

УДК 551.465

## ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2019: ВЕСЕННИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРСКОМ МОРЕ (76-й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ”)

© 2020 г. М. В. Флинт<sup>1</sup> \*, С. Г. Поярко<sup>1</sup>, Н. А. Римский-Корсаков<sup>1</sup>, А. Ю. Мирошников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

\*e-mail: m\_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 10.10.2019 г.

После доработки 10.10.2019 г.

Принята к публикации 16.12.2019 г.

С 01 июля по 06 августа 2019 г. Институтом океанологии РАН проведена крупная экспедиция по программе “Морские экосистемы Сибирской Арктики” – 76-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” с участием 71 ученого из институтов РАН, МГУ и ВНИРО. Согласованные гидрофизические, гидрохимические, биоокеанологические, геохимические и радиоэкологические исследования были выполнены на шельфе и в области континентального склона Карского моря, в Обском эстуарии и в заливах восточного берега Новой Земли.

**Ключевые слова:** Арктика, Карское море, Обский эстуарий, шельф, континентальный склон, ледовые условия, экосистема, биологическая продуктивность

**DOI:** 10.31857/S0030157420010104

76-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” – 10-я крупная экспедиция, продолжающая многолетнюю программу “Морские экосистемы Сибирской Арктики”, начатую Институтом океанологии РАН в 2007 г. и направленную на исследование природных комплексов Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей [1–4]. Во всех экспедициях был использован единый методологический подход, что определило их преемственность и возможность объединить полученные данные для формирования целостных представлений об экосистемах эпиконтинентальной Арктики и их текущей изменчивости. Экспедиция началась в порту Архангельск 01 июля 2019 г. и завершилась там же 06 августа 2019 г.; протяженность маршрута составила – 4033 миль (рис. 1). В 2019 г. работы были сосредоточены в Карском море, Обском эстуарии и заливах восточного берега Новой Земли (Абросимова, Степового и Медвежьем). Экспедиция была организована Институтом океанологии РАН, в ней приняли участие 71 сотрудник институтов Российской академии наук (ИГЕМ РАН, ИФА РАН, ГЕОХИ РАН, ИГ РАН), МГУ, ВНИРО Росрыболовства, студенты МГУ, МФТУ и МИЭА. Руководителем экспедиции был академик РАН М.В. Флинт, судном командовал капитан дальнего плавания Ю.Н. Горбач.

Карское море – важнейшая область Сибирской эпиконтинентальной Арктики. Бассейн является ключевым районом в важнейших процессах, связанных с реакцией арктических экосистем на текущие климатические изменения, трансформации огромных объемов континентального стока, взаимодействия в системе материк–шельф–глубокий бассейн. Карская экосистема играет важную роль как промежуточный “дом” при вселении с запада чужеродных видов в сибирские арктические моря и содержит крупнейшие накопленные экологические риски, связанные с могильниками радиоактивных отходов в северо-западной части моря и заливах Новой Земли. При всем обилии данных о ключевых параметрах экосистемы, полученных в рамках предшествующих экспедиций, в наших представлениях об экосистеме Карского моря остается важнейший пробел. Он связан с практически полным отсутствием данных о структурных и функциональных параметрах экосистемы в период схода сезонного льда, когда биологическая продукция достигает годового максимума, и в море поступают основные объемы континентального стока. За весь почти вековой период исследований Карской экосистемы в этот важнейший весенний период ее годового цикла не получено ни единой оценки первичной продукции, количественных параметров зоопланктона, нет оценок уровня во-

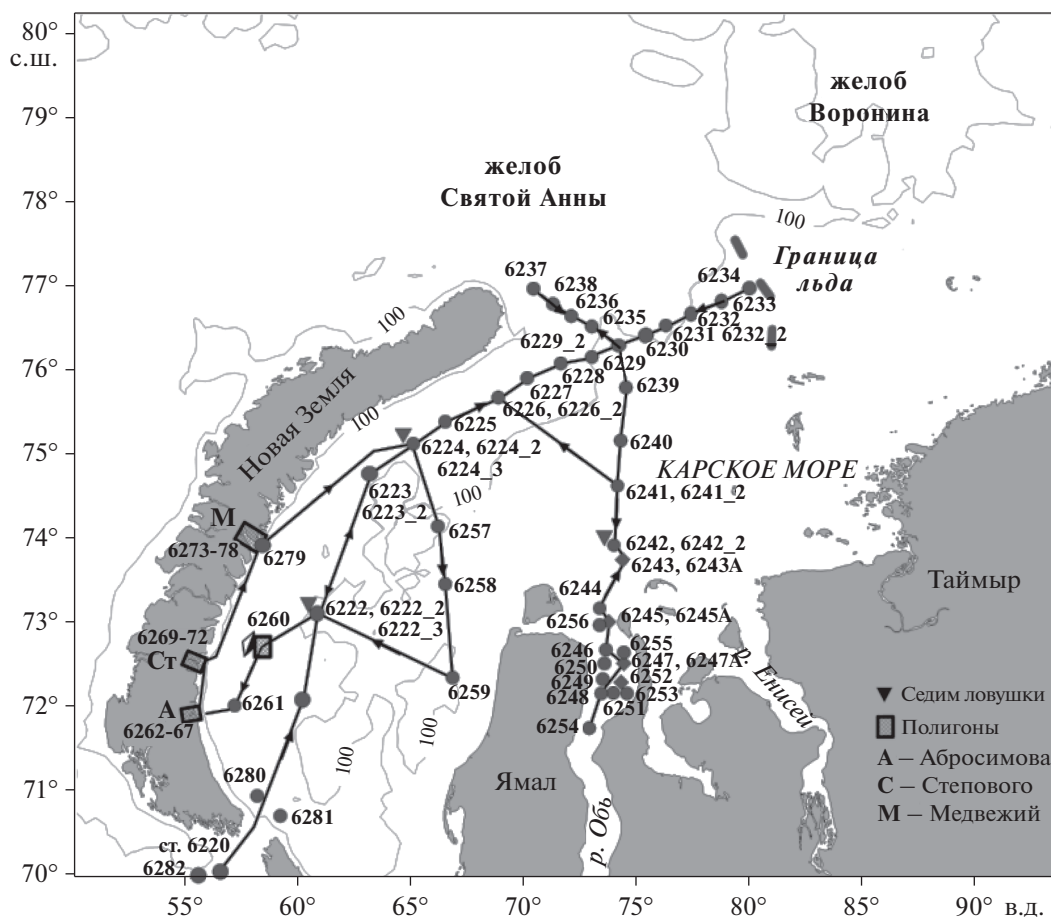


Рис. 1. Маршрут 76-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”, положение станций и полигонов.

вращения первичной продукции в трофические цепи. Это не позволяет ответить на многие ключевые вопросы – оценить продукционный баланс, вскрыть причины крайне низкой общей биологической продукции Карского бассейна, выявить возможные механизмы воздействия климатических факторов на биологическую продуктивность экосистемы, оценить ее потенциал как акцептора чужеродных видов.

Перечисленные выше обстоятельства определили содержание научной программы экспедиции 76-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Основные задачи экспедиции состояли в:

- оценке состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы Карского бассейна в весенний сезон во время схода сезонного льда;

- оценке физических, химических и биологических процессов в прикромочной области сезонного льда и их роли в сезонном цикле функционирования экосистем сибирского арктического шельфа;

- оценке физических, химических и биологических процессов в эстуарии крупнейшей Сибирской реки – Оби – в период интенсивного сезонного стока;

- изучении процессов развития биологических инвазий в разных районах Карского бассейна, включая заливы Новой Земли, и оценке их влияния на нативные донные экосистемы;

- оценке физических, химических и биологических процессов в локальных экосистемах крупнейших заливов восточного берега Новой Земли, где сосредоточены захоронения радиоактивных отходов;

- оценке радиационного загрязнения осадков и прибрежных почв разных районов Карского моря и эстуария Оби в результате глобальных выпадений и антропогенной деятельности;

- выявлении локализации и оценке состояния особо опасных объектов захоронений радиоактивных отходов в Новоземельской впадине и заливах восточного берега Новой Земли.

В этой короткой информационной статье мы считаем важным отметить следующие результаты.

Отсутствие северо-западного переноса относительно теплых вод со стороны желоба Св. Анны вдоль восточного берега Новой Земли привело к сохранению обширного ледового массива у восточного берега Северного острова вплоть до первой декады августа. При этом высокая температура возду-

ха над Карским морем (до 16°C во второй декаде июля) и отсутствие сильных ветров привели к быстрому прогреву поверхностных вод в центральной части бассейна до 10°C. Непосредственно у границы тающего сезонного льда соленость составляла 30.6–32.3 psu, что с учетом солености под пикноклином в 34.8 psu, позволяет говорить о сохранении зимой на значительной части акватории моря небольшого опреснения верхнего слоя, связанного с влиянием речного стока. Содержание биогенных элементов в верхнем перемешанном слое у ледовой кромки было повсеместно крайне низким ( $\text{NO}_3^-$  — от 0.0 до 0.16 мкг-ат/л), что указывало на условия, лимитирующие первичную продукцию.

В пределах Карского шельфа на всех станциях у ледовой кромки и в районах, освободившихся ото льда в течение 25 дней до наших наблюдений в вертикальном распределении хлорофилла был четко выражен глубинный максимум, приуроченный к горизонтам от 20 до 52 (!) м, близким к нижней границе эвфотической зоны (1% ФАР). При содержании хлорофилла в поверхностном слое  $<0.3 \text{ мг/м}^3$  его концентрация в глубинных максимумах достигала  $\sim 20 \text{ мг/м}^3$ . Средние величины интегральной первичной продукции на шельфе и в глубоководных районах желоба Св. Анны составляли  $\sim 200 \text{ мгС/м}^2$ . Вклад глубинного максимума хлорофилла в общую первичную продукцию достигал 54–91%. Формирование глубинных максимумов хлорофилла определялось, в основном, скоплениями диатомовых водорослей *Thalassiosira*, *Fragillaria* и *Bacterosira*, биомасса которых достигала 16–72 (!) г/м<sup>3</sup> и на 1.5–2 порядка превосходила биомассу в верхнем перемешанном слое. Столь высокие величины никогда ранее не отмечались в Сибирских Арктических морях, даже в сверхбогатых областях эстуарных фронтов [5].

Получены первые оценки биомассы пикофитопланктона в поверхностном слое Карского моря в весенний сезон — 4.8–3.9 мг С/м<sup>3</sup>. Доля пикофракции автотрофного планктона в суммарном хлорофилле “а” в поверхностном горизонте доходила до 77% в районах, где лед сошел более, чем за 10 дней до начала работ и не превышала 7% в Обском эстуарии.

В период весеннего половодья эстуарная фронтальная зона в Обской губе была резко выражена и в солености, и в температуре. Ее южная периферия находилась на 72°40.0' с.ш. и была ассоциирована, как и в другие сезоны, с областью резкого уменьшения глубины в эстуарии до 10–11 м (ст. 6246, рис. 1). Гидрохимические условия в области эстуарной фронтальной зоны характеризовались аномально высоким содержанием растворенного кремния ( $>200 \text{ мМ}$ ) и всех минеральных форм азота ( $\text{NO}_3^- > 12 \text{ мМ}$ ). Севернее фронтальной зоны на расстоянии всего 120 км концентрации биогенных элементов резко снижались:  $\text{SiO}_2$  до 60 мМ,  $\text{NO}_3^-$  — до  $\leq 0.2 \text{ мМ}$ , что говорит об отсут-

ствии обогащающего влияния весеннего стока на биогенный режим верхнего перемешанного слоя на Карском шельфе. В период активной фазы половодья характерный для Обского эстуария в другие сезоны максимум фитопланктона, сформированный аллохтонными пресноводными видами рода *Aaulacoseira*, отсутствовал, и биомасса фитопланктона была на порядок и более низкой, чем летом.

Биомасса зоопланктона в эстуарии и на шельфе была низкой и не превышала 3 мл/м<sup>3</sup>. Заметное увеличение биомассы наблюдалось на южной периферии эстуарной фронтальной зоны, что является характерной чертой пространственной структуры сообществ зоопланктона в этом районе и в другие сезоны. Увеличение биомассы мезопланктона отмечено в области континентального склона желоба Св. Анны. Максимальные значения составляли 1.5–1.6 мл/м<sup>3</sup>. Обнаружение этого феномена в весенний сезон в период схода сезонного льда позволяет говорить о его универсальности для всех сезонов. Роль зоопланктона в трансформации новосинтезированного органического вещества в период схода льда была в целом невысока, и выедание продукции фитопланктона не превышало 20%. Наиболее интенсивно процесс утилизации фитопланктона происходил в области континентального склона, где зоопланктоном потреблялось почти 100% продукции фитопланктона.

Оценки количественных характеристик иктиопланктона в Карском море в 2019 г. дали величины более чем в 10 раз превышающие показатели, полученные нами для июля 2016 г. Наибольшая численность личинок сайки на шельфе достигала 37.8 экз/м<sup>2</sup>.

Выполнен широкий спектр работ по оценке состояния популяции краба-вселенца *Chionoecetes opilio* в Карское море. Крабы были встречены практически во всех исследованных районах, их размеры за последние 5 лет значительно увеличились, в большинстве проб присутствовали самки с икрой на плеоподах. Личинки краба опилио были встречены практически повсеместно. Их численность в разных районах бассейна варьировала, в максимуме над склоном желоба Св. Анны достигала 17 экз/м<sup>2</sup>. Все это позволяет констатировать существование в бассейне полноценной, репродуктивной популяции краба-вселенца.

На протяжении всего маршрута экспедиции были проведены непрерывные измерения приводной концентрации метана для определения возможных источников его поступления в атмосферу (аппаратура — G2132-i, Picarro, США). Фоновые значения составили 1.902 ppb. Были выявлены локальные области с повышенной концентрацией метана (до 2092 ppb) в приводном слое в районе эстуариев Оби и Енисея, что обусловлено разложением органики, обильно поступающей со стоком этих рек. Повышенные значения (до 2010 ppb) отмечены на шель-

фе Карского моря в районе полуострова Ямал, где происходит активная эмиссия метана из прибрежных водно-болотных экосистем.

В пределах Обской и Вайгачской зон повышенной активности радиоцезия отобраны колонки донных отложений мощностью от 400 до 600 мм. Оценка распределения  $^{137}\text{Cs}$  в осадках позволит оценить современное радиационное состояние ранее загрязненных участков дна и установить величины естественного снижения удельной активности в результате полураспада радиоцезия (30.17 лет).

На поверхности ледника Витте (залив Медвежий, о. Северный архипелага Новая Земля) в зоне абляции отобрано 14 проб осадков из криоконитовых стаканов. На их основе будут получены оценки присутствия в теле ледника радиационно-загрязненного слоя, образованного в период проведения ядерных испытаний на Центральном полигоне РФ в начале 60-х годов XX века. В ходе ранее проведенных исследований на ряде других ледников Северного острова были установлены аномально высокие уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ , достигающие 8000 Бк/кг и существенно превышающие плотность глобальных выпадений из атмосферы для широтного пояса  $70^\circ\text{--}75^\circ$  с.ш. В криоконитовых стаканах, часть которых была еще покрыта тонкой ледяной коркой, обнаружена активное микросообщество: многочисленные клетки водорослей, их споры, споры хламидомонад и хлореллы, сине-зеленые водоросли, грибы, тихоходки, коловатки, несколько видов инфузорий.

В задачи экспедиции входило определение точной локализации и оценка состояния особо опасных объектов в составе захоронений радиоактивных отходов в приноземельской части Карского моря. Была выполнена задача поиска реакторного отсека (РО) АПЛ К-19 затопленного в заливе Абро-

симова. Установлено, что объект находится в море на расстоянии около 3 км к востоку от входа в залив. Съемка радиационного поля с помощью чувствительного гамма-спектрометра РЭМ-26-2 НИЦ КИ, установленного на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате “ГНОМ”, позволяют утверждать, что внутри РО находится мощный источник радиоактивности. Обследование АПЛ, захороненной в заливе Степового, показало, что радиационная обстановка на этом объекте не изменилась с момента последнего исследования в 2016 г.

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), проектов РФФИ “Арктика” – № 18-05-60053, № 18-05-60069, № 18-05-60070, № 18-05-60228, № 18-05-60246, № 18-05-60302; проектов РНФ № 19-17-00196, № 19-17-00234; проектов РФФИ № 18-05-480 и № 18-05-740, ориентированных на исследование экосистем ключевых районов 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. Экосистемы морей Сибирской Арктики. 69-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 2. С. 331–333.
5. *Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М.* Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем карском шельфе // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 785–800.

## Ecosystems of Siberian Arctic Seas – 2019: Spring Processes in the Kara Sea (76-th Cruise of Research Vessel “Akademik Mstislav Keldish”)

M. V. Flint<sup>a, #</sup>, S. G. Poyarkov<sup>a</sup>, N. A. Rimsky-Korsakov<sup>a</sup>, A. Yu. Miroshnikov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: m\_flint@ocean.ru*

Large-scale expedition 76th cruise of R/V “Akademik Mstislav Keldish” was performed by Shirshov Institute of Oceanology from 01 July to 06 August 2019 in a frame of the Program “Marine Ecosystems of Siberian Arctic”. 71 scientist from the institutes of Russian Academy of Sciences, Moscow State University and VNIRO participated. Coordinated hydrophysical, hydrochemical, biooceanological, geochemical and radioecological research were carried out over the shelf and continental slope in the Kara, in Ob estuary and in east coast bays of Novaya Zemlya.

**Keywords:** Arctic, Kara Sea, Ob estuary, Novaya Zemlya shelf, continental slope, ice conditions, ecosystem, biological productivity