

ФРОНТЫ ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ АНТАРКТИКИ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Ю.В. Артамонов, Н.П. Булгаков,
П.Д. Ломакин, Е.А. Скрипалева,
А.Ю. Артамонов, С.В. Станичный

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
e-mail: ocean@mhi2.sebastopol.ua

На основе гидрологических и спутниковых данных исследованы среднегодовая структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов в Юго-Западной Атлантике. Получено хорошее соответствие экстремумов меридиональных градиентов температуры по гидрологическим и спутниковым данным и максимумов зональной составляющей геострофической скорости зональных течений. Отмечено, что по величине меридионального градиента температуры наиболее интенсивными фронтами являются Субантарктический и Южный субтропический фронты.

Введение. Представления о крупномасштабной структуре гидрологических фронтов Юго-Западной Атлантики сформулированы в обзорных работах [1-3]. В настоящее время надежно выделяют фронтальные разделы, связанные с крупномасштабными течениями южной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота и Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). К ним относятся – Фронт Бразильского течения (ФБТ), Южный субтропический фронт (ЮСБТФ), Субантарктический фронт (САФ), Антарктический полярный фронт (АПФ) и Фронт Южной ветви АЦТ (ФЮВ АЦТ) или Фронт моря Скотия (ФМС). В море Уэдделла выделены Фронт моря Уэдделла (ФМУ) и Фронт Западного прибрежного течения (ФЗПТ). В работах [4, 5] получены некоторые закономерности сезонного цикла фронтов в Юго-Западной Атлантике. Показано, что минимальные сезонные смещения, оцениваемые в 1–2 градуса широты, типичны для АПФ; для ЮСБТФ они увеличиваются до 2–3 градусов широты. Установлено также, что особенностью сезонной изменчивости фронтов является изменение значений тем-

пературы, которой соответствуют максимумы меридиональных градиентов.

Несмотря на то, что использование современных гидрологических массивов позволило существенным образом расширить представления о структуре фронтов, географическое положение, значения градиентов T,S-характеристик и временная изменчивость фронтов исследованы приближенно. Существенным шагом вперед в исследовании фронтов является анализ данных спутниковых измерений поверхностной температуры океана (ТПО). В настоящем сообщении представлены результаты исследования сезонного цикла фронтов по гидрологическим данным и спутниковым измерениям ТПО.

Материалы и методика. По среднегодовым и среднемесячным данным по температуре и солёности в узлах одноградусной сетки массива [6] рассчитаны поля горизонтальных меридиональных градиентов температуры (МГТ) и солёности (МГС) и скорости геострофических течений относительно поверхности 1000 м, а также параметры внутригодовых колебаний.

В работе также используются спутниковые измерения ТПО за 1985-2001 гг. Среднемесячные значения ТПО в узлах 54×54-километровой сетки взяты из архива AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA. По этим данным были рассчитаны среднемесячные за 17 лет значения МГТ. Для подавления шумов профили МГТ были сглажены трехточечным фильтром ($0.25\text{МГТ}_{i-1} + 0.5\text{МГТ}_i + 0.25\text{МГТ}_{i+1}$).

Положение фронтальных разделов определялось по экстремумам МГТ и МГС. Идентификация фронтов проводилась по значениям температуры и знакам градиентов. Значения экстремумов МГТ (°C/60 миль) и МГС (‰/60 миль) для гидрологических и МГТ (°C/30 миль) спутниковых данных далее по тексту приводятся в скобках. Гармоническим анализом по среднемесячным значениям МГТ (по спутниковым и гидрологическим данным) для каждого фронта и зональной составляющей геострофического течения были рассчитаны первые две гармоники (годовая и полугодовая) разложения Фурье.

Анализ результатов. В среднегодовых полях МГТ и МГТ вдоль 50° и 40° з.д. выделяется Фронт Западного прибрежного течения (рис. 1). Он располагается на крайнем

юге в море Уэдделла (70-75° ю.ш.), где у материкового склона глубже 100-150 м наблюдаются экстремумы отрицательных значений МГТ (-0.3) и МГС (-0.02). Севернее ФЗПТ, между 68° и 66° ю.ш., глубже 100 м проходит граница между более теплой Циркумпольной глубинной водной массой и холодными водами Зоны слияния

морей Уэдделла и Скотия (ЗСУС) – Фронт моря Уэдделла. Севернее 65° ю.ш. МГТ становятся снова отрицательными. Северная граница ЗСУС или Фронт моря Скотия проявляется в районе 58-60° ю.ш. глубже 150-200 м по слабому экстремуму отрицательных значений МГТ. Антарктический полярный фронт наблюдается между

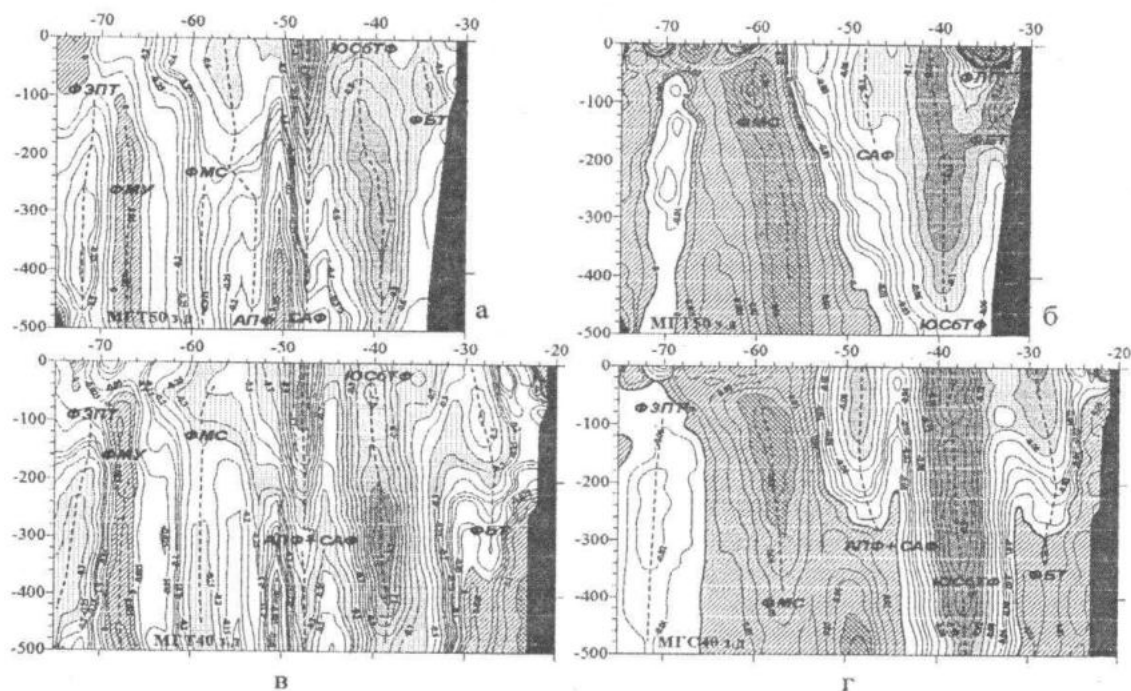


Рис. 1 - Среднегодовое распределение МГТ (а, в) и МГС (б, г) на разрезах вдоль 50° з.д. (а, в) и 40° з.д. (б, г).

55° и 58° ю.ш. (50° з.д.). Высокие значения МГТ (-0.6) прослеживаются в слое 0-150 м.

Субантарктический фронт на 50° з.д. расположен между 47° и 50° ю.ш. Он проявляется в виде высоких значений МГТ (-1.2) и МГС (-0.1) в верхнем 200-метровом слое. Высокие значения МГТ сохраняются до глубины 400 м. На 40° з.д. САФ формирует единый фронтальный раздел с Антарктическим полярным фронтом.

Севернее, в районе 40-42° ю.ш. наблюдается экстремум отрицательных значений МГТ, соответствующий Южному Субтропическому фронту. Максимальные значения МГТ отмечаются в слое 200-400 м. В поле солёности этот фронт прослеживается до глубин 400-500 м. На 50° з.д. максимум положительных значений МГС (0.22) в верхнем 30-метровом слое около 35° ю.ш. связан с фронтом стоковых вод Ла-Платы.

В подповерхностном слое, примерно на глубине 100 м, около 34° ю.ш. отмечается

ядро отрицательных значений МГТ (-0.9), характеризующее положение Фронта Бразильского течения. В поле солёности ядро экстремальных значений МГС (-0.2), определяющих ФБТ, прижато ближе к границе шельфа. На 40° з.д. Фронт Бразильского течения ослабевает (МГТ ~ -0.6, МГС ~ -0.1) и смещается на север (28-30° ю.ш.).

Анализируя сезонные вариации фронтов, отметим, что наиболее четко в течение всего года проявляется Субантарктический фронт между 47° и 50° ю.ш. (50° з.д.) и его восточное продолжение – единый фронтальный раздел, образующийся при слиянии Субантарктического и Антарктического полярного фронтов (САФ+АПФ) около 50° ю.ш. (40° з.д.). В течение года фронт занимает устойчивое положение, так как северный край Фолклендского плато ограничивает его сезонные смещения (рис. 2).

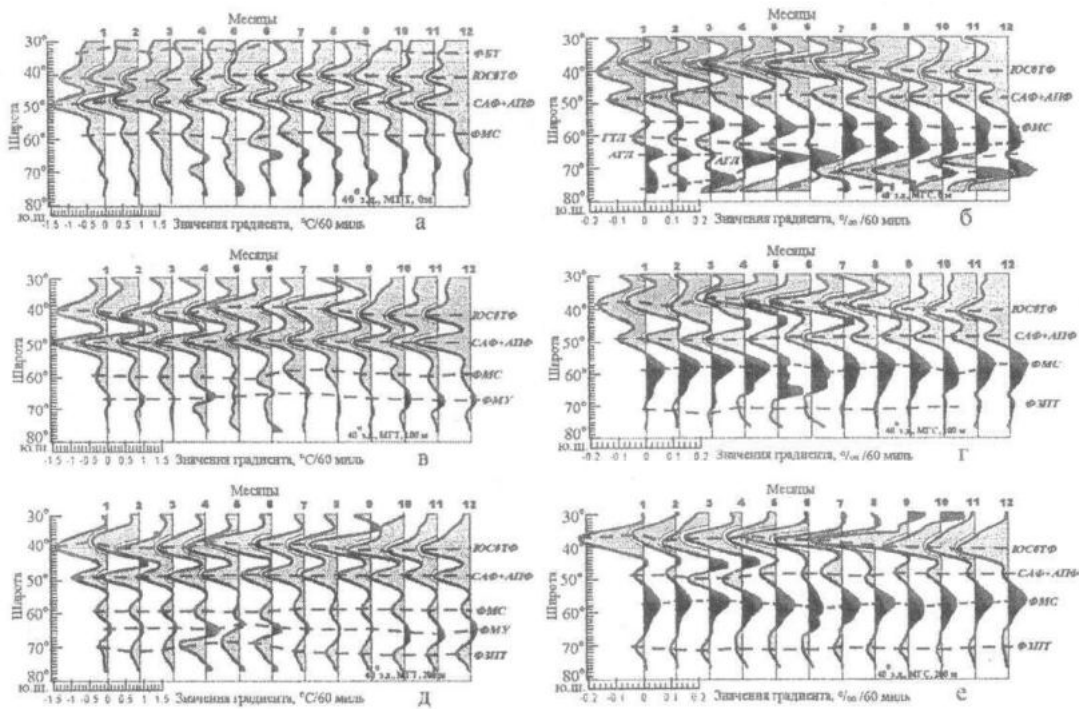


Рис. 2 - Сезонный ход МГТ (а, в, д) и МГС (б, г, е) на горизонтах 0 (а, б), 100 (в, г) и 200 м (д, е) вдоль 40° з.д.

Южный субтропический фронт менее устойчив в пространстве, чем САФ и САФ+АПФ. На 50° з.д. ЮСБТФ изменяет свое положение между 37° и 42° ю.ш. В поле ТПО на поверхности он практически не выделяется с апреля по июль. Мощная синоптическая изменчивость в зоне фронта, присутствующая даже в сильно сглаженных климатических данных, существенно усложняет сезонный сигнал в сезонных смещениях фронта. Восточнее (40° з.д.), смещения фронта имеют преобладающий годовой сигнал, который более четко выражен в подповерхностном слое. В северном положении ЮСБТФ находится примерно с апреля по июль.

Антарктический полярный фронт прослеживается в течение всего года между 57° и 59° ю.ш. (50° з.д.). В поле солёности на поверхности в течение года наблюдается слабый экстремум МГС. В подповерхностном слое явного экстремума МГС в зоне АПФ не наблюдается.

Несколько южнее, около 60° ю.ш. на поверхности отмечается положительные значения МГС, которые увеличиваются в октябре-декабре. Мы интерпретируем этот экстремум как поверхностное проявление ФМС. На 40° з.д. положение ФМС характе-

ризуют отрицательный экстремум МГТ и положительный экстремум МГС между 59° и 61° ю.ш.

Южнее ФМС сезонные профили МГТ и МГС на поверхности существенно усложняются. Между 61° и 65° ю.ш. с января по май наблюдается экстремум отрицательных градиентов солёности, который характеризует границу понижения солёности в области максимального летнего ледотаяния. Южнее значения МГС становятся снова положительными. Повышение солёности здесь связано с областью интенсивного ледообразования. Максимальные положительные значения МГС наблюдаются в апреле-июне, когда эти процессы наиболее развиты в центральной части моря Уэдделла.

Отмечается хорошее соответствие в положении экстремумов МГТ, МГС и стречней крупномасштабных геострофических течений (рис. 3). Также наблюдается совпадение времени наступления максимума геострофической скорости и МГТ. Коэффициент корреляции в большинстве случаев превышает значение 0.7, что свидетельствует о наличии связи между геострофическими течениями и поверхностными термическими фронтами. Для ЮСБТФ на 40° з.д., САФ

на 50° з.д. и ФМС на 40° з.д. наблюдается совпадение годового сигнала по спутниковым и гидрологическим данным. Значение коэффициента корреляции достигает 0.8.

Выявлено, что большинство фронтов устойчивы во времени. Оценка общего среднего квадратического отклонения значений температуры и ее МГТ в пределах различных фронтов по спутниковым данным для каждого месяца за 17 лет показывает, что оно в несколько раз меньше амплитуды внутригодового сигнала. Это свидетельствует о том, что сезонный сигнал характеристик температурных фронтов на поверхности океана определяется достаточно корректно.

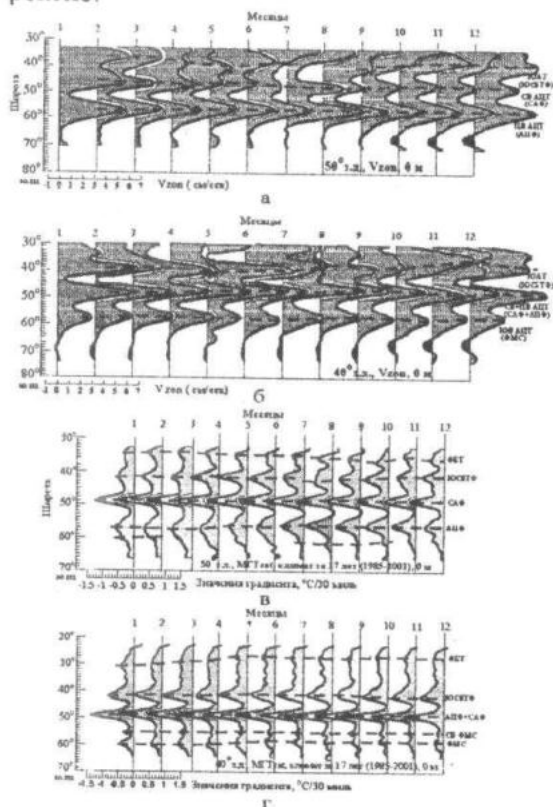


Рис. 3 - Сезонный ход зональной составляющей геострофической скорости (а, б) и МГТ (по спутниковым данным) (в, г) на поверхности вдоль 50° з.д. (а, в) и 40° з.д. (б, г).

По данным спутниковых измерений к югу от острова Южная Георгия обнаружен климатический фронт, который не упоминался ранее в литературе. В данном исследовании он назван Северной ветвью Фронта моря Скотия (СВ ФМС).

Анализ внутригодового цикла МГТ и значений температуры в пределах различных фронтов подтвердил, сделанный ранее вывод [5] о том, что в пределах всех фронтов

наблюдается изменение значений температуры с годовым периодом (рис. 4). Эти изменения происходят в фазе по всей акватории региона с максимальными значениями в январе-феврале и минимальными в августе-сентябре.

На большей части рассматриваемой акватории океана в интенсивности фронтов преобладает годовой сигнал.

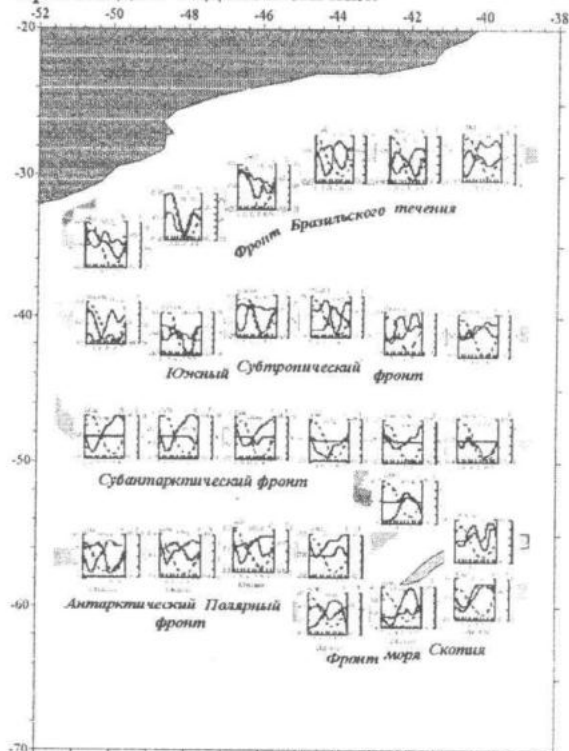


Рис. 4 - Внутригодовой ход МГТ (жирная), положения (тонкая), температуры (пунктир) для различных фронтов Юго-Западной Атлантики.

Фронт моря Скотия обостряется в теплое время года, когда усиливаются контрасты температуры между холодными водами образующимися в результате таяния льдов, и более теплыми поверхностными водами к северу от фронта. Антарктический полярный фронт интенсифицируется преимущественно в холодное полугодие, когда отмечается общее усиление ветров в полярной области. В зоне разворота АПФ на север его сезонный сигнал становится идентичным внутригодовой изменчивости САФ и ФМС, которые обострены в первую половину года. На восточной границе акватории, в зоне слияния АПФ и САФ прослеживается полугодовой сигнал. Аналогичный, но более интенсивный сигнал, обнаружен в сезонном ходе Северной ветви ФМС. Основной максимум интенсивности фронтальных разде-

лов САФ+АПФ и СВ ФМС наблюдается в сентябре-октябре, т.е. практически в фазе с периодом обострения АПФ западнее 44° з.д. В первую половину года температура СВ ФМС ближе к температуре АПФ, тогда как в период зимнего обострения ее температура близка к температурному диапазону ФМС. Субантарктический фронт на западной границе района исследований усиливается в марте. К востоку сезонный сигнал запаздывает. На 44° з.д. максимальное обострение САФ наблюдается в мае-июне. Распределение сезонного сигнала в зонах ЮСТФ и ФБТ носит сложный характер. Ближе к побережью Южной Америки на фоне основного годового сигнала усиливается влияние полугодовой гармоника. В центральной части оба фронта усиливаются практически в фазе, во вторую половину года (сентябрь-октябрь). Ближе к восточной границе района для ЮСБТФ характерно смещение максимума обострения на первую половину года.

Выявление механизмов сложного пространственного распределения сезонного сигнала температурных фронтов является предметом отдельного исследования. Здесь мы отметим, что эти механизмы обуславливаются особенностями пространственного распределения характеристик крупномасштабного поля ветра над регионом.

Заключение. Анализ гидрологических и спутниковых данных в юго-западной части Атлантики позволил выделить, кроме известных фронтов, ранее не описанный фронтальный раздел – Северную ветвь ФМС и уточнить точку разворота АПФ перед его слиянием с САФ.

Выявлена тесная связь между положением экстремумов МГТ по гидрологическим и спутниковым данным и максимумов геострофической скорости зональных течений. Показана высокая степень связи (коэффициент корреляции 0.7 – 0.8) сезонных изме-

нений геострофических скоростей в пределах различных фронтов и сезонного цикла МГТ на поверхности. По величине МГТ наиболее интенсивными фронтами являются САФ и ЮСБТФ. Для этих фронтов характерны наибольшие сезонные изменения. Все фронты изменяются с преобладающим годовым периодом. Полугодовые вариации типичны для САФ+АПФ, СВ ФМС и для западных участков ФБТ и ЮСБТФ. Выявлено, что ФМС, САФ наиболее обостренны в первую половину года, АПФ и ЮСБТФ – во вторую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Водные массы и циркуляция Южного океана. Л., Гидрометеиздат, 1986. - 288 с.
2. Peterson R.G., Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // *Frog. Oceanogr.*, 1991, N 26. - P. 1-73.
3. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д. Фронты атлантического сектора Южного океана (обзор литературы) // *Препринт, МГИ НАНУ, Севастополь, 1999.* - 68 с.
4. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д. Вертикальная термохалинная структура и климатические фронты Юго-Западной Атлантики // *МГЖ, 2000, № 6.* - С. 56-66.
5. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Крупномасштабные фронты Юго-Западной Атлантики в поле градиентов температуры и солености и их сезонная изменчивость // Сб. "Системы контроля окружающей среды", МГИ НАНУ, Севастополь, 2002. - С. 364-370.
6. Levitus S., Boyer P.T. World Ocean Atlas. U.S. CD-ROM Data Sets. // National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory, Washington, D.C, June, 1994.