

УДК 551.465

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2020: КАРСКОЕ МОРЕ (81-й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ”)

© 2021 г. М. В. Флинт¹, *, С. Г. Поярко¹, Н. А. Римский-Корсаков¹, А. Ю. Мирошников²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, Россия

*e-mail: m_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 07.10.2020 г.

После доработки 17.10.2020 г.

Принята к публикации 19.11.2020 г.

81-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” был организован Институтом океанологии РАН по программе “Морские экосистемы Сибирской Арктики” и прошел с 27 августа по 25 сентября 2020 г. В экспедиции участвовали 76 ученых из институтов РАН, МГУ, ВНИРО, НИЦ “Курчатовский институт” и специалисты из МЧС России. Были проведены гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические, геохимические и радиоэкологические исследования на шельфе Карского моря, в области континентального склона желоба Святой Анны, в области Новоземельской впадины и в заливах восточного берега Новой Земли, оценено состояние могильников радиоактивных отходов в заливах архипелага.

Ключевые слова: Арктика, Карское море, шельф, континентальный склон, заливы Новой Земли, пелагическая и донная экосистемы, биологическая продуктивность, вид-вселенец, захоронения радиоактивных отходов

DOI: 10.31857/S0030157421020040

81-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” продолжал многолетнюю программу экспедиционных исследований “Морские экосистемы Сибирской Арктики”, которую Институт океанологии РАН ведет, начиная с 2007 г. [1–5]. В рамках этой программы было проведено 11 экспедиций по изучению природных комплексов Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. Основными задачами экспедиции 2020 г. были исследование пелагических и донных экосистем шельфа и континентального склона на севере бассейна (желоб Святой Анны), Новоземельской впадины, заливов восточного берега Новой Земли (Степового, Цивольки, Русанова, Благополучия), процессов взаимодействия между экосистемами Карского шельфа и прилежащего глубокого бассейна, динамики популяции недавнего вида-вселенца в Карский бассейн хищного краба *Chionoecetes opilio* и его воздействия на донные экосистемы, содержания парниковых газов в приводной атмосфере и воде в разных районах моря, состояния крупнейших захоронений радиоактивных отходов в заливах Новой Земли, роли выводных ледников архипелага в аккумуляции

и транспорте аллохтонных веществ, включая загрязнение, в морские экосистемы.

Экспедиция началась в порту Архангельск 27 августа 2020 г. и завершилась там же 25 сентября 2020 г. Протяженность маршрута экспедиции составила – 3388 миль (рисунок 1). Экспедиция была организована Институтом океанологии РАН, в ней приняли участие 76 ученых из институтов Российской академии наук (ИГЕМ РАН, ГЕОХИ РАН, ИГ РАН, ТОИ ДВО РАН), НИЦ “Курчатовский институт”, МГУ, ВНИРО Росрыболовства, специалисты МЧС России. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

В экспедиции получены следующие материалы и данные, которые позволяют говорить о ряде предварительных результатов.

Получены данные о пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод в Карском море в год с аномально ранним освождением бассейна от сезонного льда – уже в первой декаде июня вся южная часть бассейна была свободна ото льда. Протяженность характерной для Карского моря поверхностной опрес-

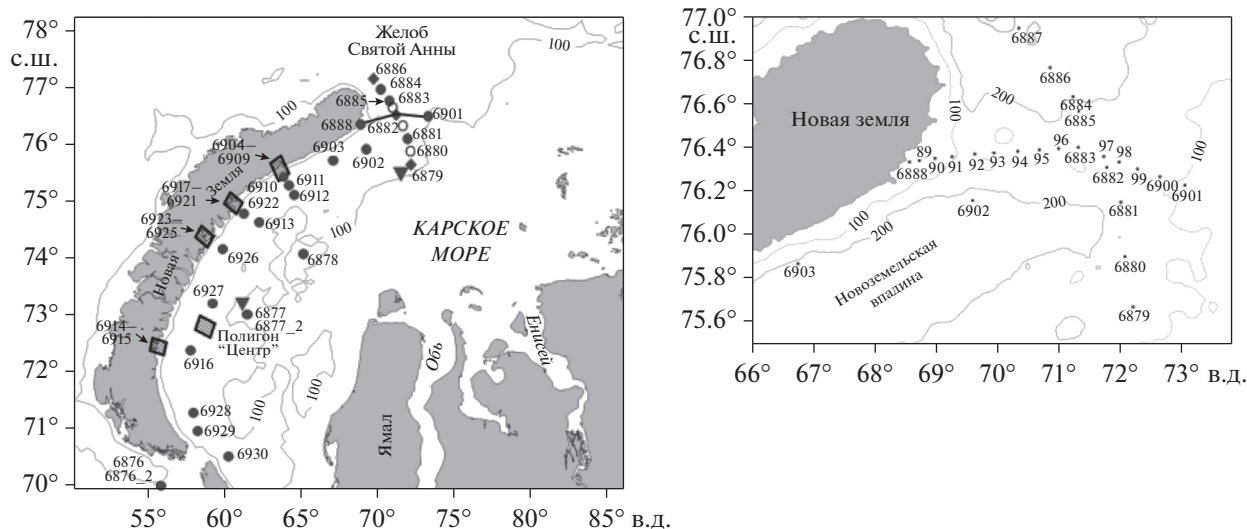


Рис. 1. Карта-схема положения станций и полигонов 81-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” (слева). Положение станций на разрезах у северной оконечности Новой Земли (справа).

ненной “линзы”, образованной речным стоком Оби и Енисея, с юго-запада на северо-восток составила около 200 км. Поверхностная соленость у края линзы составляла 33 PSU и снижалась до 13 PSU в ее ядре. Толщина опресненной “линзы” в среднем составляла 10–15 м.

В западном трого желоба Св. Анны выявлено контурное течение, ядро которого образуют теплые воды атлантического происхождения. Действие течения формирует мощный склоновый фронт, проявляющийся в распределении температуры, солености и концентрации хлорофилла “а”. Склоновая фронтальная зона, как и в другие сезоны, ограничивала распространение опресненных вод на север; поверхностная соленость в области склона с юга на север возрастала от 14.9 до 31.5 PSU. Склоновая фронтальная зона также выделялась самым высоким содержанием нитритов и аммонийного азота в поверхностном слое. Оценки парциального давления углекислого газа показали, что область склонового фронта характеризуется высоким pCO_2 в воде, что совпадает с пиком pCO_2 в приводной атмосфере. Оба значения в пике превышают равновесное (400 ppm). При этом содержание углекислого газа в воздухе превышает его содержание в воде, что позволяет говорить о направленности потока из атмосферы в океан.

Первые детальные наблюдения на перешейке между Новоземельской впадиной и западным трогом желоба Святой Анны (рис. 1) позволили установить, что этот район является важной областью водообмена между Карским бассейном и глубоководными районами Арктики. Здесь наблюдается чередование потоков северного и южного направлений. Скорости течений южного направления достигает 10 см/с; наиболее мощным

является течение, направленное на север и имеющее скорости до 50 см/с, ширину около 30 км и, вероятно, играющее ключевую роль в водообмене север–юг в этом районе.

Исследования в четырех заливах Новой Земли – Степового (Южный остров), Цивольки, Русанова и Благополучия (Северный остров) показали, что гидрологические условия в заливах определяются поступлением пресноводного стока (разгрузка ледников и/или речной сток) и водообменом с прилегающими акваториями Карского бассейна. Для всех заливов установлен высокий уровень обмена с Карским морем – сток из заливов по гидрофизическим, оптическим и гидрохимическим параметрам прослеживается на расстоянии от нескольких десятков до >80 км от побережья Новой Земли.

В сентябре на большей части исследованной акватории Карского моря фитопланктон находился в осенней фазе сукцессии с низкими численностью и биомассой. До 80% численности водорослей составляли мелкоклеточные виды диатомей. В отдельных районах наблюдались очаги высокого обилия планктонных водорослей, находящихся на спорообразующей фазе развития, характерной для летнего сезона. У северной оконечности Новой Земли отмечено позднелетнее “цветение” *Chaetoceros compressus* и *C. decipiens*, в популяциях которых шло интенсивное спорообразование. Численность водорослей в районах “цветений” достигала 670×10^3 кл/л, биомасса – 600 мг/м³.

Интегральная первичная продукция фитопланктона на шельфе Карского моря и в районе желоба Св. Анны составляла от 55 до 181 мгС/м² в день (в среднем 91 мгС/м² в день). Максималь-

ные величины отмечены на юго-востоке бассейна в зоне влияния опресненных речным стоком вод. Вертикальное распределение первичной продукции во всех исследованных районах характеризовалось максимумом на поверхности и отсутствием вторичных глубинных максимумов.

Получены детальные оценки структуры и функционирования зоопланктонных сообществ в разных биотопах Карского моря и в заливах архипелага Новая Земля в год с аномально ранним сходом сезонного льда. Максимальные значения биомассы мезопланктона ($B_{cp} = 2.0 \text{ мл/м}^3$) отмечены во фронтальной зоне в области континентального склона, минимальные ($B_{cp} = 0.6 \text{ мл/м}^3$) — на шельфе в области подверженной воздействию речного стока. Распределение зоопланктона в районе Новоземельской впадины характеризовалось увеличением биомассы в ее южной части, находящейся под воздействием вод баренцево-морского происхождения. Полученные оценки показали, что наиболее интенсивно процесс утилизации автотрофного фитопланктона зоопланктоном происходит в локальных скоплениях зоопланктона в области континентального склона. Здесь зоопланктон потребляет почти 30% биомассы фитопланктона, т.е. вся наличная биомасса водорослей может быть съедена сообществом фитофагов за несколько суток.

В сентябре в Карском море основу численности ихтиопланктона составляли личинки сайки (*Boreogadus saida*) с долей в уловах до 87%. Следует отметить первое обнаружение личинок мойвы (*Mallotus villosus*), что может говорить об успешном размножении мойвы в Карском море в наиболее теплые годы.

Были проведены исследования динамики развития популяции недавнего вида-вселенца в Карском море краба стригуна *Chionocetes opilio* и его воздействия на экосистему в разных районах бассейна. Отмечено крайне неравномерное распределение крабов-вселенцев в обследованном районе Карского моря. Их численность варьировала от 1 до 70 экз. на 100 м^2 . Максимальные концентрации связаны с заливами Новой Земли, особенно с северным заливом Благополучия. Показаны существенные изменения донной фауны центральной части моря на глубинах 50–300 м под воздействием вселенца: уменьшились и общее обилие, и разнообразие бентоса. Наличие личинок на ранних стадиях развития и большого количества икринных самок свидетельствует о формировании собственной популяции карского происхождения. В Карском море самки краба опилио не дорастают больших размеров, что является результатом низкой кормовой базы.

Проведены измерения концентрации метана (CH_4), углекислого газа (CO_2), водяного пара (H_2O)

и содержания изотопа $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ в приводной атмосфере. Концентрация CH_4 изменялась от 1.92 до 2.17 ppm, концентрации CO_2 — от 389 до 445 ppm. Максимум концентрации CH_4 наблюдался в центральной части Карского моря и, судя по сопутствующему направлению ветров, связан с процессами выноса воздушных масс из северных материковых районов территории России.

Максимум концентрации метана в воде Карского моря — 27 нмоль/л зафиксирован над шельфом в области, находящейся под значительным воздействием речного стока, на горизонте 14 м. В глубоководной части желоба Св. Анны концентрация газа снижалась и максимум не превышал 7.5 нмоль/л. В изученных районах Карского моря не обнаружено глубоководных источников метана.

Получен материал из фронтальной области выводного ледника Северного острова Новой Земли. Его предварительный анализ позволяет предположить, что в настоящее время ледник является новым действующим “вторичным” источником радиоактивности антропогенного происхождения в Арктике и потенциальным источником поступления загрязнения в морские экосистемы.

Получены оценки состояния защитных оболочек и утечек радиоактивного загрязнения двух наиболее радиационно опасных объектов захоронений радиоактивных отходов в Карском море, подъем и утилизацию которых декларировала Россия в период своего председательства в Арктическом совете (2021–2023 гг.). В заливе Степового (Новая Земля) обследована АПЛ К-27 с аварийным реактором, содержащим невыгруженное ядерное топливо. Установлена целостность корпуса АПЛ. Радиационное обследование показало, что площадь небольшого пятна поверхностного загрязнения ^{137}Cs у задней части рубки АПЛ и уровень радиоактивности в нем с 2019 г. не увеличились. В заливе Цивольки детально обследован объект, включающий экранную сборку ядерного реактора ледокола “Ленин”. Этот объект содержит наибольшую активность, среди всех радиационно опасных объектов, затопленных в Карском море. Установлена целостность стенок защитного понтона. Радиационное обследование поверхности объекта показало отсутствие в зарегистрированных спектрах следов техногенных радионуклидов, в частности ^{137}Cs и ^{60}Co . Полученный материал позволяет констатировать отсутствие значимого влияния обследованных объектов захоронений радиоактивных отходов на радиационное загрязнение морской среды.

Источники финансирования. Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследова-

ний), государственных заданий №№ 0149-2019-0008, 0149-2019-0011, АААА-А18-118021590116-9, проектов РФФИ “Арктика” – №№ 18-05-60053, 18-05-60069, 18-05-60070, 18-05-60228, 18-05-60246, 18-05-60302, ориентированных на исследование ключевых процессов в экосистемах Российской Арктики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экосистема Карского моря // Океанология. Спецвыпуск. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–864.
2. Экосистема Карского моря: от эстуариев Оби и Енисея до желоба Святой Анны // Океанология. Спецвыпуск. 2015. Т. 55. № 4. С. 501–726.
3. Экосистемы Российской Арктики // Океанология. Спецвыпуск. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–248.
4. Флинт М.В., Полярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей Сибирской Арктики. 69-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” // Океанология. 2018. Т. 58. № 2. С. 331–333.
5. Флинт М.В., Полярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей Сибирской Арктики 2019: весенние процессы в Карском море (76-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2020. Т. 60. № 1. С. 154–157.

Ecosystems of Siberian Arctic Seas – 2020: The Kara Sea (81th Cruise of Research Vessel “Akademik Mstislav Keldish”)

M. V. Flint^{a, #}, S. G. Poyarkov^a, N. A. Rimsky-Korsakov^a, A. Yu. Miroshnikov^b

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: m_flint@ocean.ru*

81th cruise of R/V “Akademik Mstislav Keldish” was organized by Shirshov Institute of Oceanology and was held from 27 August to 25 September 2019 in a frame of the Program “Marine Ecosystems of Siberian Arctic”. 76 scientist from the institutes of Russian Academy of Sciences, Moscow State University, VNIRO, NRC “Kurchatov Institute” and specialists from Ministry of Emergency Situations participated. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical and radioecological research were carried out over the shelf of the Kara Sea, in the area of St. Hanna trough continental slope, in Novozemelskaya depression, and in east coast bays of Novaya Zemlya. Condition of radioactive waste burials in the archipelago bays was estimated.

Keywords: Arctic, Kara Sea, shelf, continental slope, Novaya Zemlya bays, pelagic and bottom ecosystems, biological productivity, alien species, radioactive waste burials