

УДК 551.465

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2023: (92-Й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ” В КАРСКОЕ МОРЕ)

© 2024 г. М. В. Флинт^{1,*}, С. Г. Поярков¹, Н. А. Римский-Корсаков¹,
Н. Я. Книвель², А. Ю. Мирошников³

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

² Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

* e-mail: m_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 27.11.2023 г.

После доработки 15.12.2023 г.

Принята к публикации 28.12.2023 г.

92-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” был организован Институтом океанологии РАН в рамках многолетней программы “Экосистемы морей Сибирской Арктики” и прошел с 5 октября по 7 ноября 2023 г. В экспедиции участвовали 76 ученых из институтов РАН, НИЦ “Курчатовский институт”, МГУ, МФТИ, ВНИРО и МЧС России. Были проведены гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические и геохимические исследования в восточной части Карского моря в период формирования сезонного льда, в эстуарии Оби и заливах архипелага Новая Земля, получены оценки состояния крупнейших захоронений радиоактивных отходов в Карском бассейне.

Ключевые слова: Арктика, Карское море, восточный шельф, Обский эстуарий, сезонный лед, пелагическая и донная экосистемы, биологическая продуктивность, вид-вселенец, поток вещества, захоронение радиоактивных отходов

DOI: 10.31857/S0030157424030144, EDN: QBJGZK

92-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” — 15-я крупная мультидисциплинарная экспедиция, организованная Институтом океанологии РАН при участии НИЦ “Курчатовский институт” в рамках многолетней программы экспедиционных исследований “Экосистемы морей Сибирской Арктики” начиная с 2007 г. [1–4].

Основными задачами экспедиции были:

- получение новых материалов, характеризующих пространственную организацию и механизмы функционирования морских природных комплексов шельфа Карского моря и Обского эстуария в период, непосредственно предшествующий формированию сезонного ледового покрытия, что необходимо для понимания влияния современных климатических трендов и уменьшения ледовитости на арктические экосистемы;
- оценка состояния и динамики популяции вида-вселенца в Карское море хищного краба *Chionoecetes opilio*, распространения вида в Карском бассейне, его воздействия на естественные донные экосистемы, путей вселения и потенциального промыслового значения;

- точная локализация, идентификация и оценка состояния наиболее радиационно опасных объектов, захороненных на дне Карского моря и представляющих крупнейшие накопленные экологические риски в Арктике, выявление возможных утечек радиоактивных загрязнений;

- поиск и локализация донных высачиваний метана в Байдарацкой губе.

Экспедиция началась в порту Мурманск 5 октября и завершилась там же 7 ноября 2023 г. Протяженность маршрута экспедиции составила 3017 миль (рис. 1). В экспедиции приняли участие 76 ученых, аспирантов и студентов, представлявших институты Российской академии наук (ИО РАН и его Южное отделение, ИГЕМ РАН, ИГ РАН), НИЦ “Курчатовский институт”, МГУ, МФТИ, ВНИРО Росрыболовства, ЦСООР “Лидер” МЧС России. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

Время проведения исследований в восточной части Карского моря (разрез “Восточный”, 22–24.10.2024) совпало с началом интенсивного

формирования сезонного льда (см. рис. 1). Это позволило получить принципиально новые оценки параметров экосистемы, с которыми она “уходит” в долгую арктическую зиму.

Влияние речного стока в восточной части Карского моря отчетливо проявлялось в распределении поверхностного слоя (24–28 епс) и отношении общей щелочности к солености (> 70) и прослеживалось на расстоянии до 250 км от побережья п-ова Таймыр и до 500 км от Обского и Енисейского эстуариев. Верхний продуцирующий слой восточной части моря был повсеместно обеднен биогенными элементами, и лишь в локальном районе вертикальной сезонной конвекции содержание NO_3 в верхнем слое возрастало до $1 \mu\text{M}$.

Впервые для позднесеннего сезона получены оценки потоков падающей на поверхность моря и проникающей в водную толщу фотосинтетически активной радиации (ФАР), характерные для эпиконтинентального арктического моря. В условиях, когда солнце не поднималось над горизонтом (21.10.2023), суммарное за сутки значение ФАР составляло 0.07 Э/м^2 в день.

Гидрофизические наблюдения в Обском эстуарии показали, что в позднесенний сезон сохраняется мощный гидрологический эстуарный

фронт с градиентами до 0.6 епс/км , направленный практически вдоль оси эстуария с севера на юг. Вынос сильно опресненной ($6\text{--}10 \text{ епс}$) и относительно теплой ($3\text{--}4.5^\circ\text{C}$) воды происходит вдоль западного берега эстуария. Холодная ($0\text{--}2.5^\circ\text{C}$) и относительно соленая ($15\text{--}30 \text{ епс}$) вода шельфа Карского моря распространяется вглубь эстуария к югу вдоль восточного берега.

Анализ данных спутниковых сканеров цвета (данные MODIS-Aqua: <https://data/satellites/aqua-modis/>) позволил установить, что в 2023 г. воды поверхностной опресненной речным стоком линзы достигали берегов Новой Земли примерно за месяц до начала экспедиции, что создавало условия для поступления этих вод в заливы архипелага. При наблюдениях в заливе Благополучия в середине октября было выявлено мощное опреснение верхнего слоя до 24.08 епс , связанное с влиянием стока Оби и Енисея. Это подтверждает полученные нами ранее доказательства взаимодействия экосистемы залива с прилежащими открытыми акваториями Карского бассейна.

Во всех исследованных районах наблюдалось многократное вплоть до порядка величин снижение количественных показателей фитопланктона в конце октября по сравнению с сентябрем.

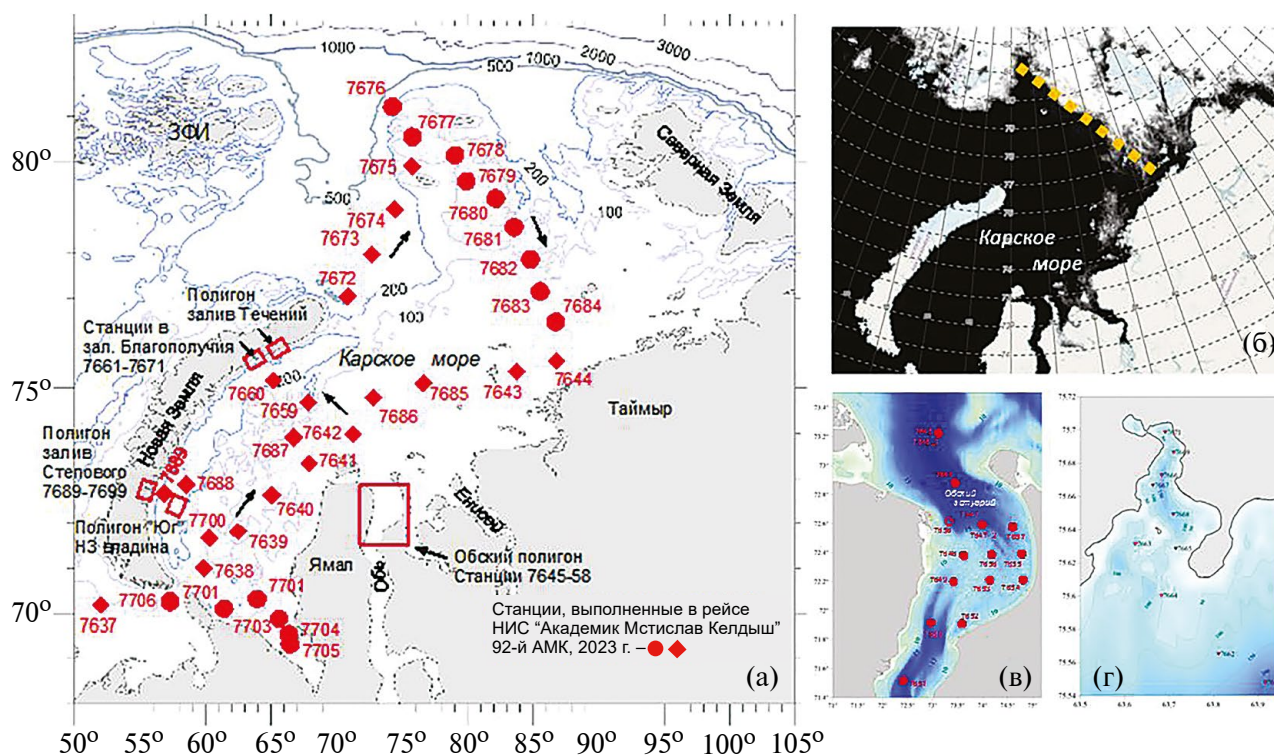


Рис. 1. Схема маршрута и положение станций 92-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Карском море в октябре–ноябре 2023 г. (а); положение ледовой кромки в восточной части Карского моря 23 октября 2023 г. (по <http://siows.solab.rshu.ru>) в период выполнения разреза “Восточный”, положение разреза показано желтым штрихом (б); положение станций в Обском эстуарии (в); положение станций в заливе Благополучия (г).

Численность водорослей колебалась от 8.6×10^3 до 78.0×10^3 кл./л, биомасса — от 5.9 до 53.5 мг/м³. Средние значения численности и биомассы пикофитопланктона составляли, соответственно, $2.92 \pm 0.7 \times 10^9$ кл./м³ и 1.64 ± 0.4 мгС/м³. Получены первые оценки первичной продукции (ПП) для разных районов Карского моря в позднелесенный сезон непосредственно перед формированием сезонного льда. В Обском эстуарии ПП варьировала от 2 до 7 мгС/м² в день, в восточной части бассейна — от 0.25 до 2.3 мгС/м² в день. Наши предыдущие оценки показывают, что по сравнению с началом октября к концу месяца ПП снизилась более чем на порядок, а по сравнению с августом — на два порядка.

Получены оценки параметров зоопланктонных сообществ в позднелесенный сезон и период ледостава. В Обском эстуарии биомасса зоопланктона составляла от 0.2 до 19 мл/м³, максимальные величины — 250 мл/м³ были приурочены к области эстуарного фронтального раздела. В восточной части Карского моря средняя биомасса мезопланктона варьировала от 0.2 до 3.1 мл/м³. Залив Благополучия характеризовался относительно богатым зоопланктоном, биомасса которого втрое превышала биомассу в прилегающих водах Карского моря.

Основу численности ихтиопланктона составляла молодь сайки *Boreogadus saida*, численность которой на некоторых станциях достигала 2.8 экз./м². Полученные данные говорят о существенной межгодовой вариабельности популяции вида в Карском море.

В октябре в Карском море были обнаружены личинки краба вселенца *Chionoecetes opilio* на поздней стадии развития — мегалопы. Эти подтверждает возможность самовоспроизводства популяции краба опилио в бассейне. Видеонаблюдения показали, что в Карском море только единичные особи опилио достигают промыслового размера с шириной карапакса ≥ 100 мм. Основной причиной этого является низкая кормовая база.

Выявлена гетерогенность Обского эстуария по происхождению растворенного органического углерода (РОУ), связанная с процессами в области эстуарного фронта. В северо-восточной части эстуария обогащение РОУ придонных горизонтов может указывать на его поставку из донных осадков. Для северо-западной области эстуария показано относительное увеличение концентраций РОУ при одновременном снижении относительного содержания гуминовой флуоресцирующей компоненты, что говорит о деструкции

взвешенного ОБ, поставляемого с речным стоком как источнике обогащения. Исследования донных осадков Обского эстуария показали, что они представлены в основном тонкими пелитовыми илами оливково-серого или черного цвета в восточном сегменте эстуария и алевро-пелитовыми, глинистыми илами в западном сегменте. Существенные различия в процессах осадконакопления определяются формированием гидродинамического (фронтального) барьера и солевого и температурного фронтов.

Впервые получены оценки загрязнения микропластиком вод в Обском эстуарии, в заливах архипелага Новая Земля и в прикромочной области формирующегося сезонного ледового покрытия в восточной части Карского моря. Участков локализации загрязнения микропластиком не выявлено. Предварительная средняя оценка составила 0.0104 шт./м³ при максимальном значении 0.0482 шт./м³. В основном встречены частицы размером 0.3–5.0 мм и волокна. Отмечена высокая встречаемость частиц судовой краски в пробах.

На всем маршруте экспедиции велись наблюдения за морскими млекопитающими и птицами, получены оценки численности и характер распространения видов, занесенных в Красную книгу РФ, Красный список МСОП и список индикаторов состояния морей Арктической зоны РФ.

С использованием многолучевого эхолота (МЛЭ) SeaBat T50R получен массив точных координат положения компонентов крупного захоронения ТРО в заливе Благополучия. Построена подробная карта-схема захоронения. С помощью ТНПА “СуперГНОМ” и подводного спектрометра обследованы 18 объектов захоронения; вблизи 5 объектов зарегистрировано гамма-излучение техногенных радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co. Была проведена детальная видеосъемка АПЛ К-27, затопленной в заливе Степового, получены видеоматериалы для построения подробной 3D модели объекта, необходимой при подготовке проекта подъема, транспортировки и последующей утилизации лодки. Радиационное обследование лодки К-27 с помощью подводных гамма-спектрометров РЭМ-4-50, разработанных в НИЦ “Курчатовский институт”, позволило впервые провести измерения в нише люка реакторного отсека. Была зафиксирована высокая мощность дозы — 28 мкГр/ч, что примерно в 200 раз превышает средний радиационный фон. Согласно полученным спектрам, основным дозообразующим нуклидом является продукт деления ядерного топлива ¹³⁷Cs.

С использованием высокочастотной гидрологической съемки и видеосъемки БМПА “Видеомодуль” получены новые данные о судне, затопленном в Новоземельской впадине в 1974 г. Судно идентифицировано как танкер “Горынь” проекта 437Н, вероятно перевозивший груз жидких радиоактивных отходов.

Обследование дна в нескольких районах Байдацкой губы с использованием БНПА “Видеомодуль” позволило обнаружить бактериальные маты, которые являются маркерами выделения метана. Примерные размеры поля метановых сипов оценены в 300×570 м.

Источники финансирования. Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), основные работы выполнены в рамках государственного задания № FMWE-2024-0021, часть исследований проведена по Государственной программе “Научно-технологическое развитие Российской Федерации” ГП-47, госзаданиям № FMWE-2024-0015, № FMWE-2024-0016, № FMWE-2024-0019, № FMWE-2024-0022, № FMWE-2024-0024,

№ FMWE-2023-0002, FMMN-2024-0019; проектам РНФ № 19-17-00234П, № 21-77-10059, № 21-77-10064, № 23-27-00061, № 23-17-00156.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флинт М.В., Поярков 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.
2. Флинт М.В., Поярков 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.
3. Флинт М.В., Поярков С.Г., Полухин А.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей сибирской Арктики – 2022: Экосистема восточной части Карского моря, накопленные экологические риски (2-й этап 89-го рейса научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // *Океанология*. 2023. Т. 63. № 2. С. 328–331.
4. Экосистемы Российской Арктики // *Океанология*. Спецвыпуск. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–248.

ECOSYSTEMS OF SIBERIAN ARCTIC SEAS – 2023: (92^D CRUISE OF RESEARCH VESSEL “AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH” IN THE KARA SEA)

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

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

^b National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

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

* e-mail: m_flint@ocean.ru

92^d cruise of R/V “Akademik Mstislav Keldysh” was organized by Shirshov Institute of Oceanology in a frame of long-term Program “Marine Ecosystems of Siberian Arctic” and was held from 5 October to 7 November 2023. 76 scientists from the institutes of Russian Academy of Sciences, National Research Center Kurchatov Institute, Moscow State University, Moscow Institute of Physics and Technology, VNIRO and MES of Russia participated in the cruise. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical research were carried out in the eastern part of the Kara Sea in the period of seasonal ice formation, as well as in the Ob river estuary and fjords of Novaya Zemlya archipelago. Conditions of largest disposals of radioactive waste in the Kara Sea were evaluated.

Keywords: Arctic, Kara Sea, eastern shelf, Ob river estuary, seasonal ice, pelagic and bottom ecosystems, biological productivity, alien species, matter fluxes, disposal of radioactive waste