

УДК 551.465

## ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД ПРОЛИВА БРАНСФИЛДА В ЯНВАРЕ 2022 г.

© 2023 г. А. М. Селиверстова<sup>1</sup> \*, О. А. Зуев<sup>1</sup>, А. А. Полухин<sup>1</sup>,  
А. Л. Чульцова<sup>1</sup>, А. В. Масевич<sup>2</sup>, Р. З. Мухаметьянов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,  
Нахимовский проспект, д. 36, Москва, 117997 Россия

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН,  
Капитанская улица, д. 2, Севастополь, 299011 Россия

\*e-mail: 201219941315ann@gmail.com

Поступила в редакцию 01.12.2022 г.

После доработки 17.03.2023 г.

Принята к публикации 27.03.2023 г.

Работа посвящена исследованию абиотических характеристик вод пролива Брансфилда в январе 2022 г. Был повторен поперечный разрез января 2020 года от Антарктического полуострова до Южных Шетландских островов, а также получены новые данные — добавлены 2 разреза в восточной и западной частях пролива. Схема течений в проливе отражает известные представления, абсолютные значения скоростей составляют до 50 см/с в северо-восточном направлении и до 35 см/с в юго-западном. В исследованном районе ярко выделяются модифицированные воды моря Беллинсгаузена (теплые и наименее соленые, с пониженными значениями общей щелочности и всех биогенных элементов), модифицированные воды моря Уэдделла (более холодные и соленые, с пониженными значениями силикатов и нитратов), а также Глубинная циркумполярная вода в слое 200–450 м (теплые и соленые, с низкими значениями растворенного кислорода и рН и повышенным содержанием фосфатов, силикатов и нитратов). В придонных водах пролива серьезных изменений в структуре не выявлено. Межгодовая изменчивость абиотических характеристик вод пролива Брансфилда выражена слабо.

**Ключевые слова:** Южный океан, пролив Брансфилда, термохалинная структура, течение, гидрохимическая структура, биогенные элементы

**DOI:** 10.31857/S0030157423040172, **EDN:** YBEBZI

### ВВЕДЕНИЕ

Пролив Брансфилда расположен в Атлантическом секторе Южного океана, на границе моря Уэдделла и пролива Дрейка, и отделяет Южные Шетландские острова от Антарктического полуострова. Пролив разделен на три основных бассейна — западный, центральный и восточный, с максимальными глубинами 1370, 1960 и 2750 м соответственно [19]. Бассейны отделены друг от друга подводными хребтами с глубинами, не превышающими 1000 м [28]. Водные массы пролива в основном формируются под воздействием пресноводного стока с островов и двух водных масс — модифицированной воды моря Беллинсгаузена (мБВ), заходящей в пролив с запада и прижатой к Южным Шетландским островам, и модифицированной воды моря Уэдделла (мУВ), проникающей в пролив с востока и проходящей вдоль Антарктического полуострова [17, 32]. Также в водах пролива прослеживается заток южной ветви Атлантического циркумполярного тече-

ния (АЦТ) [10], на глубине 200–450 м несущий воды модифицированной Циркумполярной глубинной воды (мЦГВ).

Для региона пролива Брансфилда характерны сильные климатические изменения, влияющие на океанографические, биологические и метеорологические условия [21, 33]. Изменения гидрохимических характеристик могут повлиять на объемы первичной продукции и фитопланктон — кормовую базу криля *Euphausia superba* Dana — что приведет к дестабилизации трофических цепей и изменения его ареала. *E. superba* является объектом промысловой добычи в данном регионе, а также кормовой базой для всей ихтиофауны, пингвинов, китообразных и ластоногих Антарктиды [1, 11, 22, 29, 30].

Данная работа является продолжением работ января 2020 года в 79-м рейсе на НИС “Академик Мстислав Келдыш” [4, 5, 7]. Были выделены основные водные массы, участвующие в формировании структуры вод и выделены их характери-

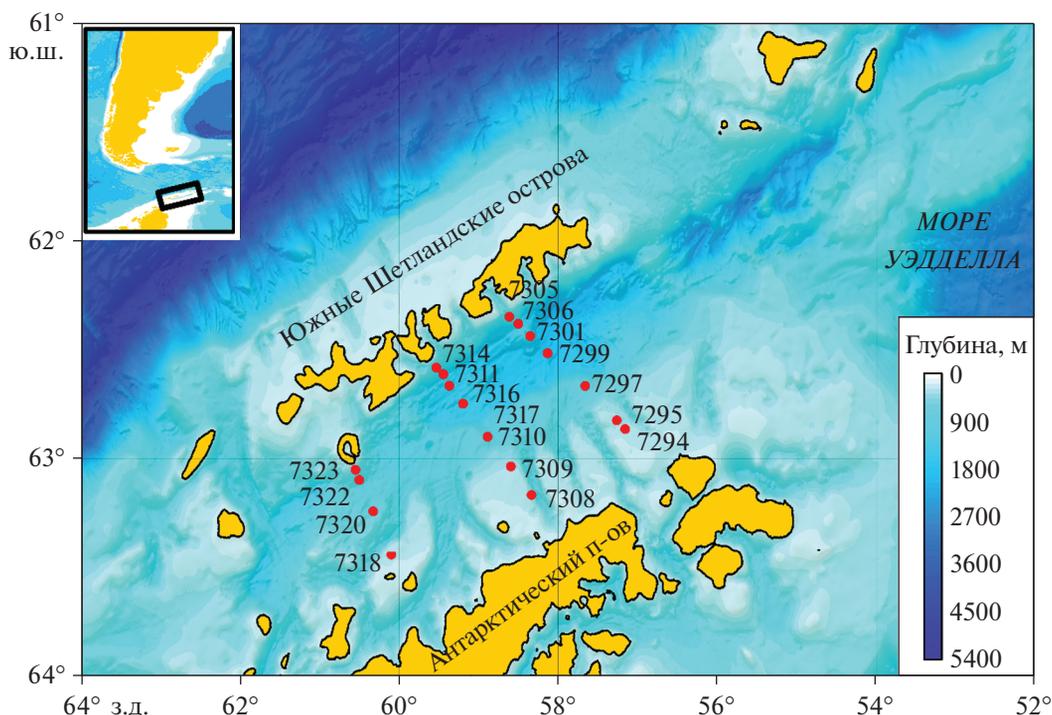


Рис. 1. Схема расположения станций в проливе Брансфида. Рельеф дна показан в соответствии с базой данных GEBCO2021.

стики, не только гидрологические, но и гидрохимические.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными материалами для исследования гидрохимической структуры вод пролива Брансфида послужили результаты 87-й экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Атлантическом секторе Южного океана [6]. Работы в проливе велись с 21.01.2022 по 27.01.2022 и включали в себя три поперечных разреза в центральной котловине – Восточный (7 станций), Центральный (7 станций) и Западный (4 станции) (рис. 1). Центральный разрез являлся повторением разреза 2020 года [7].

Гидрологические измерения на станциях были получены с помощью STD-зонда Idronaut OCEAN SEVEN 320Plus (Италия). Зондирующий комплекс укомплектован высокоточным температурно-скомпенсированным датчиком давления (РА–10Х), имеющим точность 0.01% и разрешение 0.002% на полный диапазон измерения (0–100 Мра), двумя дублирующими датчиками температуры, имеющими диапазон измерения от –5 до 45°C, первоначальную точность 0.001°C, разрешение 0.0001°C. Два дублирующих датчика электропроводности имеют диапазон измерения от 0 до 7 См/м, первоначальная точность 0.0001 См/м, разрешение 0.00001 См/м.

Измерения течений производились с помощью погружного акустического доплеровского профилографа (Lowered Acoustic Doppler Current Profiler, LADCP) TRDI Workhouse Monitor частотой 300 кГц работающего в паре с судовым акустическим доплеровским профилографом (Shipborne Acoustic Doppler Current Profiler, LADCP) TRDI Ocean Surveyor-75 частотой 75 кГц. Оба профилографа производства Teledyne Technologies Inc., США. Полученные данные обрабатывались с помощью программного пакета LDEO Software ver. IX.10 [34]. Итоговая точность измерений составляла 3–4 см/с, для придонных слоев до 1–2 см/с благодаря данным “bottom track”. Дополнительно были учтены приливные силы, рассчитанные с помощью программного обеспечения, описанного в [12].

Пробы для гидрохимических анализов отбирались на станциях пластиковыми пятилитровыми батометрами комплекса ROSETTE на горизонтах, выбранных исходя из вертикального распределения температуры, солёности и флуоресценции. Отбор проб и определение гидрохимических параметров велось в соответствии с принятыми методиками [8] не позднее 6–12 ч после отбора.

Растворенный кислород в морской воде анализировали с помощью модифицированного метода Винклера с использованием микробюретки Brinkman/Dosimate-765. Чувствительность метода составляет 0.02 мг/л, воспроизводимость опре-

деления не превышает 3.4%. Расчет насыщения кислородом производили по формуле Вейсса [35].

Измерения pH выполняли при температуре  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  с помощью pH-электрода SI Analytics по РД 52.24.495-2005 “Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом”. Калибровка pH-электрода проводилась раз в 3 дня буферными растворами фирмы Metrohm. Точность измерения составляла 0.02. Далее pH пересчитывался в значения *in situ* в шкале NBS.

Анализ общей щелочности (ТА) проводился прямым титрованием в открытой ячейке соляной кислотой (0.02M). В процессе титрования пробы воды продували потоком воздуха, освобожденным от углекислого газа и аммиака. Точку эквивалентности (pH 5.4) определяли потенциометрически. Титр HCl устанавливали ежедневно по стандартному раствору соды, приготовленному весовым способом с учетом вакуумной поправки. Титрование осуществляли с помощью автотитратора SI Analytics 5000 M2 (Германия). Воспроизводимость титрования составила  $\pm 2.6$  мкмоль/кг. Введение температурной поправки на pH и расчет элементов карбонатной системы осуществлялся с помощью программы CO2SYS [24].

Определение содержания растворенного неорганического фосфора ( $\text{PO}_4^-$ ) проводилось колориметрически в соответствии с РД 52.24.382-2006 “Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом”. Предел обнаружения фосфатов составлял 0.02 мкм. Воспроизводимость составила не более (при вероятности 0.95) 10%.

Определение растворенного неорганического кремния ( $\text{SiO}_3^-$ ) проводилось по методу Королева [8] с образованием голубого молибденового комплекса. При ожидаемо высоких величинах содержания кремния, пробы предварительно разбавлялись 1 : 2 или 1 : 10 малокремневой морской водой. Предел обнаружения силикатов составлял 0.02 мкм. Воспроизводимость составила (при вероятности 0.95) не более 10%.

Определение нитритного азота ( $\text{NO}_2^-$ ) проводилось колориметрически по РД 52.24.518-2008 “Массовая концентрация нитритов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с сульфаниламидом и N-(1-нафтил) этилендиаминадигидрохлоридом”. Предел обнаружения нитрита составлял 0.02 мкм. Воспроизводимость составила (при вероятности 0.95) от 6 до 25%.

Определение нитратного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) проводилось по РД 52.24.380-2006 “Массовая концен-

трация нитратов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом после восстановления в кадмиевом редуторе”. Предел обнаружения нитратов составлял 0.4 мкм, воспроизводимость определения – 7.4%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Гидрофизическая структура и динамика вод*

Распределение термohалинных параметров (рис. 2) практически однородно вдоль оси пролива при значительных градиентах поперек. Максимальные значения температуры наблюдались в поверхностном слое вдоль Южных Шетландских островов и составляли 1.27, 1.56 и  $1.52^\circ\text{C}$  для западного, центрального и восточного разрезов. Здесь же отмечены минимумы солёности – 34.22, 34.14 и 34.24 соответственно. Данные теплые и опресненные воды достигали глубин 100–150 м у берега и 50 м ближе к центру пролива. У противоположного берега, вдоль Антарктического полуострова, напротив зафиксированы минимальные значения температуры и максимальные солёности для верхнего 200 м слоя:  $-0.66^\circ\text{C}$  и 34.58,  $-0.62$  и 34.57,  $-0.73^\circ\text{C}$  и 34.60 для западного, центрального и восточного разрезов соответственно. Также теплая и солёная вода наблюдалась на глубинах 300–500 м на всех трех разрезах, значения в ядре достигали 1.08, 1.13 и  $1.08^\circ\text{C}$  для температуры и 34.73, 34.73 и 34.71 для солёности. Глубже 600 м градиенты значительно меньше, отмечено плавное понижение температуры и повышение солёности до  $-1.65^\circ\text{C}$  и 34.65 на самых глубоководных станциях. Эту водную массу можно отнести к воде пролива Брансфилда [2, 20].

Распределение скоростей течений представлено для двух разрезов – центрального и западного (рис. 3). Вдоль Южных Шетландских островов проходила узкая быстрая струя со скоростями до 50 и 23 см/с на центральном и западном разрезах соответственно. Течение на западном разрезе было слабее, но занимало больший слой, распространяясь практически до дна с ядром на глубине около 250 м. На центральном разрезе ядро располагалось в приповерхностном слое, а на глубине 500 м скорости затухали. В свою очередь, у Антарктического полуострова наблюдавшееся течение занимало только верхние 200 м, но доходило до середины пролива Брансфилда. Максимальные скорости достигали 23 см/с для центрального и 35 см/с для западного разрезов и были расположены на глубине около 100 м.

### *Растворенный кислород*

Содержание растворенного кислорода на разрезах варьировало от 4.64 до 8.00 мл/л, степень насыщения – от 59 до 102% (рис. 4). Минимальное содержание растворенного кислорода отме-

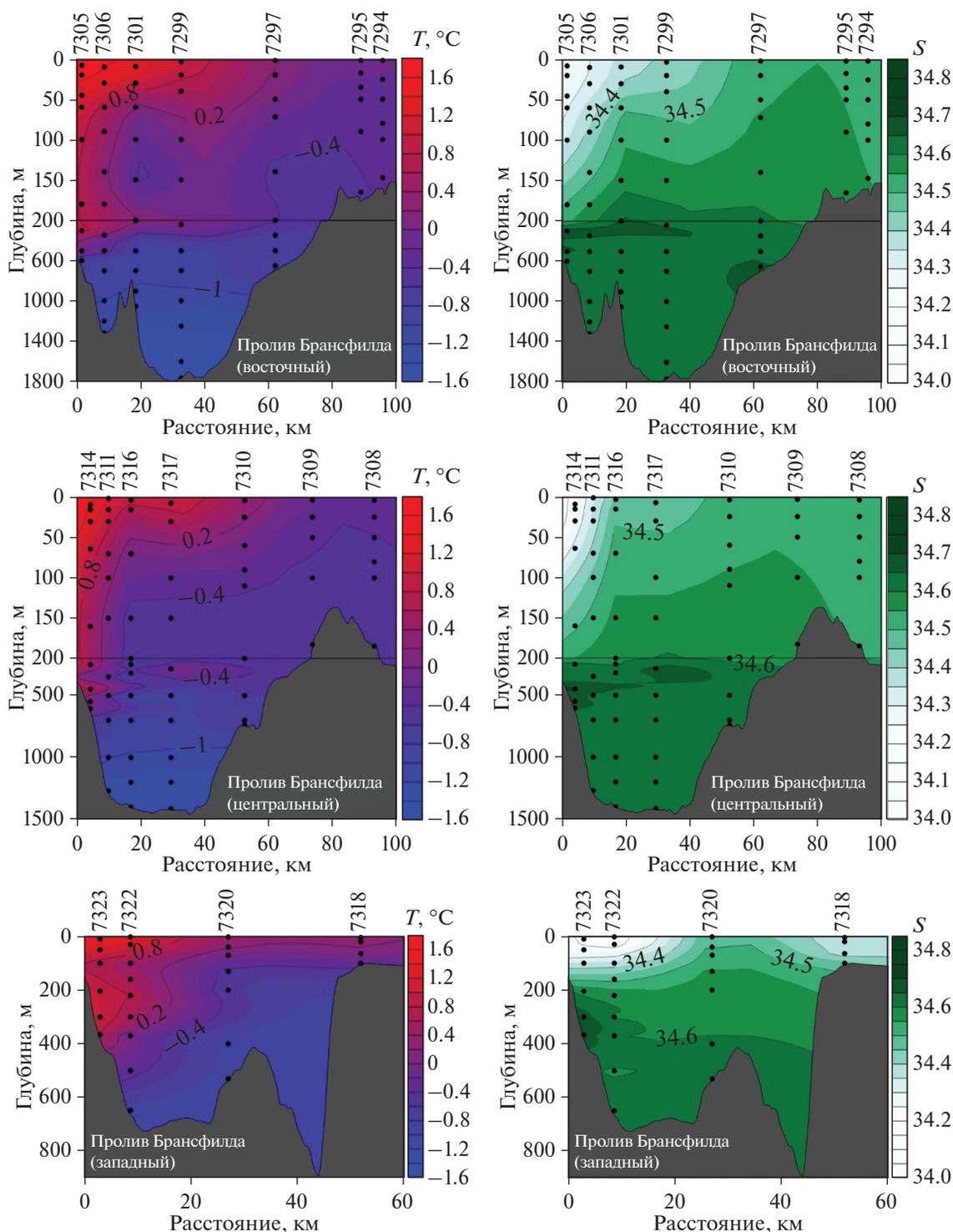


Рис. 2. Распределение температуры ( $T^{\circ}\text{C}$ ) и солёности ( $S$ ) на разрезах в проливе Брансфилда.

чено в северо-западной части пролива на глубинах 200–450 м – 4.64–5.15 мл/л, степень насыщения здесь составляет 59–64%. Такое ядро низкого содержания растворенного кислорода объясняется затокм мЦГВ [7] и отчетливо видно на всех трех разрезах в слое от 200 до 500 м. Максималь-

ные значения растворенного кислорода (7.50–8.00 мл/л) приходились на верхний, 50-метровый слой в северо-западной части пролива и заглублялись до горизонтов 100–150 м в юго-восточной. Ниже слоя мЦГВ (глубже 500 м) содержание и насыщение вод кислородом схоже с слоем над верх-

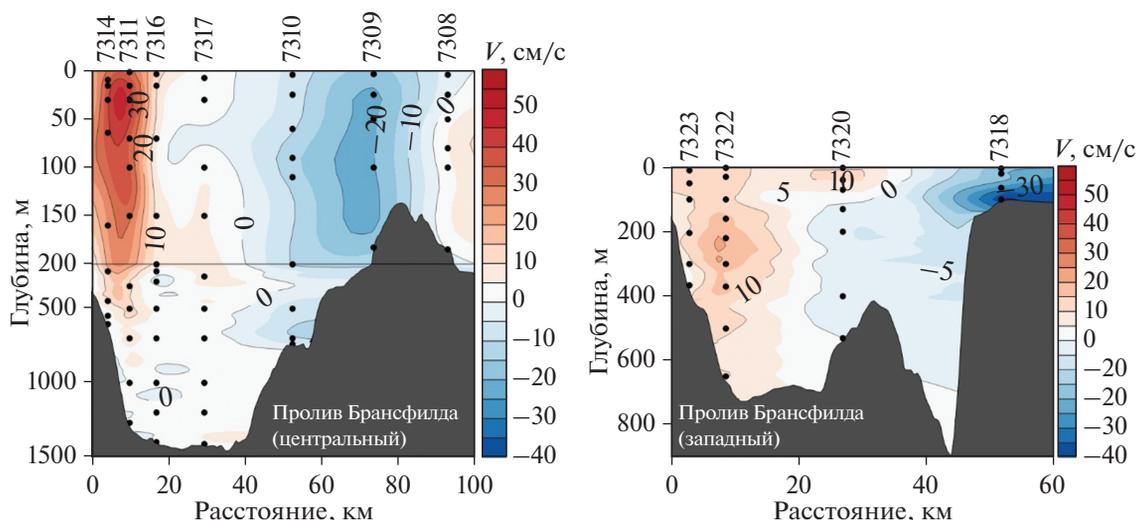


Рис. 3. Распределение скоростей течений ( $V$ , см/с). Скорость течений вдоль пролива перпендикулярно разрезам. Положительное направление на северо-восток.

ней границей мЦГВ, что указывает на процесс обмена глубоких слоев вод пролива с вышележащими слоями. В северо-западной части пролива, вблизи Южных Шетландских островов, наблюдался заток воды из моря Беллингаузена, а также пресноводный островной сток; юго-восточная часть пролива подвергалась воздействию вод из моря Уэдделла.

#### Величины рН и общей титруемой щелочности

Как и в распределении растворенного кислорода, минимальные значения величины водородного показателя отмечены в северо-западной части разреза, на глубинах 200–450 м (7.96–8.00 ед. NBS) (рис. 5). Максимальные значения рН также хорошо соотносились с распределением растворенного кислорода – в северо-западной, островной части разреза, максимальные значения наблюдались в верхнем 50-метровом слое, а в юго-восточной, материковой части заглублялись до горизонтов 100–150 м (8.10–8.16 ед. NBS).

Величина общей титруемой щелочности на разрезах колебалась от 2372  $\mu\text{M}$  до 2433  $\mu\text{M}$  (рис. 5). Воды с минимальным значением общей титруемой щелочности прослеживались до глубины 100 метров на станциях, расположенных у островной части пролива (2372–2390  $\mu\text{M}$ ). Максимум отмечен на горизонте 700 метров станции 7306 восточного разреза (2433  $\mu\text{M}$ ), и на горизонте 367 м станции 7323 западного разреза (2426  $\mu\text{M}$ ). В распределении общей щелочности в приостровных частях разрезов виден локальный минимум, связанный, скорее всего, с совместным влиянием мБВ и стока талых вод с островов архипелага.

#### Растворенные фосфор и кремний

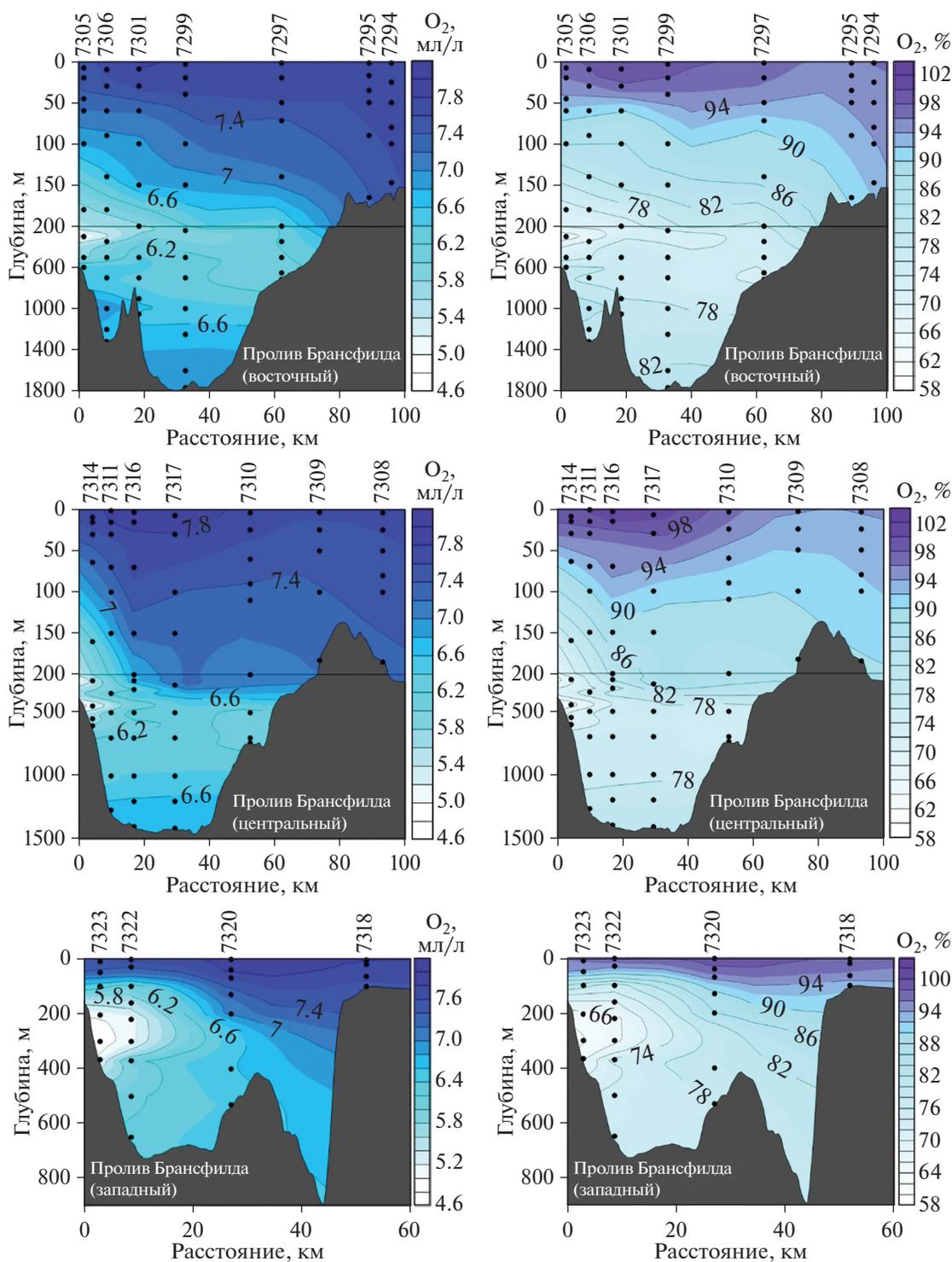
Концентрации растворенного неорганического фосфора на разрезах находились в пределах 1.67–2.26  $\mu\text{M}$  (рис. 6). Минимальные значения (1.67–1.76  $\mu\text{M}$ ) отмечены в слое вод 9–30 м станции 7314 центрального разреза. Максимальные значения (2.25–2.26  $\mu\text{M}$ ) – на глубинах 220–300 метров станции 7322 западного разреза. В целом, минимальные значения растворенного фосфора наблюдались в верхнем, 50-метровом слое, однако на островных станциях разрезов содержание растворенного фосфора было ниже, чем на материковых.

Содержание растворенного кремния на разрезах составляло от 64.6 до 92.7  $\mu\text{M}$  (рис. 6). Горизонты 200–450 м на островных станциях, приуроченные к влиянию мЦГВ, отмечены повышенным содержанием силикатов (83.4–92.7  $\mu\text{M}$ ). Воды, привнесенные из морей Беллингаузена и Уэдделла, под влиянием пресноводного стока с островов и материка, отличались низким содержанием кремния – около 65–70  $\mu\text{M}$ .

#### Минеральные формы азота

Содержание нитритного азота на разрезе составляло 0–0.17  $\mu\text{M}$  (рис. 7). Наибольшие концентрации наблюдались в верхнем 100-метровом слое (максимум – 0.17  $\mu\text{M}$  – в поверхностном слое станций 7320 и 7311). Глубже 200 метров содержание нитритов резко снижалось с 0.10  $\mu\text{M}$  до нуля.

Распределение нитратного азота на разрезе в целом схоже с распределением остальных гидрохимических параметров: выделялся максимум содержания нитратов в зоне влияния мЦГВ

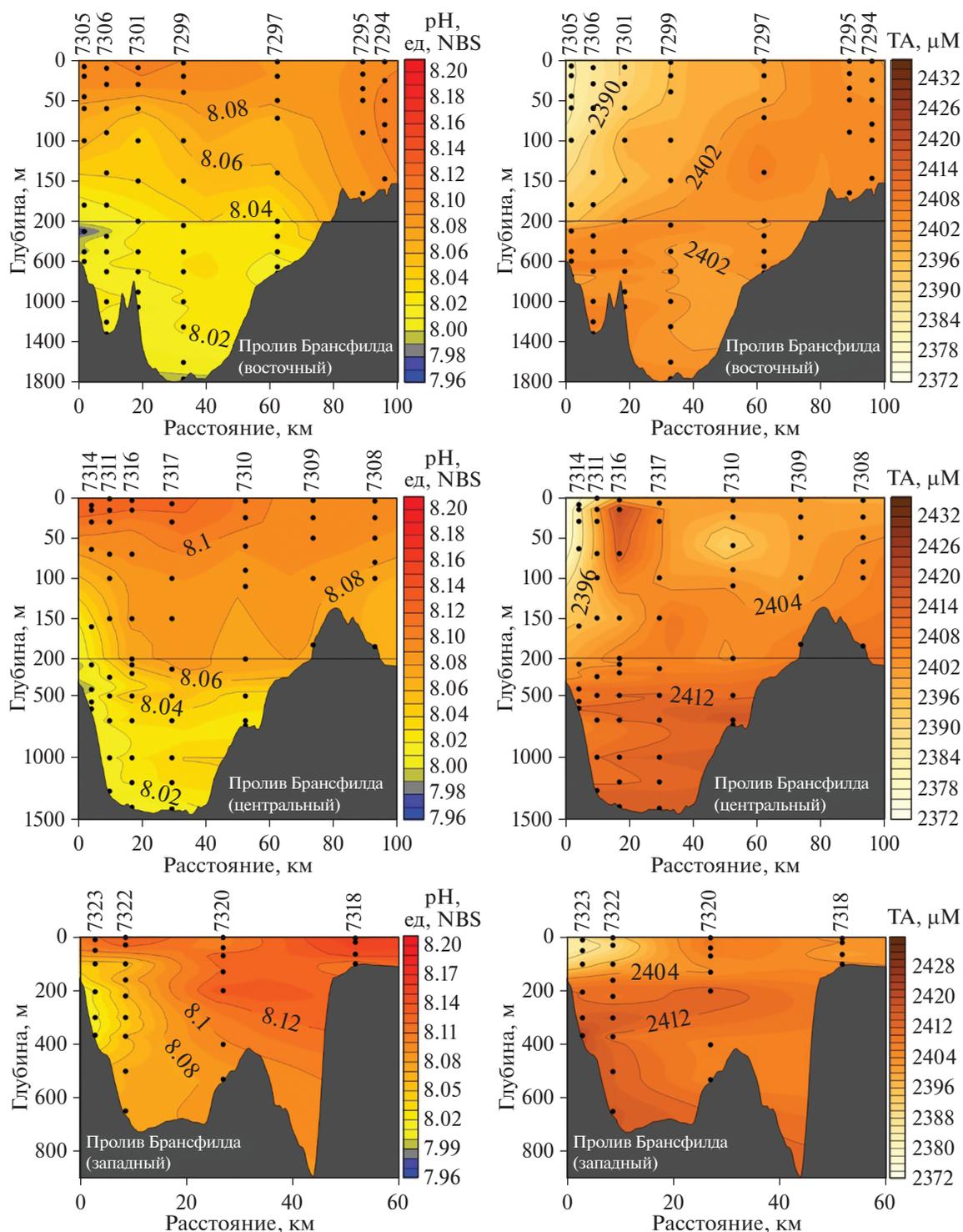


**Рис. 4.** Содержание растворенного кислорода ( $O_2$ , мл/л) и степени насыщения кислородом ( $O_2$ , %) на разрезах в проливе Брансфилда.

(38.7  $\mu\text{M}$  на горизонте 500 метров станции 7316 и 37.7–38.5  $\mu\text{M}$  на горизонтах 160–300 м станции 7322) и минимум – в поверхностных горизонтах (23.7 и 24.0  $\mu\text{M}$  на станциях 7301 и 7294 соответственно) (рис. 8).

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе работ 2022 г. результаты анализа термохалинной структуры и динамики вод пролива Брансфилда, хорошо согласуются с



**Рис. 5.** Распределение водородного показателя (рН, ед. NBS) и величин общей титруемой щелочности (ТА,  $\mu\text{M}$ ) на разрезах в проливе Брансфила.

литературными данными [3, 13–16, 32]. В верхнем 500 м слое отчетливо выделяются три водные массы: модифицированная вода моря Уэдделла (МУВ), модифицированная вода моря Беллингаузена (МБВ), модифицированная циркумпольярная глу-

бинная вода (мЦГВ) [32]. Условной границей всех трех водных масс служит изотерма  $0^\circ\text{C}$  (рис. 9).

При этом МУВ также хорошо выделяется по динамике вод, а МБВ и мЦГВ различаются по солености. Также прослеживается ожидаемое ослаб-

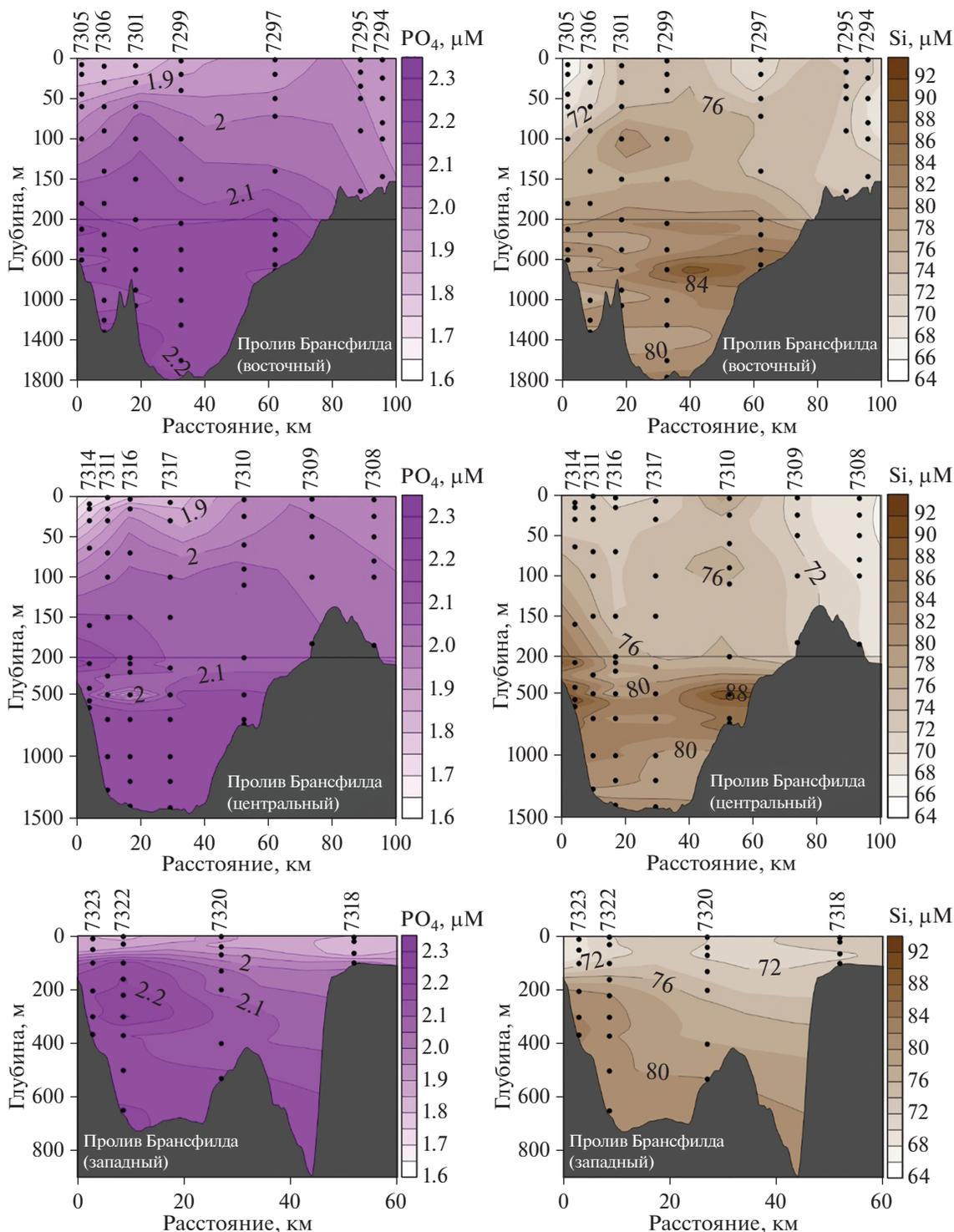


Рис. 6. Распределение растворенного фосфора ( $PO_4$ ,  $\mu M$ ) и кремния ( $Si$ ,  $\mu M$ ) на разрезах в проливе Брансфилда.

ление влияния мЦГВ с запада на восток и схожее ослабление МУВ в обратном направлении. Изменений в структуре мБВ вдоль пролива не наблюдалось. Нижележащий слой – Глубинные воды пролива Брансфилда (ГБВ) – слабо стратифицирован и практически однороден по термохалин-

ным параметрам. Данные воды, в основном, относятся к морю Уэдделла, принесены Антарктическим склоновым течением и частично сформированы уже в самом проливе [18].

Полноценно проанализировать структуру течений невозможно ввиду отсутствия данных на

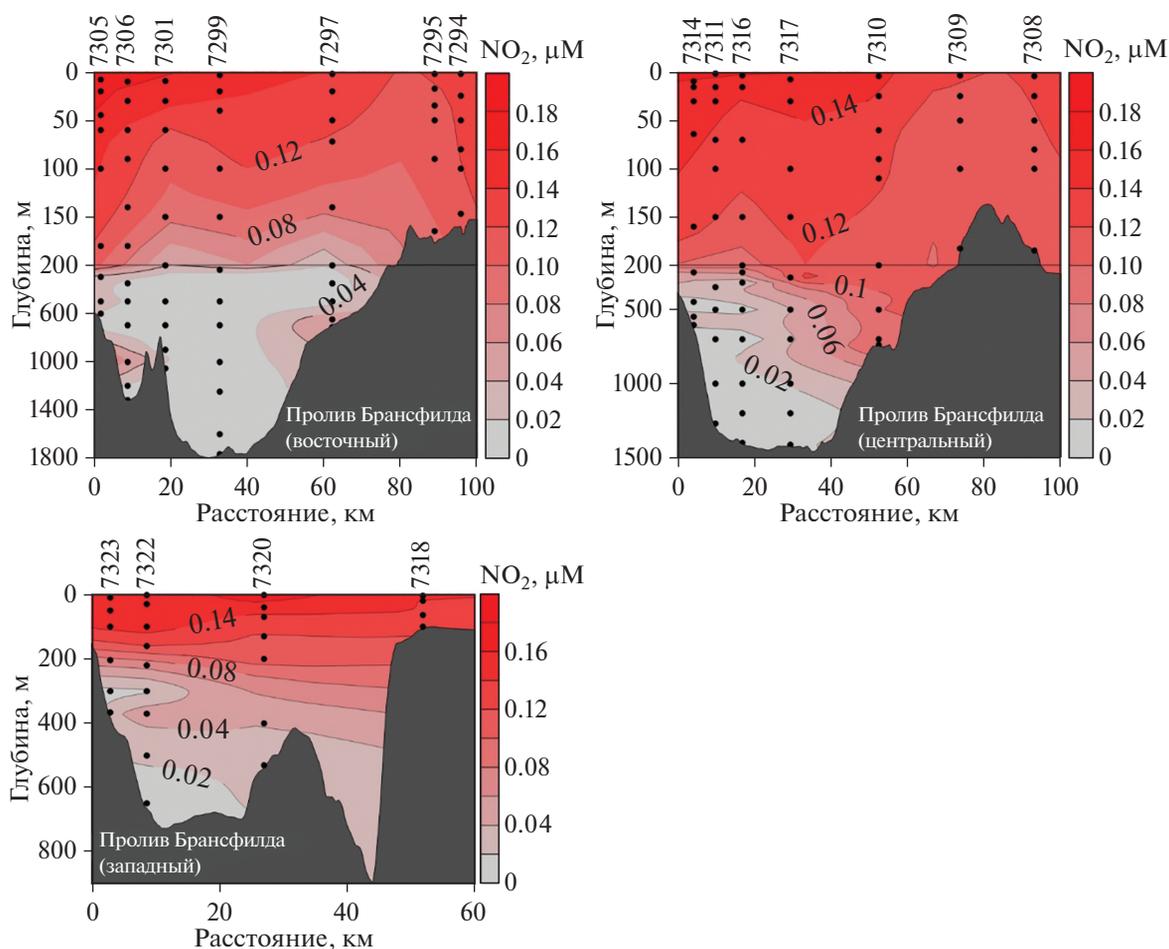


Рис. 7. Распределение нитритного азота ( $\text{NO}_2$ ,  $\mu\text{M}$ ) на разрезах в проливе Брансфилда.

восточном разрезе, но известные течения Брансфилда и Антарктическое прибрежное течение отчетливо выделяются на обоих имеющихся разрезах. Скорости и структура центрального разреза очень близки к предыдущим данным [23], а сделанный впервые западный разрез показывает более сильное проникновение вод МУВ на юг, чем считалось ранее [21]. Подробнее динамика вод обсуждается в работе [15].

Распределение гидрохимических параметров в проливе Брансфилда имеет высокую пространственную неоднородность, отражает взаимодействие водных масс, и в целом повторяет распределение водных масс и их характеристики, полученные в 2020 г. (рис. 10) [7]. В данной работе, в отличие от работы 2020 г., рассмотрены три поперечных разреза, что позволило оценить пространственную изменчивость термохалинных и гидрохимических параметров в проливе.

Сравнивая результаты, полученные за две экспедиции, можно заметить, что гидрохимические параметры водных масс МУВ и ГБВ отличаются достаточной стабильностью: величины всех по-

казателей не слишком изменились за два года, несмотря на то, что модифицированная вода моря Уэдделла прослеживалась в верхнем деятельном, довольно динамичном, слое. Некоторые различия отмечены только в содержании растворенного кремния – в 2022 году его средняя величина была ниже, чем в 2020 (78  $\mu\text{M}$  в 2020 г. и 75  $\mu\text{M}$  в 2022 г. для МУВ; 85  $\mu\text{M}$  в 2020 г. и 80  $\mu\text{M}$  в 2022 г. для ГБВ).

Воды мБВ и мЦГВ различаются по гидрохимическим характеристикам в 2020 и 2022 гг. Содержание растворенного кислорода и степень его насыщения в 2022 г. уменьшились (с 7.63 мл/л и 98% насыщения до 7.33 мл/л и 93% насыщения для мБВ и с 5.96 мл/л и 74% насыщения до 5.19 мл/л и 66% насыщения для мЦГВ), как и содержание растворенного кремния (с 84 до 74  $\mu\text{M}$  в мБВ и с 99 до 85  $\mu\text{M}$  в мЦГВ). Среднее содержание нитратного азота, напротив, повысилось с 27 до 30  $\mu\text{M}$  (мБВ) и с 33 до 35  $\mu\text{M}$  (мЦГВ). Величины pH, общей щелочности и нитритного азота остались практически неизменными. Такие различия по годам в случае мБВ можно объяснить ее залегани-

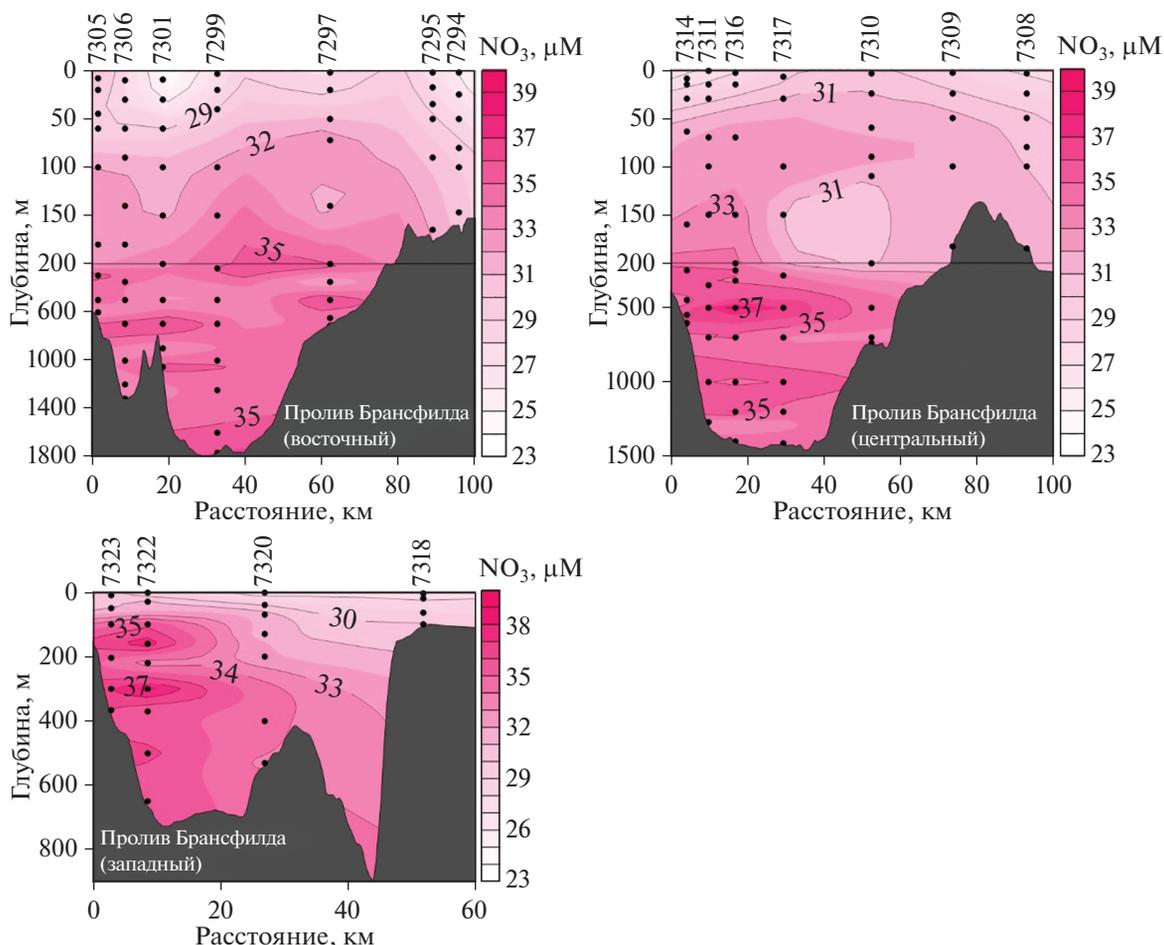


Рис. 8. Распределение нитратного азота ( $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{M}$ ) на разрезах в проливе Брансфилда.

ем на небольших глубинах пролива и, как следствие, большей подверженностью продукционно-деструкционным процессам. мЦГВ же в ходе обеих экспедиций наблюдалась очень локально и, возможно, разница между гидрохимическими показателями связана с недостаточно частым расположением станций и горизонтов отбора для полноценного изучения данной структуры вод.

По данным представленного исследования четко выделяется заток южной ветви АЦТ и привнесенной им модифицированной водной массы ЦГВ, проходящий на глубине 200–450 м вдоль Южных Шетландских островов. Он характеризуется низкими значениями растворенного кислорода, пониженным значением водородного показателя, повышенным содержанием растворенного фосфора, кремния и нитратного азота, повышенной температурой и соленостью (табл. 1). Наиболее ярко признаки присутствия мЦГВ отмечены на западном разрезе.

В верхнем слое вод пролива Брансфилда хорошо заметно присутствие двух водных масс – вод, пришедших из морей Беллинсгаузена и Уэдделла. Воды моря Беллинсгаузена, теплые и наименее

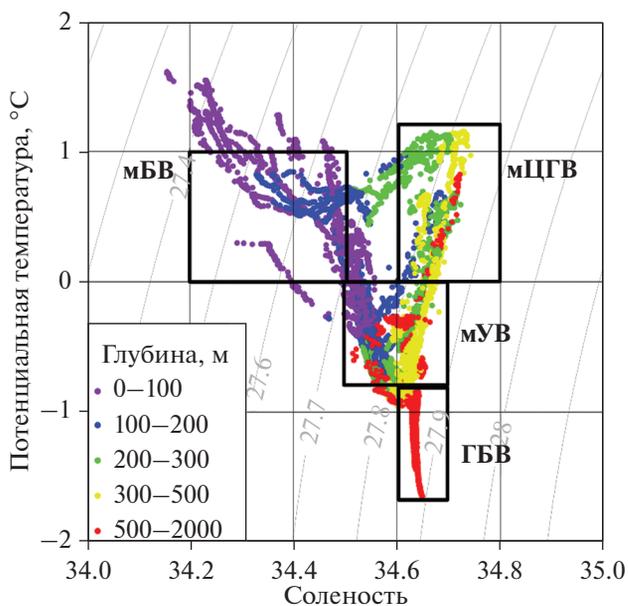
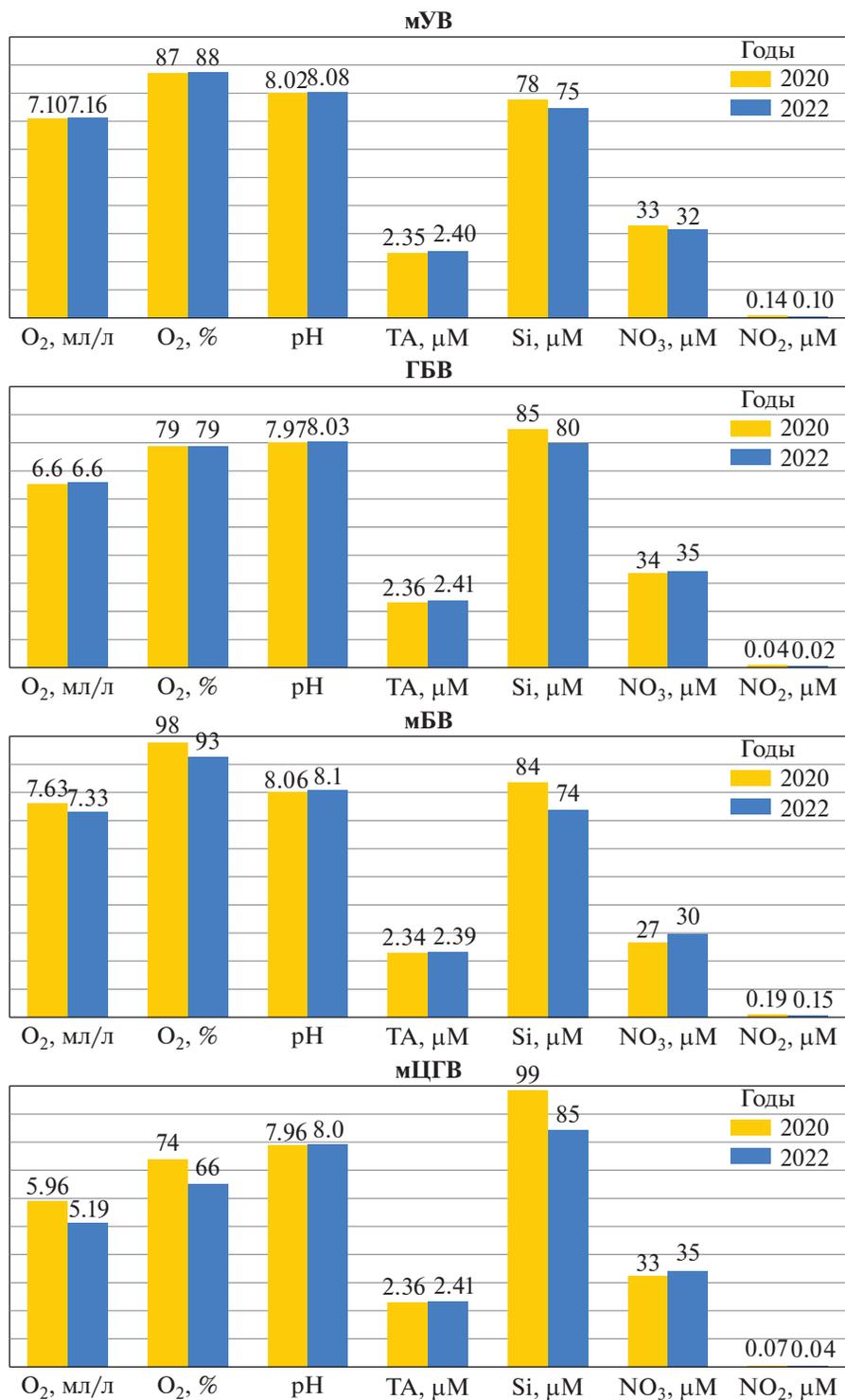


Рис. 9  $\theta$ - $S$ -кривые в проливе Брансфилда. Серыми линиями обозначена потенциальная плотность на поверхности моря. Черными прямоугольниками выделены границы соответствующих водных масс.



**Рис. 10.** Диаграммы сравнения величин гидрохимических параметров по водным массам за 2020 и 2022 гг, где мБВ – модифицированная вода моря Беллингаузена, МУВ – модифицированная вода моря Уэдделла, мЦГВ – модифицированная Циркумполярная глубинная вода, ГВВ – глубинная вода пролива Брансфила.

солёные, отличаются низкими значениями общей щёлочности (что может говорить о том, что свою долю в этом притоке имеет и сток талых вод с Южных Шетландских островов), растворённого

фосфора, кремния и нитратного азота. Воды, пришедшие из моря Уэдделла, более холодные и солёные, отличаются пониженными значениями кремния и нитратов. Также, по структуре распре-

**Таблица 1.** Распределение гидрохимических параметров для водных масс пролива

Водная масса		<i>T</i> , °C	<i>S</i> , ‰	O <sub>2</sub> , мл/л	pH	TA, µM	PO <sub>4</sub> , µM	Si, µM	NO <sub>3</sub> , µM	NO <sub>2</sub> , µM
мБВ	Среднее	0.81	34.37	7.33	8.10	2392	1.91	74.1	29.9	0.15
	Ст. откл.	0.38	0.10	0.59	0.03	10	0.13	4.8	2.9	0.01
	Минимум	0	34.11	5.52	8.02	2372	1.67	65.2	23.8	0.12
	Максимум	1.73	34.50	8.00	8.16	2422	2.20	85.4	37.7	0.17
мУВ	Среднее	−0.51	34.59	7.16	8.08	2404	2.05	75.4	31.6	0.10
	Ст. откл.	0.21	0.05	0.58	0.03	5	0.08	5.6	2.7	0.03
	Минимум	−0.80	34.40	6.02	8.01	2393	1.91	64.6	26.2	<0.02
	Максимум	0	34.68	7.78	8.14	2418	2.19	90.7	36.3	0.13
мЦГВ	Среднее	0.70	34.68	5.20	8.00	2410	2.17	84.9	35.4	0.04
	Ст. откл.	0.35	0.03	0.43	0.02	6	0.05	3.5	1.0	0.03
	Минимум	0	34.60	4.64	7.90	2401	2.12	81.3	33.6	<0.02
	Максимум	1.18	34.77	5.81	8.00	2426	2.25	92.7	36.8	0.07
ГБВ	Среднее	−1.06	34.63	6.56	8.03	2408	2.15	80.2	34.7	0.02
	Ст. откл.	0.22	0.01	0.25	0.02	6	0.07	2.7	1.5	0.02
	Минимум	−1.65	34.57	6.20	7.99	2400	1.80	75.1	32.1	<0.02
	Максимум	−0.80	34.65	7.48	8.10	2416	2.23	82.9	36.6	0.12

Примечание. *T* – температура, *S* – соленость, O<sub>2</sub> – растворенный кислород, pH – водородный показатель, TA – общая титруемая щелочность, PO<sub>4</sub> – фосфаты, Si – силикаты, NO<sub>3</sub> – азот нитратов, NO<sub>2</sub> – азот нитритов. мБВ – модифицированная вода моря Беллинсгаузена, мУВ – модифицированная вода моря Уэдделла, мЦГВ – модифицированная Циркумполярная глубинная вода, ГБВ – Глубинная вода пролива Брансфилда.

деления гидрохимических параметров, можно заметить, что первая водная масса сильно прижата к берегам Южных Шетландских островов и распространяется до глубины 50 м, тогда как вторая отходит достаточно далеко от Антарктического полуострова и заглубляется до 150–200 м.

Слой вод ниже мУВ и мБВ – Глубинная вода пролива Брансфилда – слабо стратифицирован, вертикальное распределение рассмотренных параметров здесь отражает простую структуру вод (без выраженных экстремумов) и имеет тенденцию к увеличению или уменьшению согласно классическим представлениям [9].

Сравнивая результаты работ 2020 и 2022 гг. можно заключить, что временная изменчивость гидрологических и гидрохимических характеристик выражена незначительно. Слабые отличия отмечаются в концентрациях биогенных элементов, что может быть вызвано в верхнем деятельном слое продукционно-деструкционными процессами биологической компоненты экосистемы вод пролива Брансфилда, связанными с формированием здесь молодежи криля *Euphasia superba* Dana [29], а в слое мЦГВ – с гидрологическими процессами, в частности апвеллингами [25], и морфологией дна [31] на шельфе Антарктиды. Наблюдаемая изменчивость гидрологических характеристик водных масс, особенно вод Арктического циркумполярного течения [26], может яв-

ляться результатом наблюдаемых климатических изменений в Южном океане, вызванных, в первую очередь, таянием ледникового щита [25, 27].

**Источники финансирования.** Работа выполнена в рамках Госзадания ИО РАН FMWE-2021-0016, при поддержке гранта РНФ 21-77-20004 (анализ судовых измерений).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанова Н.В., Артамонова К.В. Гидрохимическая структура вод в районах промысла антарктического криля *Euphausia superba* Dana // Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 118–132.
2. Кашин С.В., Антипов Н.Н., Чистяков И.А. и др. Межгодовая изменчивость структуры и характеристик вод пролива Брансфилд по данным наблюдений ААНИИ // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 18–24 апреля 2021 г. Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2021. С. 81–82. <https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-3-9>.
3. Морозов Е.Г. Течения в проливе Брансфилда // Докл. Акад. наук. 2007. Т. 415. № 6. С. 823–825.
4. Морозов Е.Г., Флинт М.В., Спиридонов В.А. и др. Программа комплексных экспедиционных исследований экосистемы Атлантического сектора Южного океана (декабрь 2019–март 2020 г.) // Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 1086–1088.
5. Морозов Е.Г., Спиридонов В.А., Молодцова Т.Н. и др. Исследования экосистемы атлантического секто-

- ра Антарктики (79-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2020. Т. 60. № 4. С. 823–825.
6. Морозов Е.Г., Флинт М.В., Орлов А.М. и др. Гидрофизические и экосистемные исследования в атлантическом секторе Антарктики (87-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2022. Т. 62. № 5. С. 825–827.  
<https://doi.org/10.31857/S003015742205015X>
  7. Полухин А.А., Морозов Е.Г., Тищенко П.П. и др. Структура вод пролива Брансфилда (Антарктика) в январе 2020 г.: гидрофизические, оптические и гидрохимические особенности // Океанология. 2021. Т. 61. № 5. С. 724–736.  
<https://doi.org/10.31857/S0030157421050105>
  8. Современные методы гидрохимических исследований океана / Под ред. Бордовского О.К. и др. М.: ИОАН СССР, 1992. 198 с.
  9. Степанов В.Н. Мировой океан: динамика и свойства вод. М.: Знание, 1974. 256 с.
  10. Тараканов Р.Ю., Гриценко А.М. Струи антарктического циркумполярного течения в проливе Дрейка по данным гидрофизических разрезов // Океанология. 2018. Т. 58. № 4. С. 541–555.
  11. Capella J.E., Quetin L.B., Hofmann E.E. et al. Models of the early life history of *Euphausia superba* – Part II. Lagrangian calculations // Deep-Sea Res. 1992. V. 39. P. 1201–1220.
  12. Egbert G.D., Erofeeva S.Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides // Journal of Atmospheric and Oceanic technology. 2002. V. 19. № 2. P. 183–204.
  13. Damini B.Yu., Kerr R., Dotto T.S. et al. Long-term changes on the Bransfield Strait deep water masses: Variability, drivers and connections with the northwestern Weddell Sea // Deep-Sea Res. Part I. 2022. V. 179. P. 103667.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr.2021.103667>
  14. Dorschel B., Gutt J., Huhn O. et al. Environmental information for a marine ecosystem research approach for the northern Antarctic Peninsula (RV Polarstern expedition PS81, ANT-XXIX/3) // Polar Biology. 2016. V. 39. № 5. P. 765–787.
  15. Frey D.I., Krechik V.A., Morozov E.G. et al. Water Exchange between Deep Basins of the Bransfield Strait // Water. 2022. V. 14. № 20. P. 3193
  16. Garcia M., Castro C., Rios A. et al. Water Masses and Distribution of Physico-chemical Properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral Summer 1995/96 // Deep-Sea Res. Part II. 2002. V. 49. № 4–5. P. 585–602.
  17. García M., López O., Sospedra J. et al. Mesoscale variability in the Bransfield Strait region (Antarctica) during Austral summer // Annales Geophysicae. 1994. V. 12. № 9. P. 856–867.
  18. Gordon A., Mensch M., Dong Z. et al. Deep and bottom water of the Bransfield Strait eastern and central basins // J. Geophys. Res. Oceans. 2000. V. 105. № C5. P. 11337–11346.
  19. Gordon A.L., Nowlin W.D. The basin waters of the Bransfield Strait // J. Phys. Oceanogr. 1978. V. 8. № 2. P. 258–264.
  20. Hofmann E.E., Klinck J.M., Lascara C.M. et al. Water Mass Distribution and Circulation West of the Antarctic Peninsula and Including Bransfield Strait // Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. Antarct. Res. Ser. 1996. V. 70. P. 61–80.
  21. Huneke W.G., Huhn O., Schroeder M. Water masses in the Bransfield Strait and adjacent seas, austral summer 2013 // Polar Biology. 2016. V. 39. № 5. P. 789–798.  
<https://doi.org/10.1007/s00300-016-1936-8>
  22. Kasyan V.V., Bitiutskii D.G., Mishin A.V. et al. Composition and Distribution of Plankton Communities in the Atlantic Sector of the Southern Ocean // Diversity. 2022. V. 14. P. 923.  
<https://doi.org/10/3390/d14110923>
  23. Krechik V.A., Frey D.I., Morozov E.G. Peculiarities of Water Circulation in the Central Part of the Bransfield Strait in January 2020 // Doklady Earth Sciences. Pleiades Publishing. 2021. V. 496. № 1. P. 92–95.  
<https://doi.org/10.1134/S1028334X21010116>
  24. Lewis E.R., Wallace D.W.R. Program developed for CO2 system calculations. Environmental System Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem (ESS-DIVE)(United States), 1998. CDIAC-105.
  25. Peck V.L., Allen C.S., Kender S. et al. Oceanographic variability on the West Antarctic Peninsula during the Holocene and the influence of upper circumpolar deep water // Quatern. Sci. Revs. 2015. V. 119. P. 54–65.
  26. Rubin S.I. Carbon and nutrient cycling in the upper water column across the Polar Frontal Zone and Antarctic Circumpolar Current along 170° W // Global Biogeochemical Cycles. 2003. V. 17. № 3.
  27. Rye C.D., Marshall J., Kelley M. et al. Antarctic glacial melt as a driver of recent Southern Ocean climate trends // Geophys. Res. Lett. 2020. 47. e2019GL086892.  
<https://doi.org/10.1029/2019GL086892>
  28. Sangrà P., Gordo C., Hernández-Arencibia M. et al. The Bransfield current system // Deep-Sea Res. Part I. 2011. V. 58. № 4. P. 390–402.
  29. Siegel V., Watkins J.L. Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba* // In: Siegel V. (Ed.) Biology and ecology of Antarctic krill. Advances in Polar Ecology. Springer, Cham., 2016. P. 21–100.
  30. Spiridonov V.A. Scenario of the Late-Pleistocene-Holocene Changes in the Distributional Range of Antarctic Krill (*Euphausia superba*) // Marine Ecology. 1996. V. 17. № 1–3. P. 519–541.
  31. St-Laurent P., Klinck J.M., Dinniman M.S. On the role of coastal troughs in the circulation of warm Circumpolar Deep Water on Antarctic shelves // J. Phys. Oceanogr. 2013. V. 43. № 1. P. 51–64.  
<https://doi.org/10.1175/JPO-D-11-0237.1>
  32. Tokarczyk R. Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis // Polish Polar Research. 1987. P. 333–366.
  33. Vaughan D., Marshall G., Connolley W. et al. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula // Climatic change. 2003. V. 60. № 3. P. 243–274.
  34. Visbeck M. Deep velocity profiling using Lowered Acoustic Doppler Current Profiler: Bottom track and inverse solution // Journal of atmospheric and oceanic technology. 2002. V. 19. № 5. P. 794–807.
  35. Weiss R.F. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater // Deep-Sea Res. 1970. V. 17. P. 721–735.

## The Hydrological and Hydrochemical Structure of the Waters of the Bransfield Strait in January 2022

A. M. Seliverstova<sup>1, #</sup>, O. A. Zuev<sup>1</sup>, A. A. Polukhin<sup>1</sup>,  
A. L. Chultsova<sup>1</sup>, A. V. Masevich<sup>2</sup>, R. Z. Mukhametnyanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: 201219941315ann@gmail.com*

The work is devoted to the study of the abiotic characteristics in the waters of the Bransfield Strait in January 2022. The cross-section of January 2020 was repeated from the Antarctic Peninsula to the Southern Shetland Islands, as well as new data – 2 cross-sections in the eastern and western parts of the Strait. The scheme of currents in the Strait reflects modern knowledge, absolute values have been measured up to 50 cm/s in the northeast direction and up to 35 cm/s in the southwest. In the studied area, the modified waters of the Sea of Bellingshausen are clearly distinguished (warm and least salted, with reduced values of total alkalinity and all nutrients), the modified waters of the Wedell Sea (colder and salty, with reduced values of silicates and nitrates), as well as Circumpolar Deep Water in layer 200–450 m (warm and salty, with low values of dissolved oxygen and pH and an increased content of phosphates, silicates and nitrates). In the bottom waters of the Strait, there were no serious changes in the structure. The amplitude of the interannual variability of the abiotic characteristics of the waters of the Bransfield Strait is poorly expressed, nevertheless it can serve as a marker of climatic changes in the Southern Ocean.

**Keywords:** Southern Ocean, Bransfield Strait, thermohaline structure, course, hydrochemical structure, nutrients