

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА

Научная статья

УДК 551.465(269.4)

EDN: QJFVQ

Климатическая структура и внутригодовая изменчивость температурных фронтов на поверхности океана в районе Патагонского шельфа

Ю. В. Артамонов , Е. А. Скрипалева, Н. В. Никольский

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

 *artam-ant@yandex.ru*

Поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 06.05.2024;
принята к публикации 16.05.2024.

Аннотация

Цель. Цель работы – проанализировать особенности среднесуточной структуры и внутригодовой изменчивости характеристик температурных фронтов на поверхности океана в районе Патагонского шельфа.

Методы и результаты. Использовались среднесуточные значения температуры на поверхности океана из массива *NOAA OI SST* и составляющих геострофической скорости на поверхности из реанализа *CMEMS* в узлах регулярной сетки с шагом $0,25^\circ$ за 1993–2020 гг. На западной периферии крупномасштабного циклонического меандра, образуемого течениями в районе Патагонского шельфа, южнее 45° ю. ш. выделены три ветви Субантарктического фронта, соответствующие Западному Фолклендскому течению и двум струям Восточного Фолклендского течения. Севернее 45° ю. ш., где наблюдается одна струя Фолклендского течения, выделена одна ветвь Субантарктического фронта. На восточной периферии выделены фронт, соответствующий общему потоку Бразильского течения и рециркуляции Фолклендского течения, и южнее 40° ю. ш. – отдельная ветвь Субантарктического фронта, соответствующая еще одной рециркуляции Фолклендского течения. Показано, что на западной периферии меандра ветви фронта максимально обостряются в феврале – марте, на восточной периферии – в марте – апреле, в зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений – в апреле – мае и ноябре.

Выводы. Выявлено, что основная ветвь Субантарктического фронта на западной периферии циклонического меандра южнее 45° ю. ш. проходит над изобатами 900–1000 м, севернее 45° ю. ш. – над изобатами 150–170 м, ближе к зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений – над изобатами 50–60 м. На восточной периферии меандра севернее 40° ю. ш. основная ветвь фронта проходит над изобатами 800–1000 м, южнее 40° ю. ш. – над изобатами 1000–2500 м. Установлено, что отличия сезонного цикла интенсивности разных ветвей Субантарктического фронта связаны с различиями в скорости прогрева и охлаждения поверхностных вод, разделяемых этими ветвями.

Ключевые слова: Патагонский шельф, крупномасштабный циклонический меандр, донная топография, Субантарктический фронт, Фолклендское течение, Бразильское течение, сезонная изменчивость, горизонтальный градиент температуры

Благодарности: работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ ФNNN-2024-0014 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан – атмосфера, формирующих изменчивость физического состояния морской среды на различных пространственно-временных масштабах».

© Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Никольский Н. В., 2024

Для цитирования: Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Никольский Н. В. Климатическая структура и внутригодовая изменчивость температурных фронтов на поверхности океана в районе Патагонского шельфа // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 4. С. 514–533. EDN QJFVQ.

Original article

Climatic Structure and Intra-Annual Variability of Temperature Fronts on the Ocean Surface in the Patagonian Shelf Region

Yu. V. Artamonov , E. A. Skripaleva, N. V. Nikolsky

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

 artam-ant@yandex.ru

Abstract

Purpose. The aim of the study is to analyze the features of mean long-term structure and intra-annual variability of the characteristics of temperature fronts on the ocean surface in the Patagonian shelf region.

Methods and Results. Daily average values of the ocean surface temperature from the NOAA OI SST data and the geostrophic velocity components on the surface at the nodes of a 0.25° regular grid from the CMEMS reanalysis for 1993–2020 were used. It is shown that at the western periphery of a large-scale cyclonic meander formed by the currents in the Patagonian shelf region (south of 45° S), three branches of the Subantarctic Front are traced; they correspond to the West Falkland Current and to two jets of the East Falkland Current. North of 45° S, where one Falkland Current jet is observed, one branch of the Subantarctic Front is identified. On the eastern periphery of the meander, the front corresponding to the common stream of the Brazil Current and the Falkland Return Current is revealed. Besides, south of 40° S, a separate branch of the Subantarctic Front corresponding to one more recirculation of the Falkland Current is observed. It is shown that at the meander western periphery, the branches of the Subantarctic Front are most intensified in February – March, at its eastern periphery – in March – April, and at the meander northern peak (in the zone of the Brazil – Falkland Confluence) – in April – May and November.

Conclusions. It is found that on the western periphery of the cyclonic meander, south of 45° S, the main branch of the Subantarctic Front approximately follows the 900–1000 m isobaths, north of 45° S – the 150–170 m isobaths, and closer to the Brazil – Falkland Confluence – the 50–60 m isobaths. At the meander eastern periphery, north of 40° S, the main branch of the front is very close to the 800–1000 m isobaths, south of 40° S – to the 1000–2500 m isobaths. It has been established that the differences between the seasonal cycles of intensity of the Subantarctic Front branches are related to the dissimilar warming and cooling rates of surface waters separated by these branches.

Keywords: Patagonian shelf, large-scale cyclonic meander, bottom topography, Subantarctic Front, Falkland Current, Brazil Current, seasonal variability, horizontal temperature gradient

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of a theme of state assignment of FSBSI FRC MHI FNNN-2024-0014 “Fundamental studies of interaction processes in the sea – air system which form variability of marine environment physical state at different spatial and temporal scales”.

For citation: Artamonov, Yu.V., Skripaleva, E.A. and Nikolsky, N.V., 2024. Climatic Structure and Intra-Annual Variability of Temperature Fronts on the Ocean Surface in the Patagonian Shelf Region. *Physical Oceanography*, 31(4), pp. 467-485.

Введение

Известно, что поток Северной ветви Антарктического циркумполярного течения (СВ АЦТ) при выходе из пролива Дрейка разворачивается по антициклонической траектории в районе банки Бердвуд и в виде нескольких

струй проникает на север ¹ [1–11]. Эти струи огибают Фолклендские о-ва в виде Западного (ЗФТ) и Восточного (ВФТ) Фолклендских течений и проходят над Патагонским шельфом и свалом глубин. Севернее 45° ю. ш. ЗФТ и ВФТ практически сливаются, формируя общее Фолклендское (Мальвинское) течение (ФТ). Часть потока ФТ в районе 38–40° ю. ш. разворачивается на юг, образуя крупномасштабный циклонический меандр над Патагонским шельфом и свалом глубин. Другая часть потока ФТ следует на север и встречается с Бразильским течением (БТ), формируя примерно на 36–38° ю. ш. зону схождения этих течений. Восточная периферия циклонического меандра (рециркуляционная ветвь ФТ, РВ ФТ) примерно на широте 45° ю. ш. разворачивается на восток и далее следует вдоль северной границы Фолклендского плато в виде СВ АЦТ ¹ [1, 3–6, 11–17]. Перенос Фолклендским течением на север холодных субантарктических вод приводит к формированию в районе Патагонского шельфа и свала глубин интенсивных гидрологических фронтов, которые, согласно [14, 15, 18–20], являются зонами повышенной биопродуктивности. Высокая промысловая значимость вод Патагонского шельфа обусловила повышенный интерес к вопросам изменчивости фронтальной структуры в этом районе. В большинстве работ [1, 3, 4, 6, 8, 12, 14–17, 21, 22] основное внимание уделяется анализу структуры течений или динамических фронтов. Показано, что ФТ характеризуется многоструйной структурой, при этом выделяются две наиболее интенсивные струи – прибрежная и мористая. Их ядра (максимумы скорости) расположены на относительно плоских участках шельфового склона, где глубина дна составляет примерно 150–200 и 1400–1500 м соответственно [15, 17].

В некоторых работах показано, что между струями ФТ и фронтами в поле температуры поверхности океана (ТПО) существует связь и максимумы (по абсолютной величине) ее отрицательных зональных градиентов совпадают с максимальными меридиональными скоростями течений [14, 15]. Вместе с тем работы, в которых анализируются особенности структуры и изменчивости температурных фронтов в районе Патагонского шельфа, относительно немногочисленны, при этом температурные фронты, связанные с системой струй ФТ, носят разные названия – фронт Патагонского шельфа [14], Фолклендский, или Мальвинский, фронт [15], Субантарктический фронт (САФ) [2, 7, 23]. В данной работе мы будем придерживаться одной терминологии и называть все температурные фронты, связанные со струями ФТ, ветвями САФ. В работах разных авторов, базирующихся на различных данных, наблюдаются некоторые несоответствия в структуре и положении ветвей САФ. Так, в работе [23] на основе гидрологического массива *World Ocean Atlas–1994* показано, что положение САФ в поле температуры вдоль Патагонского материкового склона стабильно в течение года и повторяет конфигурацию изобат 500–700 м. В работе [14], базирующейся на спутниковых данных ТПО из массива *NOAA/NASA Pathfinder*, выделены несколько температурных фронтов, отделяющих шельфовые воды от более холодных вод, переносимых ФТ, при этом наиболее интенсивный фронт расположен вблизи изобаты 200 м. В работе

¹ Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Водные массы и циркуляция Южного океана. Ленинград : Гидрометеоздат, 1986. 288 с.

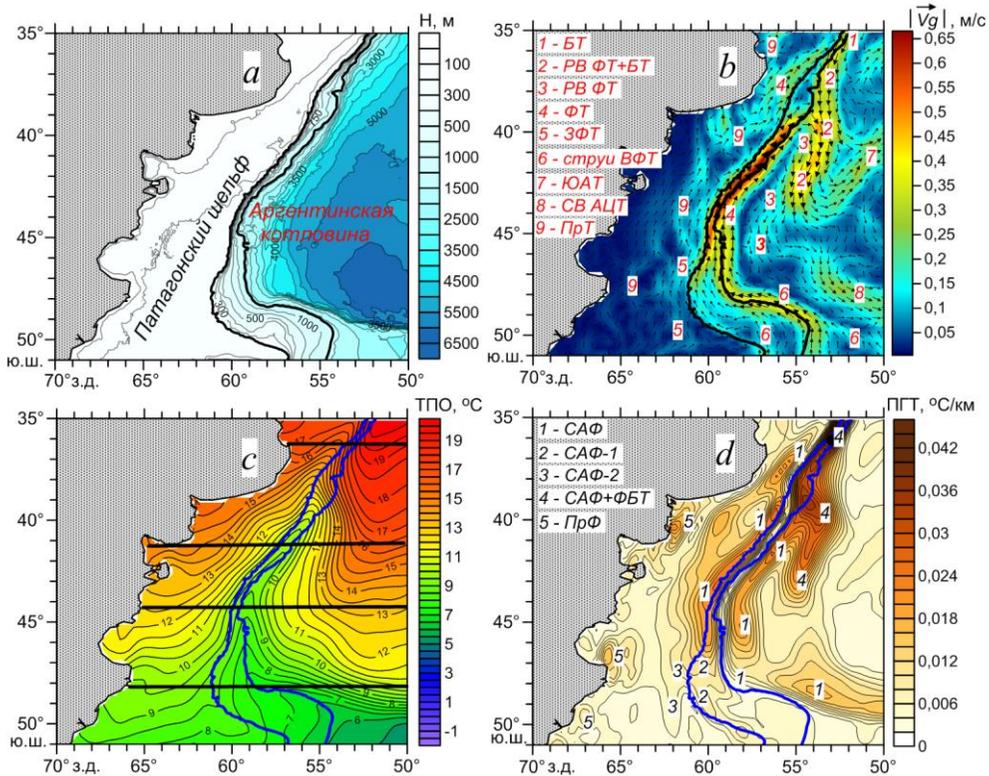
[15] на основе данных контактных измерений и спутниковых снимков *MODIS Aqua* делается вывод, что наиболее интенсивный температурный САФ проходит вдоль изобаты 1400 м.

Отметим также, что внутригодовая изменчивость характеристик САФ исследована слабо, при этом анализировались относительно короткие временные ряды данных, недостаточные для получения статистически достоверных климатических норм, или изменчивость фронта рассматривалась на отдельных разрезах, что не дает возможность оценить ее особенности на всей протяженности фронта [7, 14]. В настоящее время для исследования структуры и изменчивости фронтов появилась возможность использовать длительные ряды данных океанических реанализов и массивов, полученных оптимальной интерполяцией контактных и спутниковых измерений, с высоким пространственно-временным разрешением. Цель настоящей работы – на основе данных массива *NOAA OI SST* за период 1993–2020 гг. уточнить средне-многолетнюю пространственную структуру фронтов в поле ТПО и климатическую сезонную изменчивость их характеристик в районе Патагонского шельфа.

Материалы и методы

В работе рассматривается район юго-западной Атлантики, расположенный над Патагонским шельфом и свалом глубин между Фолклендскими о-вами и 35° ю. ш., ограниченный с запада 50° з. д. (рис. 1, *a*). Схема донной топографии построена по данным *General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)* с сайта http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/ с пространственным разрешением 15 угловых секунд.

Структура и изменчивость температурных фронтов исследовалась по данным массива *NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OI SST)* с сайта <https://www.ncei.noaa.gov/data/sea-surface-temperature-optimum-interpolation/v2.1/access/avhrr/>, содержащего среднесуточные значения ТПО в узлах регулярной сетки с шагом 0,25° за период 1993–2020 гг., полученные методом оптимальной интерполяции данных спутниковых и контактных измерений [24]. Формирование температурных фронтов на поверхности связано с циркуляцией вод (с адвекцией холодных и теплых вод разнонаправленными течениями), поэтому для интерпретации особенностей пространственной структуры фронтов в поле ТПО анализировалась средне-многолетняя структура течений, полученная на основе реанализа *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)* с сайта http://marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047. Данные реанализа представляют собой среднесуточные значения составляющих геострофической скорости на поверхности в узлах регулярной сетки с шагом 0,25° за период 1993–2020 гг. Отметим, что в районе Патагонского шельфа реанализы, входящие в *CMEMS*, хорошо согласуются с натурными измерениями [17]. В работе [22] отмечается также высокая согласованность геострофических скоростей на поверхности с данными фактических измерений скорости.



Р и с. 1. Схема рельефа дна в районе исследования (а), пространственное распределение среднелетних значений модуля скорости $|\vec{V}_g|$ и векторов геострофических течений (b), температуры (c), полного градиента температуры (d) на поверхности океана. Жирными линиями выделены изобаты 200 м и 1400 м. Горизонтальными линиями показаны географические параллели, для которых представлены климатические среднегодовые и среднемесячные распределения ЗГТ и V_g . Обозначения: БТ – Бразильское течение, ФТ – Фолклендское течение, РВ ФТ – рециркуляционная ветвь Фолклендского течения, ЗФТ – Западное Фолклендское течение, ВФТ – Восточное Фолклендское течение, ЮАТ – Южно-Атлантическое течение, СВ АЦТ – Северная ветвь Антарктического циркумполярного течения, ПрТ – прибрежные течения, САФ – Субантарктический фронт, ФБТ – Фронт Бразильского течения, ПрФ – прибрежные фронты

F i g. 1. Scheme of bottom relief in the study area (a), spatial distribution of the long-term average values of velocity module $|\vec{V}_g|$ and geostrophic current vectors (b), temperature (c) and total temperature gradient (d) on the ocean surface. Bold lines indicate locations of the 200 m and 1400 m isobaths. Horizontal lines show the parallels for which the climatic annual and monthly average distributions of ZTG and the meridional velocity component V_g are presented. Abbreviation decoding: BC – Brazil Current, FC –Falkland Current, FRC – Falkland Return Current, WFC – West Falkland Current, EFC – East Falkland Current, SAC – South Atlantic Current, NB ACC – Northern Branch of the Antarctic Circumpolar Current, CC – coastal currents, SAF – Subantarctic Front, BCF – Brazil Current Front, CF – coastal fronts

Нами было проведено сопоставление геострофических скоростей из используемого в настоящей работе массива с полными скоростями, включающими ветровую дрейфовую составляющую, по данным реанализов *ECMWF ORAS5* и *GLORYS2V4*, входящих в *CMEMS*. Было выявлено, что положение ос-

новных максимумов геострофических и суммарных скоростей практически совпадает. Незначительные различия в значениях скорости между суммарными и геострофическими течениями несущественны для решения нашей задачи, так как мы рассматриваем среднеголетнюю структуру течений и положение потоков только для интерпретации пространственной структуры температурных фронтов.

Одинаковый шаг сетки массивов исходных данных и совпадение координат ее узлов дают возможность корректно сопоставить положение стрежней геострофических течений и температурных фронтов, а временной период данных в 28 лет является достаточным для получения статистически достоверных средних характеристик ТПО и геострофической скорости².

По исходным среднесуточным значениям ТПО и составляющих геострофической скорости рассчитывались их климатические среднемесячные и среднеголетние значения в каждом узле сетки, по которым затем рассчитывались меридиональные, зональные и полные горизонтальные градиенты ТПО, модуль скорости $|\vec{V}_g|$ и направления векторов течений.

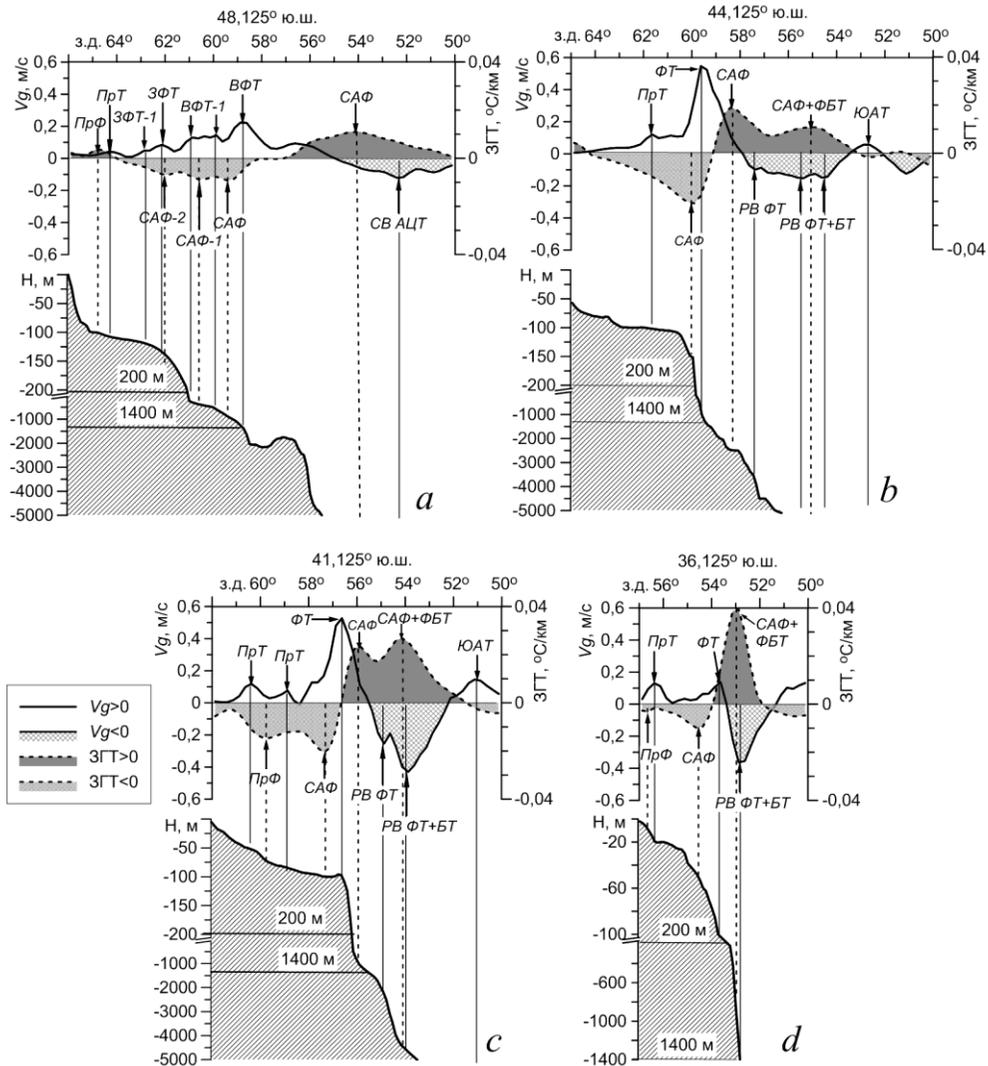
В рассматриваемом районе температурные фронты и течения имеют в основном квазимеридиональную ориентацию, поэтому при выделении фронтов в поле ТПО использовался критерий максимума (по абсолютной величине) зонального градиента температуры (ЗГТ), а при выделении стрежня течения – критерий максимума меридиональной составляющей геострофической скорости V_g . Положительное либо отрицательное значение ЗГТ показывает повышение либо понижение температуры в направлении с запада на восток. Под интенсивностью фронта подразумевается значение максимума градиента, соответствующего фронту. Положение температурных фронтов и стрежней течений определялось на выборках ЗГТ и V_g вдоль параллелей с шагом $0,25^\circ$ по широте.

Результаты исследований

Пространственные распределения среднеголетних значений модуля и векторов геострофической скорости (рис. 1, *b*) показывают, что положение струй течений в районе Патагонского шельфа в значительной степени обусловлено особенностями донной топографии (рис. 1, *a*). Отметим, что над самой мелководной частью шельфа с глубинами $< 50\text{--}100$ м прослеживаются прибрежные течения, которые не связаны с крупномасштабным циклоническим меандром, образуемым Фолклендским течением (рис. 1, *b*; 2). В южной части района исследования (южнее 45° ю. ш.), где шельф расширяется и наблюдаются относительно плоские участки материкового склона (террасы) (рис. 1, *a*), Западное и Восточное Фолклендские течения характеризуются многоструйной структурой. Над шельфом с глубинами $100\text{--}150$ м прослеживаются две слабые струи Западного Фолклендского течения (ЗФТ и ЗФТ-1). Мористее между изобатами 200 и 500 м наблюдается широкий поток, соответствующий относительно слабой струе Восточного Фолклендского течения (ВФТ-1). Наиболее интенсивная струя ВФТ проходит над материковым склоном примерно вдоль изобаты 1400 м (рис. 1, *b*; 2, *a*). Положение основной

² Монин А. С. Гидродинамика атмосферы, океана и земных недр. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1999. 523 с.

струи ВФТ в среднемноголетнем поле геострофической скорости хорошо согласуется с данными фактических измерений, выполненных в этом районе в различные годы [15, 21]. В южной части Аргентинской котловины примерно вдоль изобат 2400–2500 м проходит еще одна слабая струя ВФТ (рис. 1, б).

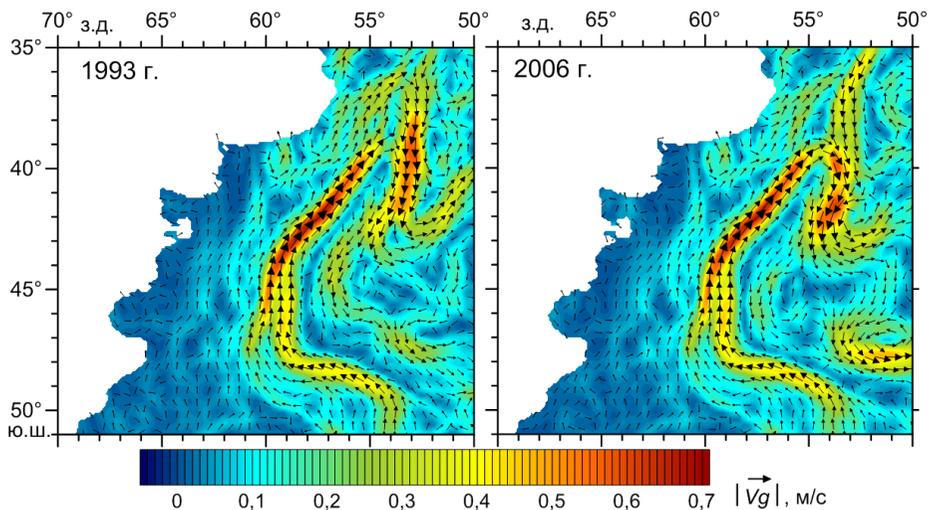


Р и с. 2. Распределения среднемноголетних значений ЗГТ (штриховые кривые) и V_g (сплошные кривые) на фоне профиля дна (заштрихован) вдоль 48,125° (а), 44,125° (б), 41,125° (с) и 36,125° (д) ю. ш. Положение температурных фронтов показано штриховыми линиями, струйней течений – сплошными

F i g. 2. Distributions of long-term average values of ZTG (dashed curves) and V_g (solid curves) along 48.125° S (a), 44.125° S (b), 41.125° S (c) and 36.125° S (d) against the background of bottom profile (shaded). Positions of temperature fronts are shown by dashed lines, and those of current jets – by solid ones

Севернее 45° ю. ш., где изобаты 200 и 1400 м располагаются близко друг к другу (рис. 1, *a*), струи ЗФТ и ВФТ сливаются, образуя один интенсивный поток ФТ, представляющий собой западную периферию циклонического меандра (рис. 1, *b*; 2, *b*).

В северной части меандра вследствие влияния рельефа дна выявлены две зоны рециркуляции ФТ, что уточняет более ранние исследования, в которых выделялась только одна зона рециркуляции ФТ [1, 3–6, 11–17]. Первая зона располагается примерно на широте 40° ю. ш., севернее которой наблюдается терраса между изобатами 200 и 1400 м (рис. 1, *a*). Здесь часть потока ФТ разворачивается на юг в виде рециркуляционной ветви ФТ, которая проходит над материковым склоном примерно вдоль изобат 2000–3500 м (рис. 1, *b*; 2, *b*, *c*). Южнее 47° ю. ш. РВ ФТ разворачивается на восток и следует вдоль северной границы Фолклендского плато как Северная ветвь АЦТ (рис. 1, *b*; 2, *a*). Другая часть потока ФТ продолжает следовать на север вдоль западного края террасы над изобатами 100–200 м, на 35 – 36° ю. ш. она встречается с Бразильским течением и образует вторую зону рециркуляции. В результате слияния БТ и рециркуляции ФТ формируется интенсивный общий поток (РВ ФТ+БТ), который следует на юг над материковым склоном мористее изобаты 1400 м примерно до 39° ю. ш. (рис. 1, *b*; 2, *d*). Южнее, в районе 40 – 41° ю. ш., часть потока РВ ФТ+БТ разворачивается на восток и проходит над глубоководной частью Аргентинской котловины примерно над изобатой 5500 м. Основная часть потока РВ ФТ+БТ продолжает следовать на юг над изобатой 4500 м (рис. 1, *b*; 2, *c*) и между 43° и $44,5^\circ$ ю. ш. разворачивается на северо-восток по антициклонической траектории и далее следует в восточном направлении в виде Южно-Атлантического течения (ЮАТ) (рис. 1, *b*; 2, *b*, *c*).



Р и с. 3. Пространственные распределения среднегодовых значений модуля скорости $|\vec{v}_g|$ и векторов геострофических течений для разных лет

F i g. 3. Spatial distributions of the annual average values of velocity module $|\vec{v}_g|$ and vectors of geostrophic currents for different years

Основные особенности циркуляции, выявленные в среднемноголетнем поле геострофической скорости, хорошо проявляются на распределениях векторов течений и модуля скорости для каждого года (рис. 3). Несмотря на межгодовую изменчивость интенсивности потоков, положение основных струй ЗФТ, ВФТ, ФТ, потока РВ ФТ+БТ и двух рециркуляций ФТ (в районе 40° ю. ш. и между 35° и 36° ю. ш.), контролируемое особенностями рельефа дна, сохраняется в течение каждого года.

Разнонаправленные геострофические потоки приводят к формированию в поле ТПО хорошо выраженных языков холодных и теплых вод (рис. 1, *с*), на границах которых образуются зоны повышенных полных горизонтальных градиентов температуры (ПГТ), или фронтальные зоны (рис. 1, *д*). Согласно [8, 19, 20], струи интенсивных течений являются барьерами, препятствующими горизонтальному водообмену, и разделяют водные массы с различной степенью трансформации.

Приведем основные особенности среднемноголетней структуры температурных фронтов, формирующихся на перифериях крупномасштабного циклонического меандра. Отметим, что над мелководной частью шельфа с глубинами < 100 м наблюдаются относительно слабые экстремумы градиентов ТПО разного знака, которые связаны с адвекцией шельфовых вод струями прибрежных течений и условно названы прибрежными фронтами (рис. 1, *д*; 2). Поскольку ветви ПрФ не относятся к системе фронтов крупномасштабного циклонического меандра, в рамках данной работы они не обсуждаются.

На юго-западной периферии меандра южнее 45° ю. ш. выделены три фронта, которые мы идентифицируем как ветви САФ. Наиболее интенсивная из них восточная ветвь (собственно САФ) проходит примерно на $0,5^\circ$ западнее основной струи ВФТ над изобатами 900–1000 м. Более слабая центральная ветвь (САФ-1) располагается в пределах потока ВФТ-1 над изобатами 300–400 м. Западная ветвь (САФ-2) практически совпадает со струей ЗФТ и прослеживается над изобатами 130–150 м (рис. 2, *а*). Севернее 45° ю. ш., где западная периферия меандра формируется одним потоком ФТ, САФ также представлен одной ветвью. Здесь фронт располагается примерно на $0,25^\circ$ западнее потока ФТ над изобатами 150–170 м (рис. 2, *б*). В северо-западной части меандра САФ проходит над изобатой 100 м, при этом смещение его положения на запад относительно положения стрежня ФТ постепенно увеличивается и на широте 41° ю. ш. достигает $0,5^\circ$ (рис. 2, *с*). Ближе к зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений САФ располагается над глубинами 50–60 м, заметно ослабевает и смещается к западу относительно ФТ почти на 1° (рис. 2, *д*). На северо-восточной периферии циклонического меандра, которую образует общий поток РВ ФТ+БТ, в поле ТПО наблюдается интенсивный фронт, формирующийся в результате схождения Субантарктического фронта и Фронта Бразильского течения (САФ+ФБТ). Этот фронт проходит над изобатами 800–1000 м и практически совпадает по положению со стрежнем РВ ФТ+БТ (рис. 2, *д*). Примерно до 39 – 40° ю. ш. САФ+ФБТ разделяет холодные воды, переносимые ФТ, и теплые воды, переносимые потоком РВ ФТ+БТ. На восточной периферии меандра южнее 40° ю. ш. наблюдается широкая зона высоких значений ЗГТ, в пределах которой к западу от основного максимума ЗГТ, соответствующего САФ+ФБТ, выделяется еще

один максимум ЗГТ, соответствующий еще одной ветви САФ (рис. 2, *с*). Формирование двух температурных фронтов на данном участке меандра связано с двумя потоками южного направления (рециркуляция ФТ и общий поток РВ ФТ+БТ). Здесь САФ отделяет наиболее холодные воды, переносимые ФТ с юга, от более теплых вод, поступающих с севера с рециркуляцией ФТ, а САФ+ФБТ, в свою очередь, отделяет последние от еще более теплых вод, переносимых РВ ФТ+БТ. Ветвь САФ+ФБТ практически совпадает по положению со стрежнем РВ ФТ+БТ, а САФ смещен к западу от струи РВ ФТ почти на 1° (рис. 2, *с*). Эти два фронта (САФ и САФ+ФБТ) сохраняются примерно до 45° ю. ш., при этом САФ прослеживается над материковым склоном вдоль изобат 1000–2500 м и постепенно усиливается в южном направлении, а САФ+ФБТ проходит над глубинами более 4000 м и, наоборот, постепенно ослабевает (рис. 2, *б, с*). Отметим, что выделение двух ветвей САФ на восточной периферии меандра между 40° и 45° ю. ш. позволило уточнить результаты более ранней работы [14], в которой отмечалось существование к югу от 40° ю. ш. одного температурного мористого фронта, характеризующегося слабыми положительными градиентами ТПО.

В целом проведенный анализ связи положения ветвей САФ с особенностями донной топографии показал, что в отличие от ранее полученных результатов [14, 15, 23] основная ветвь САФ в разных районах акватории проходит над разными изобатами: в юго-западной части акватории – над изобатами 900–1000 м, севернее 45° ю. ш. – над изобатами 150–170 м, у вершины циклонического меандра – над изобатами 50–60 м, на восточной периферии меандра примерно до 40° ю. ш. – над изобатами 800–1000 м, южнее – над изобатами 1000–2500 м.

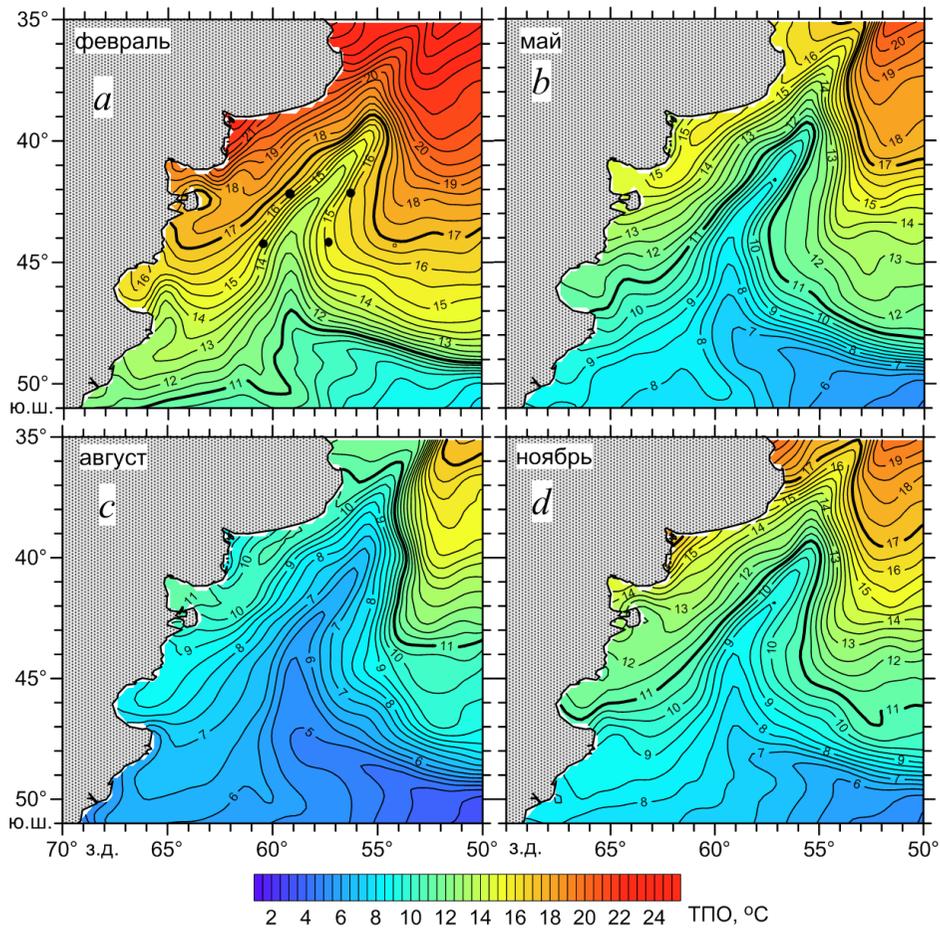
Отметим, что в целом на перифериях крупномасштабного меандра температурные фронты на поверхности либо совпадают по положению со стрежнями геострофических течений, либо располагаются западнее, при этом максимальное смещение не превышает 1° по долготе и отмечается на восточной периферии меандра.

К югу от 47 – 48° ю. ш., где поток РВ ФТ+БТ разворачивается на восток и следует вдоль северной границы Фолклендского плато как СВ АЦТ, в среднегодовом поле ТПО наблюдается один основной экстремум ЗГТ, соответствующий САФ (рис. 2, *а*).

Анализ среднемесячных распределений ТПО показал, что, несмотря на высокую сезонную изменчивость, хорошо выраженные языки холодных и теплых вод прослеживаются в течение года (рис. 4), вследствие чего основные особенности среднегодовой фронтальной структуры наблюдаются в течение всех месяцев (рис. 5).

Распределения климатических среднемесячных зональных градиентов ТПО показали, что под влиянием рельефа дна ветви САФ, особенно на западной периферии меандра, имеют устойчивое положение, их внутригодовые смещения по долготе не превышают 1° (рис. 5, 6). Вместе с тем внутригодовые изменения интенсивности ветвей САФ заметно различаются на разных участках акватории: на юге их значения не превышают $0,012^\circ\text{C}/\text{км}$ (рис. 6, *а*), севернее 45° ю. ш. они увеличиваются до $0,016$ – $0,02^\circ\text{C}/\text{км}$ (рис. 6, *б, с*), у вершины меандра снова уменьшаются и на 35 – 36° ю. ш. составляют

0,006°C/км (рис. 6, *d*). Значения сезонных изменений интенсивности САФ+ФБТ уменьшаются в южном направлении от 0,04–0,05°C/км на 35–36° ю. ш. до 0,012°C/км на 44° ю. ш. (рис. 6, *b – d*).

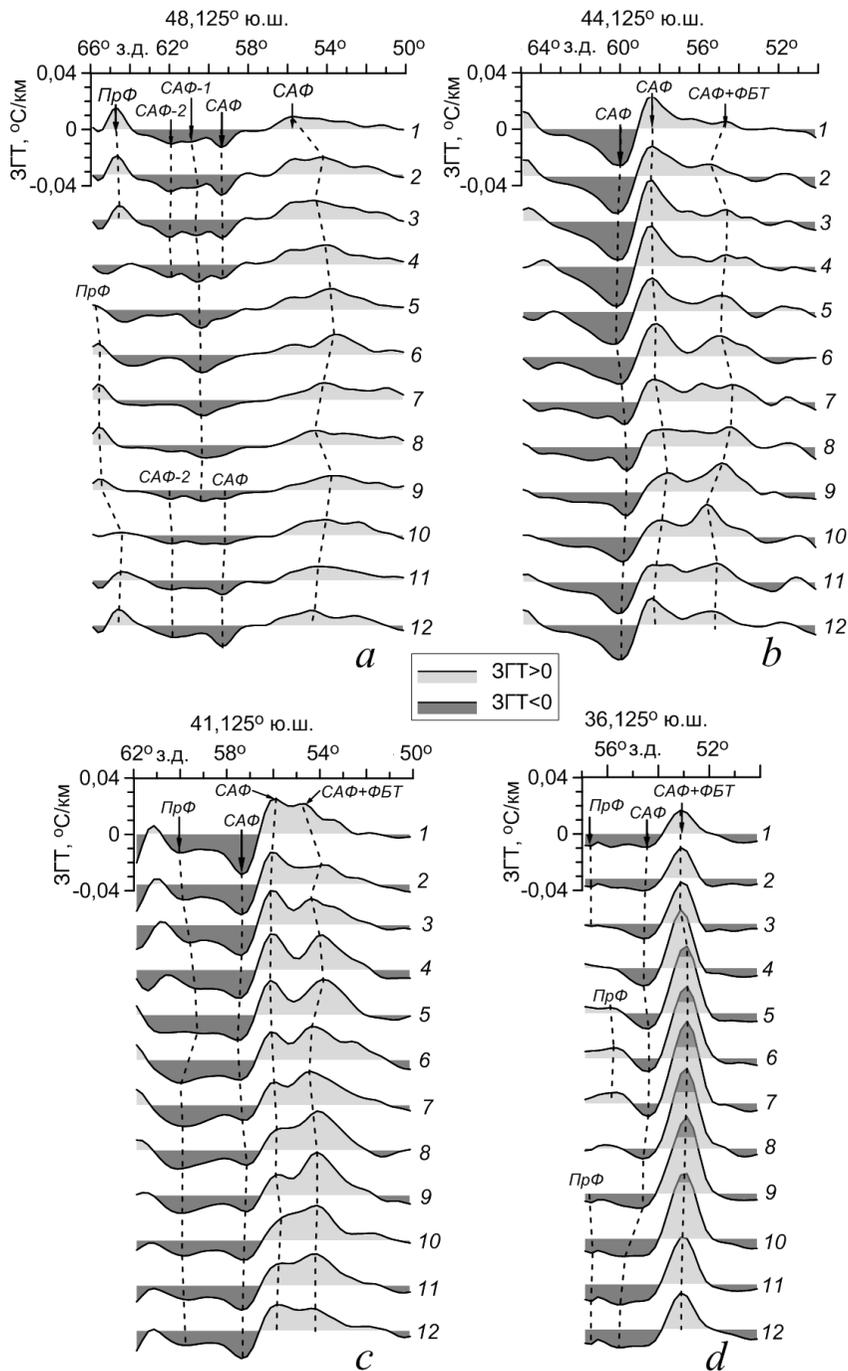


Р и с. 4. Распределения климатических среднемесячных значений ТПО в феврале (*a*), мае (*b*), августе (*c*) и ноябре (*d*). Жирными линиями выделены изотермы 11°C и 17°C

Fig. 4. Distributions of the climatic monthly average SST values in February (*a*), May (*b*), August (*c*) and November (*d*). Bold lines denote the 11°C and 17°C isotherms

Отмечаются также отличия в периодах максимального обострения фронтов на различных участках западной (рис. 7, *a*) и восточной (рис. 7, *b*) периферий крупномасштабного меандра.

Особенности сезонной изменчивости интенсивности фронтов в поле ТПО связаны с различиями в скорости внутригодовых смещений изотерм в языках холодных и теплых вод (рис. 4), которые обусловлены совместным влиянием адвекции и сезонного прогрева/выхолаживания поверхностных вод, разделяемых фронтами.



Р и с. 5. Распределения климатических среднемесячных значений ЗГТ вдоль 48,125° (a), 44,125° (b), 41,125° (c) и 36,125° (d) ю. ш. Положение температурных фронтов показано штриховыми линиями, числа у кривых – месяцы

Fig. 5. Distributions of the climatic monthly average ZTG values along 48.125° S (a), 44.125° S (b), 41.125° S (c) and 36.125° S (d). Positions of temperature fronts are shown by dashed lines, numerals by the curves are months

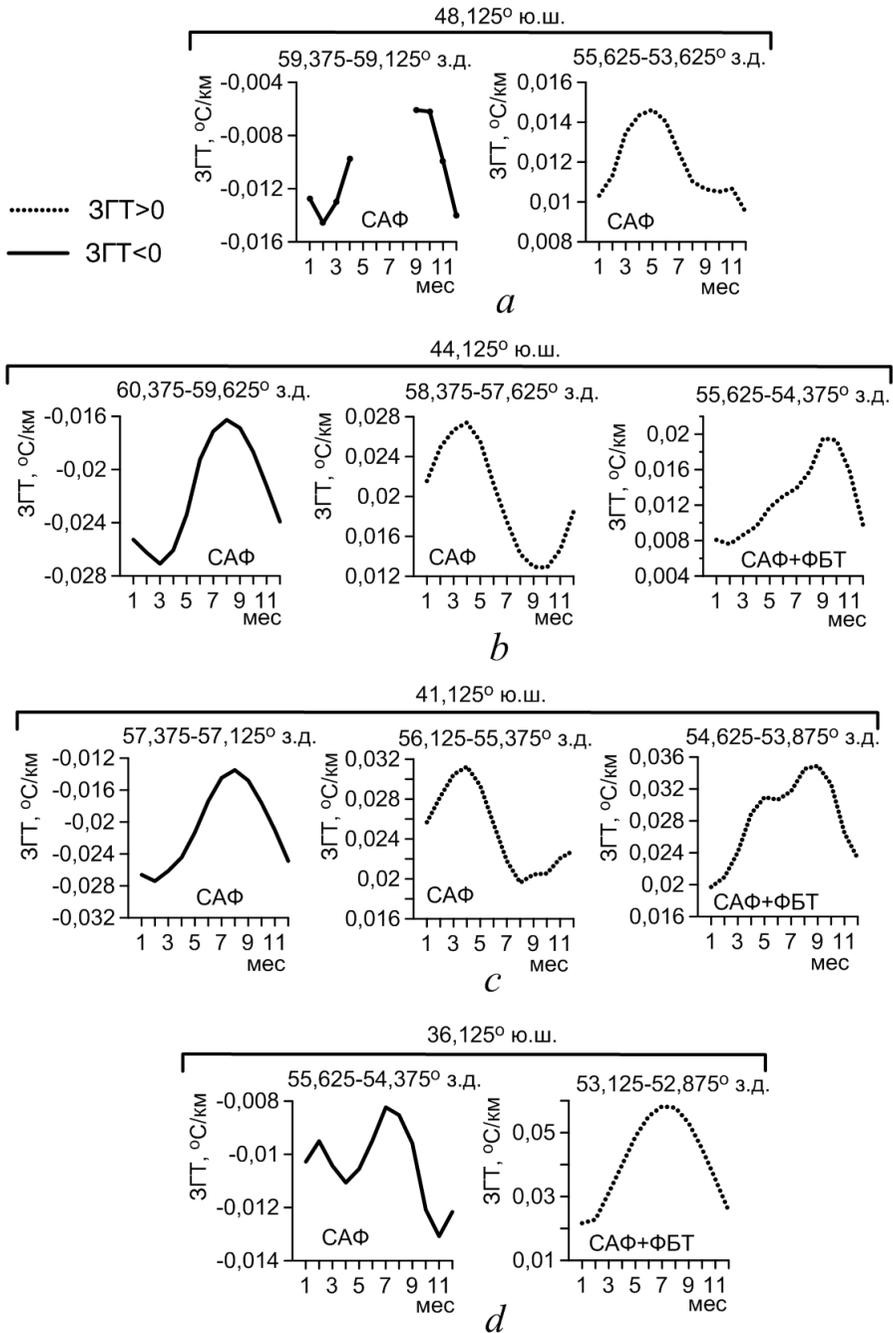
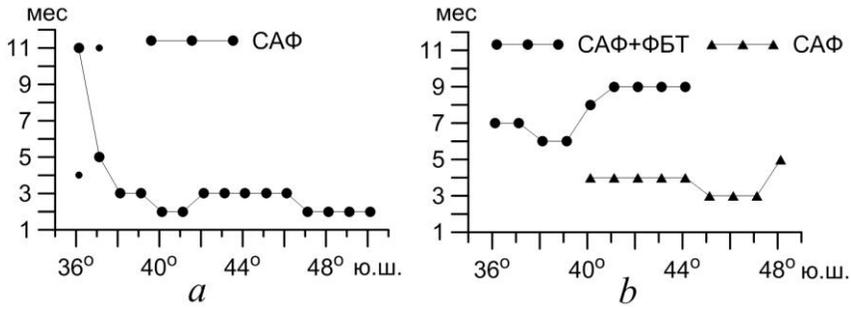
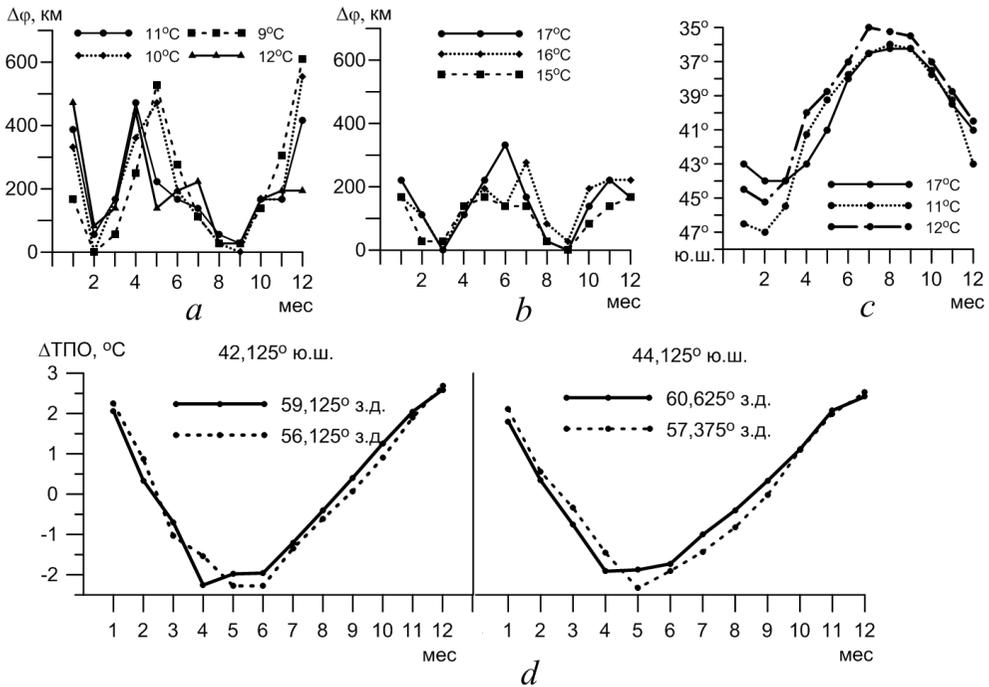


Рис. 6. Графики климатического сезонного цикла интенсивности САФ и САФ+ФБТ и диапазон их долготных смещений в течение года (показан на графиках) на 48,125° (a), 44,125° (b), 41,125° (c) и 36,125° (d) ю. ш.

Fig. 6. Graphs of climatic seasonal cycle of SAF and SAF+BCF intensity, and the range of their longitudinal displacement during a year (shown on the graphs) on 48.125° S (a), 44.125° S (b), 41.125° S (c) and 36.125° S (d)



Р и с. 7. Месяц наступления максимального обострения САФ и САФ+ФБТ на западной (а) и восточной (b) перифериях циклонического меандра. Точками на фрагменте а показано наступление второго, более слабого, максимума интенсивности САФ
F i g. 7. Month of maximum intensification of SAF and SAF+BCF at the western (a) and eastern (b) peripheries of a cyclonic meander. Dots in fragment a show the onset of the second, weaker maximum of SAF intensity



Р и с. 8. Смещения по широте (км в месяц) различных изотерм в языках холодных (а) и теплых (b) вод; крайнее северное положение изотерм 11°C и 12°C в языке холодных вод и крайнее южное положение изотермы 17°C в языке теплых вод для каждого месяца (с); внутригодовой ход ΔТПО в отдельных узлах сетки (показаны точками на рис. 4, а) на западной (сплошные кривые) и восточной (пунктир) перифериях меандра (d)
F i g. 8. Displacement (along the latitude) speed (km/month) of different isotherms in the tongues of cold (a) and warm (b) waters; extreme northern position of the 11°C and 12°C isotherms in the cold water tongue, and extreme southern position of the 17°C isotherm in the warm water tongue for each month (c); ΔSST intra-annual cycle in certain grid knots (shown by points in Fig. 4, a) at the western (solid curves) and eastern (dotted curves) meander peripheries (d)

В работе оцениваются смещения по широте в течение года изотерм 9–12°C и 15–17°C, типичных для языков холодных и теплых вод соответственно. Для этого рассчитывалась разница в километрах ($\Delta\phi$) между крайним северным и крайним южным положениями этих изотерм в языках холодных и теплых вод соответственно в январе относительно декабря, в феврале относительно января и т. д. (рис. 8, *a, b*).

Внутригодовые изменения $\Delta\phi$ показывают, что в периоды максимального прогрева (февраль – март) и выхолаживания (август – сентябрь) поверхностных вод ³ эти изотермы слабо изменяют свое широтное положение. В апреле – мае, когда происходит интенсивное охлаждение вод, изотермы 9–12°C смещаются на север почти на 450–500 км. С октября по февраль, когда поверхностные воды прогреваются, они смещаются на юг. Максимальные смещения, отражающие наибольшую скорость прогрева, для изотерм 9–11°C наблюдаются в декабре со значениями $\Delta\phi$, достигающими 400–600 км, для изотермы 12°C – в январе со значением $\Delta\phi \sim 500$ км (рис. 8, *a*). Отметим, что внутригодовой ход $\Delta\phi$ для изотерм 15–17°C в языке теплых вод аналогичен изменениям $\Delta\phi$ для изотерм 9–12°C, но их значения уменьшаются и не превышают 200–300 км (рис. 8, *b*). В целом в течение года смещения северной границы языка холодных вод по изотермам 11°C и 12°C и южной границы языка теплых вод по изотерме 17°C от крайнего южного до крайнего северного положения достигают 11°, 12° и 8° широты соответственно (рис. 8, *c*).

Анализируя связь сезонной изменчивости интенсивности ветвей САФ со смещением изотерм в языках холодных и теплых вод, отметим следующие особенности. На юго-западной периферии меандра западная (САФ-2) и восточная (САФ) ветви Субантарктического фронта наиболее четко прослеживаются в теплый сезон Южного полушария (рис. 5, *a*). В этот период САФ-2 отделяет прогретые шельфовые воды от более холодных вод, переносимых ЗФТ, а САФ отделяет воды, переносимые потоком ВФТ-1, от еще более холодных вод, переносимых основной ветвью ВФТ (рис. 4, *a*). Эти фронты максимально обостряются в феврале – марте (рис. 6, *a*; 7, *a*), когда отмечается максимальный прогрев вод южной части шельфа (значения ТПО > 12,5–13°C) (рис. 4, *a*). В эти месяцы северная граница языка холодных вод по изотермам 9–12°C располагается на юге и слабо изменяет широтное положение (рис. 8, *a, c*). В холодный сезон (с мая по август) значения ТПО над южной частью шельфа не превышают 7–9°C (рис. 4, *b, c*). Контрасты температуры между прибрежными водами и водами, переносимыми ЗФТ и ВФТ, заметно понижаются, что приводит к ослаблению САФ-2 и САФ (рис. 6, *a*). В этот период поток ВФТ-1 приносит с юга более холодные воды с температурой < 6–8°C (рис. 4, *b, c*). Судя по быстрому смещению изотерм 9–10°C на север, можно отметить, что максимальная скорость понижения значений ТПО в языке холодных вод прослеживается в мае (рис. 8, *a*). Это приводит к увеличению температурных контрастов в зоне центральной ветви фронта САФ-1, наибольшее обострение которой наблюдается в мае – июне (рис. 5, *a*).

³ Ломакин П. Д., Скрипалева Е. А. Циркуляция и структура вод юго-западной части Атлантического океана и прилегающих акваторий Антарктики. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 116 с.

Севернее 45° ю. ш. в структуре САФ в течение всего года наблюдается одна ветвь, которая является западной границей языка переносимых ФТ холодных вод, отделяющей их от более теплых шельфовых вод (рис. 5, *b – d*). Здесь максимум обострения САФ наступает в феврале – марте (рис. 6, *b, c*; 7, *a*), когда отмечается максимальный прогрев поверхностных вод. В этот период изотермы $9–12^\circ\text{C}$ в языке холодных вод практически не изменяют широтное положение и максимально смещены к югу (рис. 8, *a, c*). Усиление температурных контрастов, поддерживающих фронт, обусловлено более интенсивным прогревом шельфовых вод, где значения ТПО в этот период увеличиваются в северном направлении от 16°C до 21°C , в то время как к востоку от фронта в языке холодных вод они изменяются от 12°C до 17°C (рис. 4, *a*).

Таким образом, на всей западной периферии меандра основная ветвь САФ обостряется в феврале – марте, тогда как в более ранних работах отмечался более длительный период интенсификации фронта – с ноября по май в работе [14] и с декабря по март в работе [7].

У северной вершины меандра, в зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений, которые, согласно [13, 25], усиливаются в противофазе зимой и летом Южного полушария соответственно, интенсивность САФ также изменяется с полугодовым периодом с максимумами в апреле – мае и ноябре (рис. 6, *d*; 7, *a*). В апреле – мае усиление САФ происходит в период интенсивного выхолаживания, когда граница языка холодных вод по изотермам $9–12^\circ\text{C}$ быстро смещается на север (рис. 8, *a, c*), а температура шельфовых вод остается достаточно высокой и превышает 15°C (рис. 4, *b*). Второй максимум интенсивности САФ (в ноябре) отмечается в период интенсивного прогрева, когда изотермы $9–12^\circ\text{C}$ в языке холодных вод быстро смещаются на юг (рис. 8, *a, c*), а температура прибрежных шельфовых вод повышается до $17–18^\circ\text{C}$ (рис. 4, *d*).

Южнее зоны схождения Фолклендского и Бразильского течений примерно до 40° ю. ш., где фронт САФ+ФБТ является границей холодных и теплых вод, переносимых этими течениями, этот фронт обостряется в июне – июле, когда изотермы $11–12^\circ\text{C}$ в языке холодных вод максимально смещены на север (рис. 6, *d*; 7, *a*; 8, *a, c*). Южнее 40° ю. ш., где САФ+ФБТ служит западной границей языка теплых вод, отделяющей их от более холодных вод, переносимых рециркуляционной ветвью ФТ, он усиливается в августе – сентябре (рис. 6, *b, c*; 7, *b*). В этот период отмечается максимальное выхолаживание поверхностных вод и изотермы $15–17^\circ\text{C}$ в языке теплых вод максимально смещены к северу (рис. 8, *b, c*). Усиление фронта связано с тем, что в августе – сентябре температура вод, переносимых РВ ФТ, не превышает $9–10^\circ\text{C}$, тогда как значения ТПО в языке теплых вод, несмотря на общее выхолаживание, остаются более высокими и составляют $11–15^\circ\text{C}$ (рис. 4, *c*). Субантарктический фронт, расположенный западнее САФ+ФБТ и отделяющий воды, переносимые с севера РВ ФТ, от еще более холодных вод, переносимых с юга ФТ, обостряется в марте – апреле (рис. 6, *b, c*; 7, *b*). В этот период начинается охлаждение поверхностных вод, особенно выраженное в холодном языке, граница которого по изотермам $9–12^\circ\text{C}$ в апреле смещается к северу почти на 500 км (рис. 8, *a, c*), в то время как воды, поступающие с севера с РВ ФТ, в это время еще заметно теплее (значения ТПО $> 13–15^\circ\text{C}$). Отметим, что на

восточной периферии меандра САФ усиливается примерно на месяц позже, чем на западной (рис. 7). Согласно более ранней работе [7], на восточной границе циклонического меандра к югу от 42° ю. ш. САФ усиливался в мае – июне, т. е. запаздывание времени наступления максимума по сравнению с западной периферией составляло почти полгода. Анализ внутригодового хода скорости изменения температуры ДТПО (разница между значениями ТПО текущего и предшествующего месяцев) показал, что подобное фазовое запаздывание в один месяц наблюдается при наступлении максимума скорости выхолаживания вод западнее и восточнее САФ на западной и восточной перифериях меандра соответственно (рис. 8, *d*). Максимальная скорость выхолаживания вод ($\Delta\text{ТПО} \sim -2,5^\circ\text{C}$) на западной периферии меандра отмечается в апреле, на восточной – на месяц позже, в мае.

К югу от 48° ю. ш. над северной границей Фолклендского плато основной экстремум ЗГТ в структуре САФ, наблюдаемый в течение всего года (рис. 5, *a*), максимально усиливается в мае (рис. 6, *a*; 7, *b*), в период интенсивного выхолаживания поверхностных вод.

Заключение

По данным *NOAA OI SST* уточнена пространственная структура Субантарктического фронта в климатическом поле температуры поверхности океана в районе Патагонского шельфа, проанализирована ее связь с особенностями донной топографии и геострофическими течениями, которые формируют в этом районе крупномасштабный циклонический меандр.

Высокое пространственное разрешение используемого массива данных позволило выделить несколько ветвей в структуре САФ в среднемноголетнем климатическом поле ТПО. Впервые показано, над какими изобатами в климатическом поле ТПО эти ветви САФ проходят в разных районах акватории. На западной периферии меандра южнее 45° ю. ш. были выделены три ветви Субантарктического фронта. Основная ветвь САФ (восточная) соответствует наиболее интенсивной струе ВФТ и проходит над изобатами 900–1000 м. Центральная и западная ветви САФ соответствуют более слабым струям ВФТ-1 и ЗФТ и проходят над изобатами 300–400 м и 130–150 м. Севернее 45° ю. ш. прослеживается одна ветвь САФ, соответствующая ФТ, которая проходит над изобатами 150–170 м. У вершины циклонического меандра, ближе к зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений, САФ проходит над изобатами 50–60 м.

Впервые показано, что под влиянием топографических особенностей (наличия террасы между изобатами 200 и 1400 м к северу от 40° ю. ш.) наблюдаются две зоны рециркуляции ФТ, что приводит к формированию на восточной периферии меандра двух ветвей САФ. Одна ветвь (САФ+ФБТ) образуется в результате схождения БТ и рециркуляционной ветви ФТ, вторая ветвь (САФ) формируется южнее 40° ю. ш. и соответствует еще одной рециркуляционной ветви ФТ. Эти две ветви прослеживаются примерно до 45° ю. ш. Ветвь САФ+ФБТ проходит над изобатами 800–1000 м до 40° ю. ш., южнее – над глубинами > 4000 м и постепенно ослабевает в южном направлении; САФ прослеживается над материковым склоном вдоль изобат 1000–2500 м и постепенно усиливается в южном направлении.

Впервые получены характеристики климатического сезонного цикла каждой ветви САФ на западной и восточной перифериях меандра. Установлено, что под влиянием рельефа дна ветви САФ, особенно на западной периферии меандра, имеют устойчивое положение, их внутригодовые смещения по долготе не превышают 1° . Выявлено, что значения внутригодовых изменений интенсивности ветвей САФ заметно различаются на разных участках акватории. На юге они не превышают $0,012^\circ\text{C}/\text{км}$, севернее 45° ю. ш. увеличиваются до $0,016\text{--}0,02^\circ\text{C}/\text{км}$, у вершины меандра снова уменьшаются и на $35\text{--}36^\circ$ ю. ш. составляют $0,006^\circ\text{C}/\text{км}$. Сезонные изменения интенсивности САФ+ФБТ ослабевают в южном направлении от $0,04\text{--}0,05^\circ\text{C}/\text{км}$ на $35\text{--}36^\circ$ ю. ш. до $0,012^\circ\text{C}/\text{км}$ на 44° ю. ш.

Выявлены отличия в периодах максимального обострения ветвей САФ на различных участках западной и восточной периферий крупномасштабного меандра. Показано, что они связаны с различиями в скорости прогрева и охлаждения вод, разделяемых этими ветвями. Установлено, что на западной периферии меандра ветви САФ максимально обостряются в феврале – марте, когда отмечается максимальный прогрев вод на шельфе. На восточной периферии меандра южнее 40° ю. ш. САФ усиливается примерно на месяц позже, в марте – апреле. Такое же запаздывание на месяц выявлено при наступлении максимума скорости выхолаживания вод на западной и восточной перифериях меандра. Установлено, что у северной вершины меандра, в зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений, интенсивность САФ изменяется с полугодовым периодом с максимумами в апреле – мае во время интенсивного выхолаживания вод и в ноябре в период интенсивного прогрева. На восточной периферии меандра, южнее зоны схождения Фолклендского и Бразильского течений, САФ+ФБТ примерно до 40° ю. ш. обостряется в июне – июле, когда наблюдается максимальная скорость охлаждения поверхностных вод, южнее 40° ю. ш. – в августе – сентябре, когда отмечается минимум значений ТПО. Над северной границей Фолклендского плато САФ максимально усиливается в мае, в период интенсивного выхолаживания поверхностных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов В. Н., Северов Д. Н. Циркуляция вод Фолклендско-Патагонского района и ее сезонная изменчивость // *Океанология*. 1979. Т. 19, № 5. С. 782–790. EDN DSXZHG.
2. Гурецкий В. В. Поверхностные термические фронты в атлантическом секторе Южного океана // *Метеорология и гидрология*. 1987. № 8. С. 81–88. URL : <https://www.researchgate.net/publication/263766610> (дата обращения: 05.07.2024).
3. Peterson R. G., Whitworth T. III. The subantarctic and polar fronts in relation to deep water masses through the southwestern Atlantic // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1989. Vol. 94, iss. C8. P. 10817–10838. <https://doi.org/10.1029/JC094iC08p10817>
4. Peterson R. G., Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // *Progress in Oceanography*. 1991. Vol. 26, iss. 1. P. 1–73. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8)
5. Белкин И. М. Фронтальная структура Южной Атлантики // *Пелагические экосистемы Южного океана* / Отв. ред. Н. М. Воронина. Москва : Наука, 1993. С. 40–53.
6. Orsi A. H., Whitworth T. III, Nowlin W. D. Jr. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 1995. Vol. 42, iss. 5. P. 641–673. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(95\)00021-W](https://doi.org/10.1016/0967-0637(95)00021-W)

7. *Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А.* Структура и сезонная изменчивость Субантарктического фронта в юго-западной Атлантике по данным спутниковых измерений температуры поверхности океана // Системы контроля окружающей среды, 2005. Вып. 8. С. 237–239.
8. *Sokolov S., Rintoul S. R.* Circumpolar structure and distribution of the Antarctic Circumpolar Current fronts: 1. Mean circumpolar paths // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2009. Vol. 114, iss. C11. C11018. <https://doi.org/10.1029/2008JC005108>
9. Fronts, meanders and eddies in Drake Passage during the ANT-XXIII/3 cruise in January–February 2006: A satellite perspective / N. Barré [et al.] // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2011. Vol. 58, iss. 25–26. P. 2533–2554. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2011.01.003>
10. Southern Ocean fronts: Controlled by wind or topography? / R. M. Graham [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2012. Vol. 117, iss. C8. C08018. <https://doi.org/10.1029/2012JC007887>
11. *Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Никольский Н. В.* Климатическая структура динамических и температурных фронтов в море Скоша и прилегающих акваториях // *Морской гидрофизический журнал*. 2022. Т. 38, № 2. С. 127–150. EDN OKWWJW.
12. *Roden G. I.* Thermohaline fronts and baroclinic flow in the Argentine basin during the austral spring of 1984 // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1986. Vol. 91, iss. C4. P. 5075–5093. <https://doi.org/10.1029/JC091iC04p05075>
13. Structure and Variability of the Falkland Current / A. V. Remeslo [et al.] // *Doklady Earth Sciences*. 2004. Vol. 399, iss. 8. P. 1156–1159. EDN LIOLMN.
14. Multiple thermal fronts near the Patagonian shelf break / B. C. Franco [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35, iss. 2. L02607. <https://doi.org/10.1029/2007GL032066>
15. Multiple jets in the Malvinas Current / A. R. Piola [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2013. Vol. 118, iss. 4. P. 2107–2117. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20170>
16. Malvinas Current variability from Argo floats and satellite altimetry / C. Artana [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2016. Vol. 121, iss. 7. P. 4854–4872. <https://doi.org/10.1002/2016JC011889>
17. Fronts of the Malvinas Current System: Surface and Subsurface Expressions Revealed by Satellite Altimetry, Argo Floats, and Mercator Operational Model Outputs / C. Artana [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2018. Vol. 123, iss. 8. P. 5261–5285. <https://doi.org/10.1029/2018JC013887>
18. *Saraceno M., Provost C., Piola A. R.* On the relationship between satellite-retrieved surface temperature fronts and chlorophyll *a* in the western South Atlantic // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2005. Vol. 110, iss. C11. C11016. <https://doi.org/10.1029/2004JC002736>
19. *Sokolov S., Rintoul S. R.* On the relationship between fronts of the Antarctic Circumpolar Current and surface chlorophyll concentrations in the Southern Ocean // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2007. Vol. 112, iss. C7. C07030. <https://doi.org/10.1029/2006JC004072>
20. Defining Southern Ocean fronts and their influence on biological and physical processes in a changing climate / C. C. Chapman [et al.] // *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 10. P. 209–219. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0705-4>
21. Velocity and transport of the Falkland Current at 46°S / E. G. Morozov [et al.] // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2016. Vol. 16, iss. 6. ES6005. EDN XESXYR. <https://doi.org/10.2205/2016ES000588>
22. Direct Measurements of the Malvinas Current Velocity Structure / D. I. Frey [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2021. Vol. 126, iss. 4. e2020JC016727. <https://doi.org/10.1029/2020JC016727>
23. *Артамонов Ю. В.* Сезонная изменчивость положения Субантарктического фронта в юго-западной части Атлантики // *Доклады НАН Украины*. 2000. № 10. С. 115–120.

24. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature / R. W. Reynolds [et al.] // Journal of Climate. 2007. Vol. 20, iss. 22. P. 5473–5496. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1>
25. *Matano R. P., Schlax M. G., Chelton D. B.* Seasonal variability in the southwestern Atlantic // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1993. Vol. 98, iss. C10. P. 18027–18035. <https://doi.org/10.1029/93JC01602>

Об авторах:

Артамонов Юрий Владимирович, ведущий научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **SPIN-код: 9350-8966**, **ResearcherID: AAC-6651-2020**, **ORCID ID: 0000-0003-2669-7304**, artam-ant@yandex.ru

Скрипалева Елена Александровна, старший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 6064-4860**, **ResearcherID: AAC-6648-2020**, **ORCID ID: 0000-0003-1012-515X**, sea-ant@yandex.ru

Никольский Николай Викторович, младший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 2374-8598**, **ResearcherID: AAT-7723-2020**, **ORCID ID: 0000-0002-3368-6745**, nikolsky.geo@gmail.com