

УДК 551.46.065

© Т. М. Максимовская^{1-3*}, А. В. Зимин¹⁻³, Д. В. Моисеев³, 2023

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9

³Мурманский морской биологический институт РАН, 183032, Мурманск, ул. Владимирская, д. 17

*maximovskaja.t@yandex.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ВЕСНОЙ 2023 ГОДА

Статья поступила в редакцию 02.10.2023, после доработки 11.11.2023, принята в печать 14.11.2023

Аннотация

Представлены результаты океанографических исследований в прикромочной (арктической) фронтальной зоне Баренцева моря у границы ледового покрова, выполнявшихся с борта НИС «Дальние Зеленцы» с 27 апреля по 6 мая 2023 г. Рассматривается положение фронтальной зоны, зафиксированной по данным контактных наблюдений на гидрологических меридиональных разрезах вдоль 33°30', 40°, 45° и 50° в.д. Разрезы выполнялись от полей мелкобитого однолетнего льда на юг, в сторону открытой акватории Баренцева моря. На всех разрезах были обнаружены высокоградиентные зоны, выраженные в поле температуры и солёности, на разном расстоянии от кромки ледового поля. Было установлено, что в период исследования фронтальная зона находилась на расстоянии от 25 до 180 км от кромки ледовых полей, градиенты температуры варьировали от 0,02 до 0,07 °С/км, солёности — от 0,002 до 0,08 епс/км, ширина фронтальной зоны не превышала 28 км. В области границы фронтальной зоны наблюдались максимальные значения хлорофилла-а и растворенного кислорода.

Ключевые слова: прикромочная фронтальная зона, термохалинная структура вод, градиенты гидрофизических характеристик, Баренцево море

© Т. М. Максимовская^{1-3*}, А. В. Зимин¹⁻³, Д. В. Моисеев³, 2023

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia

²St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St Petersburg, 199034, Russia

³Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, 17 Vladimirskaia Str., Murmansk, 183032, Russia
maximovskaja.t@yandex.ru

THE RESULTS OF OCEANOGRAPHIC STUDIES IN THE MARGINAL ICE ZONE OF THE BARENTS SEA IN THE SPRING OF 2023

Received 02.10.2023, Revised 11.11.2023, Accepted 14.11.2023

Abstract

The results of oceanographic research in the marginal ice zone of the Barents Sea near the ice cover boundary, carried out from the R/V Dalnie Zelentsy from April 27 to May 6, 2023, are presented. The position of the frontal zones recorded from contact observations on hydrological meridional transects along 33°30', 40°, 45°, and 50° E are considered. The transects were made from the fields of finely broken annual ice southward towards the open water area of the Barents Sea. High-gradient zones expressed in the temperature and salinity fields at different distances from the ice field edge were detected on all transects. It was shown that during the research period the frontal zone was located at a distance from 25 to 180 km from the ice field edge, the temperature gradients varied from 0.021 to 0.067 °C/km, the salinity — from 0.002 to 0.012 psu/km, the width of the frontal zone did not exceed 28 km. The maximum values of chlorophyll-a and dissolved oxygen were observed in the area of the frontal zone boundary.

Keywords: marginal ice zone, thermohaline water structure, gradients of hydrophysical characteristics, Barents Sea

Ссылка для цитирования: Максимовская Т.М., Зимин А.В., Моисеев Д.В. Результаты океанографических исследований в прикромочной зоне Баренцева моря весной 2023 года // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16, № 4. С. 87–93. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(4)-7

For citation: Maximovskaya T.M., Zimin A.V., Moiseev D.V. The Results of Oceanographic Studies in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea in the Spring of 2023. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2023, 16, 4, 87–93. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(4)-7

1. Введение

Баренцево море является переходной областью между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном, расположенной в высоких широтах. В силу этого, Баренцево море представляет собой зону трансформации для теплых и соленых вод Атлантики на их пути в Северный Ледовитый океан [1, 2]. В северной и центральной частях моря трансформированные атлантические воды встречаются с холодными и распресненными арктическими, что приводит к формированию области повышенных градиентов гидрофизических полей, ассоциируемых с системой климатической Северной полярной фронтальной зоны Баренцева моря [3]. Одной из самых северных частей этой обширной и сложно сформированной зоны является прикромочная или арктическая фронтальная зона (ПФЗ). Считается, что ПФЗ формируется в области взаимодействия линзы холодных и распресненных за счет таяния льда вод с трансформированными атлантическими водами. Характеристики ПФЗ подвержены значительной межгодовой и сезонной изменчивости [3–14]. Как правило, ПФЗ удалена на несколько десятков километров от кромки однолетнего льда и прослеживается в верхнем слое океана до глубин 70–150 метров. В области ПФЗ перепад температуры составляет 1–3 °С, солености 0,3–2 епс. Ширина фронтальной зоны колеблется от 50 до 150 километров. По обобщенным за XX век данным контактных наблюдений [3] градиенты в области основных фронтальных разделов составляют в среднем 0,12 °С/км для температуры и 0,1 епс/км для солености.

В первые десятилетия XXI века наблюдается значительное уменьшение ледовитости в Баренцевом море по сравнению с другими арктическими морями [1]. Кроме того, возрастает повторяемость мягких зим, происходит уменьшение средней сплоченности льда. Все это привело к смещению прикромочной фронтальной зоны на север на 150 км в область открытых вод Северного Ледовитого океана. Горизонтальные градиенты температуры и солености в области ПФЗ уменьшились [10, 11]. Изменение областей таяния морского льда привело к увеличению солености и плотности формирующейся при смешении арктических и атлантических вод баренцевоморской водной массы [1]. Поскольку она образует основную часть Арктической промежуточной воды, изменения ее свойств могут иметь далеко идущие последствия для циркуляции и климата всего арктического бассейна [15]. Соответственно, знания о текущих характеристиках прикромочной фронтальной зоны в Баренцевом море важны как для понимания происходящих климатических изменений, так и для прогнозирования трансформации характеристик вод Баренцева моря. Однако получение сведений о ПФЗ является сложной задачей, особенно в конце зимнего — начале весеннего периода, когда наблюдается значительная перестройка атмосферных процессов, что не позволяет привлекать спутниковые данные из-за сплошной облачности и способствует значительному распространению полей битого льда, затрудняя судовые наблюдения. Таким образом, для исследования ПФЗ требуется проведение специализированных работ, условия для которых сложились в апреле–мае 2023 года.

Цель данной работы — представить первые результаты экспедиционных исследований в области прикромочной фронтальной зоны выполнявшихся в ходе совместной экспедиции ММБИ РАН и СПбФ ИО РАН на НИС «Дальние Зеленцы» в период с 26 апреля по 6 мая 2023 г.

2. Материалы и методы

Измерения основных океанографических параметров морской среды проводились методом СТД-зондирования с использованием зондов SEACAT SBE19 plus V2 и CTD90 M Series II с дополнительными датчиками, позволяющими получать значения флуоресценции хлорофилла-а, мутности и растворенного кислорода. Зондирование водной толщи выполнялось от поверхности до глубин не менее 100 м. Данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения, а также программы OBZerver 3.1 [16]. Исследования выполнялись на четырех разрезах (вдоль 33°30', 40°, 45° и 50° в.д.).

Методика выполнения работ на всех разрезах была следующая. Судно двигалось вдоль заданной длины в северном направлении до ледовой кромки, за которую принимались скопления мелкобитого серобелого льда сплоченностью не менее 5 баллов. После достижения этой границы начиналось выполнение гидрологических станций в направлении на юг, в сторону открытой акватории Баренцева моря. Положение разрезов представлено на (рис. 1). Каждый разрез включал от 6 до 12 гидрологических станций. Протяженность разрезов и частота станций на них определялась исходя из положения высокоградиентной зоны, детектировавшейся в процессе выполнения работ по результатам оперативной обработки данных СТД-зондирований водной толщи. Дополнительно судно было оснащено метеостанцией ТМ-83-УВТ. Данные с нее использовались для получения информации о скорости, направлении ветра и температуре воздуха во время выполнения работ.

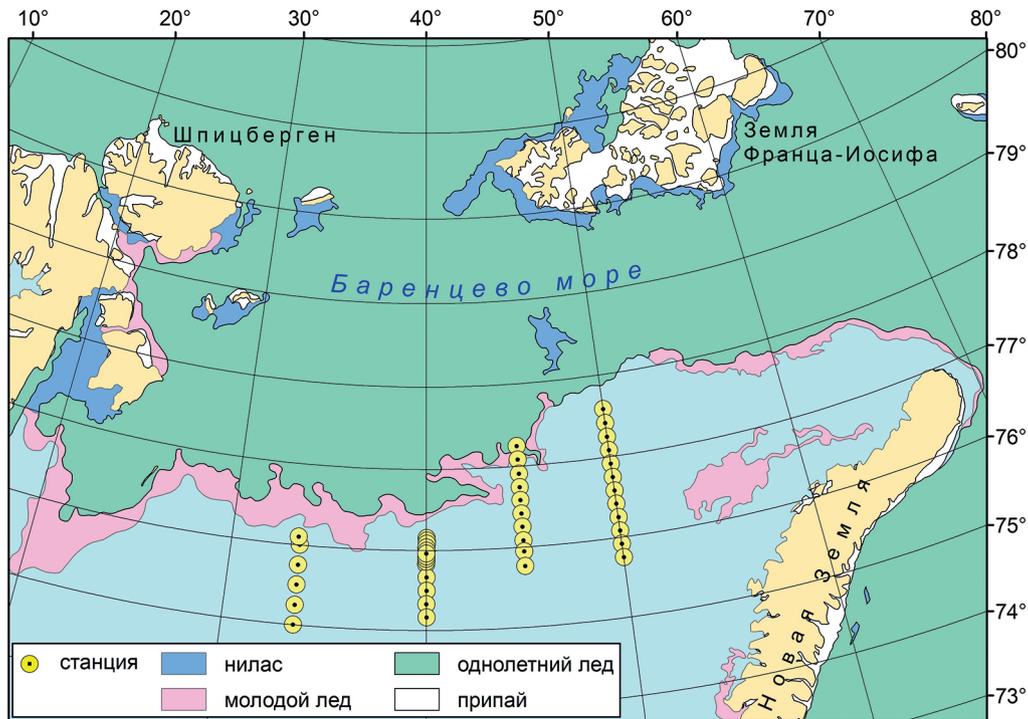


Рис. 1. Положение станций на гидрологических разрезах, выполненных с 26 апреля по 6 мая 2023 г. в прикромочной зоне Баренцева моря (границы ледовых полей отображены по состоянию на 2 мая 2023 г. [17])

Fig. 1. The position of the stations of hydrological sections in the Barents Sea marginal ice zone made from April 26 to May 6, 2023 (the boundaries of the ice fields are displayed as of May 2, 2023 [17])

3. Результаты

В период экспедиции погода обуславливалась преимущественно влиянием циклонических образований, смещавшихся из района Исландии вдоль северного побережья Европы на восток, и связанных с ними фронтальных разделов разных типов. Преобладали ветра северных и западных направлений силой 5–6 м/с. При прохождении атмосферных фронтальных разделов ветер усиливался до 11–12 м/с и выпадал снег. Облачность составляла 8–10 баллов. Температура воздуха колебалась преимущественно в диапазоне от –6 до –1 °С, однако при прохождении теплого фронта (26–27.04.2023) отмечались положительные значения температуры. Отметим, что стабильные как северо-западные, так и северные ветра могли оказывать влияние на положение фронтальной зоны, обеспечивая вынос полей начальных видов льда и смещение фронтальных разделов в южном направлении.

На всех разрезах были обнаружены высокоградиентные зоны между водами арктического происхождения с пониженной температурой и соленостью и трансформированными атлантическими водами. Фронтальные зоны были хорошо выражены в полях температуры и солёности, кроме того, вблизи этих областей наблюдались максимумы в распределении хлорофилла-*a*. Результаты детектирования ПФЗ на всех четырех разрезах в обобщенном виде представлены в таблице.

Самый западный из рассматриваемых разрезов (33°30' в. д.) выполнялся вдоль векового разреза «Кольский меридиан» [18]. Ледовая кромка здесь была обнаружена на 76° с. ш. Положение участков с повышенными горизонтальными градиентами температуры и солёности на разрезе не совпадали между собой. Термический фронтальный раздел находился на расстоянии 53 км, халинный — 25 км, от условной линии положения морского льда. Арктические воды прослеживались от поверхности до горизонта 30 м и имели минимальные температуру –1,4 °С и солёность 34,3 епс. Тонкий слой холодных распресненных вод на глубине 30 м подстилали воды с положительной температурой до 1,8 °С и солёностью близкой к 35 епс. Арктическая водная масса, отделялась фронтальной зоной шириной 28 км от трансформированных атлантических вод Северной ветви Нордкапского течения с температурой 1,4 °С и солёностью 34,3 епс (рис. 2).

Характеристики фронтальных зон на меридиональных разрезах
 Characteristics of frontal zones on meridional sections

Меридиональный разрез, в. д.	Расстояние от ледовой кромки до термической (халинной) ФЗ, км	Предел распространения ФЗ по глубине, м	Перепад температуры, °С	Перепад солености, епс	Максимальный градиент температуры 0 м, °С/км	Максимальный градиент солености 0 м, епс/км
33°30'	53 (25)	50	1,34	0,34	0,05	0,01
40°	82 (82)	50	1,08	0,15	0,06	0,08
45°	137 (137)	50	1,26	0,16	0,07	0,01
50°	190 (190)	70	0,40	0,03	0,02	0,01

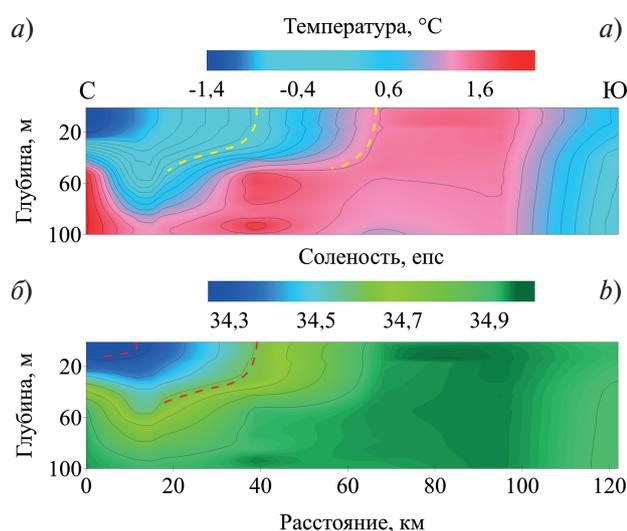


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры (а) и солености (б) на прикромочном разрезе вдоль 33°30' в.д., пунктирными линиями обозначены границы области повышенных горизонтальных градиентов буквами С и Ю обозначены крайняя северная и крайняя южная станции разреза (27 апреля 2023 г.)

Fig. 2. Vertical distribution of temperature (a), salinity (b) on the marginal section along 33°30' E, dotted lines indicate the boundaries of the area of high horizontal gradients, the letters С and Ю indicate the northernmost and southernmost stations of the transect (April 27, 2023)

На разрезе, располагавшемся на 40° в.д., фронтальная зона имела меньшую ширину, чем на «Кольском меридиане» и прослеживалась на большем расстоянии от ледовой кромки (см. Таблицу). Перепад температуры и солености через фронтальную зону был меньше, чем на описанном выше разрезе, но в области основного фронтального раздела градиент температуры имел более высокие значения. Изменчивость характеристик вод на разрезе, расположенном вдоль 45° в.д., представлена на рис. 2. Фронтальная зона шириной 19 км между Арктическими и Трансформированными Атлантическими водами (Западная ветвь Новоземельского течения) находилась на расстоянии 137 км от ледовой кромки. Здесь наблюдалась типичная для ПФЗ структура вод. Распресненный слой вод с отрицательными температурами подстилали более теплые и соленые воды. Распределение хлорофилла-а, который служит важной характеристикой первичной биопродуктивности вод, характеризовалось повышенными значениями у ледовой кромки, в арктических водах перед фронтальной зоной, а также непосредственно в самой области повышенных градиентов (рис. 3, в). Ниже 50 метров хлорофилл-а не был зарегистрирован, что вероятно связано с влиянием освещенности. Содержание растворенного кислорода варьировало от 7 до 8,7 мл/л. Максимальные значения при этом наблюдались на протяжении всей ПФЗ и перед ней (рис. 3, г).

На разрезе, расположенном вдоль 50° в.д., верхний 50-метровый слой характеризовался перемежающимися водами с малыми различиями в поле температуры и солености. Фронтальная зона здесь находилась на максимальном расстоянии от ледовой кромки. Градиенты температуры и солености были наименьшими.

В апреле 2016 года были выполнены аналогичные исследования в прикромочной зоне Баренцева моря [10]. Расположенный вдоль 44° в. д. гидрологический разрез имел начальную станцию 78°12' с. ш., расположенную на градус севернее, чем в конце апреля–начале мая 2023 г. Воды здесь были гомогенны в верхнем 100-метровом слое, имели отрицательную температуру, близкую к температуре замерзания, и пониженную соленость. Горизонтальные градиенты температуры и солености в пределах разреза составляли не более 0,05 °С/км и 0,005 епс/км соответственно. Возможно, это связано с малой протяженностью (до 50 км) выполненных разрезов. В экспедиции 2023 г. разрезы были протяженнее, то есть охватывали акваторию, занятую атлантическими водами с контрастными по отношению к арктическим характеристиками.

Результаты океанографических исследований в прикромочной зоне Баренцева моря весной 2023 года
The results of oceanographic studies in the marginal ice zone of the Barents Sea in the spring of 2023

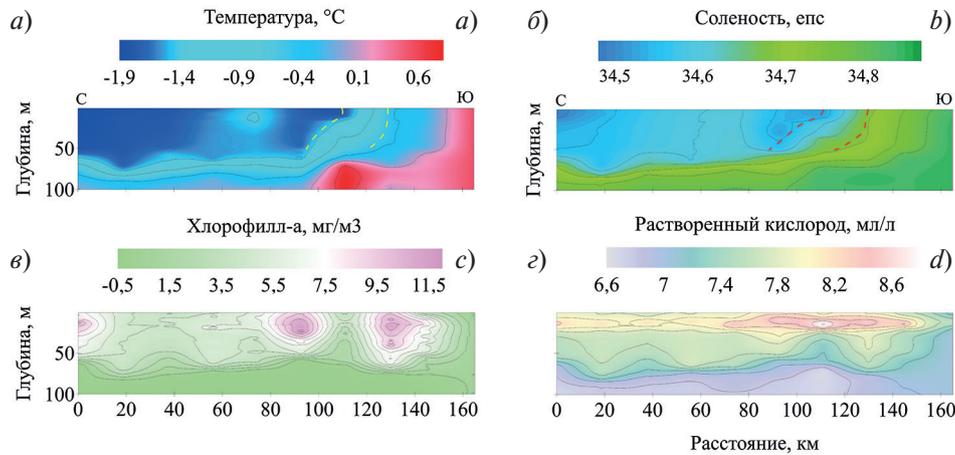


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры (а), солёности (б), хлорофилла-а (в) и растворенного кислорода (г) на прикромочном разрезе вдоль 45° в.д., пунктирными линиями обозначены границы области повышенных горизонтальных градиентов (3–5 мая 2023 г.)

Fig. 3. Vertical distribution of temperature (a), salinity (b), chlorophyll-a (c) and dissolved oxygen (d) on the margin section along 45° east (May 3–5, 2023)

4. Заключение

Представлены результаты океанографических исследований в прикромочной зоне Баренцева моря, выполненные с борта НИС «Дальние Зеленцы» в апреле–мае 2023 г. Показано, что расстояние от ледовой кромки до фронтальной зоны может варьировать от десяти до почти двух сотен километров. При этом оно увеличивается в восточном направлении. Фронтальная зона четко прослеживается в верхнем 50-метровом слое. Средний перепад температуры в ПФЗ составляет 2 °С, солёности 0,3 епс. Полученные оценки горизонтальных градиентов гидрофизических полей и ширины фронтальной зоны показали их значительную пространственную изменчивость. Отмечена связь максимумов в распределении хлорофилла-а и растворенного кислорода с положением фронтальной зоны.

Показано, что максимальные градиенты температуры и солёности в области ПФЗ весной 2023 достигали 0,07 °С/км и 0,08 епс/км соответственно, что существенно ниже средних оценок, полученных в XX веке [3]. Ширина ПФЗ стала меньше. Это подтверждает, что изменения климата находят отражение в контрастах гидрологических характеристик в области прикромочной фронтальной зоны Баренцева моря. Так как ПФЗ является важным элементом, поддерживающим перераспределение потоков тепла в условиях отмечаемой атлантификации Баренцева моря [1], требуется проведение ее исследований в разные сезоны для оценки масштабности происходящих изменений.

В дальнейших работах будет обобщен материал нескольких экспедиций, выполнявшихся в ПФЗ в XXI веке, будут рассмотрены пространственные отношения между динамическими, термическими и халинными фронтами, что позволит выявить степень их связанности.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № FMWE-2021-0014 и № FMEE-2021-0029.

Funding

The work was carried out within the framework of the state assignments under themes No. FMWE-2021-0014 and No. FMEE-2021-0029.

Литература

1. Система Баренцева моря / под ред. академика А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.
2. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г. и др. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО, 2016. 260 с.

3. Родионов В.Б., Костяной А.Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. М.: ГЕОС, 1998. 290 с.
4. Collins C.O., Rogers W.E., Marchenko A., Babanin A.V. In situ measurements of an energetic wave event in the Arctic marginal ice zone // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42, iss. 6. P. 1863–1870. doi:10.1002/2015gl063063
5. Kędra M. et al. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs // *Polar Research*. 2015. Vol. 34. P. 23775. doi:10.3402/polar.v34.23775
6. Brenner S., Rainville L., Thomson J., Lee C. The evolution of a shallow front in the Arctic marginal ice zone // *Elementa: Science of the Anthropocene*. 2020. Iss. 8. P. 17. doi:10.1525/elementa.413
7. Зимин А.В., Коник А.А., Атаджанова О.А. Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря (ТПМ) в районе фронтальных зон Баренцева моря // *Ученые записки РГМУ*. 2018. № 51. С. 99–108.
8. Атаджанова О.А., Зимин А.В., Свергун Е.И., Коник А.А. Субмезомасштабные вихревые структуры и фронтальная динамика в Баренцевом море // *Морской гидрофизический журнал*. Т. 34, № 3. 2018. С. 237–246. doi:10.22449/0233-7584-2018-3-237-246
9. Макаревич П.Р., Олейник А.А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2017. Т. 8, № 2–4. С. 50–58.
10. Моисеев Д.В., Жичкин А.П. Термохалинные условия в прикромочной зоне на севере Баренцева моря в апреле 2016 года // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2017. Т. 8, № 2–4. С. 10–25.
11. Коник А.А. Изменчивость характеристик крупномасштабных фронтальных зон в Баренцевом и Карском морях в XXI веке: дис. канд. геогр. наук. СПб., 2022. С. 112.
12. Морозов А.Н., Павлов В.К., Павлова О.А., Федоров С.В. Полярная фронтальная зона Западного желоба Баренцева моря по данным контактных наблюдений 2007 года // *Морской гидрофизический журнал*. № 2. 2017. С. 39–53. doi:10.22449/0233-7584-2017-2-39-53
13. Fer I., Drinkwater K. Mixing in the Barents Sea polar front near Hopen in spring // *Journal of Marine Systems*. 2014. Vol. 130. P. 206–218. doi:10.1016/J.JMARSYS.2012.01.005
14. Моисеев Д.В., Запорожцев И.Ф., Максимовская Т.М., Духно Г.Н. Идентификация положения фронтальных зон на поверхности Баренцева моря по данным контактного и дистанционного мониторинга // *Арктика: экология и экономика*. 2019. № 2(34). С. 48–63. doi:10.25283/2223-4594-2019-2-48-63
15. Barton B.I., Lenn Y.D., Lique C. Observed atlantification of the Barents Sea causes the polar front to limit the expansion of winter sea ice // *Journal of Physical Oceanography*. 2018. Vol. 48, iss. 8. P. 1849–1866. doi:10.1175/jpo-d-18-0003.1
16. Бережинский О.А., Зимин А.В., Шнар В.Н. Программный комплекс для обработки, хранения и анализа океанологических данных, получаемых с помощью различных СТД-зондов // Тез. докл. научно-практической конференции «Перспективы развития рыбохозяйственного комплекса России — XXI век». М.: ВНИРО, 2002 С. 34–35.
17. Анализ ледовой обстановки по данным ИСЗ. 30 апреля — 2 мая 2023 г. Центр «Север» ААНИИ. URL: http://old.aari.ru/odata/_d0015.php?mod=1 (дата обращения: 27.09.2023).
18. Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Анциферов М.Ю., Ившин В.А., Губаницев М.А. 120 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан». Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2022. 146 с.

References

1. Barents Sea System / Russian Academy of Sciences, P.P. Shirshov Institute of Oceanology; Executive Editor A.P. Lisitsyn. Moscow, GEOS, 2021. 671 p. (in Russian).
2. Ozhigin V.K., Ivshin V.A., Trofimov A.G. et al. The waters of the Barents Sea: structure, circulation, variability. *Murmansk, PINRO*, 2016. 260 p. (in Russian).
3. Rodionov V.B., Kostyanoi A.G. Oceanic fronts of the seas of the North European basin. Moscow, GEOS, 1998. 290 p. (in Russian).
4. Collins C.O., Rogers W.E., Marchenko A., Babanin A.V. In situ measurements of an energetic wave event in the Arctic marginal ice zone. *Geophysical Research Letters*. 2015, 42, 6, 1863–1870. doi:10.1002/2015gl063063
5. Kędra M. et al. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs. *Polar Research*. 2015, 34, 23775. doi:10.3402/polar.v34.23775
6. Brenner S., Rainville L., Thomson J., Lee C. The evolution of a shallow front in the Arctic marginal ice zone. *Elementa: Science of the Anthropocene*. 2020, 8, 17. doi:10.1525/elementa.413
7. Zimin A.V., Konik A.A., Atajanova O.A. Quantitative estimates of the variability of sea surface temperature characteristics (SST) in the area of the frontal zones of the Barents Sea. *Proceedings of RSHU*. 2018, 51, 99–108 (in Russian).
8. Atadzhanova O.A., Zimin A.V., Svergun E.I., Konik A.A. Submesoscale eddy structures and frontal dynamics in the Barents Sea. *Physical Oceanography*. 2018, 25, 3, 220–228 doi:10.22449/1573-160X-2018-3-220-228

Результаты океанографических исследований в прикромочной зоне Баренцева моря весной 2023 года
The results of oceanographic studies in the marginal ice zone of the Barents Sea in the spring of 2023

9. Makarevich P.R., Oleinik A.A. Phytoplankton of the Barents Sea in the spring period: composition and structure in the area of the ice edge. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017, 8, 2–4, 50–58 (in Russian).
10. Moiseev D.V., Zhichkin A.P. Thermohaline conditions in the marginal zone in the north of the Barents Sea in April 2016. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017, 8, 2–4, 10–25 (in Russian).
11. Konik A.A. Variability of characteristics of large-scale frontal zones in the Barents and Kara seas in the XXI century: dis. Candidate of Geographical Sciences. *St. Petersburg*, 2022. 112 p. (in Russian).
12. Morozov A.N., Pavlov V.K., Pavlova O.A., Fedorov S.V. Polar frontal zone of the Barents Sea Western Trough based on the direct measurements in 2007. *Physical Oceanography*. 2017, 2, 36–50. doi:10.22449/1573-160X-2017-2-36-50
13. Fer I., Drinkwater K. Mixing in the Barents Sea polar front near Hopen in spring. *Journal of Marine Systems*. 2014, 130, 206–218. doi:10.1016/J.JMARSYS.2012.01.005
14. Moiseev D.V., Zaporozhtsev I.F., Maksimovskaya T.M., Dukhno G.N. Identification of frontal zones position on the surface of the Barents Sea according to in situ and remote sensing data. *Arctic: Ecology and Economy*. 2019, 2(34), 48–63. doi:10.25283/2223-4594-2019-2-48-63 (in Russian).
15. Barton B.I., Lenn Y.D., Lique C. Observed atlantification of the Barents Sea causes the polar front to limit the expansion of winter sea ice. *Journal of Physical Oceanography*. 2018, 48, 8, 1849–1866. doi:10.1175/jpo-d-18-0003.1
16. Berezhinsky O.A., Zimin A.V., Shnar V.N. A software package for processing, storing and analyzing oceanological data obtained with the help of various STD probes. *Proceedings of the conference “Prospects for the development of the fisheries complex of Russia -XXI century”*. Moscow, VNIRO, 2002, 34–35 (in Russian).
17. Analysis of the ice situation according to the data of the ISS. April 30 — May 2, 2023, the Center “North” of AANIA. URL: http://old.aari.ru/odata/_d0015.php?mod=1 (date of access: 27.09.2023) (in Russian).
18. Karsakov A.L., Trofimov A.G., Antsiferov M. Yu., Ivshin V.A., Gubanishchev M.A. 120 years of oceanographic observations at the Kola Meridian section. Murmansk, PINRO named after N.M. Knipovich, 2022. 146 p. (in Russian).

Об авторах

МАКСИМОВСКАЯ Татьяна Михайловна, РИНЦ AuthorID: 941246, ORCID ID: 0000-0001-9136-6670, Scopus AuthorID: 57735699200, WoS ResearcherID: AAZ-6535-2020, maximovskaja.t@yandex.ru

ЗИМИН Алексей Вадимович, доктор географических наук, РИНЦ AuthorID: 124451, ORCID: 0000-0003-1662-6385, Scopus AuthorID: 55032301400, WoS ResearcherID: C-5885-2014, e-mail: zimin2@mail.ru

МОИСЕЕВ Денис Витальевич, кандидат географических наук, РИНЦ Author ID: 68390, ORCID ID: 0000-0003-0141-374X, Scopus AuthorID: 35069960500, WoS ResearcherID: C-1651-2015, denis_moiseev@mmbi.info