

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Итоги экспедиционных исследований
в 2019 году в Мировом океане,
внутренних водах
и на архипелаге Шпицберген

Материалы конференции
26–27 февраля 2020 г.
г. Москва, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИнБЮМ
2020

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМА НА МАЛОМЕРНЫХ СУДАХ ФИЦ ИНБЮМ

Н. Ю. Мирзоева, В. Н. Егоров, В. С. Муханов, Н. Н. Терещенко, Л. В. Малахова, Ю. Г. Артемов, Е. П. Карпова, А. Д. Губанова, Т. В. Малахова, Е. А. Тихонова, Д. Н. Куцын, Д. А. Литвинюк, Т. В. Гаврюсева, И. И. Чеснокова, Т. Б. Сигачева, В. И. Мальцев, А. В. Агафонов, И. В. Логоминова, В. Ю. Проскурнин, А. А. Параскив, Е. Н. Скуратовская, Ю. В. Белоусова, Е. Г. Сахонь, О. А. Горбазей, А. А. Коротков, Д. Б. Евтушенко, Л. В. Решетник, И. Н. Мосейченко, С. И. Архипова, В. В. Лобко

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

В 2019 г. Федеральным исследовательским центром «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИНБЮМ) выполнено 96 экспедиций в прибрежных районах Крымского полуострова на маломерных судах «Калкан» и ЯЛ-6 «Аквариум». Основная задача в рамках государственного задания заключалась в изучении биологического разнообразия и оценке экологического состояния прибрежных акваторий.

Оценка экологического состояния прибрежных акваторий

На основе радиоэкологического мониторинга в период 1986–2019 гг. после аварии² на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) выявлены закономерности изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и гидробионтах (бурой водоросли цистозире) севастопольских бухт. Определены постоянные по времени экспоненты уменьшения концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и водорослях, которые составляют 8,8 и 4,9 года, а также 6,1 и 4,7 года соответственно. Оценён запас ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, гидробионтах и донных отложениях исследуемых экосистем. Рассчитана скорость и определены биогеохимические факторы самоочищения водной экосистемы севастопольских бухт от поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs . Выявлены основные факторы самоочищения водной экосистемы от послеаварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs : радиоактивный распад, водообмен с открытой акваторией моря и перераспределение компонентов экосистемы.

С помощью ^{234}Th и ^{40}K прослежена сезонная динамика скорости осадконакопления в Севастопольской бухте с разделением на биогенную и терригенную составляющие. Сделан вывод о том, что сезонная вариабельность поступления ^{40}K в донные отложения, в связи с различным содержанием этого радионуклида в биогенном и литогенном веществе в Севастопольской бухте, определяется чередованием биотических и абиотических факторов, к числу которых относится прежде всего динамика фитопланктонных сообществ, особенно в летнее время, а также поступление терригенной взвеси в период более интенсивных атмосферных осадков.

Для оценки поступления радионуклидов из воды в гидробионты был применён такой показатель, как коэффициент накопления (КН). Наиболее высокие значения коэффициента (КН) (104–105) основного дозообразующего радионуклида ^{210}Po были отмечены для двустворчатых и брюхоногих моллюсков и для зоопланктона. Коэффициент накопления ^{210}Po мышечными тканями рыб варьировался

²Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г., Припять, Украинская ССР, ныне — Украина

в пределах 103–104, с наибольшими значениями — для мышц пелагического планктонофага атерины (*Atherina boyeri*), с наименьшими — для донного хищника, морского дракона (*Trachinus draco*). Высокие КН характерны также для паразитов, обнаруженных в атерине. Самыми низкими показателями КН среди изученных гидробионтов отличались желетелые, поскольку их тело более чем на 90 % состоит из воды (рис. 1).

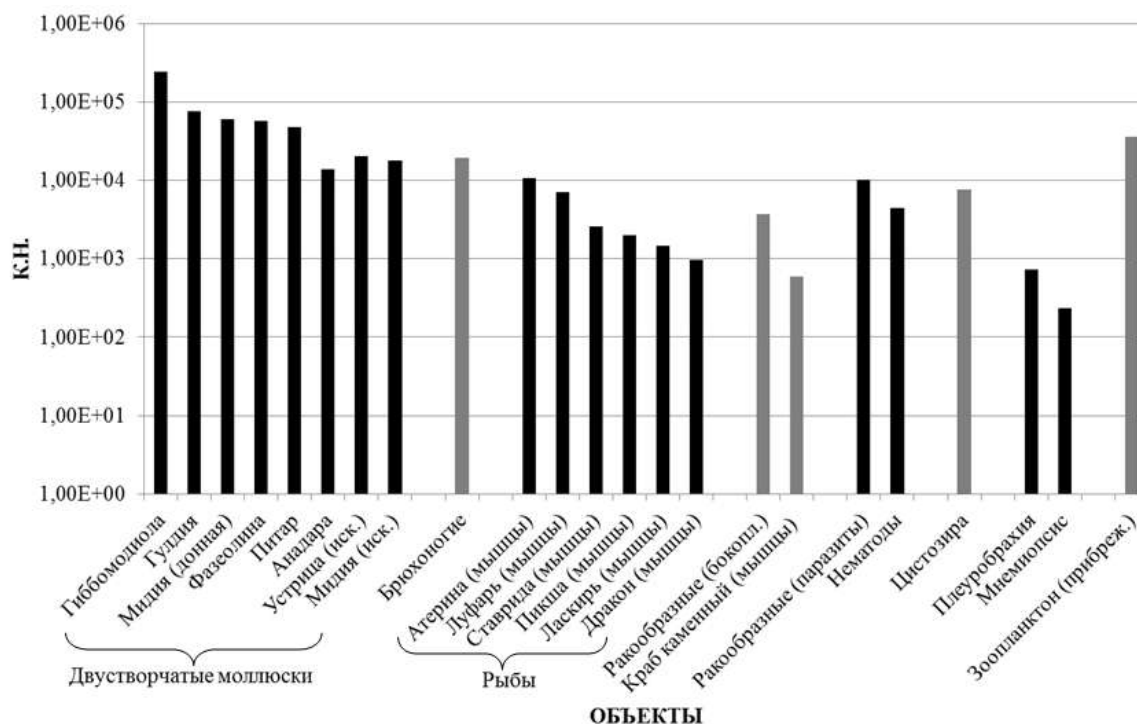


Рис. 1. Коэффициенты накопления ^{210}Po различными гидробионтами Крымского побережья

Исследования уровней содержания техногенных радионуклидов плутония $^{239,240}\text{Pu}$ в воде, донных отложениях и гидробионтах прибрежных акваторий вдоль Крымского побережья, включая Севастопольскую морскую акваторию, позволили установить, что в черноморской воде в среднем концентрация активности $^{239,240}\text{Pu}$ достигала $0,45 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-3}$. Это в 14 раз меньше в сравнении с солёными озерами Крыма (в озёрной воде данный показатель составил $6,5 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-3}$). Концентрации активности радионуклидов плутония в поверхностных донных отложениях и гидробионтах черноморских акваторий были выше по сравнению с солёными озерами, средние значения в илах составляли 743 и $356 \text{ мБк}\cdot\text{кг}^{-1}$, а в водорослях — $31,5$ и $0,54 \text{ мБк}\cdot\text{кг}^{-1}$ соответственно.

Коэффициенты накопления плутония черноморскими илами составляли величины порядка $n \times 10^6$, а в озёрных илах — $n \times 10^4$ соответственно (рис. 2). Такая большая разница в значениях коэффициентов накопления плутония морскими и озёрными осадками связана с более высокими уровнями содержания $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях морских акваторий и в то же время значительно более низкими концентрациями активности $^{239,240}\text{Pu}$ в морской воде по сравнению с озёрной. Это отражает особенности перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ в прибрежных черноморских экосистемах с солёностью около 17 ‰ и солёных озерах (где солёность превышала эти значения многократно, а в большинстве озер превышала 200–300 ‰, за исключением озера Кызыл-Яр, где солёность составляла 3–7 ‰) и указывает на возможное влияние солёности как одного из факторов, определяющих перераспределение радионуклидов плутония между основными компонентами водных экосистем.

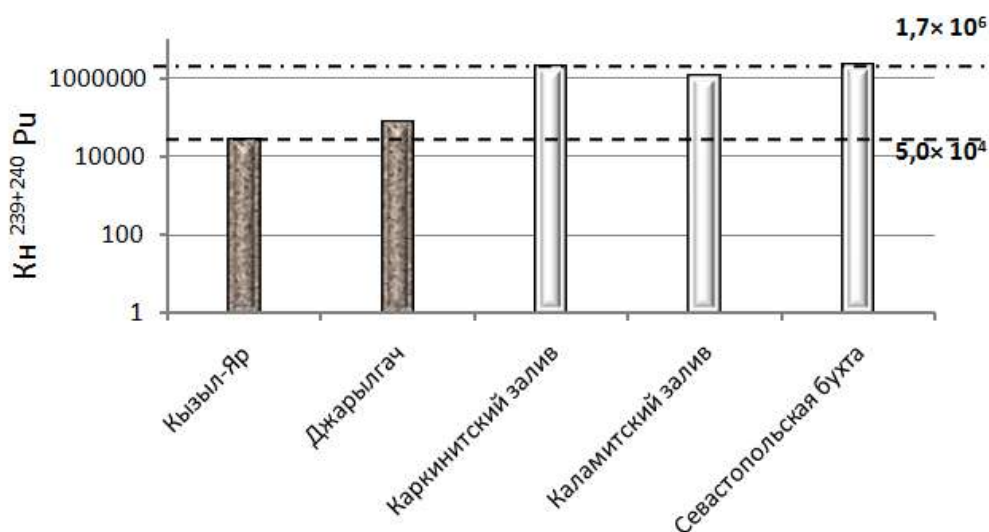


Рис. 2. Коэффициенты накопления $^{239+240}\text{Pu}$ иловыми донными отложениями из прибрежных акваторий Чёрного моря и солёных озёр Крыма и их средние значения

При этом пределы колебаний уровней плутония в морских акваториях были меньше, чем в озёрах, где они превышали один порядок величин, что, вероятно, связано с пространственной разобщённостью озёр, пятнистостью радиоактивных атмосферных выпадений, наличием разных источников вторичного загрязнения и историей поступления радиоизотопов в отдельные озера. А в морских акваториях со временем движение вод способствует выравниванию концентраций активности изотопов в воде, уменьшая градиенты концентраций в акваториях.

Исследована концентрация хлорорганических соединений (ХОС) в донных осадках Севастопольской акватории. Результаты показали высокий уровень суммарного содержания полихлорированных бифенилов ($\Sigma\text{ПХБ}_6$) (сумма конгенов ПХБ по IUPAC: 28, 52, 101, 138, 153 и 180) в толще грунтов Севастопольской бухты, что связано с продолжающимся интенсивным антропогенным прессом на её акваторию в последние годы. При этом процесс загрязнения бухты происходил неравномерно. Показано, что содержание ХОС зависит от гранулометрического состава грунтов. Повышенное содержание илистых фракций в донных осадках способствует накоплению ХОС, поступающих в акваторию. Наименьшее количество ХОС обнаружено в песчанистых донных отложениях.

В результате биогеохимических исследований стока реки Чёрной и восточной части Севастопольской бухты установлено, что общее содержание полиароматических углеводородов (ПАУ) в донных отложениях исследуемого района колебалось от 12 до 670 нг·г⁻¹ сухого осадка. Минимальные значения (12 нг·г⁻¹) были обнаружены в речной части района исследования. Максимальное содержание ПАУ (670 нг·г⁻¹) отмечено в грунтах б. Севастопольской. В устьевой зоне р. Чёрной идентифицировано 14 ПАУ, 4 из них (нафталин, 2-метилнафталин, флуорен, антрацен) — в следовых количествах. Идентифицированные в донных отложениях приустьевой зоны р. Чёрной ПАУ имеют смешанную природу. Их наличие связано как с природными, так и с антропогенными процессами в окружающей среде. Результаты микробиологических исследований показатели, что в воде численность гетеротрофных бактерий составляет от 103 до 108 кл·мл⁻¹, углеводородоксилирующих — от 1 до 103 кл·мл⁻¹. В донных отложениях численность гетеротрофных бактерий была от 103 до 108 кл·г⁻¹, углеводородоксилирующих — от 10 до 103 кл·г⁻¹, тионовых — от 10 до 103 кл·г⁻¹, сульфатредуцирующих — от 10 до 103 кл·г⁻¹, денитрифицирующих — от 102 до 105 кл·г⁻¹. Полученные данные свидетельствовали о повсеместном распростра-

нении обозначенных групп бактерий в исследуемой части акватории. Отмечено, что в донных отложениях исследуемого района деструкция органического вещества с участием кислорода повсеместно сочеталась с его анаэробной трансформацией.

В результате акустических исследований в прибрежных районах Крымского полуострова обнаружено новое поле выходов струйных газовыделений в диапазоне глубин 13–15 метров в морской акватории особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Мыс Мартьян» (рис. 3). Идентификация сипов проводилась параллельным анализом данных, полученных однолучевым эхолотом и локатором бокового обзора. Вертикальная протяжённость газовых факелов составила 9–12 м. На участках газовыделений в морской акватории ООПТ «Мыс Мартьян» обнаружены особенности рассеяния звука верхними слоями донных осадков, что может служить поисковым признаком газонасыщенных слоёв донных осадков в прибрежных районах Крыма.

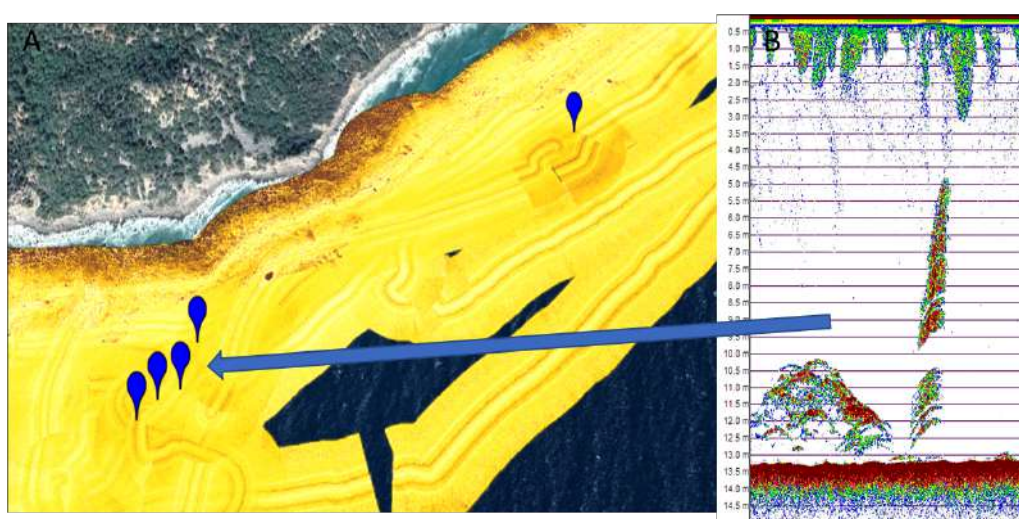


Рис. 3. Ландшафт морского дна в районе природного заповедника «Мыс Мартьян», полученный в ходе эхосъёмки 09.10.2019 г. эхолотом Lowrance 7 Ti (маркерами обозначено положение газовых выходов) и эхограмма одного из струйных газовыделений

Впервые в акватории Чёрного моря (на примере Севастопольской бухты и прибрежных районов) применён международный протокол количественной оценки микропластикового загрязнения морских вод, который включает перекисное окисление содержащейся в пробе органики и плотностное сепарирование частиц микропластика. Для визуализации частиц и анализа их размерного спектра использован новый оригинальный метод полуавтоматического анализа пластикового загрязнения морской среды (рис. 4). Получены первые для Чёрного моря достоверные оценки содержания микропластика в поверхностном слое прибрежных вод ($0,6\text{--}7,0$ частиц·м⁻³, $6\text{--}750$ мкг·м⁻³), которые можно интерпретировать как средний уровень загрязнения.

В серии экспериментов показано, что экзополимеры, продуцируемые фитопланктоном, взаимодействуют с частицами микропластика, способствуют их флокуляции и агрегированию и, таким образом, контролируют их биодоступность и вертикальный транспорт.

Биота прибрежных акваторий

С помощью гидроботанических и гидроакустических методов установлено, что общая площадь макроскопической донной растительности (МДР) в заповедной акватории «Мыса Мартьян» составля-

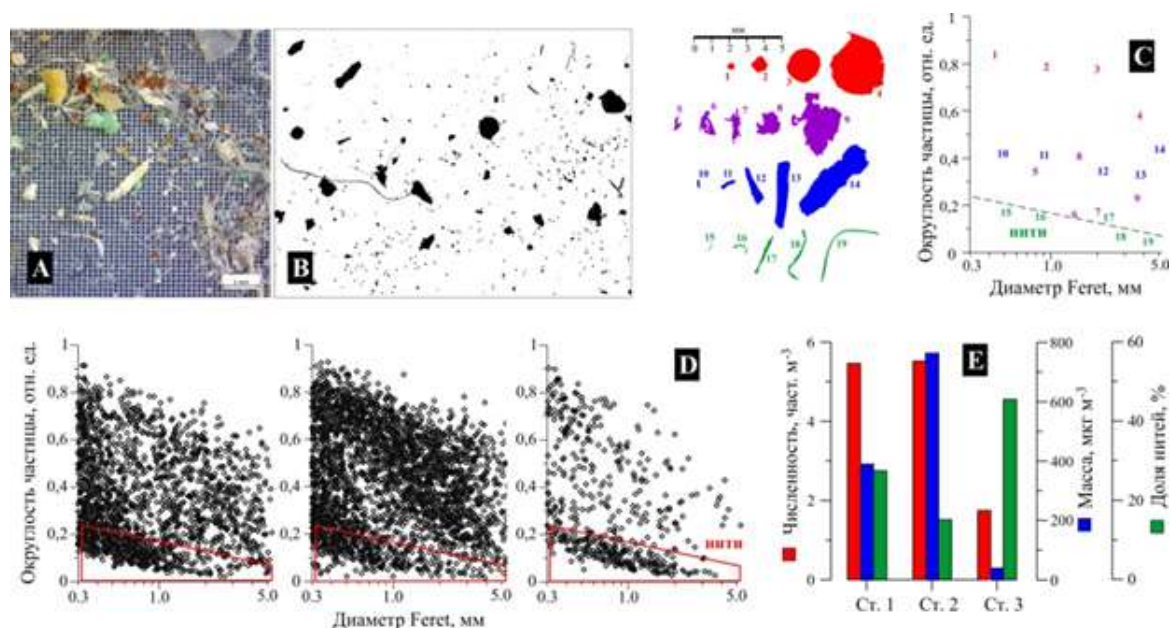


Рис. 4. А, В — проба микропластика на нейлоновом газе и её скан-изображение. С — анализ формы и размерного спектра частиц. D, E — результаты одной из съёмок микропластикового загрязнения на трёх станциях в Севастопольской бухте (май 2019 г.)

ет 0,39 км². Выявленная акустическим методом МДР на большей части обследованной акватории представлена сообществами цистозеры (*Cystoseira barbata* (Stackh.), С. Agardh и *C. crinita* Duby), а на рыхлых грунтах в западной части акватории — зарослями взморника (*Zostera marina* L. и *Z. noltii* Hornem.). Показано, что для распределения сублиторальной МДР вдоль берега характерна поясность, а нижняя граница распространения ограничена изобатами 10–12 м. Максимальные значения проективного покрытия, достигающие 95–97 % на глубинах 2–3 м, к нижней границе снижаются до 50–70 %. Определено, что общие запасы сублиторальной МДР достигают 1431,3 т, из которых 99,6 % приходится на сообщества цистозеры.

Морфологическое исследование нового вселенца в Чёрное море — копеподы *Pseudodiaptomus* sp. — показало сходство его особей из Севастопольской бухты с существующими описаниями *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913. Выводы, сделанные на основе морфологического анализа, были подтверждены результатами молекулярно-генетических исследований. Вселенец *P. marinus* регулярно встречается на двух станциях в б. Севастопольской с июня по декабрь и представлен всеми стадиями развития, включая науплиусы. Это свидетельствует о его размножении и наличии в акватории бухты самоподдерживающейся популяции.

Изучено состояние ихтиокомплексов прибрежных акваторий Юго-Восточного Крыма по данным визуальных учётов. Обилие рыб прибрежного ихтиокомплекса может существенно отличаться даже в пределах одного региона. Значения количества видов и обилия рыб в один и тот же временной период (конец августа — начало сентября 2019 г.) в акватории Тихой бухты превышают аналогичные показатели в акватории у м. Киик-Атлама и Карадагского природного заповедника.

В результате мониторинговых ихтиологических исследований в бухте Ласпи (Юго-Западный Крым), которая находится на стыке континентального и субтропического климатических поясов и имеет высокую интенсивность водообмена с открытым морем, было зарегистрировано 70 видов рыб. Среди отмеченных представителей ихтиофауны 14 видов впервые обнаружены в данной акватории. В большинстве своём это виды-вселенцы, что говорит об интенсивном процессе акклиматизации представителей фау-

ны других водных бассейнов. Общая численность ихтиофауны сублиторали бухты Ласпинская подвержена значительной сезонной изменчивости, основной вклад в которую вносят флуктуации численности ставриды.

В эстуарном экотоне Севастопольской бухты установлена тенденция к снижению видового разнообразия и численности рыб как морского, так и солоновато-водного комплекса в результате интенсивной хозяйственной деятельности и увеличения водозабора из крымских рек.

Изучен возраст, рост и созревание морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 Юго-Западного Крыма в современных условиях. Для исследуемой группировки рыб характерен наиболее низкий темп роста по сравнению со средиземноморскими. Также анализ географической изменчивости указывает на развитие диморфизма морского ерша в северном направлении, что обусловлено адаптивностью увеличения разнокачественности особей у границ оптимальных условий обитания.

Исследована размерно-возрастная структура и рост атерины *Atherina boyeri* Risso, 1810 из акватории Юго-Западного Крыма. В отличие от морского ерша, биология атерины больше связана с режимом солёности, чем с температурой. Так, по темпу линейного роста *A. boyeri* из акватории Юго-Западного Крыма занимает промежуточное положение в ряду с атеринами из других районов бассейна Восточной Атлантики: выше, чем у эстуарных и лагунных форм, обитающих в условиях лабильной солёности, при этом несколько ниже, чем у морских и океанических.

Учитывая высокое значение кефали сингиля *Liza aurata* в региональном промысле, исследованы патоморфологические изменения и биохимические показатели у данного вида для оценки состояния его здоровья. В органах анализируемых рыб обнаружены гистопатологические изменения, относящиеся к пяти типам реакций (нарушение кровообращения, регрессивные и прогрессивные изменения, воспалительные процессы и паразиты). В результате полуколичественного анализа данных гистопатологических повреждений было установлено, что выявленные изменения кефали носят обратимый характер (в большинстве случаев ядра и клеточные оболочки не разрушены), что подтверждается данными биохимических исследований.

Мониторинговые исследования дельфинов у восточного и юго-восточного побережья Крыма проводились с использованием методов визуальной идентификации особей (фотоидентификация и подводная видеосъемка) и «акустической идентификации» по составляемому каталогу «свистов-автографов». «Автографы» афалин представляют собой тональные сигналы (свисты) с уникальной для каждого дельфина формой частотного контура, их можно рассматривать как «акустический маркер» конкретной особи. Сочетание визуальных и акустических методов позволило провести учёт численности и миграций дельфинов, а также описать пространственно-временную структуру их сообществ. Подтверждена выявленная с 2014 г. тенденция к выделению в акваториях юго-восточного побережья Крыма «резидентной» (примерно 60 особей) и «транзитной» (около 500 особей) группировок сообщества афалин. Общее число афалин в Керченском проливе может быть оценено в 25–30 особей.

Получены новые данные о жизненных циклах черноморской трематоды. При обследовании моллюсков *Hydrobia acuta* и *Abra segmentum* впервые в Чёрном море обнаружены и описаны церкарии 5 видов Trematoda — *Cryptocotyle lingua*, *Timoniella imbutiforme*, *Gynaecotyla adunca*, *Parvatrema rebecca*, *Haploplanchnus pachysomus*.

Исследования проводились в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам № 0828-2019-0002, № 0828-2019-0003, № 0828-2019-0004, № 0828-2019-0005, № 0828-2019-0006 и № 0556-2019-0009.