РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ НА СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС НА ЛЕДОКОЛЕ “50 ЛЕТ ПОБЕДЫ”

© 2019 Г. Г. Матишов^{1,2}, А. В. Клещенко¹ *, Е. Э. Кириллова¹

¹ *Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия*

² *Мурманский морской биологический институт, Мурманск, Россия*

**e-mail: geo@ssc-ras.ru*

Поступила в редакцию 29.12.2017 г.; после доработки 31.01.2019 г.; принята в печать 4.04.2019 г.

В статье приводятся результаты экспедиционных исследований, выполненных с борта атомного ледокола “50 лет Победы” в Баренцевом море и Северном Ледовитом океане. Во второй половине августа 2017 г. проведены наблюдения за разводьями, торосами, снежниками, айсбергами, толщиной и сплоченностью льда. Показано зональное распределение дрейфующих льдов, температуры воздуха, температуры и солености морской воды. На основе анализа этих данных представлены общие выводы по изменчивости толщины и сплоченности льда, относительному возрасту и соотношению акватории со льдом и чистой воды.

Ключевые слова: айсберги, атомный ледокол, климат, Северный полюс, сплоченность льда, цикличность.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-556620195131-140>

ВВЕДЕНИЕ

В Северном полушарии материковое оледенение в плейстоцене наступало несколько раз и охватывало часть Северной Америки, Исландию, север Евразии и прилегающие шельфы [10, 11]. Последнее максимальное вюрмское оледенение произошло около 18 тыс. л. н. В пик оледенения уровень Мирового океана опустился на 120 м ниже современной отметки. Ход послеледниковой фландрийской трансгрессии показывает, что ускоренные темпы поднятия уровня океана приходились на интервал между 13 и 9 тыс. л. н. Современное материковое оледенение сохранилось на полярных архипелагах [2, 7, 10].

В последние столетия зафиксированы циклические изменения климата и состояния ледяного покрова. В 1878 г. А. Норденшельд на судне “Вега” за сезон прошел от Стокгольма до Берингова пролива [7]. В 1930-х годах участники похода на пароходе “Челюскин”, а также другие северные экспедиции проходили вдоль берегов Сибири за одну навигацию. Самый теплый период в Арктике пришелся на 1920–1930-е годы. В этот период, известный как “потепление Арктики” [7, 16], повышалась температура на побережьях и островах, сокращался сезонный ледяной покров в арктических морях.

Моря Северного Ледовитого океана исследованы в разной степени. Еще менее изучены

Высокоширотная Арктика и Полярный бассейн [4, 15, 21, 22]. Это одна из причин, по которой ледовые прогнозы не всегда оправдываются. Например, в сентябре 2013 г. ледяной барьер шириной почти в 100 км перегородил пролив Вилькицкого, из-за чего корабли Северного флота были вынуждены пользоваться сопровождением атомных ледоколов [16].

В начале 2017 г. в Чаунской губе почти на полгода в припае застрял ледокол “Капитан Драницын”, хотя маршрут по аналогии с прошлыми годами был рассчитан как безледная трасса. По нашим наблюдениям в третьей декаде августа 2017 г. на ледоколе “50 лет Победы”, все северные проливы Земли Франца-Иосифа были покрыты льдом и айсбергами.

Морской лед и современные материковые ледники — важнейшие индикаторы динамики климата в Арктике [3–5, 13, 16], но в настоящее время авиаразведка льда практически не ведется. Спутниковое зондирование в разных диапазонах, в активном и пассивном режимах, с помощью лазерной и радарной спутниковой альтиметрии проводится эпизодически [1–3, 21]. Спутниковая съемка покрывает в основном полюсу между 60° с.ш. и 60° ю.ш. Прогноз состояния ледяного покрова во многом строится на результатах математического моделирования, что не дает достаточно точных результатов. В этой

ситуации возрастает роль прямых наблюдений в Северном Ледовитом океане.

В экспедиции на ледоколе “50 лет Победы” планировалось решить несколько задач. Первая — изучить, опираясь на уже имеющиеся опыт и знания [9, 12, 15, 16, 22, 23, 25, 26], особенности ледяного покрова (его толщину, цвет, возраст) и экосистемы криопелагиали в конце летнего сезона. Вторая — проследить степень соответствия и точность российских и европейских ледовых карт и прогнозов с реальной картиной, наблюдаемой визуально и на радарах атомохода в Центральном полярном бассейне. Третья — уточнить (оценить) основные физико-географические признаки, которые могут отражать глобальную климатическую изменчивость криопелагиали морей и океанов Арктики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

В морях Российской Арктики (Карском, Белом, Печорском, море Лаптевых) преобладают однолетние льды, а в высоких широтах Северного Ледовитого океана — многолетние [1, 3–7, 17, 20]. Мурманский морской биологи-

ческий институт (ММБИ РАН) с 1996 г. проводит попутные биоокеанологические наблюдения по трассе Северного морского пути и на прилегающих морских акваториях с борта атомных ледоколов и транспортных дизель-электроходов ледового класса. Получены новые данные о труднодоступных районах криопелагиали и сделаны определенные выводы об изменении морских льдов и экосистем арктических морей [12–14, 16, 24–26].

Продолжением этих работ стали комплексные наблюдения с 13 по 23 августа 2017 г. с борта атомного ледокола “50 лет Победы”. Экспедиция проходила по маршруту Мурманск — Шпицберген — Северный полюс — Земля Франца-Иосифа — Мурманск (рис. 1). Наблюдения выполнены в 68 точках, в том числе на 8 комплексных станциях отбора океанологических и гидробиологических (планктон) проб. По результатам обработки материала построены графики зонального распределения дрейфующих льдов, температуры воздуха, температуры и солености морской воды (рис. 2). Отдельные измерения были проведены во время пеших маршрутов по льду и с борта вертолета.

Рис. 1. Карта-схема маршрута экспедиции, выполненных наблюдений и комплексных станций.

Рис. 2. Зональное распределение ключевых параметров среды.

Наблюдения за арктическим льдом вели десять дней круглосуточно с мостика палубы атомного ледокола с высоты 8–11 м. Общее расстояние двух маршрутов от кромки льда к юго-востоку от Шпицбергена до Северного полюса и назад – до чистой воды южнее Земли Франца-Иосифа составило порядка 2400 км. Записывали все основные параметры навигации (координаты по GPS) и состояния льда. Разнородные формы ледяного покрова определяли визуально и путем анализа картины льдов на ледовых бортовых радарах: Furuno FICE–100 и Furuno FAR-2318.

По ходу судна вели экспедиционной журнал, сделано более 6 тысяч фотоснимков и видеофиксаций айсбергов в океане и поверхности льда. Совместно с сотрудниками ААНИИ (В.С. Смоляницкий, А.С. Макаров) в автоматическом режиме видеорегистратора фиксировалась толщина и подледный рельеф глыб взломанного ледоколом льда, продвигавшихся у борта ледокола. В отличие от стационарных работ на полярных станциях в Центральном Арктическом бассейне в рейсе была возможность изучить не только подледный рельеф льдов, но и его цветовую гамму по всей толщине. Ледомер типа “Пикор-Лед” на штанге длиной 1 м выносился в сторону от борта и находился в стационарном положении в течение всей экспедиции. Информацию записывали на электронные носители.

Общепринятые гидрометеорологические методы пришлось приспособлять к условиям похода на атомном ледоколе. Для терминологической точности при анализе ледовой обстановки была применена номенклатура Всемирной метеорологической организации по морскому льду [18]. Сплоченность льда определена

по 10-балльной шкале как отношение площади, занятой дрейфующим льдом, к общей площади исследуемой акватории.

В экспедиции были зафиксированы морские млекопитающие, характерные для высоких широт Северного полушария: тюлень хохляк, белый медведь, кольчатая нерпа, морской заяц, морж атлантический, горбатый кит (см. рис. 2, табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В навигационной практике для оценки площади разводов в арктических льдах существует подход, опирающийся на следующее соотношение: если сплоченность льда составляет 9–10 баллов, то 10% акватории – это чистая вода; при 6- и 3-балльных льдах площадь разводов равна соответственно 50 и 70%. Разводья могут быть забиты мелким льдом (шугой) и молодым льдом.

В период наблюдений южная кромка дрейфующего мелкобитого льда с обломками айсбергов располагалась в районе желоба Франц-Виктория (79°–81° с.ш.) и простиралась до проливов северной половины архипелагов Земли Франца-Иосифа и Шпицбергена. Сплоченность льдин диаметром 1–8 м изменялась в интервале от 1–3 до 6 баллов. Однако к юго-западу от островов Рудольфа–Джексона местами в проливах ледяной покров достигал 7–8 баллов.

Для акватории между 81°–82° с.ш. характерен более разреженный лед, в основном 4–6 баллов. В этой же зоне можно встретить ледовые поля с 7–9-балльной сплоченностью, как на Северном полюсе. Внизу толщи сохраняется типичная бирюзовая окраска. Такой одно-, двух-летний лед насыщен водой, на его поверхности

Таблица 1. Координаты мест регистрации и виды морских млекопитающих

Вид	Дата	Время	Координаты		Примечание
			с. ш.	в. д.	
Белый медведь <i>Ursus maritimus</i>	15.08.2017	17:05	2017 г	38°08.12'	4 медведя
Тюлень хохлач <i>Cystophora cristata</i>	17.08.2017	16:33	89°4.14'	66°2.12'	10 половозрелых особей на льду
Белый медведь <i>Ursus maritimus</i>	19.08.2017	09:32	83°06.5'	54°23.9'	Одно половозрелое животное на ледяном поле
Белый медведь <i>Ursus maritimus</i>	19.08.2017	12:56	82°30.12'	57°45.41'	Самка с двумя детенышами на льду. Подход к ледоколу.
Кольчатая нерпа <i>Pusa hispida</i>	19.08.2017	18:15	82°04.7'	59°01.6'	Предположительно. Круги на воде в разводе у борта ледокола.
Морской заяц <i>Erignathus barbatus</i>	19.08.2017	18:19	82°04.2'	59°02.18'	Отдых на льдине
Морж атлантический <i>Odobenus rosmarus rosmarus</i>	20.08.2017	09:31	80°49.92'	57°57.94'	Не менее семи особей на льдине
Морж атлантический <i>Odobenus rosmarus rosmarus</i>	20.08.2017	21:12	80°20.86'	52°41.68'	Спит на льдине
Горбатый кит <i>Megaptera novaeangliae</i>	22.08.2017	18:24	76°38.75'	42°58.39'	Тело взрослого крупного самца, плавающее на поверхности моря брюхом вверх.

цепью развиты снежницы, сохраняются торосы. В указанном пространстве перемещаются крупные (10×10 и 20×20 км) засыпанные снегом ледовые поля, небольшие (1×5 м и до 20 м в диаметре) льдины, а также полосы и “пятна” мелкобитого льда.

От полюса до 85° с.ш. (между 44°–48° в.д.) господствовал сплошной лед в 9–10 баллов (рис. 3). Его толщина 1–2 м и более. Реже на этой же акватории встречался сплоченный лед в 7–8 баллов. Размер ледовых полей изменялся от 2–5 до 10–15 км. На полюсе располагалась льдина площадью порядка 20 км² и толщиной 1–2 м. Среди плавучих льдов можно встретить льды самого разнообразного происхождения и возраста. Они находятся в непрерывном движении под влиянием постоянных ветровых течений. Вынос льда из Центральной Арктики идет только через приатлантический сектор в Гренландском море.

Обычно в Арктическом бассейне встречаются крупные (протяженностью свыше 2 км) и малые ледяные поля [5–7, 14, 17, 20]. Крупные льдины образуются при отрыве больших площадей припая от берега. В зимний период наибольшую повторяемость имеют ледяные блоки размером

5–10 км. К лету раздробленность ледяного покрова возрастает, сплоченность его уменьшается даже в центральной части Арктического бассейна. В теплые периоды в окраинных российских морях лед может полностью исчезнуть. Протяженность ледяных полей летом редко превосходит 1 км.

Многолетний, или паковый, лед — старый арктический лед толщиной около 3 м или более. Такие образования представляют собой крупные ледяные поля, плотно прижатые друг к другу, так что общее пространство воды между ними даже в летнее время не превосходит 1–2%. Верхняя их поверхность выровнена и сглажена.

Среди арктических льдов было встречено более десяти айсбергов (86°27' с.ш., 44°53' в.д.; 84°55' с.ш., 43°23' в.д.; 84°25' с.ш., 43°50' в.д.; 80°47' с.ш., 57°47' в.д.; 80°34' с.ш., 55°13' в.д.; 80°16' с.ш., 57°13' в.д.; 79°34' с.ш., 34°14' в.д.). Отколовшиеся от выводных ледников Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли айсберги выносятся частично в Арктический бассейн. Там они включаются в трансарктический дрейф и вместе с плавучими льдами выносятся через пролив Фрама.

Рис. 3. Карта-схема ледовой обстановки в ходе экспедиции 13–23 августа 2017 г.

Считается, что айсберги встречаются в Северном Ледовитом океане на акватории между 120° з.д. и 100° в.д. Число айсбергов в высокоширотной Арктике закономерно увеличивается при приближении к продуцирующим их материковым льдам. Айсберги откалываются от материковых ледников Северной Земли и Земли Франца-Иосифа.

В направлении от кромки льда (в 1–3 балла) к Северному полюсу (9–10 баллов) толщина ледяного покрова возрастает вдвое (от 0.5–0.9 м до 1.5–2 м и более), а возраст достигает 2–3 лет и более. В разрезе льда ($87^\circ 31'$ с.ш., $47^\circ 10'$ в.д.) толщиной 2–2.5 м и сплоченностью 8–10 баллов примерное соотношение двухлетнего (бирюзового) и однолетнего льда составляет 80 на 20%. В разводе во льдах ($87^\circ 08'$ с.ш., $47^\circ 12'$ в.д.) толщиной около 1.2 м соотношение одно- и двухлетнего льда оценивается как 50 на 50%. В приполюсных широтах (севернее 82° – 85° с.ш.) встречается не очень толстый (0.2–0.7 м) лед с торосами. Такой молодой лед образовался в течение 2017 г. (рис. 4).

Морской лед различают по возрасту. Начальные виды льдов (нилас, блинчатый

лед и др.) формируют молодые образования. Подобный лед есть не только в Арктике, но и в Азовском море и на севере Каспия [9, 13]. Остаточный молодой лед — однолетний лед, который не растаял за лето. В Арктике, в зависимости от района летнего дрейфа, его толщина колеблется от 60 до 180 см (см. рис. 4). Для Центральной Арктики характерен условно называемый двухлетний лед, просуществовавший более года. На его поверхности летом образуются неровности. Он более пресный и менее плотный по сравнению с однолетним, а потому выше выступает над поверхностью воды.

Летом, в конце 2017 г., все айсберги находились в стадии активного таяния и разрушения. Размеры таких обломков материковых ледников выступают из воды на 3–12 м, бывают размером от 10–20 до 50 м. При откалывании ледяных глыб айсберги теряют равновесие и неоднократно переворачиваются. Их нижняя часть имеет характерный зеленовато-бурый и вплоть до коричневого цвет из-за активного цветения криофлоры.

На Северной Земле лед толщиной до 800 м известен на о. Комсомолец (купол Академии

Рис. 4. Типичный вид однолетнего (а) и многолетнего (б) морского льда в Северном Ледовитом океане.

наук) [2]. Фронтальные стенки выводных ледников Земли Франца-Иосифа имеют высоту 15–30 м. В проливах около каждого спускающегося в море ледника присутствуют айсберги; их надводная часть достигает 10–20 м.

Наиболее многочисленны айсберги у юго-западного и северо-западного побережья Земли Франца-Иосифа. Многие из них имеют столбовую форму. Ледниковые покровы на островах Мейбел, Нансена и Альджер имеют радиальное расчленение. Летом айсберги длиной 50–100 м распадаются на блоки и куски меньших размеров. Они дрейфуют по ветру во всех проливах архипелага.

Во льдах Северного Ледовитого океана типичны пространства воды между ледяными полями. В работах отечественных исследователей [2, 7, 19] описаны их разновидности: промоины, каналы, разводья и полыньи. Среди дрейфующего льда впечатляют своими размерами большие разводья, напоминающие широкие озера или заливы (встречены на 81°42' с.ш., 37°24' в.д.; 81°52' с.ш., 58°27' в.д.; 85°09' с.ш., 42°18' в.д.; 89°29' с.ш., 63°47' в.д.). Их размеры достигают 7×10, 11×14 км, а в районе Северного полюса достигают 6×30 км.

Считается, что основную роль в образовании разрывов и разводьев в сплоченных льдах играет ветер, влияющий на подвижки и процессы деформации [17, 19]. Однако в отдельных ситуациях полыньи появляются вследствие интенсивной адвекции тепла течениями, подъема более теплых вод на поверхность океана [6, 25]. Сезонные и временные разводья могут быть заполнены ледяной кашей, покрыты ниласом или молодым льдом. Протяженность их колеблется от нескольких метров до нескольких километров.

В конце сезона снеготаяния на крупных и мелких ледяных полях отчетливо выделяют-

ся многочисленные снежницы. Выглядят они как округлые озера и лужи с хорошо развитой системой дренажа. Под снежницами и в местах без снега лед имеет зеленовато-голубой цвет. По маршруту ледокола снежницы встречались между 81°–86° с.ш. на льду толщиной 0.4–1.1 м. Длина темных луж до 15–30 м при ширине 2–10 м. Скопление пресной воды на поверхности льда обычно возникает из-за таяния снега и собственно поверхности льда.

Ледяные нагромождения составляют особую черту ландшафта арктических льдов. Процессы деформации льда проходят в форме взлома и наслоения. Самое мощное сжатие и торошение в виде 9–10-балльного сплочения льда обычно создает ветровое воздействие. Наблюдаемые торосы состояли из льдин подобных же размеров. Так, наибольший из измеренных торосов был сложен из двухметровых льдин, высота его над поверхностью льда составляла около 3–6 м. Гряды торосов зачастую простираются от нескольких до 10–20 км, и обычно представлены серией до 3–6 штук и ледовитостью от 7 до 10 баллов. Их можно наблюдать от Северного полюса до широты 84°. Кроме торосов часто встречается хаотическое нагромождение льдов.

Новые данные по строению и распределению морских льдов и айсбергов в западной части Центрального Арктического бассейна дают основание представить ряд общих выводов по изменчивости толщины и сплоченности льда, по относительному возрасту, соотношению акватории, покрытой льдом, и чистой воды. Конечно, для более достоверной оценки сезонной и межгодовой динамики площади и толщины морских льдов на всем Северном Ледовитом океане требуются новые спутниковые системы, которые охватывали бы съемкой сразу всю Арктику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ первичных данных, собранных в этом рейсе, а также предыдущих исследований ММБИ за 30 лет в арктических морях на трассе Севморпути [9, 12, 15, 16, 22, 23, 25, 26], показывает, что площадь полярных ледяных полей в целом зависит от цикличности и внутривековой периодичности климата Северного Ледовитого океана. Выполненные наблюдения позволили составить реальную картину ледяного покрова на вторую половину августа 2017 г., т.е. на конец летнего сезона. Анализ и выводы отражают одномоментную ледовую обстановку в западной части Центральной Арктики, прилегающей к Норвежско-Гренландскому бассейну.

1. Лед вдоль трассы ледокола состоял главным образом из льдин двух размеров по толщине: двухметровых и полутораметровых. Первыми было занято около 50–70% видимой площади, вторыми – около 10–25%. На долю полыней и трещин приходилось порядка 10–15%.

2. Визуально можно было наблюдать, как в конце лета поверхность льда под воздействием солнечной радиации разрушается, появляются проталины и промоины, форма восторощенных участков сглаживается, лед заметно опреснен, характерны округлые снежицы.

3. Цветовая гамма позволяет стратифицировать лед и оценить возраст. Нижний пласт с оттенками бирюзового цвета – это старый лед, образовавшийся 2–3 года назад. Молодой и однолетний лед обычно имеет сине-зеленую окраску. Ближе к Северному полюсу явно преобладает двух-трехлетний лед. Чаше встречается сильно восторощенный лед.

4. Для судоходства во льдах важнейшее значение имеют рекомендации о количестве и распределении зон чистой воды и молодого льда [9]. Во время нашего рейса наблюдалась разнородная комбинация форм и размеров акваторий с чистой водой. Типичные формы – узкие протяженные (1–3 км) разводья. Именно по ним ледокол прокладывал путь к Северному полюсу. Явных признаков масштабной деградации ледяного покрова не было видно. Во второй половине августа 2017 г. район географической точки Северного полюса представлял собой заснеженную ледовую пустыню с зимней погодой. Температура воздуха составляла -8°C , морской воды -1.6°C . Зафиксировано распреснение воды океана до 33‰.

Для Арктики характерна внутривековая периодичность климата (11, 17, 30, 60 лет), что неоднократно доказывает замерзающий приблизительно раз в 30 лет Колский залив [8, 10, 14, 16, 20, 24, 26]. В феврале 2012 г. площадь ледяного покрова в Баренцевом море показала абсолютный минимум за историю наблюдений –

400 тыс. км² против обычных 860 тыс. км². Однако на 10 декабря 2014 г. площадь льда в Баренцевом море была на 30% больше, чем в аналогичный период 2012 г. [16]. В конце августа 2016 г. огромные площади сплоченного арктического льда покрывали море Лаптевых восточнее пролива Вилькицкого.

Масштаб развития морских льдов в Арктике зависит от траектории движения и географического положения Сибирского и Канадского антициклонов [13, 16]. Зимой морозный воздух Сибири может смещаться к Тайваню, и тогда тепло Гольфстрима свободно достигает Земли Франца-Иосифа; в такой ситуации площадь льда в Баренцевом море минимальна. Холодный сибирский воздух может проникать вплоть до Пиренеев. В этом случае юго-западный отрог Сибирского антициклона (“ось Воейкова”) блокирует поступление тепла Гольфстрима к Средиземноморью.

Для постоянного мониторинга характеристик морского льда в Арктике необходима система спутников на геостационарной орбите, постоянно отслеживающих состояние ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Точность аппаратуры для регистрации разнородного льда на ледяных полях должна быть не менее 1 м. Достоверная оценка ледовой обстановки поможет не только обеспечить безопасность судоходства, но и гарантировать скорость прохождения всей трассы. А это важные экономические показатели эффективности промышленного судоходства.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках проекта ГЗ ММБИ КНЦ РАН “Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на морские экосистемы Арктики в условиях комплексного природопользования”, № гос. рег. AAAA-A18-118030690062-0, проекта ГЗ ЮНЦ РАН “Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов”, № гос. рег. AAAA-A18-118122790121-5, проекта РФФИ № 18-05-60249.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность за помощь в сборе материалов капитану ледокола “50 лет Победы” Д.В. Лобусову и всему штурманскому составу. С их помощью проводился круглосуточный мониторинг ледяного покрова и арктической фауны, отбирались пробы для исследования фитопланктона и изотопов Sr-90, Cs-137 в воде.

FUNDING

The study was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences “Impact of climatic factors, chemical and radiation contamination on marine ecosystems of the Arctic under conditions of integrated environmental management” (no. AAAA-A18-118030690062-0), of the state-ordered research theme of the Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences “Marine biogeosystems of the south of Russia and their watersheds in the conditions of arid climate, economic development and modern geopolitical challenges” (no. AAAA-A18-118122790121-5), and within the framework of the Russian Foundation for Basic Research project no. 18-05-60249.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank captain D.V. Lobusov and navigators' staff of the icebreaker “50 Let Pobedy” for the assistance in collecting materials. Thanks to their help, round-the-clock monitoring of the ice cover and arctic fauna was carried out samples were taken to study phytoplankton and Sr-90, Cs-137 isotopes in water.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузин И.В., Миронов Е.У., Сухих Н.А., Павлов В.А., Корнишин К.А., Ефимов Я.О. Исследования дрейфа ледяных образований на шельфе Российской Арктики с помощью автоматических радиомаяков спутниковой системы ARGOS // Научно-технический вестник ОАО “НК Роснефть”. 2016. № 4 (45). С. 4–9.
2. Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я. Радиолокационные измерения толщины ледников Арктики // Мир измерений. 2014. № 7. С. 10–19.
3. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.
4. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 214 с.
5. Захаров В.Ф., Малинин В.Н. Морские льды и климат. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 92 с.
6. Зубакин К.Г., Иванов Н.Е. Дрейф айсбергов и ледяных полей в северо-восточной части Баренцева моря // Метеорология и гидрология. 2014. № 10. С. 685–696.
7. Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
8. Максимов И.В. Вековые колебания ледовитости Северной части Атлантического океана // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1954. Т. 8. С. 3–9.
9. Матишов Г.Г. Влияние изменчивости климатического и ледового режимов на судоходство в арктических и южных морях // Вестн. РАН. 2008. Т. 77. № 10. С. 896–902.
10. Матишов Г.Г. Мировой океан и оледенение Земли // М.: Изд-во “Мысль”, 1987. 270 с.
11. Матишов Г.Г. Роль материкового льда в развитии желобов гляциальных шельфов Арктики и субарктики // Геоморфология. 1982. № 2. С. 20–30.
12. Матишов Г.Г., Денисов В.А., Дженюк С.Л. Делимитация больших морских экосистем Арктики как задача комплексного географического районирования океанов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 3. С. 5–18.
13. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д.В., Жичкин А.П. О природе крупных гидрометеорологических аномалий в арктических и южных морях России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 36–46.
14. Матишов Г.Г., Жичкин А.П. Современные тенденции изменения ледовитости в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // ДАН. 2017. Т. 472. № 6. С. 248–251. DOI: 10.7868/S0869565217060226
15. Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А., Левитус С., Смоляр И. Мегабаза данных по океанографии и биологии морей Западной Арктики // ДАН. 2005. Т. 401. № 2. С. 343–346.
16. Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Моисеев Д.В. Климат и большие морские экосистемы Арктики. Ростов н/Д: Южный научный центр РАН, 2016. 96 с.
17. Морской лед / под ред. И.Е. Фролова, В.П. Гаврило. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 402 с.
18. Номенклатура по морскому льду. ВМО/ТД. 1989–2010. № 259.
19. Смирнов В.Н. Особенности динамики и механики деформирования льда Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 1 (75). С. 73–84.
20. Тисленко Д.И., Иванов Б.В., Смоляницкий В.М., Священников П.Н., Исаксен К., Гьетлен Х. Сезонные и многолетние изменения ледовитости в районе архипелага Шпицберген за период 1979–2015 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3 (109). С. 50–59.
21. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Региональные особенности климатических изменений морского ледяного покрова в XX – начале XXI века и их причины // Лёд и Снег. 2011. № 3 (115). С. 91–98.
22. Levitus S., Seidov D., Smolar I., Matishov G. Barents Sea Multidecadal Variability // Geophys. Res. Lett., American Geophys. Union. 2009. V. 19. P. 36. DOI: 10.1029/2009GL039847
23. Matishov G.G., Denisov V.V., Dzenyuk S.L. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem // Large Marine Ecosystem of World: Trends in Exploration, Protection, and Research. Elsevier. 2003. P. 41–74.
24. Matishov G.G., Dzenyuk S.L., Moiseev D.V., Zhichkin A.P. Trends in hydrological and ice conditions in the large marine ecosystems of the Russian Arctic during periods of climate change // Env. Dev. 2016. V. 17. Suppl. 1. P. 33–45. DOI: 10.1016/j.envdev.2015.10.001
25. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along

- Glacial Troughs // *Oceanology*. 2009. V. 51. № 3. P. 321–340. DOI: 10.5697/oc.51-3.321
26. Matishov G., Moiseev D., Lyubina O., Zhichkin A., Dzhenyuk S., Karamushko O., Frolova E. Climate and cyclic hydrobiological changes of the Barents Sea from the twentieth to twenty-first centuries // *Polar Biology*. 2012. V. 35. P. 1773–1790. Published online: 02 September 2012. DOI: 10.1007/s00300-012-1237-9
- ### REFERENCES
1. Buzin I.V., Mironov E.Yu., Sukhikh N.A., Pavlov V.A., Kornishin K.A., Efimov Ya.O. Investigation of drift of the ice features on the Russian Arctic Off-shore with the help of automatic radio beacons based on the ARGOS satellite system. *Nauchn.-tekhn. Vestn. OAO 'NK "Rosneft"*, 2016, no. 4, pp. 4–9. (In Russ.).
 2. Glazovsky A.F., Macheret Yu.Ya. Radar measurements of the thickness of Arctic glaciers. *Mir Izmerenii*, 2014, no. 7, pp. 10–19. (In Russ.).
 3. Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Frolov I.E. Intra-century climate changes, ice cover areas of the Eurasian Arctic seas and their possible causes. *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 6, pp. 5–14. (In Russ.).
 4. Zakharov V.F. *Morskoe l'dy v klimaticheskoi sisteme* [Sea Ice in the Climate System]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1996. 214 p.
 5. Zakharov V.F., Malinin V.N. *Morskoe l'dy i klimat* [Sea Ice and Climate]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2000. 92 p.
 6. Zubakin K.G., Ivanov N.E. Drift of icebergs and ice fields in the northeastern part of the Barents Sea. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 10, pp. 685–696. (In Russ.).
 7. Zubov N.N. *L'dy Arktiki* [Ice Cover of the Arctic]. Moscow: Glavsevmorputi Publ., 1945. 360 p.
 8. Maksimov I.V. Secular variations in ice formation in northern parts of the North Atlantic. *Tr. Inst. Okeanol. Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 8, pp. 3–9. (In Russ.).
 9. Matishov G.G. Effect of changeability of climatic and ice conditions on shipping. *Vestn. Ross. Akad. Nauk.*, 2008, vol. 77, no. 10, pp. 896–902. (In Russ.).
 10. Matishov G.G. *Mirovoi okean i oledenenie Zemli* [Oceans and Glaciation of the Earth]. Moscow: Mysl' Publ., 1987. 270 p.
 11. Matishov G.G. The role of the continental ice in the development of the gutters of the glacial shelf of the Arctic and subarctic. *Geomorfologiya*, 1982, no. 2, pp. 20–30. (In Russ.).
 12. Matishov G.G., Denisov V.A., Dzhenyuk S.L. Delimitation of large marine ecosystems in the Arctic as a problem of integrated geographical zoning of the oceans. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2006, no. 3, pp. 5–18. (In Russ.).
 13. Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V., Zhichkin A.P. On the nature of large hydrometeorological anomalies in the West Arctic and southern seas of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 1, pp. 36–46. (In Russ.).
 14. Matishov G.G., Zhichkin A.P. Current trends of ice coverage changes in the Franz Josef Land Archipelago area. *Dokl. Earth Sci.*, 2017, vol. 472, no. 2, pp. 248–251. DOI 10.1134/S1028334X17020283
 15. Matishov G.G., Zuev A.N., Golubev V.A., Levitus S., Smolyar I. Mega database on oceanography and biology of the Western Arctic region. *Dokl. Earth Sci.*, 2005, vol. 401, no. 2, pp. 343–346.
 16. Matishov G.G., Makarevich P.R., Moiseev D.V. *Klimat i bol'shie morskoe ekosistemy Arktiki* [Climate and Large Marine Ecosystems of the Arctic]. Rostov-on-Don: Yuzhn. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk, 2016. 96 p.
 17. *Morskoi led* [Sea Ice]. Frolov I.E., Gavrilov V.P., Eds. St. Petersburg: Gidrometizdat Publ., 1997. 402 p.
 18. Sea Ice Nomenclature. WMO, 1989–2010, no. 259.
 19. Smirnov V.N. Features of the dynamics and mechanics of deformation of the ice of the Arctic basin. *Probl. Arktiki i Antarktiki*, 2007, vol. 1, no. 75, pp. 73–84. (In Russ.).
 20. Tislenko D.I., Ivanov B.V., Smolyanitsky V.M., Svyashchennikov P.N., Isaksen K., Herdis M. Seasonal and long-term changes of sea ice extent in the svalbard archipelago area during 1979–2015. *Probl. Arktiki i Antarktiki*, 2016, vol. 3, no. 109, pp. 50–59. (In Russ.).
 21. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanitsky V.M. Regional features of climatic changes in sea ice cover in the XX – early XXI century and their causes. *Sneg i Led*, 2011, no. 3 (115), pp. 91–98. (In Russ.).
 22. Levitus S., Seidov D., Smolar I., Matishov G. Barents Sea multidecadal variability. *Geophys. Res. Lett.*, 2009, vol. 36, no. 19. doi 10.1029/2009GL039847
 23. Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem. In *Large Marine Ecosystem of World: Trends in Exploration, Protection, and Research*. Elsevier, 2003, pp. 41–74.
 24. Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V., Zhichkin A.P. Trends in hydrological and ice conditions in the large marine ecosystems of the Russian Arctic during periods of climate change. *Environ. Dev.*, 2016, vol. 17, suppl. 1, pp. 33–45. DOI 10.1016/j.envdev.2015.10.001
 25. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along Glacial Troughs. *Oceanologia*, 2009, vol. 51, no. 3, pp. 321–340. DOI 10.5697/oc.51-3.321
 26. Matishov G., Moiseev D., Lyubina O., Zhichkin A., Dzhenyuk S., Karamushko O., Frolova E. Climate and cyclic hydrobiological changes of the Barents Sea from the twentieth to twenty-first centuries. *Polar Biol.*, 2012, vol. 35, no. 12, pp. 1773–1790. DOI 10.1007/s00300-012-1237-9

Results of the Expedition to the North Pole on the Icebreaker “50 Let Pobedy”

G. G. Matishov^{1,2}, A. V. Kleshchenkov^{1, *}, and E. E. Kirillova¹

¹*Federal Research Center the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

²*Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, Russia*

**e-mail: geo@ssc-ras.ru*

Received December 29, 2017; revised January 31, 2019; accepted April 4, 2019

The article presents the results of the expeditionary investigations carried out from the “50 Let Pobedy” nuclear icebreaker to research the present physiographic conditions of the Barents Sea and the Arctic Ocean and estimations of the main features that may reflect the global climatic variability of the seas and oceans of the Arctic. The observations of the ice lanes, hummocks, puddles, icebergs, the thickness and closeness of ice allowed us to make a real picture of the ice cover in the second half of August 2017. The zonal distribution of drifting ice, air temperature, temperature and salinity of seawater is shown. The results of observations and conclusions presented in the article reflect the simultaneous situation of the most western part of the Central Arctic adjacent to the Norwegian-Greenland basin. The analysis of new data of the structure and distribution of sea ice and icebergs gives a reason to present a number of general conclusions about the variability of ice thickness and closeness, relative age, the ratio of the area covered with ice and pure water. Recommendations about the development of new satellite systems for a reliable assessment of the seasonal and inter-annual dynamics of the area and thickness of sea ice in the Arctic Ocean are presented.

Keywords: climate, cyclicity, icebergs, ice cohesion, North Pole, nuclear-powered icebreaker.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-556620195131-140>