

УДК 551.465

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ-2024 (95-й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ” В КАРСКОЕ МОРЕ)

© 2025 г. М. В. Флинт^{1,*}, А. А. Полухин¹, С. Г. Поярков¹,
Н. А. Римский-Корсаков¹, А. Ю. Мирошников²

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

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

*e-mail: m_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 25.10.2024 г.

После доработки 05.11.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

95-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” был организован Институтом океанологии РАН в рамках многолетней программы “Экосистемы морей Сибирской Арктики”. Рейс был направлен на исследование процессов в арктической экосистеме в период схода сезонного льда и проходил с 21 июня по 24 июля 2024 г. Гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические и геохимические исследования были проведены в центральной области Карского моря в широтном диапазоне от 74°30.0' до 80°22.5' с.ш., а также в восточной части Баренцева моря при разном состоянии ледового покрытия. В экспедиции участвовали 62 ученых из институтов РАН, МГУ, САФУ, МФТИ, ВНИРО.

Ключевые слова: Арктика, Карское и Баренцево моря, весенний сезон, сезонный лед, пелагическая и донная экосистемы, биологическая продуктивность, вид-вселенец, потоки CO₂, радиоактивное загрязнение

DOI: 10.31857/S0030157425020142, **EDN:** DZJRRE

95-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” – 16-я крупная мультидисциплинарная экспедиция, организованная Институтом океанологии РАН в рамках многолетней программы экспедиционных исследований “Экосистемы морей Сибирской Арктики” начиная с 2007 г. [2–5].

Экспедиция началась в порту Мурманск 21 июня и завершилась там же 24 июля 2024 г. Протяженность маршрута экспедиции составила 3578 миль (рис. 1). В экспедиции приняли участие 62 человека – ученые, аспиранты и студенты, представлявшие институты Российской академии наук (ИО РАН и его Южное и Северо-Западное отделения, ИГЕМ РАН, ИФА РАН, ИОА СО РАН), МГУ, САФУ, БФУ, МФТИ, ВНИРО Росрыболовства. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

Основной целью экспедиционных исследований в период схода сезонного льда было получение новых данных, необходимых для прогноза

изменений морских арктических природных комплексов, их биологической продуктивности, роли в потоках вещества, в том числе климатически активных газов, под воздействием современных климатических трендов, проявляющихся в уменьшении ледовитости, для формирования адаптированных к современным условиям подходов к климатическому мониторингу арктических природных систем, стратегии природопользования и принципов адаптивной и экологически безущербной деятельности человека в арктическом регионе.

Начало календарного лета 2024 г. характеризовалось тяжелой ледовой обстановкой в Карском море, что повлияло на построение маршрута экспедиции. Значительная часть работы проходила в условиях моря, покрытого льдом, в отдельных районах ледовитость достигала 50–70%, и судно буквально “проталкивалось” от полыньи к полынье (рис. 1). Используя доступные для судовождения по ледовым условиям районы, судно пересекло практически весь широтный диапа-

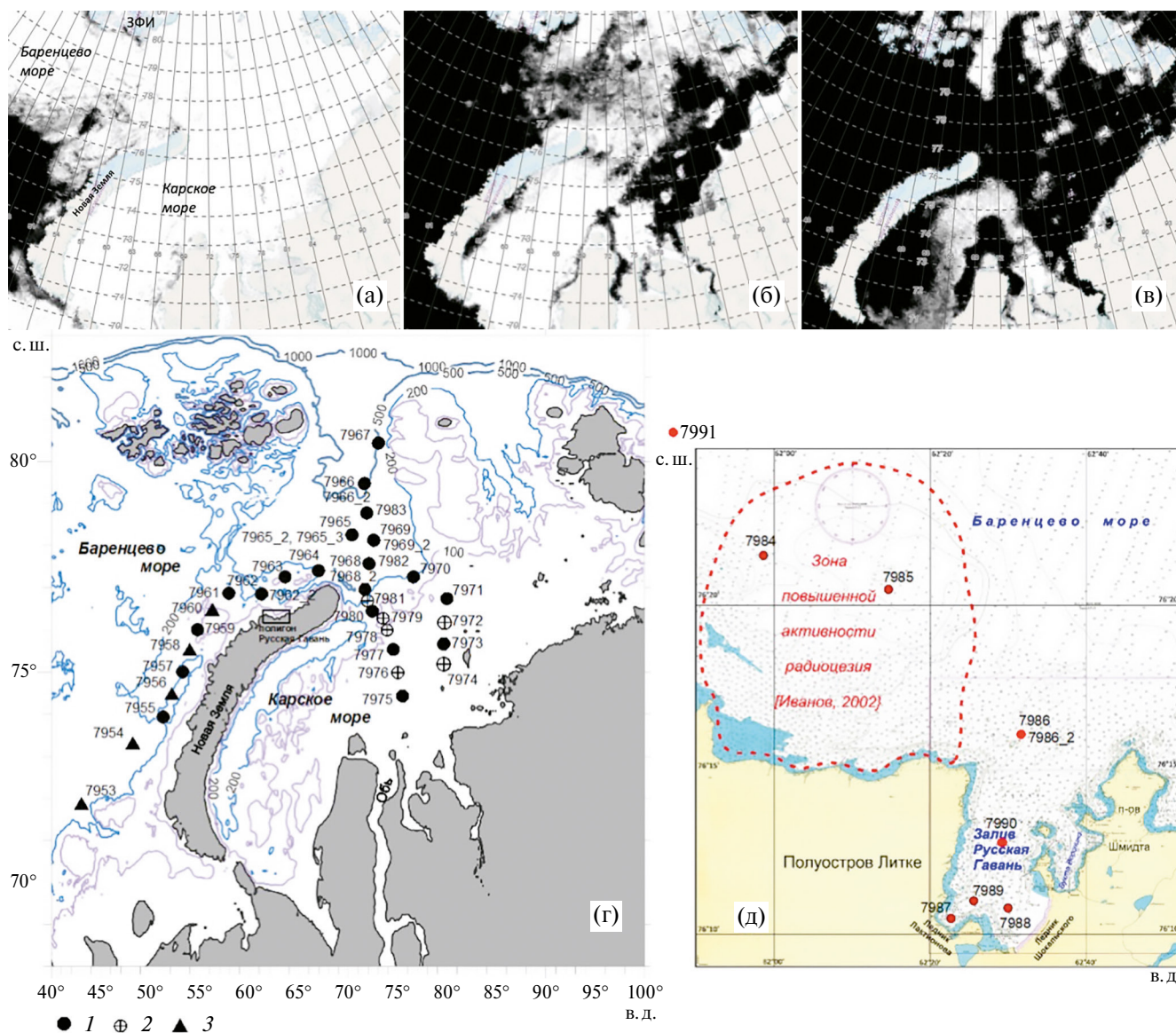


Рис. 1. Ледовое покрытие в районе исследований: *а* – в период максимального развития сезонного льда в конце апреля 2024 г., *б* – во время начала работ экспедиции в основном районе исследований 25 июня 2024 г., *в* – во время окончания работ 22 июля 2024 г. (по <http://siows.solab.rshu.ru>). *г* – Положение станций 95-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”, *д* – положение станций на полигоне Русская Гавань (прямоугольник на рис. *г*), 1 – станции с полным комплексом, 2 – сокращенные станции, 3 – ихтиологические работы и отбор проб сетью “Манты”.

зон в 6 градусов, в котором лежит Карский бассейн. Маршрут экспедиции был построен так, чтобы охватить три крупных территориальных “блока” – северо-восточную часть Баренцева моря, прилежащую к Карскому морю, северную глубоководную часть Карского бассейна (желоб Святой Анны) и шельф Карского моря. В каждом из этих “блоков” исследования были проведены в районах, в разной степени освободившихся от сезонного льда и имеющих разную историю схода сезонного ледового покрытия, которая восстанавливалась по ежедневным ледовым картам (<http://siows.solab.rshu.ru>).

Получены оценки гидрофизических и гидрооптических свойств морской среды в период интенсивного таяния сезонного льда, установлены характерные для сезона уровень влияния теплых относительно соленых атлантических вод на северную и центральную части Карского моря и пути их распространения в исследованном регионе.

Получены данные о гидрохимической структуре вод в разных районах Карского бассейна в весенний сезон (растворенном кислороде, величине pH, общей щелочности, общем и неорганическом растворенном фосфоре, растворенном кремнии, общем азоте и его формах).

Установлены низкие концентрации биогенных элементов в верхнем перемешанном слое в период освобождения от сезонного льда (NO_3 в основном $< 0.2 \text{ мМ}$, лишь локально до $1.0\text{--}1.5 \text{ мМ}$), что указывает на слабую вертикальную конвекцию в предшествующий зимний сезон либо на их интенсивное потребление еще до начала схода сезонного льда.

Оценки обмена CO_2 между океаном и атмосферой, выполненные на основании измерений в 44 точках, показали, что вся исследованная акватория Баренцева и Карского морей в весенний сезон была областью стока углекислого газа из атмосферы. Средняя (медианная) интенсивность обмена CO_2 для изученной акватории Баренцева моря составила $2.6 \text{ ммоль м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, или $31 \text{ кгС км}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, для акватории Карского моря — $1.3 \text{ ммоль м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, или $16 \text{ кгС км}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

Ранневесеннее состояние фитопланктона на большей части исследованной акватории характеризовалось массовым развитием мелкоклеточных видов *Phaeocystis pouchetii* и диатомеи *Chaetoceros socialis* и формированием высоких концентраций водорослей на глубинах ниже 30 м. Колонии *P. pouchetii* впервые были отмечены в северо-западной глубоководной части Карского моря, куда вид поступал с атлантической водой. Максимальная численность вида достигала $21 \times 10^6 \text{ кл/л}$. Вид исчезал из фитоценоза при солености $< 31 \text{ PSU}$. Численность пикофитопланктона изменялась от 0.2 до $4.9 \times 10^6 \text{ кл/л}$. В составе пикофитопланктона доминировали пикозукариоты, численность цианобактерий не превышала 20–60 кл/мл.

Интегральные величины первичной продукции в период весенней фазы массового развития фитопланктона достигали $400\text{--}550 \text{ мгС/м}^2$ в день, в синтезе нового органического вещества доминировал микрофитопланктон ($> 20 \text{ мкм}$). В первой половине июля наблюдался переход от весенней фазы развития фитопланктона к более поздним стадиям, который характеризовался снижением продукции почти на порядок, формированием глубинного хлорофилльного максимума на горизонтах 30–75 м и доминированием мелкоразмерных фракций фитопланктона ($< 20 \text{ мкм}$).

Изменения биомассы мезопланктона в Карском море в широтном диапазоне $74^\circ 30.0'$ до $80^\circ 22.5'$ с.ш. при различных ледовых условиях были слабо выражены и составили от 2.5 до 5 мл/м^3 . Локальный максимум с биомассой в поверхностном слое 0–20 м был приурочен к области континентального склона в желобе Св. Анны. Впервые для весеннего сезона в Карском бассейне получены оценки роли зоопланктона в утилизации пер-

вичного органического вещества в районах, различающихся по режиму схода сезонного ледового покрытия. Зоопланктон ежедневно потреблял $< 5\%$ биомассы фитопланктона, и лишь в локальных скоплениях зоопланктона в области склона эта величина возрастала до 70%.

Основу численности ихтиопланктона ($> 85\%$) на исследованных акваториях повсеместно составляли ранние стадии развития сайки (*Boreogadus saida*), наибольшая численность которых — 4 экз/м^2 , отмечена на Обско-Енисейском взморье.

Для всего района исследований получены оценки обилия личинок краба-вселенца *Chionoecetes opilio*. Наибольшая численность — $100\text{--}900 \text{ экз/м}^2$, наблюдалась в приновоземельском районе Баренцева моря и на границе Баренцева и Карского морей в желобе Св. Анны, куда они приносятся течениями из Баренцева моря. В центральной части Карского моря численность личинок составляла $0.4\text{--}29 \text{ экз/м}^2$. Учет взрослого краба-стригуна методом видеонаблюдений показал, что наиболее высокие плотности приурочены к прилежащем к Новой Земле районам Баренцева моря ($2.7\text{--}4.3 \text{ экз/10 м}^2$) и к области континентального склона в желобе Св. Анны ($1.5\text{--}2.0 \text{ экз/10 м}^2$).

Выявлены аномально высокие концентрации взвешенного органического углерода, превышающие 300 мкг/л и связанные с активной весенней вегетацией фитопланктона. В отличие от данных, полученных в прошлые годы, повышение концентраций взвешенного органического вещества не сопровождалось увеличением его в растворенной форме. Средние концентрации РОУ были существенно ниже среднеголетних величин для Карского и Баренцева морей. На основании анализа биомаркеров показана активная седиментация “новой” взвеси биогенного происхождения на дно — при повторных наблюдениях с интервалом две недели зафиксировано обогащение верхнего слоя донных осадков биогенным ОВ при глубине 520 м.

На всем маршруте экспедиции проводились измерения концентраций CO_2 , изотопного состава и концентрации метана, O_3 и водяного пара в приводном слое атмосферы с помощью лазерного анализатора Picarro G2132-i и газоанализаторов ENVEA 0342e и ENVEA CO12e. Предварительные данные не выявили значительных региональных отклонений этих параметров. Концентрация CH_4 была на уровне 1.97 ppm , и лишь на мелководном шельфе Карского моря было локально зафиксировано увеличение 2.02 ppm .

Для оценки уровня радиоактивного загрязнения донных осадков, связанного с поступлением в море радиоактивности, аккумулированной в ледниках Новой Земли, способности осадков к самоочищению на многолетнем масштабе были отобраны колонки донных отложений у полуострова Литке и в заливе Русская Гавань в области разгрузки ледников Шокальского и Лактионова.

На исследованной акватории Баренцева и Карского морей получены оценки содержания микропластика и корабельной краски. Микропластик и частицы краски были обнаружены практически на всех станциях, их средние концентрации составили соответственно 0.162 шт./м³ и 0.206 шт./м³.

На всем маршруте экспедиции проведены учеты морских млекопитающих и птиц. Из учтенных видов 7 занесены в Красный список МСОП и 6 – в Красную книгу РФ.

Финансирование работы. 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 госзаданиям № FMWE-2024-0015, № FMWE-2024-0016, № FMWE-2024-0018, № FMWE-2024-0022, № FMWE-2024-0024, № FMWE-2023-0002,

№ FMMN-2024-0019, № FMMN-2024-0020, проектам РНФ № 21-77-20025, № 23-27-00061, № 23-24-00440.

Конфликт интересов. Авторы настоящей работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов Г.И.* Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря // Репринт ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, 2002, 153 с.
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. *Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. и др.* Экосистемы морей Сибирской Арктики-2023 (92-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” в Карское море) // Океанология. 2024. Т. 64. № 3. С. 550–553.
5. Экосистемы Российской Арктики // Океанология. Спецвыпуск. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–248.

ECOSYSTEMS OF THE SIBERIAN ARCTIC SEAS-2024 (CRUISE 95 OF THE R/V “AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH” IN THE KARA SEA)

M. V. Flint^{a, *}, A. F. Polukhin^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

95^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”. The cruise was focused at evaluation of the processes in the Arctic ecosystem in the period of seasonal ice breacking and was held from 21 June to 24 July 2024. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical research were carried out under different sea ice conditions in the central part of the Kara Sea in latitudinal range from 74°30.0' to 80°22.5' N, as well as in the eastern part of the Barents Sea. 62 scientists from the institutes of Russian Academy of Sciences, Moscow State University, North Arctic Federal University, Baltic Federal University, Moscow Institute of Physics and Technology, and VNIRO participated in the cruise.

Keywords: Arctic, Kara and Barents Sea, spring season, seasonal ice, pelagic and bottom ecosystems, biological productivity, alien species, CO₂ fluxes, radioactive pollution