ОКЕАНОЛОГИЯ, 2022, том 62, № 1, с. 158–161

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 551.465

ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2021: ЭКОСИСТЕМА КАРСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД СХОДА СЕЗОННОГО ЛЬДА (83-й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ”)

© 2022 г.
М. В. Флинт[1], *, С. Г. Поярков[1], Н. А. Римский-Корсаков[1], А. Ю. Мирошников[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

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

**e-mail: m_flint@ocean.ru*

Поступила в редакцию 27.07.2021 г.
После доработки 10.08.2021 г.
Принята к публикации 19.08.2021 г.

83-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” был организован Институтом океанологии РАН в рамках многолетней программы “Морские экосистемы Сибирской Арктики” и прошел с 18 июня по 08 июля 2021 г. В экспедиции участвовали 75 ученых из институтов РАН, МГУ, МФТИ и ВНИРО. Были проведены гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические и геохимические исследования, получены оценки концентрации парниковых газов в приводной атмосфере в области шельфа Карского моря и континентального склона желоба Святой Анны в период освобождения бассейна от сезонного льда.

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

DOI: 10.31857/S0030157422010051

83-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” – 12-я крупная мультидисциплинарная экспедиция, проведенная в рамках многолетней программы экспедиционных исследований “Морские экосистемы Сибирской Арктики”, которую Институт океанологии РАН ведет, начиная с 2007 г. [1–6]. В рамках этой программы изучаются природные комплексы Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. Главной задачей экспедиции 2021 г. была оценка характеристик морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы Карского бассейна в потенциально высокопродуктивный период схода сезонного льда, что позволяет восполнить самый существенный пробел в понимании механизмов функционирования морских экосистем Сибирской эпиконтинентальной Арктики и их отклика на современные климатические тренды. Исследовались механизмы формирования биологической продукции и ее уровень в весенний сезон для оценки вклада этого периода в общий годовой продукционный цикл. Оценивались физические, химические и биологические процессы в прикромочной области сезонного льда и их роль в сезонном цикле функционировании экосистем арктического шельфа, состояние карбонатной системы в разных районах Карского бассейна для определения региональной эмиссии и стока углекислого газа, концентрации углекислого газа и метана в водной толще и приводной атмосфере. Получены оценки пространственной структуры, возрастного состава и динамики популяции хищного вида-вселенца в Карское море краба *Chionoecetes opilio*, его воздействия на нативные донные экосистемы.

Экспедиция началась в порту Архангельск 18 июня и завершилась там же 08 июля 2021 г. Протяженность маршрута экспедиции составила 2942 миль (рис. 1). Экспедиция была организована Институтом океанологии РАН, в ней приняли участие 75 ученых, аспирантов и студентов, представлявших институты Российской академии наук (ИГЕМ РАН, ГЕОХИ РАН, ИГ РАН, ИОА СО РАН, ТОИ ДВО РАН), МГУ, МФТИ, ВНИРО Росрыболовства. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

Экспедиция проходила в условиях схода сезонного льда в Карском море. К началу исследо-

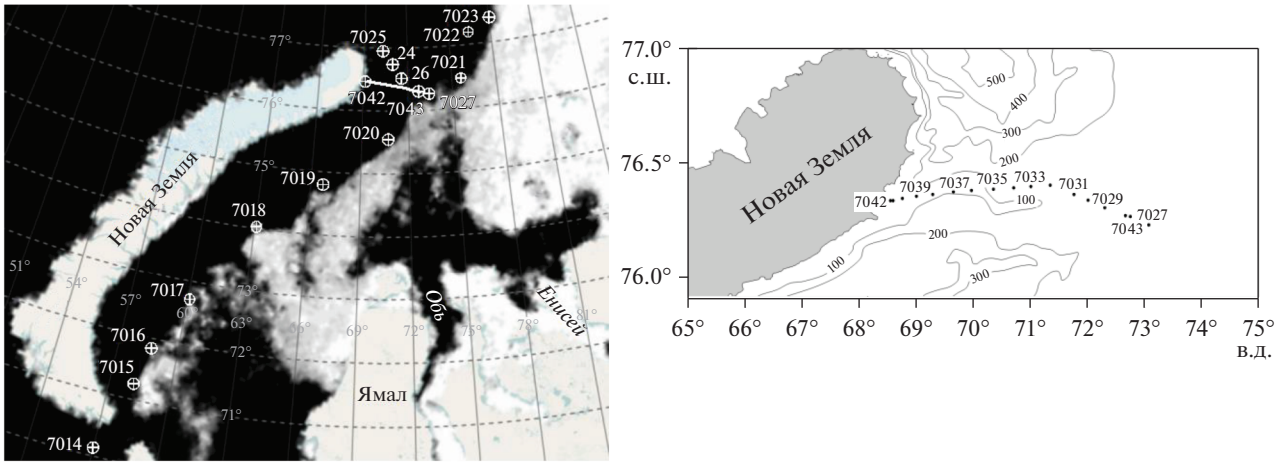

Рис. 1. Положение поля сезонного льда в Карском море 23 июня 2021 г. (по http://siows.solab.rshu.ru) и карта-схема станций и разрезов 83-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” (слева). Схема разреза на перешейке между Новоземельской впадиной и западным отрогом желоба Св. Анны (справа).

ваний в прибрежной зоне Новой Земли и практически во всем районе Новоземельской впадины лед растаял, что, вероятно, определялось наличием относительно теплого Новоземельского течения юго-западного направления, которое диагносцировалось по спутниковым данным. Станции основного разреза, направленного от пролива Карские Ворота на северо-восток, располагались непосредственно у кромки ледяного поля, занимавшего всю центральную часть моря, или в районах, освободившихся ото льда за несколько дней до начала работ (рис. 1).

Наиболее значимые предварительные результаты экспедиции состоят в следующем.

Распределение температуры и солености указывало на отсутствие воздействия речного/материкового стока текущего года на центральный район Карского моря в исследованный сезон, значения солености не опускались ниже 31.5. В северной части разреза (ст. 7020–7023, рисунок) была зарегистрирована область с хорошо выраженным минимумом солености в поверхностном слое – 30.0, имевшая масштаб более 200 км. Связанные с пониженной соленостью высокие значения флуоресценции РОВ и концентрации растворенного кремния (>10 μМ), а также соотношение щелочность/соленость в опресненном слое позволяют говорить о присутствии в районе вод речного стока прошлого 2020 г.

На квазимеридиональном разрезе в области внешнего шельфа и континентального склона желоба Св. Анны (рисунок) в поверхностном слое зарегистрированы высокие градиенты солености (>1 на 10 км) и локальный максимум флуоресценции Хл “а”, маркирующие фронтальную зону в области верхней части континентального склона. Склоновая фронтальная зона, представляющая собой барьер между экосистемами карского шельфа и глубокого бассейна, неоднократно наблюдалось в этом районе в другие сезоны, что указывает на ее пространственно-временну́ю устойчивость.

Для исследования направленности и скоростей водообмена между Карским морем и прилежащими глубоководными районами Арктики был выполнен разрез на перешейке между Новоземельской впадиной и западным отрогом желоба Св. Анны (рисунок). Расчет геострофических скоростей позволил выявить потоки как северо-восточной, так и юго-западной направленности. Трансформированные атлантические воды с положительными значениями температуры не были идентифицированы.

Поверхностный слой у кромки сезонного льда был обеднен биогенными элементами. Содержание фосфатов колебалось в пределах 0.07–0.38 μМ, нитратов – в основном в пределах 0.1–0.2 μМ и лишь в области, где отмечено присутствие прошлогоднего речного стока, достигало 0.5 μМ.

Получены оценки потока углекислого газа на границе вода – приводная атмосфера. pCO_2 в воде менялось в пределах от 222 до 338 ppm, что указывает на недонасыщенность поверхностного слоя моря углекислым газом, в атмосфере pCO_2 варьировало от 409 до 416 ppm. Рассчитанная интенсивность потока CO_2 составила от –0.24 до –26 ммоль/м^2 день (в среднем –3.9 ммоль/м^2 сут). Полученные результаты свидетельствуют о том, что вся исследованная акватория Карского моря в исследованный сезон является областью стока атмосферного CO_2.

Постоянные в течение экспедиции измерения концентрации CH_4 в приводном слое атмосферы дали оценки от 1.911 до 2.145 ppm, максимальные

значения были точечно отмечены в прибрежных районах Баренцева моря, на пути к основному району исследований.

Максимальные концентрации Хл “а” достигали 3.7–4.0 мкг/л, при этом были существенно ниже значений, зарегистрированных нами в предыдущей экспедиции в первой декаде июля. Это позволяет говорить, что наблюдения 2021 г. проходили в начале фазы интенсивного сезонного цветения фитопланктона. Характерным для периода схода сезонного льда было повсеместное доминирование диатомовых водорослей, которые составляли >90% общей численности и биомассы фитопланктона. Средняя численность водорослей в столбе воды в районах, примыкающих в кромке льда, колебалась от 7.0×10^5 до 1.8×10^6 кл/л, биомасса – от 0.63 до 4.8 г/м^3. Для вертикального распределения фитопланктона был характерен хорошо выраженный подповерхностный максимум на глубинах от 10 до 25 м, где значения биомассы достигали 6–7 г/м^3.

Впервые для сезона схода сезонного льда в Карском море были получены оценки параметров обилия пикофитопланктона (<2 μm). Минимальные значения численности и биомассы этой размерной фракции фитопланктона составляли 0.42×10^9 кл/м^3 и 0.36 мгС/м^3, соответственно, максимальные достигали 5.38×10^9 кл/м^3 и 3.27 мг С/м^3.

Получены первые экспериментальные оценки первичной продукции фитопланктона для эпиконтинентальных Сибирских морей в период схода сезонного ледового покрытия. У отступающей кромки сезонного льда было зарегистрировано цветение фитопланктона, развивающееся при низких концентрациях биогенных элементов. Интегральная первичная продукция изменялась от 282 до 1352 мгС/м^2 в день и в среднем составляла 740 мгС/м^2 в день. Величины >1 мгС/м^2 в день никогда не регистрировались в наших многолетних исследованиях в более поздние сезоны, включая первую декаду июля. На станциях в зоне цветения средний вклад микрофитопланктона (>20 μm) в суммарные величины первичной продукции составил 92%.

Обилие бактериопланктона характеризовалось высокой вариабельностью – от 103×10^3 до 1162×10^3 кл/мл; величины, превышающие 300×10^3 кл/мл, были приурочены к верхнему 15–40 м слою. Полученные оценки скорости роста бактериопланктона в поверхностном слое моря варьировали от 0 до 0.97 сут$^{-1}$. Максимальные значения поучены для глубин подповерхностных максимумов фитопланктона.

Получены оценки структуры сообществ и биомассы зоопланктона и первые для морей Сибирской Арктики оценки роли зоопланктона в утилизации первичного органического вещества в период ранневесеннего цветения фитопланктона. Повышенная в 1.5–3 раза по сравнению с фоном биомасса была отмечена в области склоновой фронтальной зоны в желобе Св. Анны. В районах, недавно освободившихся ото льда, выедание биомассы фитопланктона не превышало 1% в сутки. Интенсивная утилизация биомассы автотрофов (26% в сутки) наблюдалась в области склоновой фронтальной зоны на фоне повышенного обилия зоопланктона. Это наряду с данными, полученными нами ранее в другие сезоны, свидетельствуют об устойчивой роли склоновых фронтальных процессов в формировании высокой биологической продуктивности в этой области Карского бассейна.

Получены материалы для оценки развития инвазии краба опилио *Chionoecetes opilio* в Карское море и его воздействия на нативные донные экосистемы. В западном отроге желоба Св. Анны, где происходит активное вселение опилио, обилие вида достигало 18 экз/100 м^2. В этом районе воздействие краба-вселенца не привело к резким изменениям донного биоценоза, что связано с его относительно высокой общей биологической продуктивностью. В центральной части Карского моря в 2021 г. состояние инвзивной популяции краба опилио не изменялось существенно по сравнению с 2019 г. и обилие особей с шириной карапакса 50–60 мм составляло 0.1–0.2 крабов на м^2. Весной 2021 г. были впервые отмечены недавно осевшие крабы (ширина карапакса ~5 мм), что вместе с присутствием в планктоне поздних личиночных стадий – мегалоп указывает на возможное формирование “карской” популяции *Chionoecetes opilio* и дальнейшее развитие инвазии.

Получены первые оценки взвешенного и растворенного органического вещества водной толщи Карского моря в период освобождения бассейна от сезонного льда. Средняя концентрация общего органического углерода в столбе воды составила ~0.5 мг/л, что вдвое ниже среднемноголетних значений для данного района и сравнимо с содержанием органического углерода в открытых океанских водах. Средние концентрации взвешенного органического углерода в верхнем 50-метровом слое практически вдвое превышали среднемноголетние значения для летне-осеннего сезона, при этом были существенно ниже, чем зафиксированные при максимальных биомассах фитопланктона в первой декаде июля 2019 г.

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), государственных заданий №№ 0128-2021-0007, 0128-2021-0008, 0128-2021-0010, 0128-2021-0015, 0128-2021-0006, 121041500216-3, про-

ектов РФФИ “Арктика” – 18-05-60053, 18-05-60069, 18-05-60070, 18-05-60228, 18-05-60246, 18-05-60302.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Флинт М.В., Поярков 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., Поярков 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., 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.
4. Экосистема Карского моря // Океанология. Спецвыпуск. 2010. Т. 50. №5. С. 677–864.
5. Экосистема Карского моря: от эстуариев Оби и Енисея до желоба Святой Анны // Океанология. Спецвыпуск. 2015. Т. 55. № 4. С. 501–726.
6. Экосистемы Российской Арктики // Океанология. Спецвыпуск. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–248.

Ecosystems of Siberian Arctic Seas – 2021: Ecosystem of the Kara Sea in a Period of Seasonal Ice Melting (83 Cruise of Research Vessel “Akademik Mstislav Keldysh”)

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*

83 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 form 18 June to 08 July 2019. 75 scientists from the institutes of Russian Academy of Sciences, Moscow State University, Moscow Institute of Physics and Technology, VNIRO participated in the cruise. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical research and valuation of greenhouse gases concentration in above-water atmosphere were carried out over the Kara Sea shelf and in the area of St. Hanna trough continental slope in a period of seasonal sea ice melting.

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