

УДК 551.465

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2022: ЭКОСИСТЕМА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ, НАКОПЛЕННЫЕ В БАССЕЙНЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ (2-ой ЭТАП 89-го РЕЙСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ”)

© 2023 г. М. В. Флинт¹, *, С. Г. Поярков¹, А. А. Полухин¹, А. Ю. Мирошников²

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

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

*e-mail: m_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 27.10.2022 г.

После доработки 10.11.2022 г.

Принята к публикации 16.12.2022 г.

89-й рейс (2-ой этап) НИС “Академик Мстислав Келдыш” был организован Институтом океанологии РАН в рамках многолетней программы “Морские экосистемы Сибирской Арктики” и прошел с 19 сентября по 10 октября 2022 г. В экспедиции участвовали 60 ученых из институтов РАН, МГУ, МФТИ, ВНИРО и МЧС России. Были проведены гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические и геохимические исследования, получены оценки концентрации парниковых газов в приподной атмосфере в области шельфа и континентального склона восточной малоизученной части Карского моря, исследованы экосистема залива Благополучия (Новая Земля) и состояние захоронений радиоактивных отходов в заливе.

Ключевые слова: Арктика, Карское море, шельф, континентальный склон, пелагическая и донная экосистемы, биологическая продуктивность, вид-вселенец, потоки вещества, парниковые газы, захоронения радиоактивных отходов

DOI: 10.31857/S0030157423020053, EDN: NJKSRF

2 этап 89-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” – 14-я крупная мультидисциплинарная экспедиция, проведенная в рамках многолетней программы экспедиционных исследований “Морские экосистемы Сибирской Арктики”, которую Институт океанологии РАН ведет, начиная с 2007 г. [1–7].

Основной задачей экспедиции было получение новых материалов, необходимых для понимания пространственной организации и механизмов функционирования морских природных комплексов Сибирской эпиконтинентальной Арктики и их отклика на современные климатические тренды; оценка накопленных экологических рисков.

Основные направления исследований состояли в:

оценке состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы Карского бассейна в его наименее исследованной восточной части;

оценке структурных и функциональных параметров пелагической экосистемы Карского моря

в осенний сезон, предшествующий становлению сезонного льда;

оценке процессов взаимодействия между экосистемами карского шельфа и глубокого бассейна;

оценке состояния и динамики популяции вида-вселенца в Карское море хищного краба *Chionoecetes opilio*, его воздействия на нативные донные экосистемы, путей вселения и потенциального промыслового значения в разных районах бассейна;

оценке абиотических и биотических параметров экосистем заливов восточного берега Новой Земли, содержащих могильники радиоактивных отходов, механизмов и интенсивности их взаимодействия с экосистемами Карского бассейна (на примере залива Благополучия, восточный берег Новой Земли);

точной локализации, оценке состава и состояния захоронений особо опасных объектов, содержащих радиоактивные отходы в заливе Благопо-

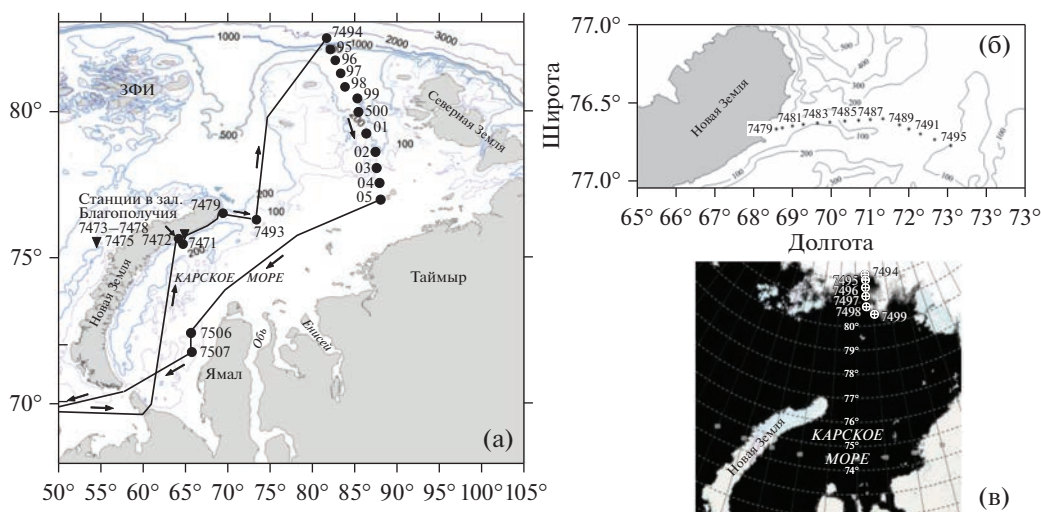


Рис. 1. Схема маршрута и положение станций 89-го рейса (2-й этап) НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Карском море в сентябре–октябре 2022 г. (а); положение станций на разрезе “Порог Брусилова” (б); положение ледовой кромки в северо-восточной части Карского моря 26 октября 2022 г. (по <http://siows.solab.rshu.ru>) и северных станций разреза “Восточный”.

лучия; выявление возможных утечек радиоактивных загрязнений.

Экспедиция началась в порту Мурманск 19 сентября и завершилась там же 10 октября 2022 г. Протяженность маршрута экспедиции составила 3144 миль (рис. 1). Экспедиция была организована Институтом океанологии РАН, в ней приняли участие 60 ученых, аспирантов и студентов, представлявших институты Российской академии наук (ИГЕМ РАН, ИГ РАН, ИОА СО РАН, ИПМТ ДВО РАН), МГУ, МФТИ, ВНИРО Росрыболовства, ЦСООР “Лидер” МЧС РФ. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

Северная станция разреза “Восточный” была сделана у южной кромки арктического ледового щита. Максимально северное сезонное положение ледовой кромки в период исследований ($82^{\circ}15.7'$ с.ш.) позволило провести наблюдения в области континентального склона на глубинах 200–1650 м в практически не изученном районе Карского моря (рис. 1в, станции 7494–7496). Приледные явления были исследованы у западной кромки североземельского ледового массива (рис. 1в). Разрез на перешейке между Новоземельской впадиной и западным отрогом желоба Св. Анны (рис. 1б) был выполнен для исследования процессов обмена между шельфовой и глубоководной частями Карского бассейна.

Предварительные результаты экспедиции состоят в следующем.

Анализ спутниковой информации показал, что к концу июля 2022 г. распространение речного стока Оби и Енисея достигло восточного бере-

га Северного острова Новой Земли. С этим связано уникальное мощное поступление поверхностных опресненных вод Карского бассейна в залив Благополучия, которое наблюдалось впервые за период наших исследований с 2007 г. Величины солёности в верхнем перемешанном слое залива составили менее 25. Этот слой характеризовался аномально высокими концентрациями кремния — более $10 \mu\text{M}$ и значениями общей щёлочности менее $2000 \mu\text{M}$, что подтверждало влияние на него речного стока в основном енисейского происхождения.

На фоне аномальных условий в заливе Благополучия наблюдался высокий уровень интегральной первичной продукции фитопланктона (ИПП) в столбе воды — в среднем 75 мгС/м^2 в день, что в 3.8 раза выше, чем было отмечено в осенний период предшествующих лет. Фитоценоз в заливе и на прилежащем новоземельском шельфе характеризовался доминированием диатомовых водорослей. Численность фитопланктона варьировала от 327×10^3 до 486×10^3 кл./л, биомасса — от 260 до 492 мг/м^3 , что в 6–8 раз выше, чем в наблюдениях предшествующих лет.

Биомасса зоопланктона в заливе Благополучия достигала величин 2.5–3.8 мл/м³ (объёмные оценки), что в 2–3 раза выше, чем на прилежащем новоземельском шельфе. Значения, полученные в заливе, в 3–7 раз превышали наши оценки для сентября 2020 г., что предположительно связано с интенсификацией процессов обмена с прилежащими районами Карского моря.

В заливе Благополучия, несмотря на снижение обилия хищного вселенца краба-стригуна, не наблюдается восстановления структуры и обилия

донных сообществ, характерных для этого района до массового вселения краба. Существенная часть популяции стригуна в районе прошла терминальную линьку и достигла своих максимальных размеров (~70 мм), что намного ниже промыслового размера.

В водах залива Благополучия и прилежащих районах новоземельского шельфа средние концентрации растворенного органического углерода (РОУ) составляли 2.9 мг/л и превышали зафиксированные в районе ранее — 1.5 мг/л.

Радиационно-гляциологические исследования на леднике Налли (залив Благополучия) позволили установить интенсивное снегонакопление, превосходящее по величине существовавшие теоретические оценки. Новые данные о соотношении площадей аккумуляции и абляции позволяют существенно уточнить параметры динамики радиационного загрязнения, депонированного в покровное оледенение.

В заливе Благополучия было исследовано крупное захоронение контейнеров с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), определены его границы, получены точные оценки числа контейнеров и их целостности. Спектрометрические измерения показали, что источник гамма-излучения содержат менее половины контейнеров. Проведенные измерения на грунте в некотором отдалении от контейнеров не выявили радиационного загрязнения.

В восточной части Карского моря (разрез “Восточный”) диапазон изменчивости ИПП составил 11–29 мгС/м² в день, а $X_{лфс}$ 3.07–8.40 мг/м², что характеризует район как самый низкопродуктивный в Карском море. По видовому составу фитопланктона в восточной части Карского моря четко выделялись три широтные области — континентальный склон, внешний и внутренний шельф. Численность и биомасса фитопланктона были крайне низкими и менялись от 25–118 × 10³ кл/л в области внешнего шельфа и континентального склона до и 143 × 10³ кл/л на внутреннем шельфе, что в среднем в 5–7 раз ниже, наших предыдущих оценок, полученных в районе в сентябре 2015 г.

Минимальные значения биомассы зоопланктона (0.2 мл/м³) в восточной части Карского моря наблюдались в области континентального склона вблизи кромки льда. На шельфе биомасса резко возрастала до 2.2–6.6 мл/м³. Эти оценки втрое превышали значения, полученные нами в этом районе осенью 2015 г. Для восточной части Карского моря установлен исключительно высокий уровень утилизации зоопланктоном биомассы планктонных водорослей. Ежесуточное потребление составляло 16% биомассы фитопланктона.

Получены материалы для оценки современного состояния донных сообществ малоисследован-

ной восточной части Карского моря в диапазоне глубин от 1650 до 70 м. Обилие и состав донной фауны на шельфе соответствовали нашим предыдущим наблюдениям 2015 г. и данным, полученным около 100 лет назад З.А. Филатовой и Л.А. Зенкевичем (1927–1945), что позволяет говорить о многолетней стабильности донных сообществ этого района. На шельфе восточной части Карского моря впервые обнаружено присутствие единичных взрослых особей краба-стригуна *Chionoecetes opilio*. Появление вселенца в отличие от других районов бассейна не оказало влияния на состояние бентосных сообществ.

Содержание климатически активных газов в приводной атмосфере обследованной экспедицией акватории варьировало для CH₄ от 1.94 ppm до 2.12 ppm, для CO₂ — от 403 до 450 ppm. Эти данные вместе с данными о пространственном распределении парциального давления углекислого газа в поверхностном слое моря позволили оценить потоки CO₂ на границе поверхность моря — приводная атмосфера. В западной части моря парциальное давление углекислого газа в воде было выше, чем в приводной атмосфере, что указывало на его поступление из воды в атмосферу. Северо-восточная часть моря, наоборот, являлась областью стока атмосферного CO₂. Расчетные абсолютные значения потока углекислого газа в западной части моря составили от 0.01 до 2.4 ммоль/м² день, в северо-восточной части — от 0.01 до 1.88 ммоль/м² день.

В экспедиции были проведены учеты морских млекопитающих с борта судна и оценены численность и характер распространения видов, занесенных в Красную книгу РФ, Красный список МСОП и список индикаторов состояния морей Арктической зоны РФ.

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), государственных заданий № FMWE-2021-0007, № FMWE-2021-0010, № FMWE-2021-0001, № FMWE-2021-0002, № FMWE-2021-0005, № FMWE-2021-0006, № FMWE-2021-0008, № FMWE-2021-0013, № FMWE-2021-0016, № 121041500216-3; проектами РНФ № 19-17-00234П, № 20-17-00157; № 21-77-10059; № 21-77-20025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флинт М.В., Поялков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы морей Сибирской Арктики — 2017. (69-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2018. Т. 58. №2. С. 331–333.
2. Флинт М.В., Поялков 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.
3. *Флинт М.В., Поялков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю.* Экосистемы морей Сибирской Арктики – 2020: Карское море (81-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // *Океанология*. 2021. Т. 61. № 2. С. 330–333.
 4. *Флинт М.В., Поялков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю.* Экосистемы морей сибирской Арктики – 2021: Экосистема Карского моря в период схода сезонного льда (83-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 1. С. 158–161.
 5. Экосистема Карского моря // *Океанология*. Спецвыпуск. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–864.
 6. Экосистема Карского моря: от эстуариев Оби и Енисея до желоба Святой Анны // *Океанология*. Спецвыпуск. 2015. Т. 55. № 4. С. 501–726.
 7. Экосистемы Российской Арктики // *Океанология*. Спецвыпуск. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–248.

Ecosystems of Siberian Arctic Seas – 2022:

Ecosystem of the Eastern Kara Sea, Ecological Risks Accumulated in the Basin (89 Cruise of Research Vessel “Akademik Mstislav Keldysh”)

M. V. Flint^{1, #}, S. G. Poyarkov¹, A. A. Polukhin¹, A. Yu. Miroshnikov²

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

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

89 cruise of R/V “Akademik Mstislav Keldysh” was organized by Shirshov Institute of Oceanology in a frame of the Program “Marine Ecosystems of Siberian Arctic” and was held from 19 September to 10 October 2022. 60 scientists from the institutes of Russian Academy of Sciences, Moscow State University, Moscow Institute of Physics and Technology, VNIRO and MES participated in the cruise. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical research, valuation of greenhouse gases concentration in above-water atmosphere were carried out over the shelf and continental slope of the eastern poorly known part of the Kara Sea. Ecosystem of Blagopoluchiy Bay (Novaya Zemlia) and conditions of disposals of radioactive waste in the bay were in a focus of the research as well.

Keywords: Arctic, Kara Sea, shelf, continental slope, seasonal ice, pelagic and bottom ecosystems, biological productivity, alien species, matter fluxes, greenhouse gases, disposals of radioactive waste