



Информация. Экспедиции ВНИРО

Гидролого-гидрохимические условия Баренцева и Карского морей по новейшим экспедиционным данным

К.В. Артамонова¹, О.Н. Лукьянова², Н.И. Торгунова², Ю.В. Мурзакова², А.О. Варварова³,
А.А. Ключиткин², А.С. Щука², В.В. Иванов³, М.Д. Кравчишина²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ФГБУН «ИО РАН им. П.П. Ширшова»), Нахимовский проспект, 36, Москва, 117997

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»), географический ф-т, Ленинские горы, 1, Москва, 119234

E-mail: ksusha@vniro.ru

SPIN-код: К.В. Артамонова 6127–8010, О.Н. Лукьянова 6649–1026, Н.И. Торгунова 3756–1480, Ю.В. Мурзакова 6791-0642, А.А. Ключиткин 4087–2240, А.С. Щука 7654–3142, В.В. Иванов 5127–1192

Цель работы: оценка гидролого-гидрохимических условий вод Баренцева и Карского морей в летний период.

Материалы и методы: данные, представленные в работе, были получены в 96-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» с 25 июля по 31 августа 2024 г. В ходе экспедиции проводились определения гидролого-гидрохимических (температура, солёность, растворённый кислород, силикаты, минеральные и органические формы азота и фосфора, а также растворённый органический углерод) характеристик от поверхности до дна. Гидрохимический анализ проводился в судовой лаборатории согласно аттестованным методикам, принятым при анализе морских и пресных вод. Пробы воды на органический углерод предварительно фильтровали через мембранные фильтры (0,45 мкм) и фиксировали соляной кислотой для дальнейшего определения на высокоточном оборудовании TOC–L в стационарной лаборатории в г. Москва. Всего было выполнено 13 океанологических разрезов, 183 комплексных океанологических станций.

Практическая значимость исследований: оценка продукционного потенциала вод экономически значимых для России морей Европейской Арктики в районе максимальных климатических изменений, пополнение системы мониторинга гидрофизических и биогеохимических характеристик на основе судовых наблюдений согласно Распоряжению Правительства РФ от 29 октября 2022 г. № 3240-р.

Ключевые слова: структура вод, растворённый кислород, биогенные элементы, затоки атлантических вод, арктические моря.

Physical and chemical oceanographic conditions of the Barents and Kara Seas according to the latest expedition data

Ksenia V. Artamonova¹, Olga N. Lukyanova², Nadezhda I. Torgunova², Yuliya V. Murzakova², Anna O. Varvarova³, Alexey A. Klyuvitkin², Aleksandr S. Shchuka², Vladimir V. Ivanov³, Marina D. Kravchishina²

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («ВНИРО»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

²P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS («P.P. Shirshov IO RAS»), 36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, 117997, Russia

³M.V. Lomonosov Moscow State University («M.V. Lomonosov MSU»), Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia

The goal of the work: assessment of summer oceanographic conditions of the Barents and Kara Seas.

Materials and methods: the data presented in the work were obtained on the 96th cruise of the R/V «Akademik Mstislav Keldysh» (July 25, 2024–August 31, 2024). During the expedition, hydrological and chemical characteristics (temperature, salinity, dissolved oxygen, silicates, mineral and organic forms of nitrogen and phosphorus and dissolved organic carbon) were measured from the surface to the bottom. Chemical analysis was carried out in the ship's laboratory, according to certified methods for sea and fresh waters. Dissolved organic carbon samples were using a filtration through membrane filters (0.45 µm) and fixed with hydrochloric acid for further determination using high-precision TOC–L equipment in a stationary laboratory in Moscow. In total, 13 oceanological sections and 183 complex oceanological stations were completed.

The practical significance of the research: assessment of the production potential of the economically significant seas of the European Arctic for Russia in the area of maximum climate changes, replenishment of the monitoring system of hydrological and biogeochemical characteristics based on ship observations in accordance with the Order of the Government of the Russian Federation of October 29, 2022 No. 3240-r.

Keywords: water structure, dissolved oxygen, nutrients, Atlantic Water inflows, Arctic seas.

В рамках Соглашения по сотрудничеству в научно-исследовательской деятельности между Всероссийским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») и ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук» («ИО РАН») от 07.08.2018 г., а также приглашения Врио директора ИО РАН В.П. Шевченко специалистов из ВНИРО были выполнены исследования по изучению структуры и биопродуктивности морей западного сектора Российской Арктики в комплексной научно-исследовательской экспедиции «Европейская Арктика – 2024: изменение среды и климата». Важность исследования морей Европейской Арктики определяется как их экономическим значением для России, так и тем, что эти моря являются ключевым регионом для изучения климата.

Баренцевом и Карском, должна быть создана система мониторинга климатических изменений гидрофизических и биогеохимических характеристик на основе судовых наблюдений.

Экспедиция проводилась в период с 25 июля по 31 августа 2024 г. в 96-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» с целью изучения особенностей структуры и продукционного потенциала вод Баренцева и Карского морей на фоне современных климатических изменений в Арктическом бассейне (рис. 1).

С 25 июля по 11 августа океанологические работы проходили в глубоководных желобах на севере Баренцева моря и были направлены на изучение гидролого-гидрохимических характеристик трансформированных североатлантических вод, поступающих на шельф Баренцева моря. С 13 по 25 августа

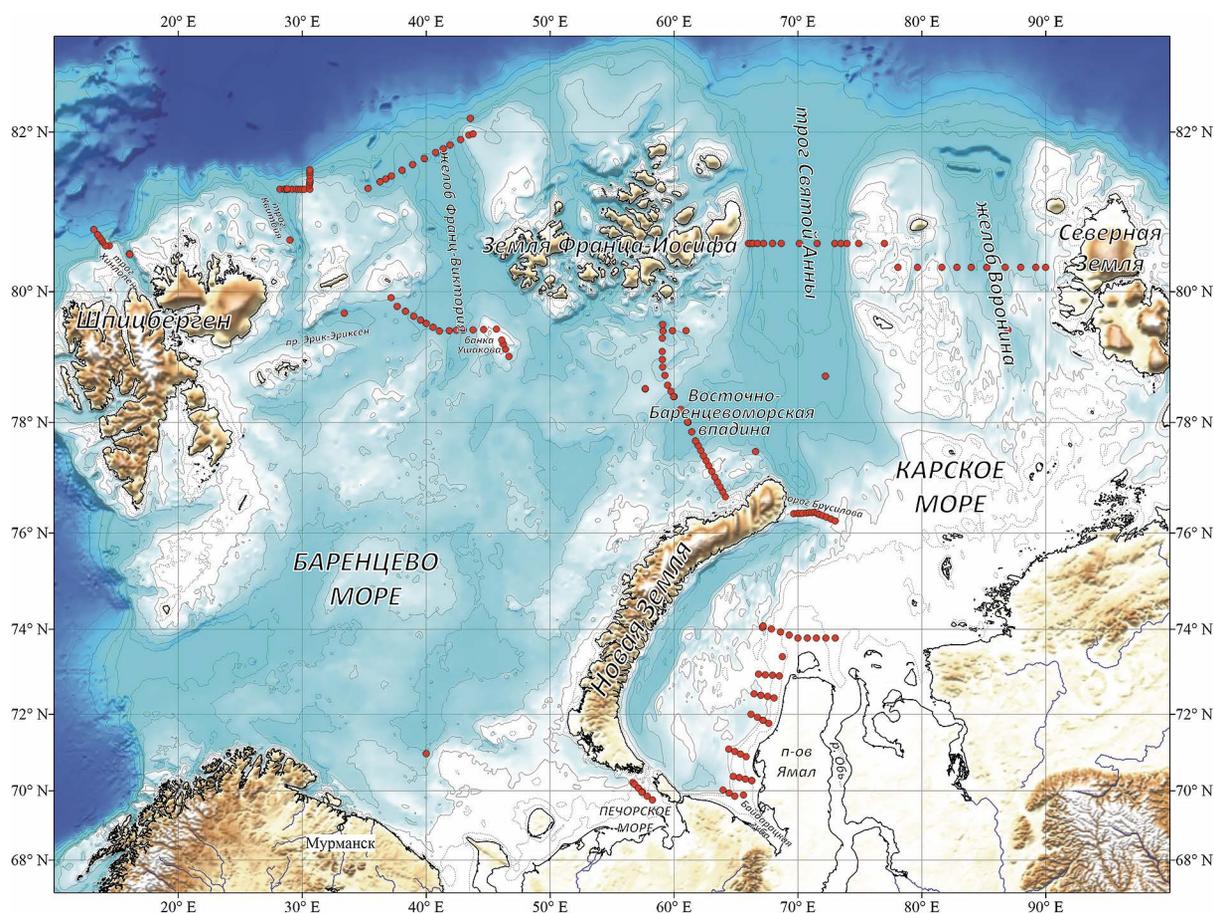


Рис. 1. Общая схема комплексных станций, выполненных в 96-м рейсе НИС «Академик М. Келдыш». Положение станций показано красными точками

Fig. 1. General scheme of complex stations carried out in 96-rd cruise of R/V «Akademik M. Keldysh». Locations of stations are indicated by red dots

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 29 октября 2022 г. № 3240-р¹ в морях России, в том числе

исследования проводились в Карском море, которое в этом году очень поздно освободилось ото льда, поэтому в ходе экспедиции в северной акватории моря (в районе желобов Святой Анны и Воронина) удалось

¹ <http://government.ru/docs/46939/>

оценить океанологические условия сразу после таяния льда. В юго-западной части моря работы были сосредоточены в районе взаимодействия опресненных и морских вод. Исследования завершились в Печорском море, на юге Баренцева моря. Всего было выполнено 13 океанологических разрезов, 183 комплексных океанологических станций, из них 144 станции с отбором проб на гидрохимический анализ; на которых также осуществлялся отбор проб воды на хлорофилл, фитопланктон, зоопланктон и взвешенное вещество для дальнейшего комплексного исследования продукционного потенциала этих морей.

Измерения температуры и солёности производились с помощью CTD-зонда – SeaBird 911plus непрерывно от поверхности до дна, оснащённого дополнительно датчиками растворённого кислорода, флуоресценции и мутности. Расстояние до дна определялось эхолотом, который срабатывал за 20 м до дна.

Пробы воды на гидрохимический анализ отбирались 10-литровыми батометрами Нискина, размещёнными на зондирующем комплексе. Гидрохимический анализ включал определение содержания растворённого в воде кислорода, величины рН и концентрации биогенных элементов (фосфатов, силикатов, аммонийного азота, нитритов, нитратов, органических форм азота и фосфора). Пробы воды определялись

непосредственно после их отбора в судовой лаборатории, согласно аттестованным методикам [Сапожников и др., 2003]. Кроме анализов, определяемых непосредственно на борту судна, также проводился отбор проб воды, фильтрация и фиксация проб для определения органического углерода, которое будет осуществляться на высокоточном оборудовании ТОС-L в стационарной лаборатории в г. Москва.

Баренцево море. По полученным данным наблюдалось характерное для летнего периода распределение гидролого-гидрохимических характеристик. Так, на разрезе, пересекающем Восточно-Баренцевоморскую впадину от о. Новая земля до арх. Земля Франца Иосифа, структура вод была представлена верхним прогретым распреснённым слоем (температура – от 1 °С до 5,2 °С; солёность – от 32,8 до 34,25 епс) до глубины 25–30 м в южной части разреза. При движении на север толщина слоя уменьшалась и в районе арх. Земля Франца Иосифа не превышала 10 м. Ниже располагался мощный холодный (зимний остаточный) слой с ядром – минимумом температуры (от -1,28 °С (южные станции разреза) до -1,71 °С (самая северная станция разреза). Глубина залегания ядра заглублялась с юга на север с 30 до 110 м, соответственно (рис. 1 а). На верхней границе этого слоя происходило резкое увеличение солёности от менее 34,0 до 34,5 епс (рис. 2 б). Ниже зимнего остаточного

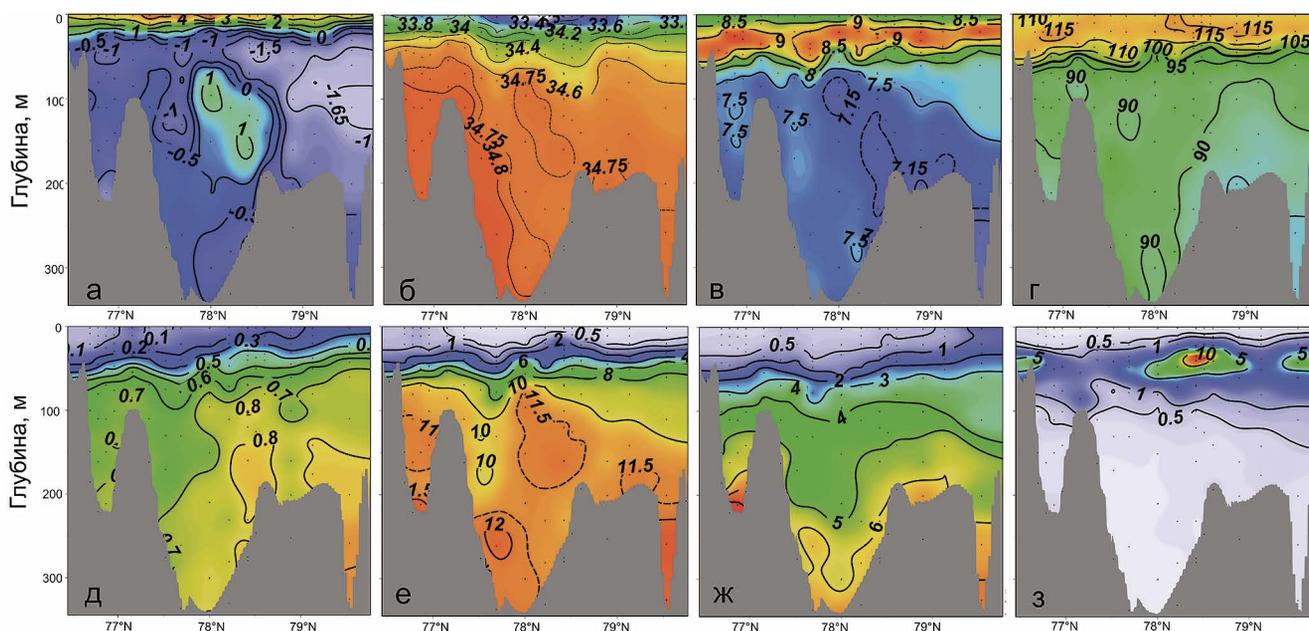


Рис. 2. Распределение температуры, °С (а), солёности, епс (б), содержания растворённого кислорода, мл/л (в) и его процентного насыщения, % (г), концентраций фосфатов, µМ (д), нитратов µМ (е), силикатов, µМ (ж), хлорофилла а, мг/м³ (з) на разрезе Новая земля – Земля Франца Иосифа

Fig. 2. Distribution of temperature, C (a), salinity, psu (б), dissolved oxygen content, ml/L (в), oxygen saturation, % (г), phosphate concentrations, µM (д), nitrates µM (е), silicates µM (в), and chlorophyll-a, mg/m³ (з) in Novaya Zemlya – Franz Josef Land section

сложения располагались: на юге разреза – баренцевоморские воды с характерными более высокими значениями солёности; в центральной части разреза удалось зафиксировать затоки трансформированных тёплых атлантических вод, наибольший интерес представляет изменчивость их характеристик и пространственного положения; на севере разреза – арктические воды с более низкой по сравнению с баренцевоморскими температурой и солёностью (рис. 2).

Распределение гидрохимических характеристик также хорошо соответствовало летнему периоду исследования. Верхние 50–70 м характеризовались высокими концентрациями растворённого кислорода (8–10 мл/л). Содержание его достигало максимума в подповерхностном слое (на глубине 40 м на юге и до 20 м – на севере разреза) на верхней границе зимнего остаточного слоя (рис. 2 в). Максимум процентного насыщения растворённого кислорода находился выше, в верхнем тёплом опреснённом слое на глубине 10–20 м и достигал 120% (рис. 2 г). Глубже вся толща вод была в целом хорошо аэрирована, содержание растворённого кислорода и его процентного насыщения были выше 7 мл/л и более 85%, соответственно. Для вод арктического проис-

хождения было характерно более низкое процентное насыщение (менее 90%). Затоки атлантических вод хорошо выделялись по более низкому содержанию в них растворённого кислорода (менее 7,15 мл/л) (рис. 2 в).

Основная характерная особенность летнего распределения биогенных элементов (фосфатов, нитратов и силикатов) – практически нулевые концентрации их в верхнем фотическом слое (до 20–50 м) и резкое их увеличение ниже пикноклина (рис. 2 д, е, ж). С глубиной происходит их аккумуляция в связи с минерализацией органического вещества, в результате максимальные концентрации биогенных элементов наблюдались в придонном слое (фосфатов – 0,7–0,9 μM , нитратов – до 10–13 μM , силикатов – 6,6–8,0 μM). Кроме того, более высокие концентрации фосфатов и нитратов отмечались в трансформированных атлантических водах (рис. 2 д, е).

Распределение аммонийного, нитритного азота и органических форм азота и фосфора служат хорошими показателями жизнедеятельности организмов. Их максимумы хорошо согласуются с распределением хлорофилла *a*, при этом максимум аммонийного азота находится чуть ниже.

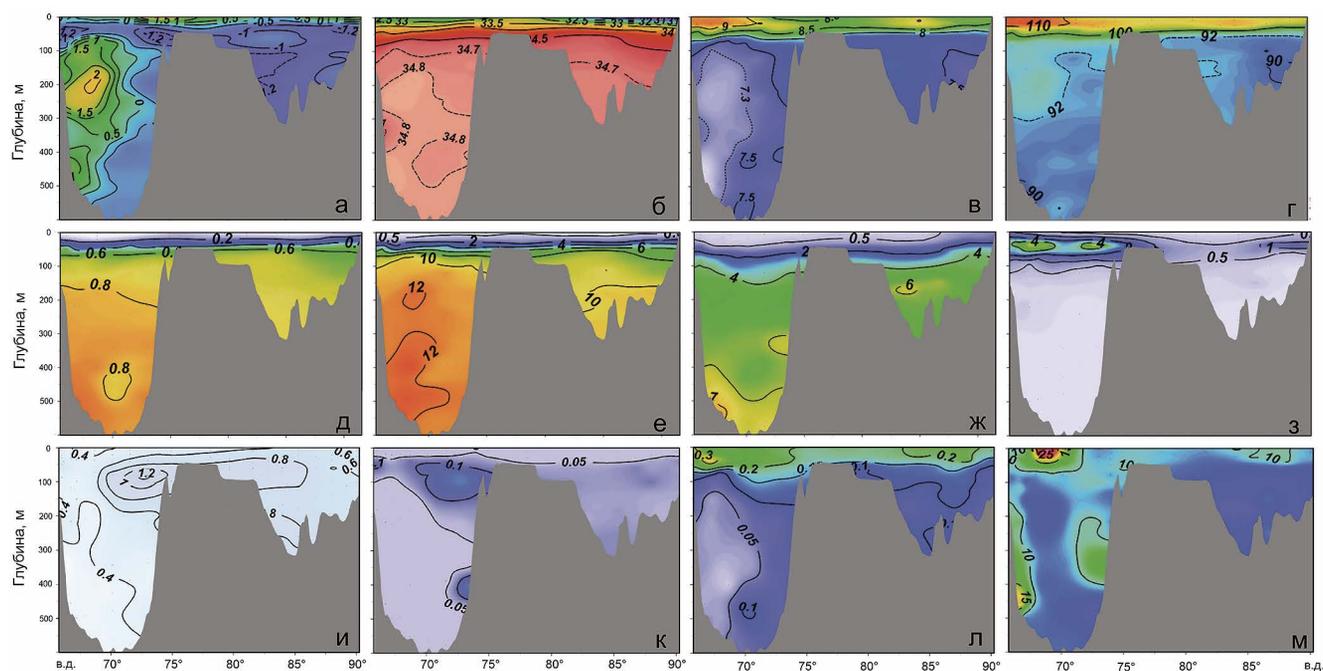


Рис. 3. Распределение температуры, °С (а), солёности, епс (б), содержания растворённого кислорода, мл/л (в) и его процентного насыщения, % (г), концентраций фосфатов, μM (д), нитратов μM (е), силикатов, μM (ж), хлорофилла *a*, mg/m^3 (з), аммонийного (и), нитритного (к) азота, органического фосфора (л) и азота (м) на разрезе Новая земля-Земля Франца Иосифа

Fig. 3. Distribution of temperature, C (a), salinity, psu (б), dissolved oxygen content, ml/L (в), oxygen saturation, % (г), phosphate concentrations, μM (д), nitrates μM (е), silicates μM (ж), chlorophyll-*a*, mg/m^3 (з), ammonium, μM (и) and nitrite (к) nitrogen, organic phosphorus, μM (л) and nitrogen, μM (м) in Novaya Zemlya – Franz Josef Land section

Карское море. Характер распределения гидролого-гидрохимических характеристик на севере Карского моря (в районе желобов Святой Анны и Воронина) в целом схож со структурой, описанной выше (рис. 3).

В районе жёлоба Святой Анны заток тёплых и более солёных трансформированных атлантических вод был зафиксирован в западной части разреза, с ядром, в котором температура была более 2 °С, на глубине 150–300 м (рис. 3 а, б). Эти воды также характеризовались более низким содержанием растворённого кислорода, но более высоким его потреблением (рис. 3 в, г), максимальными нитратами (рис. 3 е) и, в целом, более низкими концентрациями аммонийного, нитритного, органического азота и фосфора (рис. 3 и, к, л, м). В жёлобе Воронина – заток атлантических вод не прослеживался, вся толща глубже верхнего прогретого слоя характеризовалась отрицательными температурами.

В центральной и южной частях Карского моря заток опреснённых вод хорошо прослеживался по всем гидролого-гидрохимическим характеристикам. Температура тонкого (до 5 м) распреснённого (менее 10 епс) слоя была выше 8 °С, содержание растворённого кислорода было выше, чем в морских водах (более 8 мл/л), концентрация силикатов достигала очень высоких значений – более 90 µM (рис. 4).

Для августа такой характер распределения гидролого-гидрохимических характеристик уникален как по очень низким значениям солёности и высоким

концентрациям кремния, так и по характеру распределения самой линзы, которая обычно направлена на север, северо-восток, реже на северо-запад, а проникновение распреснённых вод через пролив Малыгина не фиксировался ранее, что требует дальнейшего исследования.

В результате в 96-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» был собран уникальный материал как по количеству определяемых параметров, так и по объёму территории: от малоизученных районов глубоководных жёлобов на севере, по которым в Баренцево и Карское моря проходят затоки тёплых атлантических вод, оказывающих существенное влияние на всю экосистему этих морей, до южных районов морей, подверженном наиболее сильному влиянию распреснённых вод.

Благодарности

Авторы благодарят весь научный и судовой состав, принимавший участие в получении данных измерений в 96-м рейсе НИС «Академик М. Келдыш».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при подготовке данной статьи.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

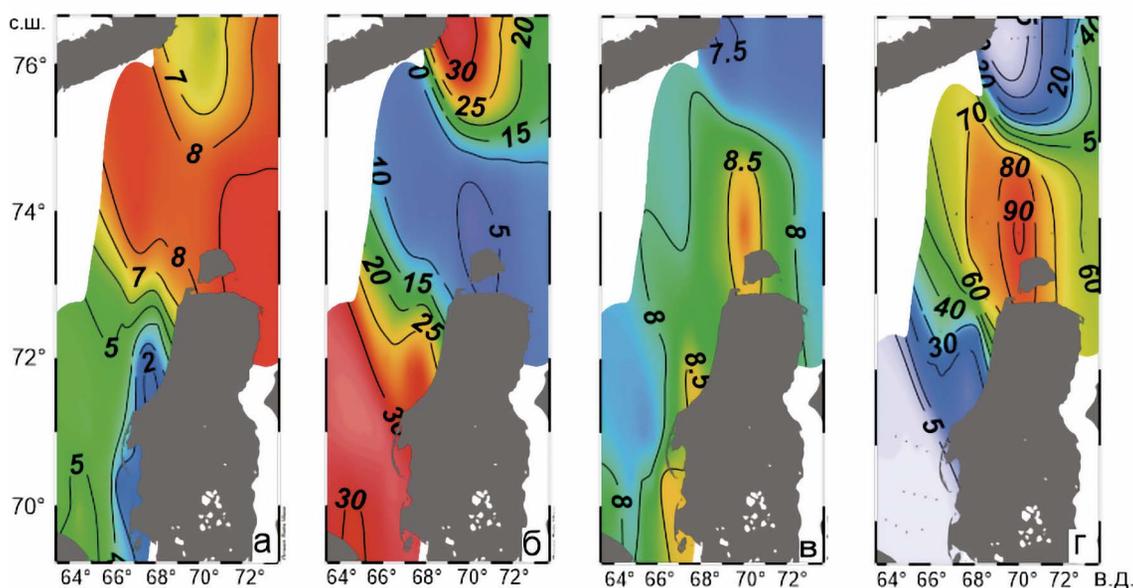


Рис. 4. Распределение температуры, °С (а), солёности, епс (б), содержания растворённого кислорода, мл/л (в) и концентрации силикатов, µM (г) в поверхностном слое в Карском море

Fig. 4. Distribution of temperature, C (a), salinity, psu (б), dissolved oxygen content, ml/L (в), silicates µM (г) in the upper layer of the Kara Sea

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН № FMWE-2024–0020. При поддержке гранта РФФИ 20–17–00157-П, <https://rscf.ru/project/20-17-00157/> были выполнены исследования по структуре вод и гидролого-гидрохимическим характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

Сапожников В. В., Агатова А. И., Аржанова Н. В., Мордасова Н. В., Лапина Н. М., Зубаревич В. Л., Лукьянова О. Н., Торгунова Н. И. 2003. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО. 202 с.

REFERENCES

Sapozhnikov V. V., Agatova A. I., Arzhanova N. V., Mordasova N. V., Lapina N. M., Zubarevich V. L., Lukyanova O. N., Torgunova N. I. 2003. Guidance on the chemical analysis of marine and fresh waters during ecological monitoring of fishery reservoirs and areas of the World Ocean. Moscow: VNIRO Publish. 202 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 13.11.2024 г.