

Система экологического мониторинга Азово-Черноморского бассейна

Е. Е. Совга^{1*}, А. Н. Коршенко², И. В. Мезенцева³,
Т. В. Хмара¹, М. П. Погожева²

¹ Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

² Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия

³ Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Севастополь, Россия

* e-mail: science-mhi@mail.ru

Аннотация

Представлены структура, задачи и особенности экологического мониторинга Черного и Азовского морей, а также его средства и методы, принятые в Российской Федерации. Описаны используемые в Росгидромете стандарты на методики анализа, схемы расположения морских станций отбора проб, анализируемые параметры и особенности формирования государственной наблюдательной сети. Показаны различия в европейской и российской системах экологического мониторинга морской среды и направленность этих систем. Рассмотрены особенности спутникового мониторинга Азово-Черноморского бассейна. Анализируются последние достижения спутникового мониторинга Черного моря и перспективы его развития в РФ. Перечислены дополнительные возможности внедрения спутниковых технологий при решении ряда природоохранных задач. Рассмотрена новая система спутникового наблюдения за антропогенными воздействиями на шельфе Черноморского побережья России, созданная коллективом ученых института «Аэрокосмос» и институтов РАН. Проанализированы возможности использования математического моделирования как эффективного инструмента для прогнозирования последствий антропогенного воздействия на морские акватории, включая разливы нефти. Представлены оценки многолетних изменений индекса загрязненности вод Черного моря в зоне ответственности РФ. Проанализированы этапы реализации международного проекта *EMBLAS*, разработанного в рамках Бухарестской конвенции (1992 г.), цель которого состояла в развитии системы комплексного мониторинга Черного моря, сборе и управлении полученными данными, повышении уровня квалификации профильных специалистов в причерноморских государствах. Приведена схема экологического районирования восточной части Черного моря с описанием станций комплексного мониторинга, предлагаемых для включения в программу работ. Обоснована необходимость экологического районирования и выделения участков, рекреационное использование которых до изменения ситуации должно быть исключено или ограничено в целях сохранения здоровья людей.

© Совга Е. Е., Коршенко А. Н., Мезенцева И. В.,
Хмара Т. В., Погожева М. П., 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

Ключевые слова: экологический мониторинг, индекс загрязненности вод, схемы расположения станций, Азово-Черноморский бассейн, спутниковая информация, международные проекты

Благодарности: работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0005 (шифр «Прибрежные исследования»).

Для цитирования: Система экологического мониторинга Азово-Черноморского бассейна / Е. Е. Совга [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 19–37. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-19-37

Environmental Monitoring System in the Azov and Black Sea Basin

Е. Е. Sovga^{1*}, **А. Н. Korshenko**², **И. В. Mezentseva**³,
Т. В. Khmara¹, **М. П. Pogozheva**²

¹ *Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia*

² *N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia*

³ *Sevastopol Branch of the Federal State Budgetary Institution*

"N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russia

** e-mail: science-mhi@mail.ru*

Abstract

The paper presents the structure, tasks and features of environmental monitoring of the Black and Azov Seas as well as means and methods thereof adopted in the Russian Federation. The paper describes standards of analysis methods, layouts of offshore sampling stations, analyzed parameters, and specifics of the formation of the State Observation Network adopted by Roshydromet. Differences in the European and Russian systems of marine environmental monitoring and the systems' focus are shown. The features of satellite monitoring of the Azov and Black Sea basin were considered. The latest achievements of satellite monitoring of the Black Sea in the Russian Federation and the prospects for its development were analyzed. Additional opportunities to introduce satellite technologies in solving a number of environmental problems are listed. A new system of satellite monitoring of anthropogenic impacts on the Black Sea shelf of Russia, created by a team of scientists from the Aerocosmos Institute and institutes of the Russian Academy of Sciences, is considered. The possibilities of using mathematical modeling methods as an effective tool for predicting the consequences of anthropogenic impact on marine areas, including oil spills, were analyzed. The long-term changes in the water pollution index of the Black Sea marine areas were estimated in the area of responsibility of the Russian Federation. The implementation stages of the international project EMBLAS developed as part of the Bucharest Convention (1992) were analyzed. The purpose of the project was to develop a system of integrated monitoring of the Black Sea, to collect and manage the obtained data, and to improve the skill level of dedicated experts in the Black Sea states. The paper provides a map of ecological zoning of the eastern Black Sea with description of complex monitoring stations proposed for inclusion in the work program. The paper substantiates the necessity of ecological zoning and allocation of sites, the recreational use of which should be excluded or limited for the sake of people's health until the situation changes.

Key words: environmental monitoring, water pollution index, station layout, Azov and Black Sea basin, satellite information, international projects

Acknowledgments: the work was performed under state assignment of MHI no. 0555-2021-0005 (code “Coastal studies”).

For citation: Sovga, E.E., Korshenko, A.N., Mezentseva, I.V., Khmara, T.V. and Pogozheva, M.P., 2022. Environmental Monitoring System in the Azov and Black Sea Basin. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 19–37. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-19-37

Введение

Азово-Черноморский бассейн является одним из наиболее развитых регионов с точки зрения предоставления рекреационно-туристических, санитарно-курортных и бальнеологических услуг не только для России, но и для Европы в целом. Обусловлено это в первую очередь наличием морских пляжей, а также сети минеральных источников и источников целебных грязей. Уникальные климатические и природно-рекреационные условия способствуют развитию специфической системы лечебных и курортных комплексов. В то же время катастрофическое загрязнение Черного и Азовского морей является общепризнанным фактом [1].

Основным федеральным органом государственной власти Российской Федерации (РФ) в области использования и охраны окружающей среды является Министерство природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды России) (URL: www.mnr.gov.ru), в компетенцию которого входит мониторинг загрязнения окружающей природной среды. Согласно [2], мониторинг – систематическая диагностика ситуации с определенной заданной периодичностью и с использованием одной и той же системы индикаторов. Применительно к мониторингу гидрохимического состояния и уровня загрязнения морской среды мониторинг означает регулярные наблюдения в одном месте одинаковыми или сравнимыми методами. Минприроды РФ устанавливает требования к проведению государственного мониторинга водных объектов, в том числе регламентируются наблюдения за состоянием окружающей природной среды и ее загрязнением, сбор, обработка и хранение данных, распространение информации. Минприроды РФ осуществляет координацию и контроль деятельности подведомственных ему Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета), Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Федерального агентства водных ресурсов и Федерального агентства по недропользованию. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 06.06.2013 № 477 «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды» Росгидромету поручено формирование и обеспечение функционирования государственной сети наблюдений (ГСН), ее стационарных и подвижных пунктов, а также судовых экспедиционных исследований.

В настоящее время государственная сеть наблюдений формируется на основании Положения о ГСН (2003 г.) и включает как региональные Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), так и их филиалы – Центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, которые выполняют практическую работу по мониторингу¹⁾.

¹⁾ URL: <http://www.meteorf.ru/about/structure> (дата обращения: 06.06.2022).

Результаты наблюдений морской сети Росгидромета издаются в «Ежегодниках качества морских вод по гидрохимическим показателям»²⁾, которые регулярно дополняются результатами исследований и наблюдений научно-исследовательских институтов Росгидромета и Российской академии наук, отдельных экспедиционных морских исследований государственных и негосударственных организаций²⁾, данными, полученными в рамках международного обмена информацией.

Контактные методы мониторинговых наблюдений за качеством вод морских акваторий дополняются дистанционными (космическими) методами получения информации. Согласно поручению Правительства РФ от 10.02.2003 г. № МК-П9-01617³⁾, ГУ «НИЦ «Планета» совместно с Гидрометцентром РФ, ИО РАН и ИКИ РАН в российском секторе Черного и Азовского морей осуществляет спутниковый мониторинг водной среды, технология которого позволяет получить обработанные спутниковые изображения видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов со спутников «Метеор-3М», «Монитор-Э», *Terra Aqua*, *NOAA*, *ERS-2*, *Envisat*, *IRS*, *QuikSCAT*, *Jason*, *TOPEX/Poseidon* и *Meteosat-9*.

Двенадцать видов итоговой спутниковой информации включают в себя не только обобщенные карты-схемы состояния водной среды, но и карты:

- нефтяного загрязнения моря;
- циркуляции вод, изменений уровня моря;
- распределения фитопланктона и водорослей, концентрации хлорофилла *a*;
- распределения коэффициента диффузного ослабления;
- температуры морской поверхности, приводного ветра;
- результатов автоматизированного распознавания водных объектов и др.

Цель настоящей работы – описать структуру и задачи государственного экологического мониторинга Черного и Азовского морей, а также оценить средства и методы выполнения наблюдений в рамках международных экологических проектов.

Материалы и методы

Проблемы экологического мониторинга Черного и Азовского морей будут рассмотрены в следующем порядке:

- структура и задачи экологического мониторинга. Особенности, структура и задачи экологического мониторинга в причерноморских странах;
- принятые в РФ средства и методы наблюдений, в том числе контактные и дистанционные, а также численное моделирование;
- предложения по усовершенствованию системы экологического мониторинга Черного моря по результатам выполнения международных проектов и программ.

²⁾ Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2019 / Под ред. А. Н. Коршенко. М. : Наука, 2020. 232 с.

³⁾ О введении в действие порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды : приказ Начальника Росгидромета от 31.10.2000 г. № 156 : утв. 01.01.2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901791258> (дата обращения: 10.06.2022).

Результаты и обсуждение

Морской экологический мониторинг (в настоящей работе – мониторинг в российском секторе Черного и Азовского морей) направлен как на оценку текущего состояния морской среды, так и на прогноз развития экологических рисков на основе ретроспективного анализа источников и факторов влияния. Согласно работе ⁴⁾, объектами морского экологического мониторинга в Черном и Азовском морях являются: морская среда в пределах исключительно морской экономической зоны черноморских государств, гидрометеорологические и климатические (сезонные) факторы влияния, основные загрязняющие вещества и их влияние на физико-химические параметры морской среды, береговые и морские источники загрязнения, речной и атмосферный сток, обменные процессы между морем и атмосферой, морем и донными отложениями, морем и живыми организмами, биопродуктивность.

Следует отметить значительное отличие российской системы экологического мониторинга морской среды от европейских. Так, в основу российской системы положен принцип химического анализа воды и оценки ее загрязненности относительно предельно допустимой концентрации (ПДК) того или иного химического элемента в морской воде.

Европейская система мониторинга основывается на экосистемном подходе, оценивая состояние морской среды по комплексу индикаторов (дескрипторов) и акцентируя внимание на оценке непосредственного воздействия деятельности человека на живые организмы ⁵⁾. Одним из основополагающих принципов является последующая разработка системы мер по предотвращению или сокращению дальнейшего антропогенного воздействия в случае серьезных нарушений качества морской среды. Этот методический подход позволяет не только получать информативную картину состояния основных компонентов морской среды, но и влиять в дальнейшем на ее динамику. Такая система в настоящее время применяется на всех европейских морях, включая и большую часть акватории Черного моря ⁶⁾.

В 1992 г. в Бухаресте специалисты черноморских стран (России, Турции, Украины, Румынии, Болгарии и Грузии) подписали Конвенцию о защите Черного моря от загрязнения (Бухарестская конвенция). В рамках Конвенции указанные государства взяли на себя обязательства по контролю и уменьшению загрязнения Черного моря, проведению мониторинга и защите морской окружающей среды ⁷⁾. Конкретные меры определяются тремя протоколами Бухарестской конвенции [3]:

⁴⁾ *Монюшко М. М.* Комплексный экологический мониторинг Азово-Черноморского бассейна (Современное состояние) // Международная научно-практическая конференция "Эффективные инструменты современных наук - 2007" (03–15 мая 2007 г.): материалы конференции. Praha : Publishing house Education and Science s.r.o., 2007. URL: http://www.rusnauka.com/9_EISN_2007/Geographia/21470.doc.htm (дата обращения: 02.06.2022).

⁵⁾ Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) // Official Journal of the European Union. 2008. Iss. L 164. P. 19–40. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj> (дата обращения: 02.06.2022).

⁶⁾ URL: <https://emblasproject.org/> (дата обращения: 02.06.2022).

⁷⁾ Конвенция о защите Черного моря от загрязнения (Бухарест, 21 апреля 1992 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901892843> (дата обращения: 02.06.2022).

- Протоколом о защите морской среды Черного моря от загрязнения из береговых источников;
- Протоколом о сотрудничестве в борьбе с загрязнением морской среды Черного моря нефтью и другими вредными веществами в аварийных ситуациях;
- Протоколом о защите морской среды Черного моря от загрязнения в результате сбросов.

В 2002 г. участники Конвенции подписали Протокол о сохранении биоразнообразия и ландшафтов Черного моря, а также составили «Список видов, важных для Черного моря». На Черноморскую комиссию (Комиссия по защите Черного моря от загрязнения) возложен контроль за выполнением протоколов Бухарестской конвенции, ее Стратегического плана действий по восстановлению и защите Черного моря. Созданные международные консультативные группы оказывают информационную и экспертную поддержку Черноморской комиссии и ее постоянно действующему Секретариату. Работа консультативных групп направлена на проведение экологического мониторинга и оценку уровня загрязнения, контроль загрязнения из наземных источников и разработку единой методологии комплексного управления береговой зоной, оценку экологических аспектов регулирования рыболовства и добычи других морских биоресурсов, сохранение биоразнообразия и решение проблем экологической безопасности судоходства.

Черноморская комиссия руководит деятельностью черноморских региональных центров, организованных на базе профильных национальных учреждений⁷⁾. Поддержка национальных систем мониторинга Черного моря входит в перечень международных проектов, выполняемых в рамках Стратегического плана действий по восстановлению и защите Черного моря.

Станции мониторинга морей России Росгидромета

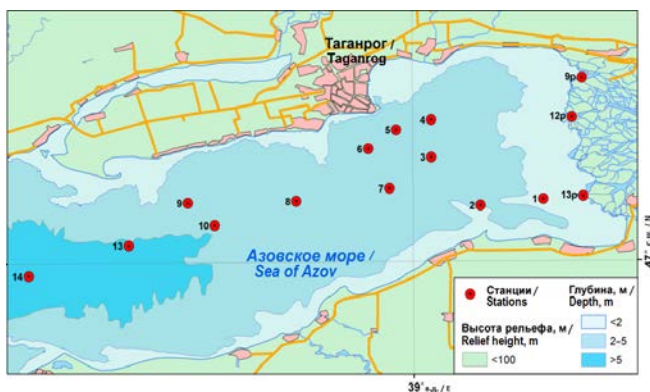
Станции государственной службы наблюдения и контроля загрязнения объектов природной среды имеют определенную категоричность в зависимости от состава и частоты наблюдений. Так, единичные контрольные станции I категории с постоянным наблюдением предназначены для оперативного контроля уровня загрязнения морской акватории. Они располагаются в стратегически важных районах моря или в районах, постоянно подвергающихся интенсивному загрязнению. По полной программе наблюдения за загрязнением и химическим составом вод проводятся один раз в месяц, а по сокращенной программе мониторинг выполняется от двух до четырех раз в месяц. Единичные станции или комплексы станций (разрезы) II категории охватывают значительные акватории моря, включая устьевые участки рек, и служат для получения систематической информации, а также исследования сезонной и межгодовой изменчивости контролируемых параметров. Мониторинг проводят по полной программе один раз в месяц (в период ледостава – один раз в квартал). Информацию о фоновых уровнях загрязнения, их сезонной и межгодовой изменчивости получают на станциях мониторинга III категории, расположенных на акваториях моря с низким уровнем антропогенной нагрузки в относительно чистых водах, куда загрязняющие вещества (ЗВ) могут попасть только вследствие их глобального переноса или региональных миграционных процессов. Станции этой категории

также предназначены для определения элементов баланса химических веществ. Наблюдения по полной программе выполняются один раз в сезон. Категория и местоположение станций мониторинга могут корректироваться в зависимости от динамики уровня загрязнения морской среды либо в связи с появлением новых объектов контроля²⁾.

Программы мониторинга, проводимые на морях РФ региональными управлениями Росгидромета, базируются на постоянной сетке станций трех категорий. Однако в действительности при реализации планов часто не удается выполнять станции приведенных выше категорий вследствие постоянно возникающих проблем с маломерным научным флотом, приспособленным к выполнению заборных работ по пробоотбору воды и донных отложений. Дополнительной сложностью является необходимость проводить анализ содержания в морской воде химических соединений и ЗВ в очень незначительной концентрации, что требует наличия современного химико-аналитического оборудования и чистых химреактивов.

В настоящее время мониторинг гидрохимического состояния и уровня загрязнения Азовского моря проводится в восточной части Таганрогского залива Донской устьевой гидрометеорологической станцией, в дельте р. Кубани и на ее устьевом взморье в Темрюкском заливе – Устьевой гидрометеорологической станцией Кубанская (УГС «Кубанская», г. Темрюк), а на станциях разреза между портами Крым и Кавказ – комплексной лабораторией мониторинга загрязнения окружающей среды Опасное (г. Керчь). В качестве примера на рис. 1 показаны схемы расположения станций мониторинга загрязнения азовоморских вод.

В акватории Черного моря под государственный мониторинг подпадают прибрежные воды Кавказского и Крымского побережья России. На прибрежных участках шельфа в районе городов Анапы, Новороссийска, Геленджика и Туапсе наблюдения осуществляет Устьевая ГМС Кубанская (г. Темрюк), в прибрежной мелководной зоне в районе городов Сочи и Адлера от устья р. Сочи до устья р. Мзымта наблюдения проводит комплексная лаборатория мониторинга загрязнения окружающей среды Специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей (г. Сочи). У крымских берегов Черного моря мониторинговые исследования акватории Севастопольской бухты и прибрежной зоны Юго-Западного Крыма проводит Севастопольское отделение ФГБУ «ГОИН» (СО ГОИН) и отдел биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН, а в акватории порта Ялта – комплексная лаборатория мониторинга загрязнения окружающей среды г. Ялта ФГБУ «Крымское УГМС». Пробы отбирают из поверхностного и придонного слоев, на глубоководных станциях – со стандартных гидрологических горизонтов 0, 10, 25 и 50 м. Качество морских вод контролируется по показателям, в число которых входят режимные гидролого-гидрохимические характеристики (температура, соленость, хлорность, электропроводность, рН, общая щелочность и концентрация растворенного кислорода и взвешенных веществ), концентрация биогенных элементов (фосфор общий, фосфор фосфатный, азот аммонийный, нитритный, нитратный и общий, кремний) и загрязняющих веществ, таких как нефтяные углеводороды, анионные синтетические



a



b

Рис. 1. Станции мониторинга в восточной части Таганрогского залива (а) и Темрюкском заливе (b) Азовского моря

Fig. 1. Monitoring stations in the eastern part of Taganrog (a) and Temryuk (b) Bays of the Sea of Azov

поверхностно-активные вещества, фенолы, хлорорганические пестициды групп ДДТ и ГХЦГ, гептахлор, альдрин и полихлорированные бифенилы, тяжелые металлы. Все химические анализы при работах на сети мониторинга морской среды производятся в соответствии с методиками специализированных руководящих документов (РД) – руководств по химическому анализу морских вод.

Спутниковый мониторинг Черного и Азовского морей в РФ и перспективы его развития

Дистанционное наблюдение за российскими акваториями Азово-Черноморского бассейна, подвергающимися антропогенному воздействию, возможно с применением современных спутниковых технологий. Для этого система мониторинга задействует спутники, измерительное оборудование на судах и буях, а также центр приема и обработки информации. При организации спутникового мониторинга учитывается как мировой опыт проведения подобных работ, так и особенности источников поступления ЗВ и динамика водных масс Черного и Азовского морей.

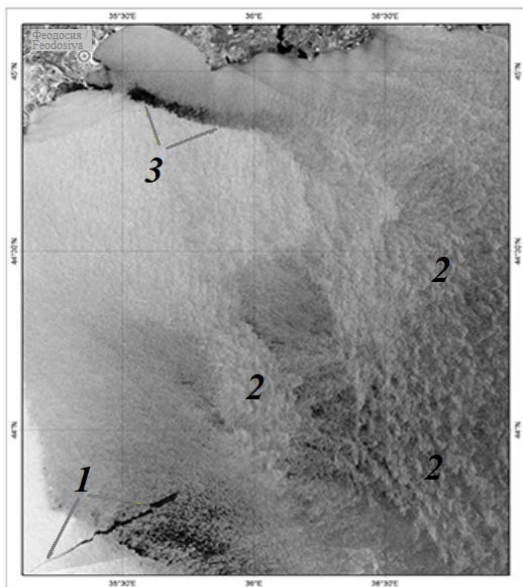
Например, согласно [4], в 2006 г. в ходе спутникового мониторинга состояния природной среды российского сектора Азовского и Черного морей было получено, обработано и проанализировано более 1100 космических изображений с девяти специализированных спутников дистанционного зондирования Земли. На основе анализа данных наземных наблюдений с метеорологических станций Сочи, Туапсе, Новороссийска, Анапы, Ростова-на-Дону и Керчи, а также предшествующих спутниковых данных выпускалось 12 видов оперативной спутниковой информации и обобщенные карты-схемы состояния и загрязнения морской среды [4].

Современные спутниковые технологии могут обеспечить съемку морских акваторий в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного излучения. Зондирование в инфракрасном и микроволновом диапазонах применяется для определения температуры морской поверхности и изучения термодинамики морских льдов, определения солености вод. Спутниковая съемка в видимом диапазоне позволяет отслеживать состояние прибрежной зоны и динамику морских берегов, определять содержание взвешенных частиц, а также состав и продуктивность фито- и зоопланктона. Качественный и количественный анализ взвесей, определение хлорофилла в фитопланктоне (и опосредованно загрязнения вод) и обнаружение нефтяных пленок на морской поверхности способна обеспечить спектральная съемка.

В 2009 г. в рамках Бухарестской конвенции был принят Стратегический план действий по снижению нефтяного загрязнения моря. Его проект *MONINFO* основан на применении спутниковых технологий обнаружения поверхностного нефтяного загрязнения моря. Однако в 2008 г., еще до реализации инициативы Евросоюза, в РФ (с участием оператора сервиса предоставления спутниковых данных ИТЦ «СКАНЭКС», имеющего доступ к операционной системе позиционирования судов (*Automatic Identification System, AIS*), разработанной ФГБУ «АМП Черного моря») успешно осуществляется первый комплексный проект «Мониторинг нефтяных загрязнений Черного моря и экологической безопасности мореплавания в районах интенсивного судоходства в Керченском проливе, акватории порта Новороссийск и на подходах к нему» [5]. Выполнение проекта позволило вести мониторинг зон интенсивного судоходства, выявлять суда, причастные к несанкционированным сбросам нефтесодержащих вод, и осуществлять техническую поддержку при планировании и проведении поисково-спасательных операций в отношении судов, терпящих бедствие, в том числе судов, не подающих радиосигналы.

Данные космического мониторинга со спутника *Sentinel-1B*, полученные 21 января 2020 г., позволили обнаружить разлив нефтепродуктов в 146 км от Феодосии (рис. 2). Об этом 23 января 2020 г. сообщило ФГБУ «НИЦ «Планета», идентифицировавшее объект как пленку нефтяных загрязнений с судов⁸⁾. Площадь загрязнения составила 86.1 км², протяженность – 55.1 км. Загрязнение прибрежных вод нефтепродуктами – одна из главных экологических проблем Черноморского региона.

⁸⁾ URL: <https://neftegaz.ru/news/incidental/520743-dannye-kosmicheskogo-monitoringa-pokazali-krupnyy-razliv-nefti-u-beregov-kryma/> (дата обращения: 10.06.2022).



Р и с . 2 . Радиолокационное изображение Черного моря у побережья Крыма: 1 – пленки нефтяных загрязнений с судов; 2 – проявление воздействия атмосферной конвекции на взволнованную морскую поверхность; 3 – проявление воздействия атмосферного фронта на взволнованную морскую поверхность

Fig . 2 . Radar image of the Black Sea off the Crimean coast: 1 – films of oil pollution from ships; 2 – manifestation of the impact of atmospheric convection on the rough sea surface; 3 – manifestation of the impact of the atmospheric front on the rough sea surface

Еще одним направлением экологического мониторинга в российском секторе Черного моря стало своевременное обнаружение и диагностика «цветения» морской воды путем измерения концентрации хлорофилла по спутниковым наблюдениям. Так, в марте 2008 г. в северо-восточной части Черного моря благодаря своевременному получению космических снимков впервые удалось зафиксировать так называемый красный прилив, вызванный развитием вида динофитовых водорослей [6, 7]. Оптические снимки *MODIS*, сделанные в это время над прибрежными районами Черного моря, позволили проследить пространственно-временное распространение загрязненных («цветущих») вод. Полученные с помощью датчиков *Aqua/MODIS* карты хлорофилла подтвердили результаты натурных наблюдений.

Проводимое в МГИ НАНУ оперативное зондирование оптических свойств поверхности Черного моря и выполняемые сотрудниками ЮНЦ РАН регулярные исследования фитопланктона в его северо-восточной части позволили в мае – июле 2012 г. зафиксировать аномальное (за последние 15 лет) по интенсивности и продолжительности «цветение» воды. Согласно [8], оно было вызвано массовым развитием нанопланктонного вида кокколитофорид.

В настоящее время команда ученых из НИИ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос» при участии специалистов МГИ РАН (Севастополь) и ИО РАН работает над созданием системы комплексного мониторинга антропогенных воздействий на морские акватории шельфовых районов Черноморского побережья России. Эта система будет выполнять сбор, обработку и анализ информации, важной для оценки состояния морских акваторий и реакции прибрежных экосистем на человеческую деятельность, а в случае угрозы с ее помощью будут разрабатываться меры по предотвращению загрязнения морской среды.

В данной системе для сбора данных предусмотрено использование наземных источников информации, в том числе приборов, размещенных на побережье и установленных на кораблях, буях и стационарных платформах,

а также системы спутников, которые в оперативном режиме могут передавать информацию о различных характеристиках морской среды прибрежных акваторий. Такой комплекс позволит фиксировать направление и скорость ветра, направление и высоту волн, скорость течений, регистрировать вертикальные распределения температуры и солености вод, определять прозрачность вод для идентификации взвесей, выявлять загрязнение морских акваторий, в том числе наличие нефтяных загрязнений, пленок ПАВ и плюмов разной природы.

Для отработки взаимодействия потоков информации выбраны тестовые участки, подверженные интенсивному загрязнению. Это побережье у Севастополя, Южный берег Крыма (пос. Качивели, где имеется океанографическая платформа) и Краснодарский край (побережье у Геленджика). Первые предварительные результаты работы комплексной системы регионального мониторинга прибрежных акваторий для указанных тестовых участков изложены в работе [9].

Стоит напомнить, что современные спутниковые технологии не ограничиваются изучением поверхности моря. К примеру, дистанционное зондирование позволяет регистрировать подводные плюмы, в том числе образующиеся в результате сбросов канализационных вод. Плюм – это мезомасштабное образование с аномальными по составу водами антропогенного или терригенного происхождения [10].

Согласно [9], начиная с 2015 г. проводился космический мониторинг побережья у Севастополя на основе детального анализа оптических многоспектральных изображений высокого и среднего разрешения (от 1 до 30 м на местности) со спутников «Ресурс-П» № 1, *GeoEye*, *WorldView-2*, *WorldView-3*, *Landsat-7*, *Landsat-8*, *Sentinel-2A*. Мониторинг выявил существование плюма (рис. 3), образовавшегося в результате аварийного разрыва канализационной магистрали городских очистных сооружений «Южные» [11]. На спутниковых снимках плюм выделялся аномальным спектром отражающей способности, значительно отличающимся от соответствующего спектра для фоновых участков наблюдаемой акватории.

Проект поддержан ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–



Рис. 3. Прибрежная акватория у Севастополя на фрагменте оптического многоспектрального изображения со спутника *WorldView-2* (17 сентября 2015 г.). Пунктир оконтуривает характерную оптическую аномалию, сплошная линия показывает положение подводной сточной магистрали [11]

Fig. 3. Coastal area near the Sevastopol city on a fragment of an optical multispectral image from *WorldView-2* satellite (September 17, 2015). The dotted line outlines the characteristic optical anomaly, the solid line shows the position of the underwater sewer line [11]

2020 гг.» [12]. В его результатах уже заинтересованы Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, МЧС России и др. Определенный интерес эти разработки представляют для судостроительных, транспортных, нефте- и газодобывающих компаний, учебных и научных учреждений.

Математическое моделирование как инструмент для оценки состояния окружающей среды

Применение математического моделирования позволяет не только восполнить пробелы в точках отсутствия натурных данных, но и осуществить модельную оценку состояния экосистемы в условиях изменчивости ее компонент в зависимости от внешних факторов. Моделирование дает возможность оценивать взаимодействия, возникающие в реальных системах, но не поддающиеся или с трудом поддающиеся непосредственному измерению.

Кроме того, использование модели позволяет получить прогноз эволюции экосистемы при взаимном влиянии природных и антропогенных факторов, учесть тенденции изменения состояния экосистемы и вероятные последствия той или иной хозяйственной программы для поиска научно-обоснованного комплекса природоохранных мероприятий. На основе результатов моделирования может быть оптимизирована программа экологического мониторинга.

Комплексные многоцелевые математические модели качества морских вод состоят из следующих блоков: гидродинамический блок, блок переноса примеси, блок самоочищения от загрязняющих веществ, блок эвтрофикации и кислородного режима [13].

В настоящее время для прогноза распространения нефтяного пятна после разлива создано множество математических моделей. В МГИ РАН также разработана оперативная система прогноза распространения нефтяных разливов в Черном море (*Black Sea Track Web, BSTW*), в основе которой лежит синтез адаптированных к физико-географическим условиям Черного моря модулей балтийской системы прогноза нефтяных разливов и модели циркуляции Черного моря МГИ [14, 15].

Для оценки качества вод и сравнения различных морских акваторий используются расчетные значения индекса загрязненности вод (ИЗВ), позволяющие отнести воды исследуемого района к определенному классу чистоты. Правила расчета ИЗВ определены методическими рекомендациями²⁾. Метод расчета ИЗВ включает в себя:

- выбор уровня осреднения данных по пространству и времени;
- расчет приоритетных для рассматриваемой акватории в заданный период времени концентраций ЗВ (в ПДК);
- оценку класса качества воды по полученному значению ИЗВ согласно таблице «Классы качества вод и значения ИЗВ».

Для морских вод при расчете ИЗВ используют не менее трех параметров ЗВ и обязательно содержание растворенного кислорода (ПДК = 6 мгО₂/дм³).
Формула расчета ИЗВ:

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^4 \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \div 4,$$

где C_i – концентрация трех наиболее значительных загрязнителей, среднее содержание которых в воде исследуемой акватории в наибольшей степени

превышало соответствующие ПДК. Классы качества вод в зависимости от значений ИЗВ представлены в таблице. На рис. 4 показано многолетнее изменение ИЗВ акваторий Черного моря.

Классы качества вод и значения ИЗВ ²⁾

Water quality classes and WPI values ²⁾

Класс качества вод / Water quality class	Диапазон значений ИЗВ / WPI value range
I. Очень чистые / Very clean	≤ 0.25
II. Чистые / Clean	$0.25 \dots \leq 0.75$
III. Умеренно загрязненные / Moderately contaminated	$0.75 \dots \leq 1.25$
IV. Загрязненные / Contaminated	$1.25 \dots \leq 1.75$
V. Грязные / Polluted	$1.75 \dots \leq 3.00$
VI. Очень грязные / Very polluted	$3.00 \dots \leq 5.00$
VII. Чрезвычайно грязные / Extremely polluted	> 5.00

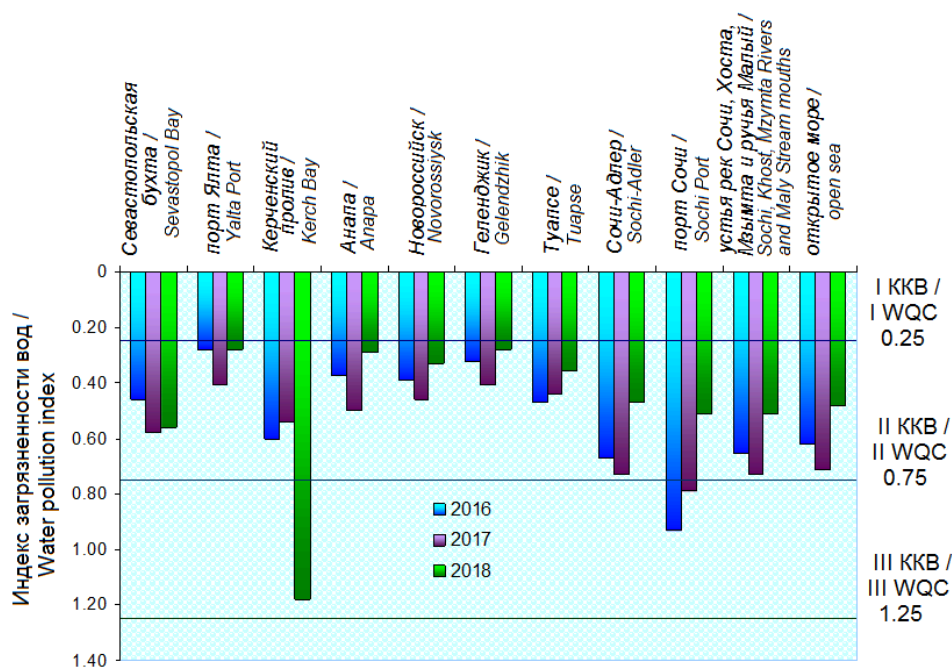


Рис. 4. Многолетнее изменение ИЗВ морских акваторий Черного моря в зоне ответственности РФ. ККВ – класс качества вод

Fig. 4. Long-term change in the WPI value of the Black Sea areas in the area of responsibility of the Russian Federation. WQC – water quality class

Предложения по усовершенствованию системы экологического мониторинга Черного моря в рамках международных проектов и программ

15 марта 2010 г. в Брюсселе была создана инициатива по экологическому партнерству «Черноморская синергия» с целью оказания поддержки усилиям ЕС и его партнеров по поиску общих подходов к вызовам, стоящим перед Черноморским регионом⁹⁾.

В 2013–2020 гг. ряд черноморских проектов (*EMBLAS-I*, *EMBLAS-II*, *EMBLAS-Plus*) были нацелены на усовершенствование методов морского мониторинга и поддержку исполнения Бухарестской конвенции с целью развития системы мониторинга, сбора и систематизации полученных данных, повышения квалификации профильных специалистов причерноморских государств. Так, в рамках этих проектов ФГБУ «ГОИИ» проводило с применением общепринятых мировых методик комплексные прибрежные экспедиции по оценке экологического состояния морской среды вдоль Кавказского побережья РФ, в Керченском проливе и более детально в районе городов Сочи и Адлера. Цель указанных работ заключалась в улучшении качества данных мониторинга химического и биологического состояния Черного моря путем оптимизации систем наблюдений с учетом практических предложений Директив ЕС *WFD-2000*, *MSFD-2008* и *Black Sea Strategic Action Plan* (2009), а также в расширении возможностей стран-партнеров проекта для осуществления морского мониторинга с учетом как практических рекомендаций ЕС в Директивах *WFD* и *MSFD*, так и результатов изложенного в *Black Sea Diagnostic Reports I* и *II* исследования.

В ходе выполнения проекта *EMBLAS* осуществлялись:

1) анализ национальных систем мониторинга и возможностей доступа к полученным данным;

2) поддержка причерноморских государств в выполнении Бухарестской и других международных конвенций;

3) методическая и технологическая помощь странам при проведении морского мониторинга, включающая в себя:

– помощь в разработке и реализации экономически эффективного и унифицированного биологического и химического мониторинга морской среды в соответствии с требованиями международных соглашений, а также *WFD* и *MSFD*⁵⁾;

– разработку и внедрение программы тренинга по методам мониторинга с целью обеспечения качества получаемых результатов в соответствии с *ISO 17025*;

– подготовку и реализацию методологии морских рейсов (*Joint Black Sea Surveys*) для оценки состояния открытой части Черного моря;

4) разработка и создание Черноморской базы данных качества вод (на веб-основе), включающей гидролого-гидрохимические блоки и большинство биологических характеристик экосистемы моря (*Black Sea Water Quality Database*);

⁹⁾ URL:

https://studbooks.net/887849/ekologiya/strategicheskiy_plan_deystviy_zaschitu_chernogo_morya
(дата обращения: 06.06.2022).

5) подготовка предложений по улучшению программы мониторинга морской среды Черного моря в территориальных водах и исключительных экономических зонах черноморских государств.

Специалисты ФГБУ «ГОИН» и других российских организаций и лабораторий принимали участие в международных экспедициях, тренингах и интеркалибрациях совместно с учеными других черноморских стран под руководством ведущих мировых специалистов. В ходе работ участники совершенствовали свои навыки и знания и одновременно вносили вклад в получение и распространение актуальных знаний об экологическом состоянии Черного моря. На основе данных, полученных в прибрежных экспедициях в весенне-летне-осенние периоды 2016, 2017 и 2019 гг., были сформированы предложения по изменению расположения станций, унификации измеряемых параметров в зависимости от глубины и периодичности отбора проб для решения следующих задач:

1) оценки текущего состояния гидрохимических и биологических параметров морской среды;

2) оценки многолетней межгодовой изменчивости концентрации биогенных элементов и уровня эвтрофикации в северо-восточной части Черного моря с особым вниманием к нескольким локальным участкам (Геленджикская бухта, Голубая бухта, Анапский район, район Сочи – Адлер);

3) получения необходимых данных для оценки уровня антропогенного загрязнения морской среды и источников токсичных загрязнений в прибрежных водах Кавказа;

4) оценки уровня загрязнения морским макроотходом, а также исследования источников его поступления в море;

5) оценки структурных характеристик морских сообществ: концентрации хлорофилла и других фотосинтетических пигментов, видового состава, численности и биомассы фито-, мезо-, макрозоопланктона, зоо- и фитобентоса;

б) оценки присутствия инвазивных видов (видов-вселенцев);

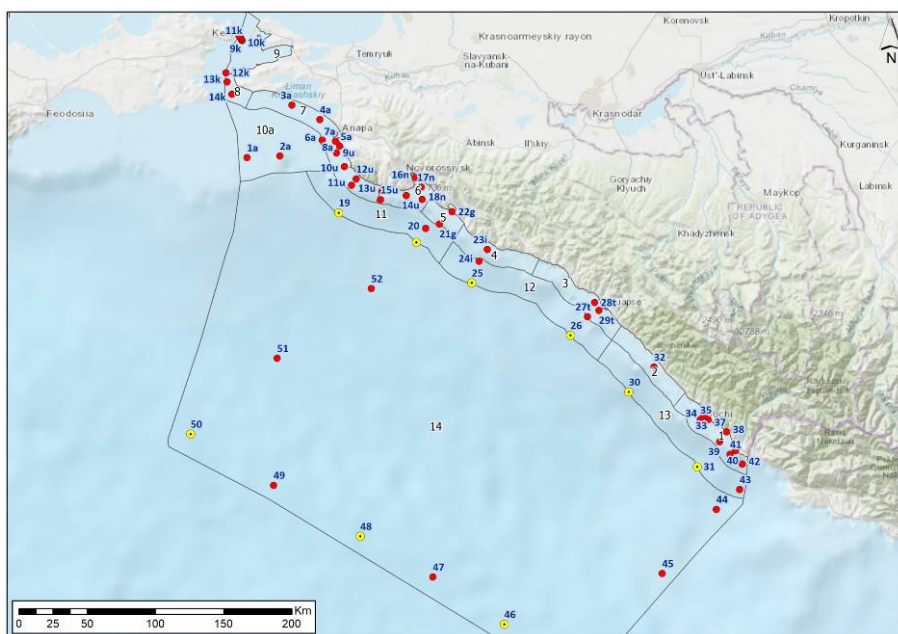
7) оценки биологических последствий загрязнения вод в прибрежных акваториях, открытом море и морских особо охраняемых природных территорий.

Были предложены новые станции, охватывающие все экологические районы прибрежных вод Кавказа и центральную зону восточной части Черного моря. Особое внимание уделялось Керченскому проливу как узкому каналу с интенсивным судоходством и крупному источнику сильно эвтрофицированных азовских вод. Дополнительным серьезным источником загрязнения в северо-восточной части моря являются якорные перегрузочные станции (стоянки) на шельфе южнее Керченского пролива. Узкая полоса сильно загрязненных вод вдоль побережья от Анапы на севере до Адлера на юге находится под существенным влиянием сбросов городских канализаций, а также подвергается значительному загрязнению вследствие интенсивной курортно-туристической эксплуатации. Несколько станций в открытом море могут рассматриваться как фоновые для расчета разрешенных сбросов в соответствии с российским законодательством. Пять станций вдоль южной морской границы с Абхазией необходимы для контроля трансграничного пе-

реноса загрязняющих веществ. Для прибрежных районов Кавказа и открытой части моря были предложены новая схема экологического районирования и оптимальное пространственное расположение 51 станции мониторинга вдоль берега и в открытом море, а также 9 станций в Керченском проливе для получения исчерпывающей информации о гидрологических, гидрохимических и биологических процессах на различных участках региона (рис. 5).

На основе данных, полученных в прибрежных экспедициях серии проектов *EMBLAS* в весенне-летне-осенние периоды 2016, 2017 и 2019 гг., были разработаны предложения по усовершенствованию системы государственного экологического мониторинга Черного и Азовского морей, а также по формированию программы наблюдений в восточной части Черного моря с учетом принципов экологического районирования. Предложения по расширению возможностей национальных органов власти причерноморских стран при выполнении комплексного экологического мониторинга базировались на современных гидролого-гидрохимических и биологических данных, полученных в ходе экспедиционных исследований.

Таким образом, информация, полученная с использованием комплексных методов современного экологического мониторинга, позволит выделить участки прибрежных акваторий, для которых необходимы первоочередные природоохранные мероприятия.



Р и с . 5. Схема экологического районирования восточной части Черного моря и предлагаемые к включению в программу работ станции комплексного мониторинга. Красными точками отмечены регулярные станции, желтым – фоновые

Fig. 5. Scheme of ecological zoning of the eastern Black Sea and integrated monitoring stations proposed for inclusion in the work program. Red dots mark regular stations, yellow ones – background stations

Выводы

1. В работе описаны объекты и задачи морского экологического мониторинга. Показаны различия в европейской и российской системах мониторинга морской среды, направленность этих систем. Рассмотрена Бухарестская конвенция (1992 г.), а также задачи деятельности Комиссии по защите Черного моря от загрязнения и ее консультативных групп.

2. Представлен анализ особенностей, структуры и задач экологического мониторинга Черного и Азовского морей, его средства и методы, принятые в РФ. Описываются принятые в Росгидромете стандарты на методики анализа, схемы расположения морских станций отбора проб.

3. Рассмотрены направления и возможности спутникового мониторинга Азово-Черноморского бассейна. Анализируются последние достижения в области дистанционных исследований Черного моря в РФ и перспективы их развития. На конкретных примерах для различных районов Черного моря показана доступность космических информационных систем.

4. Рассматривается создание новой системы комплексного мониторинга антропогенного воздействия на морские акватории шельфовых районов Черноморского побережья России и перспективы ее использования.

5. Показано, что математические модели как современный инструмент экологического мониторинга позволяют оценить влияние различных типов антропогенного воздействия на экосистему и получить прогноз ее эволюции.

6. Рассмотрено использование ИЗВ вод для комплексной оценки качества вод отдельных районов Черного моря. Показана возможность сравнения качества вод морских акваторий с разным уровнем загрязнения в ретроспективе за любой выбранный период.

7. Проанализированы этапы реализации международного проекта *EMBLAS*, направленные на развитие системы комплексного экологического мониторинга Черного моря в целях исполнения Бухарестской конвенции. Приведена схема экологического районирования восточной части Черного моря с описанием станций комплексного мониторинга, предлагаемых для включения в программу работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pokazeev K., Sovga E., Chaplina T. Pollution in the Black Sea. Observations about the Ocean's Pollution. Cham : Springer, 2021. 213 p. doi:10.1007/978-3-030-61895-7
2. Ганеева Ж. Г. Определение понятия «Мониторинг» в различных сферах его применения // Вестник Челябинского государственного университета. 2005. Т. 8, № 1. С. 30–33.
3. Михова И. В. Правовое регулирование международного сотрудничества причерноморских государств в области охраны морской среды // Екологічний менеджмент у загальній системі управління : тези Шостої щорічної Всеукраїнської наукової конференції, 19–20 квітня 2006 р. Суми : СумДУ, 2006. С. 98–104.
4. Космический мониторинг состояния природной среды Азово-Черноморского бассейна / В. А. Кровотынцев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4, № 1. С. 295–303.
5. Риски реализации проектов геологоразведки и нефтедобычи в условиях сероводородной зоны Черного моря / Г. Г. Матишов [и др.] // Вестник ЮНЦ РАН. 2011. Т. 7, № 1. С. 59–64.

6. Ясакова О. Н., Бердников В. С. Необычное цветение воды в результате развития динофитовой водоросли *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Balech в акватории Новороссийской бухты Черного моря в марте 2008 г. // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7, № 4. С. 98.
7. Ясакова О. Н., Бердников В. С. Мониторинг «красных приливов» в Черном море // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2009. № 3. С. 30–32.
8. Ясакова О. Н., Станичный С. В. Аномальное цветение *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) в 2012 году в Черном море // Морской экологический журнал. 2012. Т. 11, № 4. С. 54.
9. Мониторинг антропогенных воздействий на прибрежные акватории Черного моря по многоспектральным космическим изображениям / В. Г. Бондур [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2017. № 6. С. 3–22. <https://doi.org/10.7868/S020596141706001X>
10. 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.
11. Структура и происхождение подводного плюма вблизи Севастополя / В. Г. Бондур [и др.] // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11, № 4. С. 42–54. <https://doi.org/10.7868/S2073667318040068>
12. Наземно-космический мониторинг антропогенных воздействий на прибрежную зону Крымского полуострова / В. Г. Бондур // Морской гидрофизический журнал. 2020. № 1. С. 103–115. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-1-103-115>
13. Иванов В. А., Тучковенко Ю. С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 368 с.
14. Коротаев Г. К., Ратнер Ю. Б., Кубряков А. И. Национальный модуль Черноморских прогнозов, как элемент Европейской системы // Наука та інновації. 2012. Т. 8, № 1. С. 5–10. <https://doi.org/10.15407/scin8.01.005>
15. Белокопытов В. Н., Кубряков А. И., Пряхина С. Ф. Моделирование распространения загрязняющей примеси в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 1. С. 5–15. doi:10.22449/0233-7584-2019-1-5-15

Поступила 10.02.2022 г.; одобрена после рецензирования 1.03.2022 г.; принята к публикации 27.04.2022 г.; опубликована 25.06.2022 г.

Об авторах:

Совга Елена Евгеньевна, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-0670-4573**, **SPIN-код: 8675-2443**, **ResearcherID: A-9774-2018**, esovga@mhi-ras.ru

Коршенко Александр Николаевич, заведующий отделом мониторинга морской среды, Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет (119034, Россия, Москва, Кропоткинский пер., 6), кандидат биологических наук, korshenko58@mail.ru

Мезенцева Ирина Владимировна, старший научный сотрудник, Севастопольское отделение Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова (299011, Россия, Севастополь, ул. Советская, д. 61), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9771-0380**, mez-irina@mail.ru

Хмара Татьяна Викторовна, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, 2), **Scopus Author ID: 6506060413**, **ResearcherID: C-2358-2016**, xmara@mhi-ras.ru

Погожева Мария Петровна, старший научный сотрудник, Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет (119034, Россия, Москва, Кропоткинский пер., 6); инженер Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский пр., 36), *pogojeva_maria@mail.ru*

About the authors:

Elena E. Sovga, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-0670-4573**, **SPIN-code: 8675-2443**, **ResearcherID: A-9774-2018**, *esovga@mhi-ras.ru*

Aleksandr N. Korshenko, Head of Department of Marine Environment Monitoring, N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, (6 Kropotkinsky Lane, Moscow, 119034, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), *korshenko58@mail.ru*

Irina V. Mezentseva, Senior Research Associate, Sevastopol Branch of the N. N. Zubov State Oceanographic Institute (61 Sovetskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0001-9771-0380**, *mez-irina@mail.ru*

Tatiana V. Khmara, Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **Scopus Author ID: 6506060413**, **ResearcherID: C-2358-2016**, *xmara@mhi-ras.ru*

Maria P. Pogozheva, Senior Research Associate, N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, (6 Kropotkinsky Lane, Moscow, 119034, Russian Federation); Engineer, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), *pogojeva_maria@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

Совга Елена Евгеньевна – формулировка и постановка задач исследования, написание и редактирование текста статьи, обсуждение результатов

Коршенко Александр Николаевич – подготовка информации о системах мониторинга Черного и Азовского морей, о задачах международного проекта *EMBLAS*

Мезенцева Ирина Владимировна – расчет ИЗВ вод акватории Черного моря, обсуждение результатов

Хмара Татьяна Викторовна – подготовка информации о методах математического моделирования как инструмента экологического мониторинга, обсуждение результатов, редактирование текста статьи

Погожева Мария Петровна – подготовка иллюстративного материала, информация о задачах мониторинга в рамках выполнения программы проекта *EMBLAS*

Contribution of the authors:

Elena E. Sovga – research task setting, article writing and editing, discussion of results

Aleksandr N. Korshenko – preparation of information about the Black and Azov Sea monitoring systems and tasks of *EMBLAS* international project

Irina V. Mezentseva – calculation of WPI for the Black Sea water area, discussion of results

Tatiana V. Khmara – preparation of information of mathematical modelling methods as a tool of ecological monitoring, discussion of results, article editing

Maria P. Pogozheva – preparation of illustrations, information of tasks of monitoring as part of *EMBLAS* project implementation

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.