24].

Системы оценки устойчивости территорий на районном и локальном пространственных уровнях изучены слабее, прежде всего вследствие недостатка доступных статистических данных. Наибольшее распространение и развитие получили методы оценки социально-экономического развития территорий районных муниципальных субъектов Российской Федерации (РФ). Расчет устойчивости осуществляется на основе интегральных и частных критериев, отражая состояние (в основном социально-экономическое) муниципальных образований, похожим аспектам посвящены работы зарубежных авторов [25–29].

При построении систем индикаторов, позволяющих проводить оценку устойчивости территориальных образований, распространение получил главным образом статистический подход на основе официальных данных статистических агентств. Такой подход позволяет построить математическую модель и установить связь показателей различных рассматриваемых факторов, применяя методы дисперсионного анализа и регрессионную статистику уравнения парной регрессии. Подобные модели зачастую имеют привязку к конкретному региону ²⁾ или субъекту РФ [30–36].

В зарубежных методиках значительную роль играют экспертные системы, которые основываются в том числе на интегральном мнении приглашенных экспертов [12, 15, 26, 27, 29, 37–40]. Однако такие системы в основном носят общий характер, в результате чего итоговые оценки малоинформативны и неконкретны, кроме того, они сильно зависят от степени субъективности экспертов по отношению к рассматриваемому территориальному объекту.

Широкое применение первой группы статистических методов вполне объяснимо для регионального уровня, для которого имеется спектр статистических продуктов мирового, федерального и регионального уровней. Но для более низких территориальных уровней количество таких показателей резко падает, особенно для локальных муниципальных образований. Кроме того, большое значение приобретают природные параметры, такие как

¹⁾ Guideline on integrated coastal zone management in the Black Sea. Turkey: The Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution, 2013. URL: http://blacksea-commission.org/Downloads/Black_Sea_ICZM_Guideline/Black_Sea_ICZM_Guideline.pdf (дата обращения 11.03.2022).

²⁾ *Бобылев С. Н., Зубаревич Н. В., Соловьева С. В.* Устойчивое развитие: методология и методики измерения. М. : Экономика, 2011. 358 с.

геоморфологические показатели устойчивости берегов, которые вообще отсутствуют в статистических сборниках. Такие параметры в большинстве случаев не поддаются строгим статистическим способам учета изменчивости. В данном случае необходимо использовать экспертно-критериальные подходы, которые позволяют дать количественную оценку элемента устойчивости береговой системы на основе экспертного мнения, но с использованием однозначной системы критериев и классификационных признаков [1, 15, 38–40].

В целом становится очевидной необходимость объединения этих двух рассмотренных методов в единый критериально-статистический подход к оценке устойчивости эко-социо-экономической береговой системы локального пространственного уровня.

Факторные элементы критериально-статистического подхода к оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем

Одним из основных и удобных методов оценки устойчивости береговых эко-социо-экономических систем является индикаторный метод. Он основан на выделении основных факторов, определяющих устойчивость береговой территориальной системы, и разработке системы индикаторов, описывающих эти факторы. Такой подход позволяет как проводить оценку текущей устойчивости береговой системы, так и анализировать тенденции развития этой территориальной системы в целом и по отдельным факторам с учетом их взаимосвязи.

В отличие от береговых эко-социо-экономических систем регионального и районного уровней управления, для локального пространственного уровня характерно отсутствие явно выраженных геополитических, геоэкономических и иных долгосрочных факторов устойчивости. В связи с этим в качестве составляющих возможно рассмотрение трех факторов [1]: природно-экологического, экономического, социального.

Каждый из представленных факторов определяется набором индикаторов, значения которых рассчитываются на основе статистического или экспертно-критериального подходов.

Методики расчета индикаторов приводятся в [1] и основаны на следующих принципах.

1. Индикаторы представляются в безразмерном виде путем расчетного перехода от абсолютных значений показателей.

2. Индикаторы принимают значения от -1 до $+1$ (максимально отрицательная и максимально положительная степень воздействия рассматриваемого параметра на систему соответственно), что позволит сгладить сильно превалирующие индикаторы при оценке фактора устойчивости.

3. Индикаторы, полученные путем применения экспертно-критериального подхода, в минимальной степени характеризуются субъективным мнением экспертов и основаны на четких параметрических и пространственных показателях.

4. При расчетах в рамках одного фактора устойчивости и интегрального показателя учет индикаторов проводится без использования весовых функций [1, 12, 13, 17]. Их введение повлечет неоднозначность оценки важности каждого индикатора из-за искусственного превалирования или занижения какого-либо эко-социо-экономического направления.

5. В рамках одного фактора устойчивости индикаторы не зависят (отсутствует взаимное влияние) друг от друга.

Исходя из данных принципов для каждого рассматриваемого фактора устойчивости береговой эко-социо-экономической системы сформированы наборы из 8 индикаторов. Методики расчетов статистических индикаторов приводятся в [1], а первоисточниками экспертно-критериальных индикаторов¹⁾ являются [14, 15, 37–41].

Комплексный интегральный индекс устойчивости локальной береговой эко-социо-экономической системы рассчитывается как среднее всех индикаторов и позволяет разработать оценочную шкалу классов устойчивости. При этом в расчете интегральных показателей как совокупности отдельных индикаторов не используются какие-либо весовые функции, что позволяет избежать неоднозначности при оценке важности каждого индикатора [1, 17].

Алгоритмы расчетов индикаторов при оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем

Индикаторы природно-экологического фактора устойчивости

Индикатор геоморфологической устойчивости берегов

Расчет значений индикатора проводится по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из экспертной оценки типизации берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы по пяти градациям: от скалистых и фьордовых берегов с крайне незначительной степенью эрозии (1 балл) до мелкопесчаных пляжей, включая песчаные отложения, солончаки, дельты и т. п. (5 баллов), – по формуле

$$I_G = \frac{\sum_{i=1}^5 \left(T_i \cdot \frac{P_i}{100} \right) - 1}{2} + 1, \quad (1)$$

где T_i – оценка градации i -го типа берега, целое число в пределах 1...5; p_i – доля протяженности берега i -го типа от общей протяженности берега, %.

Индикатор отступления берегов

Расчет значений индикатора проводится по формуле (1) по методу критериальной оценки, исходя из оценки (по данным дистанционного зондирования) величины прироста или отступления берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы, типизированной по пяти градациям: от значений прироста берега более 2 м/год (1 балл) до значений отступления берега более 2 м/год (5 баллов).

Индикатор неустойчивости (абразии) берегов

Расчет значений индикатора проводится по методу критериальной оценки, исходя из отношения протяженности абразионных разрушающихся берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы к общей протяженности ее береговой линии, – по формуле

$$I_{AS} = 1 - 2 \cdot \frac{L_{Us}}{L_C}, \quad (2)$$

где L_{Us} – протяженность абразионных берегов, км; L_C – общая протяженность исследуемого участка берега, км.

Индикатор укрепленных берегов

Расчет значений индикатора проводится по методу критериальной оценки, исходя из отношения протяженности укрепленных берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы к общей протяженности ее береговой линии, – по формуле

$$I_{FC} = 2 \cdot \frac{L_{FC}}{L_C} - 1, \quad (3)$$

где L_{FC} – протяженность берега с положительной оценкой по рассматриваемому параметру, км.

Индикатор незагрязненных участков берегов

Расчет значений индикатора проводится по формуле (3) по методу критериальной оценки, исходя из отношения протяженности незагрязненных участков берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы к общей протяженности ее береговой линии.

Индикатор интенсивности природных угроз

Расчет значений индикатора осуществляется по методу критериальной оценки и включает следующий набор параметров:

1) повторяемость штормов при ветре скоростью более 15 м/с, по пяти градациям в диапазоне от < 5 % (1 балл) до > 12 % (5 баллов);

2) высота волн 3 %-ной обеспеченности, по пяти градациям в диапазоне от < 1 м (1 балл) до > 4 м (5 баллов);

3) высота приливов, по пяти градациям в диапазоне от < 0.3 м (1 балл) до > 2 м (5 баллов).

Формула расчета имеет вид

$$I_{GS} = \frac{1}{2} + \frac{\sum_{i=1}^5 (W_i \cdot p_i) + \sum_{i=1}^5 (Wa_i \cdot p_i) + \sum_{i=1}^5 (Ti_i \cdot p_i)}{6}, \quad (4)$$

где оценка градации i -го типа берега определяется по следующим параметрам: W_i – по 1-му, целое число в пределах 1...5; Wa_i – по 2-му, целое число в пределах 1...5; Ti_i – по 3-му, целое число в пределах 1...5.

Значение каждой характеристики рассчитывается по процентному соотношению типов берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы с соответствующей оценкой к общей протяженности ее береговой линии.

Индикатор ООПТ

Расчет значений индикатора проводится с учетом степени отклонения площади ООПТ, расположенных на территории локального приморского муниципалитета, от общей площади ООПТ, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу площади – по формуле

$$I_{PA} = \begin{cases} \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} - 1 & \text{при } \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} \leq 2, \\ 1 & \text{при } \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} > 2, \end{cases} \quad (5)$$

где PA_L – значение параметра для муниципального образования; PA_F – зна-

чение параметра для РФ в целом; S_L – значение нормировочного показателя для муниципального образования; S_F – значение нормировочного показателя для РФ в целом.

Индикатор вывоза твердых коммунальных отходов

Расчет значений индикатора проводится по формуле (5) с учетом степени отклонения величины вывоза твердых коммунальных отходов от источников, расположенных на территории локального приморского муниципалитета, от общей величины вывоза твердых коммунальных отходов от источников, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикаторы экономического фактора устойчивости

Индикатор рекреационной привлекательности береговой системы

Расчет значений индикатора проводится по формуле (1) по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из экспертной оценки типизации берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы по пяти градациям: от крайне высокой степени рекреационной привлекательности (1 балл) до ее отсутствия (5 баллов).

Индикатор интенсивности проявления техногенных угроз

Расчет значений индикатора проводится по формуле (1) по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из экспертной оценки типизации берегов локальной береговой эко-социо-экономической системы по пяти градациям: от фактического отсутствия техногенных угроз для приморской территории (1 балл) до абсолютно техногенной приморской территории (5 баллов).

Индикатор развития транспортной инфраструктуры

Расчет значений индикатора проводится по формуле (5) с учетом степени отклонения величины протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием, расположенных на территории локального приморского муниципалитета, от величины протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу площади.

Индикатор доходов бюджета

Расчет значений индикатора проводится по формуле (5) с учетом степени отклонения величины доходов местного бюджета локального приморского муниципалитета от суммарной величины доходов местных бюджетов всех локальных муниципалитетов, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикатор инвестиций

Расчет значений индикатора проводится по формуле (5) с учетом степени отклонения величины инвестиций в основной капитал локального приморского муниципалитета от суммарной величины инвестиций в основной капитал для всех локальных муниципалитетов, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикатор туристического потенциала

Расчет значений индикатора проводится по двум параметрам (число мест в коллективных средствах размещения (параметр 1) и число коллективных средств размещения (параметр 2)) по формуле

$$I_{TP} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P1_L/S_L}{P1_F/S_F} + \frac{P2_L/S_L}{P2_F/S_F} \right) - 1, \quad (6)$$

где $P1_L$ – значение параметра 1 для муниципального образования; $P1_F$ – значение параметра 1 для РФ; $P2_L$ – значение параметра 2 для исследуемого приморского муниципального образования; $P2_F$ – значение параметра 2 для РФ.

В расчете используется методика вычисления отклонения значения каждого из параметров локального приморского муниципалитета от суммарной величины параметра для всех локальных муниципалитетов, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикатор дотируемости из бюджетов РФ

Расчет значений индикатора проводится с учетом степени отклонения величины дотаций в бюджет локального приморского муниципалитета из федерального бюджета РФ от суммарной величины дотаций в бюджеты всех локальных муниципалитетов РФ из федерального бюджета, с нормированием на единицу величины бюджета, – по формуле

$$I_{PA} = \begin{cases} 1 - \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} & \text{при } \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} \leq 2, \\ -1 & \text{при } \frac{PA_L/S_L}{PA_F/S_F} > 2. \end{cases}$$

Индикатор грузооборота портовых хозяйств

Расчет значений индикатора проводится с учетом степени отклонения величины грузооборота портовых хозяйств, расположенных на территории локального приморского муниципалитета, от максимальной величины грузооборота портовых хозяйств, расположенных на территории одного муниципального образования РФ, – по формуле

$$I_{HT} = 2 \cdot \frac{H_L}{H_{\max} - 1},$$

где H_L – величина грузооборота портовых хозяйств, расположенных на территории муниципального образования, млн т; H_{\max} – максимальная величина грузооборота портовых хозяйств, расположенных на территории одного муниципального образования РФ, млн т.

Индикаторы социального фактора устойчивости

Индикатор социо-экономической значимости

Расчет значений индикатора проводится по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из наличия объектов определенного типа на территории локального приморского муниципалитета, и включает следующий набор параметров:

- поселения, по пяти градациям: от их отсутствия (1 балл) до наличия мегаполиса (5 баллов);
- объекты культурного наследия, по двум градациям: их отсутствия (1 балл) и их наличия (5 баллов);
- автомобильные дороги, по пяти градациям: от их отсутствия (1 балл) до шоссе федерального значения (5 баллов);
- железнодорожная сеть, по двум градациям: их отсутствия (1 балл) и их наличия (5 баллов);
- тип землепользования, по пяти градациям: от невозможности хозяйственного землепользования в связи с характером местности (1 балл) до наличия крупных антропогенных объектов в виде предприятий, портовых комплексов и т. п. (5 баллов);
- особо охраняемые природные территории (ООПТ), по пяти градациям: от их отсутствия (1 балл) до природного памятника ЮНЕСКО (5 баллов).

Формула расчета имеет вид

$$I_{SEI} = \frac{S_S + S_{CH} + S_{HW} + S_{RW} + S_{LU} + S_{PA}}{12} - \frac{3}{2},$$

где S_S – оценка с учетом типа поселений, целое число в пределах 1...5; S_{CH} – оценка с учетом типа объектов культурного наследия, целое число 1 или 5; S_{HW} – оценка с учетом типа автомобильных дорог, целое число в пределах 1...5; S_{RW} – оценка с учетом типа железнодорожной сети, целое число 1 или 5; S_{LU} – оценка с учетом типа землепользования, целое число в пределах 1...5; S_{PA} – оценка с учетом типа ООПТ, ед.

При этом, если при рассмотрении одного параметра имеется нескольких объектов разных градаций, в расчет принимается одно наибольшее значение.

Индикатор проводимых мероприятий по повышению устойчивости береговой системы

Расчет значений индикатора проводится по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из экспертной оценки количества и качества проводимых мероприятий на территории локального приморского муниципалитета по повышению устойчивости и сохранению береговой системы, по пяти градациям: от высокой степени заинтересованности и количества мероприятий (1 балл) до отсутствия каких-либо мероприятий и заинтересованности в их проведении (5 баллов). При этом значение индикатора производится для муниципалитета в целом.

Индикатор степени нарушенности природного ландшафта и необходимости его восстановления и поддержания

Расчет значений индикатора проводится для участков берегов локального приморского муниципалитета по методу экспертно-критериальной оценки и включает следующий набор параметров:

1) степень нарушенности природного берегового ландшафта вследствие антропогенной деятельности, по пяти градациям: от отсутствия какой-либо нарушенности (1 балл) до полной техногенной преобразованности ландшафта (5 баллов);

2) степень необходимости (возможности и важности) восстановления природного берегового ландшафта, по пяти градациям: от отсутствия

необходимости (возможности и важности) восстановления ландшафта (1 балл) до обязательной задачи по восстановлению ландшафта, в том числе путем создания ООПТ и прекращения хозяйственной деятельности (5 баллов).

Формула расчета имеет вид

$$I_{CL} = \frac{\sum_{i=1}^5 (V_i \cdot p_i) + \sum_{i=1}^5 (R_i \cdot p_i)}{4} + \frac{1}{2},$$

где V_i – оценка градации i -го типа берега по 1-му, целое число в пределах 1...5; R_i – оценка градации i -го типа берега по 2-му, целое число в пределах 1...5.

Индикатор наличия плана развития территории

Расчет значений индикатора проводится по методу экспертно-критериальной оценки, исходя из экспертной оценки степени учета в плане территориального развития локального приморского муниципалитета особенностей береговой системы, ее устойчивого развития и сохранения береговых ландшафтов по пяти градациям: от наличия в плане территориального развития отдельного раздела по устойчивому развитию береговой системы и дорожной карты мероприятий по реализации этого раздела плана (1 балл) до отсутствия плана как такового (5 баллов). При этом значение индикатора производится для муниципалитета в целом.

Индикатор обеспеченности условиями проживания

Расчет значений индикатора проводится по формуле (5) с учетом степени отклонения площадей введенных в действие жилых домов, расположенных на территории локального приморского муниципалитета, от общей площади введенных в действие жилых домов, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикатор обеспеченности населения объектами социальной инфраструктуры

Расчет значений индикатора проводится по формуле (6) по двум параметрам:

- 1) количество общеобразовательных организаций (параметр 1);
- 2) количество организаций здравоохранения (параметр 2).

В расчете используется методика вычисления отклонения величины каждого из параметров локального приморского муниципалитета от суммарной величины параметра для всех локальных муниципалитетов, расположенных на территории РФ (как территории более высокого пространственного уровня), с нормированием на единицу численности населения.

Индикатор прироста населения

Расчет значений индикатора проводится по формуле

$$I_{PG} = \begin{cases} \frac{B_L}{B_F} - \frac{Mor_L}{Mor_F} & \text{при } \left(\frac{B_L}{B_F} - \frac{Mor_L}{Mor_F} \right) \leq 1, \\ 1 & \text{при } \left(\frac{B_L}{B_F} - \frac{Mor_L}{Mor_F} \right) > 1, \end{cases}$$

где B_L – коэффициент рождаемости для муниципального образования, %;

B_F – коэффициент рождаемости для РФ, ‰; Mor_L – коэффициент смертности для муниципального образования, ‰; Mor_F – коэффициент смертности для РФ, ‰.

В расчете используется методика вычисления отклонения значений каждого из параметров для локального приморского муниципалитета от значения параметра для РФ (как территории более высокого пространственного уровня) в целом.

Индикатор величины миграционного баланса населения

Расчет значений индикатора проводится по формуле как среднее от значений, получаемых:

1) по степени отклонения значения миграционного прироста/оттока для локального приморского муниципалитета от значения параметра для РФ (как территории более высокого пространственного уровня);

2) по степени отклонения значений миграционного прироста/оттока для локального приморского муниципалитета от его экстремальных значений по всей совокупности локальных муниципальных образований Краснодарского края.

$$I_M = \begin{cases} \frac{M_L - M_{Lmin}}{M_{Lmax} - M_{Lmin}} & \text{при } \frac{M_L/H_L}{M_F/H_F} > 2, \\ \frac{M_L - M_{Lmin}}{M_{Lmax} - M_{Lmin}} - 1 & \text{при } \frac{M_L/H_L}{M_F/H_F} < 0, \\ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{M_L/H_L}{M_F/H_F} + \frac{M_L - M_{Lmin}}{M_{Lmax} - M_{Lmin}} \right) - \frac{1}{2} & \text{при } 0 \leq \frac{M_L/H_L}{M_F/H_F} \leq 2, \end{cases}$$

где M_L – миграционный прирост/отток для муниципального образования, чел.; M_F – миграционный прирост/отток для РФ, чел.; M_{Lmin} – минимальное значение миграционного прироста/оттока для всей совокупности муниципальных образований региона, чел.; M_{Lmax} – максимальное значение миграционного прироста/оттока для всей совокупности муниципальных образований региона, чел.

Критериально-статистическая оценка устойчивости черноморских локальных береговых эко-социо-экономических систем

Полученная система критериально-статистической оценки устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем апробировалась для локальных муниципальных образований, являющихся частью районных муниципальных образований Краснодарского края, выходящих к Черному морю. Всего таким образом рассматривались 18 локальных береговых систем, в том числе:

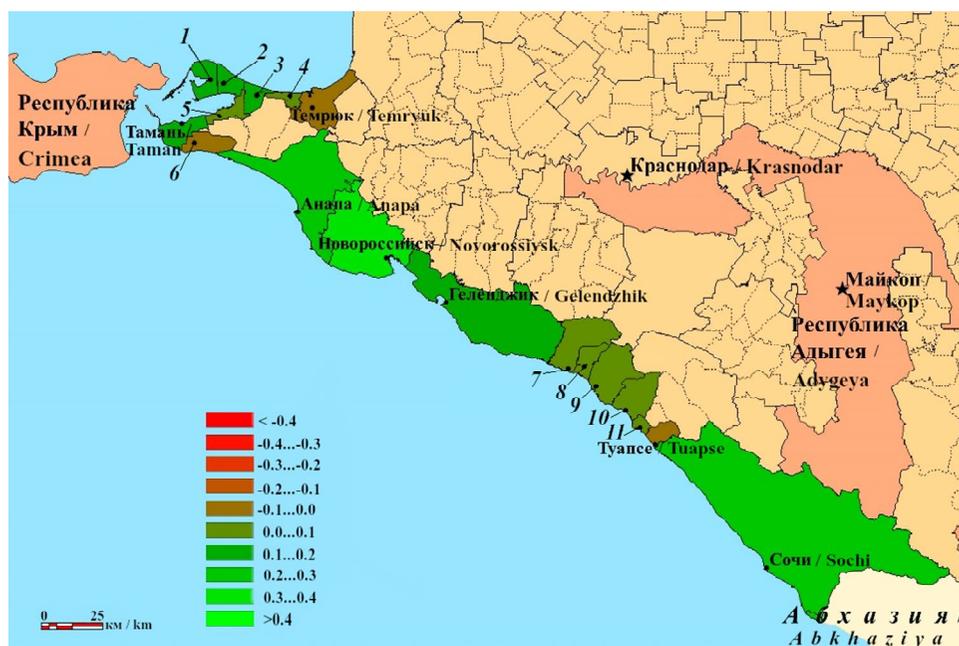
– восемь локальных муниципальных образований Темрюкского района (Темрюкское городское поселение и сельские поселения: Голубицкое, Ахтанизовское, Фонталовское, Запорожское, Сенное, Таманское, Новотаманское);

- город-курорт Анапа;
- город Новороссийск;
- город-курорт Геленджик;

- шесть локальных муниципальных образований Туапсинского района (городские поселения: Джубгское, Новомихайловское, Туапсинское; сельские поселения: Тенгинское, Небугское, Шепсинское);
- город-курорт Сочи.

В качестве исходных данных использовалась статистическая информация из открытых источников и администраций приморских муниципалитетов районного и местного уровней управления за 2019 г., а также данные спутникового зондирования и полевых исследований, проводимых в рамках реализации указанных выше проектов. Шкала оценки устойчивости береговых эко-социо-экономических систем по факторам и комплексному индексу состоит из 10 градаций: от -0.4 и ниже (катастрофическая неустойчивость) до 0.4 и выше (значительная устойчивость, благоприятная ситуация).

На основе совокупности всех факторов и комплексного индекса устойчивости в 2019 г. из всех локальных береговых эко-социо-экономических систем черноморского побережья Краснодарского края наиболее устойчивым является город Новороссийск (значение комплексного индекса устойчивости составляет 0.34), что связано с достаточно высокими значениями всех индексов (см. таблицу, рисунок). Следом идут города-курорты Анапа и Сочи со значениями индекса 0.24 и 0.22 соответственно.



Комплексный индекс устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем черноморского побережья Краснодарского края, 2019 г. (1 – Запорожская; 2 – Фонталовская; 3 – Ахтанизовская; 4 – Голубицкая; 5 – Сенной; 6 – Таманский; 7 – Джубга; 8 – Тенгинка; 9 – Новомихайловский; 10 – Небуг; 11 – Шепси)

Comprehensive integral index of the stability of local Black Sea coastal eco-socio-economic systems of the Krasnodar Krai, 2019 (1 – Zaporozhskaya; 2 – Fontalovskaya; 3 – Akhtanizovskaya; 4 – Golubitskaya; 5 – Sennoy; 6 – Tamansky; 7 – Dzhubga; 8 – Tenginka; 9 – Novomikhaylovskoe; 10 – Nebug; 11 – Shepsi)

Оценка факторов и интегрального индекса устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем (локальных муниципалитетов) черноморского побережья Краснодарского края

Factors and comprehensive integral index of the sustainability estimation for the Black Sea local coastal eco-socio-economic systems (local municipalities) of the Krasnodar Krai

Локальный муниципалитет / Local municipality	Природно-экологический фактор / Natural-ecological factor	Экономический фактор / Economic factor	Социальный фактор / Social factor	Интегральный индекс устойчивости / Integral sustainability index
Темрюкское ГП / Temryuk US	0.04	-0.03	-0.11	-0.03
Голубицкое СП / Golubitskaya RS	-0.16	0.11	0.12	0.02
Ахтанизовское СП / Ahktanizovskaya RS	-0.17	0.30	0.17	0.10
Фонталовское СП / Fontalovskaya RS	-0.01	0.11	0.23	0.11
Запорожское СП / Zaporozhskaya RS	0.11	0.20	0.11	0.14
Сенное СП / Sennoy RS	-0.19	0.20	0.11	0.04
Таманское СП / Taman RS	-0.05	0.36	0.06	0.12
Новотаманское СП / Novotaman RS	-0.12	-0.07	0.07	-0.04
Город-курорт Анапа / Anapa Resort City	-0.06	0.18	0.61	0.24
Город Новороссийск / Novorossiysk City	0.24	0.52	0.27	0.34
Город-курорт Геленджик / Gelendzhik Resort City	0.03	0.28	0.11	0.14
Джубгское ГП / Dzhubga MS	0.00	0.06	0.06	0.04
Тенгинское СП / Tenginka RS	-0.07	0.11	-0.02	0.01
Новомихайловское ГП / Novomikhaylovskoe US	0.05	0.16	0.04	0.09
Небугское СП / Nebug RS	0.03	0.13	0.06	0.07
Туапсинское ГП / Tuapse US	0.28	0.26	-0.27	0.09
Шепсинское СП / Shepsi RS	-0.16	0.06	0.01	-0.03
Город-курорт Сочи / Sochi Resort City	0.14	0.18	0.36	0.22

Примечание: ГП – городское поселение; СП – сельское поселение.

Note: US – urban settlement; RS – rural settlement.

Заключение

В результате проведенной работы представлен критериально-статистический подход к комплексной оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем на основе индикаторного подхода. Благодаря использованию совокупностей индикаторов по трем факторам устойчивости (природно-экологический, экономический, социальный) становится возможным получить количественные оценки устойчивости по отдельным факторам и комплексного интегрального индекса устойчивости локальной береговой эко-социо-экономической системы.

Рассмотренный подход позволяет проводить:

- комплексный анализ устойчивости локальной береговой эко-социо-экономической системы с выделением факторов устойчивости и неустойчивости;
- оценку устойчивости локальных береговых систем и соответствующий пространственный анализ с выявлением устойчивых (узловых) и неустойчивых локальных береговых систем как территориальных единиц локального уровня управления.

Критериально-статистический подход к оценке устойчивости береговых систем апробирован на 18 локальных приморских муниципальных образованиях районов черноморского побережья Краснодарского края. В результате было показано, что наиболее устойчивым из локальных береговых систем является город Новороссийск со значением комплексного индекса устойчивости 0.34, что связано с достаточно высокими значениями индексов по всем факторам устойчивости. Наименьшую устойчивость имеют локальные береговые системы Темрюкского (Темрюкское городское поселение и Новотаманское сельское поселение) и Туапсинского (Шепсинское сельское поселение) районов, и основной негативный вклад в оценку устойчивости для этих береговых систем вносит природно-экологический фактор. В целом локальные береговые системы черноморского побережья Краснодарского края имеют положительные значения комплексного индекса устойчивости, и основной вклад вносит высокий туристический потенциал, уровень развития транспортной инфраструктуры, устойчивая социально-демографическая ситуация и высокая степень природно-экологической устойчивости.

Данный подход является универсальным и может быть использован в других приморских регионах РФ для оценки устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем. В дальнейшем при реализации ГИС-оболочки «Береговые эко-социо-экономические системы Краснодарского края» этот подход позволит осуществлять пространственное территориальное планирование и прогноз устойчивого развития береговых эко-социо-экономических систем на всех уровнях управления (региональный, районный и локальный) с учетом средне- и долгосрочной природной, экологической и социально-экономической динамики изменчивости в целях повышения эффективности принятия управленческих природопользовательских решений в морской береговой зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гогоберидзе Г. Г., Косьян Р. Д., Румянцева Е. А.* Методика комплексной оценки устойчивости береговых эко-социо-экономических систем на основе индикаторного подхода // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 122–141. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-122-141
2. Безопасное эколого-социально-экономическое развитие территорий: значимость локального уровня управления / А. Ю. Даванков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. 2019. № 3. С. 33–40.
3. *Посталюк М. П., Розанова Л. Н.* Территориальные социо-эколого-экономические системы: проблема устойчивости // Проблемы современной экономики. 2013. № 3. С. 426–432.
4. *Татаркин А. И.* Региональная направленность экономической политики Российской Федерации как института пространственного обустройства территорий // Экономика региона. 2016. Т. 12, вып. 1. С. 9–27.
5. Системный анализ в управлении устойчивым региональным развитием / М. Ф. Баранская [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 8–3. С. 543–548.
6. *Дорошенко С. В., Третьяк А. Н., Илинбаева Е. А.* Концепция стратегии социально-экономического развития субрегионального образования // Региональная экономика и управление. 2014. № 2. С. 64–79.
7. *Зубаревич Н. В.* Региональное развитие и региональная политика в России // ЭКО. 2014. № 4. С. 6–24.
8. *Севастьянова А. Е.* Анализ стратегического соответствия факторов социально-экономического развития на субрегиональном уровне // Идеи и идеалы. 2020. Т. 12, № 2–2. С. 279–296. doi:10.17212/2075-0862-2020-12.2.2-279-296
9. *Тажитдинов И. А.* Субрегион как особое звено территориально-экономической системы: сущность, особенности функционирования и управления // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 1. С. 191–197.
10. *Бакланов П. Я.* Территориальные социально-экономические системы в региональном развитии // Известия РАН. Серия географическая. 2017. № 4. С. 7–16. doi:10.7868/S0373244417040016
11. *Capello R., Nijkamp P.* Introduction: Regional Growth and Development Theories in the Twenty-First Century – Recent Theoretical Advances and Future Challenges // Handbook of Regional Growth and Development Theories. Cheltenham : Edward Elgar, 2009. P. 1–18.
12. *Belfiore S.* The growth of integrated coastal management and the role of indicators in integrated coastal management: introduction to the special issue // Ocean & Coastal Management. 2003. Vol. 46, iss. 3–4. P. 225–234. doi:10.1016/S0964-5691(03)00005-X
13. *Bowen R. E., Riley C.* Socio-economic indicators and integrated coastal management // Ocean & Coastal Management. 2003. Vol. 46, iss. 3–4. P. 299–312. doi:10.1016/S0964-5691(03)00008-5
14. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В.* Основные критерии комплексной классификации азово-черноморских берегов России // Океанология. 2018. Т. 58, № 3. С. 501–511. doi:10.7868/S0030157418030140
15. *Крыленко М. В., Косьян Р. Д.* Использование системы критериев для комплексной оценки состояния островных дальневосточных побережий России // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 1. С. 69–79. doi:10.31857/S2587556620010112

16. *Никитина Т. И.* Комплексная методика оценки уровня устойчивого социально-экономического развития сельских территорий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 106–112.
17. *Gogoberidze G.* Tools for comprehensive estimate of coastal region marine economy potential and its use for coastal planning // Journal of Coastal Conservation. 2012. Vol. 16, iss. 3. P. 251–260. doi:10.1007/s11852-011-0155-2
18. *Cardoso da Silva M., Carmona Rodrigues A.* Environmental indicators as tools for the management of estuaries – Methodology and case study of the Tejo estuary // Journal of Coastal Conservation. 2004. Vol. 10, iss. 1–2. P. 13–24. [https://doi.org/10.1652/1400-0350\(2004\)010\[0013:EIATFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1652/1400-0350(2004)010[0013:EIATFT]2.0.CO;2)
19. *Бубенова Л. А.* Взаимосвязь между социально-экономическими показателями и индексами оценки качества государственного управления // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10, № 9. С. 2291–2306. doi:10.18334/erp.10.9.110817
20. Берега / П. А. Каплин [и др.]. М. : Мысль, 1991. 479 с.
21. *Кожевников С. А., Ворошилов Н. В.* Актуальные вопросы оценки эффективности государственного управления в современной России // Проблемы развития территории. 2017. № 6. С. 35–52.
22. *Кузнецов А. П., Селименков Р. Ю.* Устойчивое развитие региона: эколого-экономические аспекты. Вологда : ИСЭРТ РАН, 2015. 136 с.
23. *Шеломенцев А. Г., Беляев В. Н., Илинбаева Е. А.* Оценка взаимосвязи экономического роста и экологической нагрузки в регионах Урала // Вестник ОГУ. 2014. № 6. С. 158–163.
24. *Stimson R. J., Stough R. R., Roberts B. H.* Regional Economic Development. Analysis and Planning Strategy. Berlin ; Heidelberg : Springer Verlag, 2006. 458 p. doi:10.1007/3-540-34829-8
25. Ландшафтно-экологическая оценка муниципальных районов Воронежской области / А. С. Горбунов [и др.]. Воронеж : Истоки, 2017. 167 с.
26. The delimitation of areas of strategic intervention in Poland: A methodological trial and its results / J. Banski [et al.] // Moravian Geographical Reports. 2018. Vol. 26, iss. 2. P. 84–94. doi:10.2478/mgr-2018-0007
27. An overview of sustainability assessment methodologies / R. S. Kumar [et al.] // Ecological Indicators. 2009. Vol. 9, iss. 2. P. 189–212. doi:10.1016/j.ecolind.2008.05.011
28. *Liverman D. M.* Geographic perspectives on development goals: Constructive engagements and critical perspectives on the MDGs and the SDGs // Dialogues in Human Geography. 2018. Vol. 8, iss. 2. P. 168–185. doi:10.1177/2043820618780787
29. *Wong C., Baker M., Kidd S.* Monitoring spatial strategies: the case of local development documents in England // Environment and Planning C: Government and Policy. 2006. Vol. 24, iss. 4. P. 533–552. doi:10.1068%2Fc0553
30. Статистические методы анализа региональной экономики: монография / Л. П. Бакуменко [и др.]. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2019. 184 с.
31. *Бирюкова М. В., Ефремов А. В.* Критерии оценки региональной дифференциации развития // Поиск (Волгоград). 2016. № 1(3). С. 216–218.
32. Индикаторы экологически устойчивого развития: региональное измерение / С. Н. Бобылев [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2018. № 2. С. 21–33.
33. *Дегтярев К. С.* Экономико-географическое районирование Республики Калмыкия // Известия РГО. 2020. Т. 152, № 1. С. 31–46. doi:10.31857/S0869607120010036

34. Казакова Т. Л. Разработка системы индикаторов устойчивого развития для Центрального Черноземья // Региональные исследования. 2008. № 1. С. 20–23.
35. Кулаковский Е. С. Индикаторы устойчивого социально-экономического развития в принятии управленческих решений на уровне муниципальных районов (на примере Воронежской области) // Региональные исследования. 2019. № 2. С. 25–35. doi:10.5922/1994-5280-2019-2-3
36. Хавроничев В. И., Тюлю Г. М. Статистический анализ влияния экологических факторов на социально-экономическое развитие территории // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: экономика и экологический менеджмент. 2020. № 2. С. 46–57. doi:10.17586/2310-1172-2020-13-2-46-57
37. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures / Edited by B. Lim, E. Spanger-Siegfried. UK : UNDP, Cambridge University Press, 2004. URL: <https://www.adaptation-undp.org/resources/training-tools/adaptation-policy-frameworks> (дата обращения 10.03.2022).
38. Ballesteros C., Jiménez J. A., Viavattene C. A multi-component flood risk assessment in the Maresme coast (NW Mediterranean) // Natural Hazards. 2018. Vol. 90, iss. 1. P. 265–292. doi:10.1007/s11069-017-3042-9
39. Comparison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province / A. Koroglua [et al.] // Ocean and Coastal Management. 2019. Vol. 178. 104799. doi:10.1016/j.ocecoaman.2019.05.001
40. McLaughlin S., McKenna J., Cooper. J. A. G. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities // Journal of Coastal Research. 2002. Iss. 36, iss. 1. P. 487–497. doi:10.2112/1551-5036-36.sp1.487
41. Горячкин Ю. Н., Косьян Р. Д., Крыленко В. В. Природно-хозяйственная оценка берегов западного Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 3. С. 41–55. doi:10.22449/2413-5577-2018-3-41-55

Поступила 10.07.2021 г.; одобрена после рецензирования 11.08.2021 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Гогоберидзе Георгий Гививич, ведущий научный сотрудник, Мурманский арктический государственный университет (183038, Россия, Мурманск, ул. Капитана Егорова, д. 15), доктор экономических наук, доцент, **ORCID ID: 0000-0002-0537-0268**, **Scopus Author ID: 6507697703**, **ResearcherID: E-6597-2014**, gogoberidze.gg@gmail.com

Румянцева Екатерина Александровна, старший научный сотрудник, Мурманский арктический государственный университет (183038, Россия, Мурманск, ул. Капитана Егорова, д. 15), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0003-2916-3092**, **Scopus Author ID: 57205164298**, **ResearcherID: T-2221-2018**, rumkate@rambler.ru

Косьян Рубен Дереникович, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение (353467, Россия, Геленджик, Краснодарский край, ул. Просторная, д. 1г), доктор географических наук, профессор, **ORCID ID: 0000-0003-0788-6644**, **Scopus Author ID: 57200034429**, **ResearcherID: C-5154-2014**, rkosyan@hotmail.com

About the authors:

George G. Gogoberidze, Leading Research Associate, Murmansk Arctic State University (15 Kapitana Egorova St., Murmansk, 183038, Russian Federation), Dr.Sci. (Econ.), Associate Professor, **ORCID ID: 0000-0002-0537-0268**, **Scopus Author ID: 6507697703**, **ResearcherID: E-6597-2014**, *gogoberidze.gg@gmail.com*

Ekaterina A. Rumiantceva, Senior Research Associate, Murmansk Arctic State University (15 Kapitana Egorova St., Murmansk, 183038, Russian Federation), Ph.D. (Phys.-Math.), **ORCID ID: 0000-0003-2916-3092**, **Scopus Author ID: 57205164298**, **ResearcherID: T-2221-2018**, *rumkate@rambler.ru*

Ruben D. Kosyan, Chief Research Associate, P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, South Branch (1G Prostornaya St., Gelendzhik, Krasnodar Krai, 353467, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), Professor, **ORCID ID: 0000-0003-0788-6644**, **Scopus Author ID: 57200034429**, **ResearcherID: C-5154-2014**, *rkosyan@hotmail.com*

Заявленный вклад авторов:

Гогоберидзе Георгий Гививич – общее научное руководство исследованием, формулировка целей и задач исследования, разработка методик и подходов, разработка факторных подсистем, формулирование направлений дальнейших исследований, обсуждение результатов работы, формулирование выводов, подготовка текста статьи

Румянцова Екатерина Александровна – обзор литературы по проблеме исследования, разработка факторных подсистем, сбор информации для проведения расчетов, анализ полученных расчетных результатов, обсуждение материалов статьи и результатов работы, подготовка текста статьи, доработка текста

Косьян Рубен Дереникович – разработка факторных подсистем, сбор информации для проведения расчетов, формулирование направлений дальнейших исследований, обсуждение материалов статьи и результатов работы, формулирование выводов, доработка текста

Contribution of the authors:

George G. Gogoberidze – general research supervision, study goal and objective statement, development of methods and approaches, development of factor subsystems, direction statement for further research, discussion of the results, formulation of conclusions, paper preparation

Ekaterina A. Rumiantceva – source review on the research problem, development of factor subsystems, information collection for calculations, analysis of the obtained results, discussion of the paper materials and results, paper preparation, text improvement

Ruben D. Kosyan – development of factor subsystem, information collection for calculations, direction statement for further research, discussion of the paper materials and results, formulation of conclusions, text improvement

Морской гидрофизический институт РАН

Подписку на очередные номера журнала «Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря» можно оформить по Интернет каталогу «Пресса по подписке» (индекс 93635).

Адрес редакции:

299011, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»

Тел.: +7 (8692) 54-01-80, 54-57-16

Сайт журнала «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря»:
<http://ecological-safety.ru>

E-mail: ecology-safety@mhi-ras.ru

Ответственный за номер Ю. Н. Горячкин

Редакторы: Н. А. Конопляникова, Н. Б. Мороз

Компьютерная верстка: Т. В. Хмара

Перевод: Н. А. Конопляникова

Информационная поддержка сайта журнала: А. О. Конопляников

Дизайн обложки: О. В. Домнина

Подписано в печать 07.02.2022 г. Дата выхода в свет 25.03.2022 г. Формат 70 × 108¹/₁₆.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 6,4. Усл. кр.-отт. 7,0. Уч.-изд. л. 6,85.
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ИП Копыльцов Павел Иванович. ИНН 366411965235
394052, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Маршала Неделина, дом 27, кв. 56

Индекс 93635

ISSN 2413-5577 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЕЯ

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН