

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ФРОНТЫ ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ В ПОЛЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ

Ю.В.Артамонов, Е.А.Скрипальева

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail:oaoi@alpha.mhi.iuf.net

На основе климатического массива данных исследована пространственная структура крупномасштабных фронтов Юго-Западной Атлантики. Показаны особенности проявления фронтов в полях горизонтальных градиентов температуры и солености на различных горизонтах. Описана сезонная изменчивость Антарктического Полярного, Субантарктического фронтов и Фронта моря Скотия..

Введение. Несмотря на повышенный интерес к исследованию Юго-Западной Атлантики, обусловленный ее промысловой значимостью, многие вопросы океанографии этого региона остаются слабо изученными. Важнейший среди них – исследование крупномасштабных климатических фронтов, обусловливающих специфическое распределение гидробиологических полей и влияющих на промысловую обстановку. В современной литературе фронты описаны, главным образом, по материалам отдельных экспедиций. Существующие схемы положения фронтов составлены без учета их пространственно-временной изменчивости [1-3]. В последние годы появились исследования фронтов, базирующиеся на данных климатических массивов [4-6]. Одним из серьезных ограничений этих работ является рассмотрение фронтов только по их главному признаку (например для Антарктического полярного фронта – положение границы подповерхностного минимума температуры), что не дает представления об их вертикальной структуре.

Цель предлагаемой работы – на основе современного климатического массива гидрологических данных описать особенности проявления крупномасштабных фронтов Юго-Западной Атлантики в полях горизонтальных градиентов температуры и солености на различных горизонтах и оценить их сезонную изменчивость.

Материалы и методика. В качестве исходных данных использованы массивы средних

месячных значений температуры и солености, приведенные с помощью процедур объективного анализа в узлы регулярной одноградусной сетки и на стандартные горизонты в слое 0-1000 м. Подробное описание материалов и методики интерполяции можно найти в работах [7,8].

Район исследований ограничен с севера 40° ю.ш.; с юга – Антарктическим материком; с запада – берегом Южной Америки и 70° з.д.; 30° з.д. – с востока. Сюда входит несколько физико-океанографических регионов: моря Скотия и Уэдделла, пролив Дрейка, Аргентинский бассейн, а также обширные акватории шельфов Антарктиды и Южной Америки (Патагонский шельф, шельф Антарктического полуострова и моря Уэдделла).

Массив фактических наблюдений, послуживший основой для интерполяции в узлы регулярной сетки, включил ~ 58 тысяч гидрологических станций за время с 1911 по 1994 гг. Из них 14.2 тысячи – батометрические серии; 1.8 тысяч – СТД-зондирования; 25.6 тысяч – термобатиграфные и 16.6 тысяч – ХВТ-зондирования. Объем выборки солености (16 тысяч станций) почти в четыре раза меньше объема выборки температуры. Основная часть наблюдений охватывает слой 0-200 метров.

Наибольшая плотность наблюдений типична для районов промысла (Патагонский шельф, море Скотия), а также проливов Дрейка и Брансфилда; наименьшая – для акваторий к югу от 60° ю.ш. (море Уэдделла) и восточных районов открытой части океана (рис. 1а). Летние месяцы (январь-март) в несколько раз лучше обеспечены наблюдений по сравнению с зимними месяцами (июнь-август), особенно в восточной и южной части региона (рис. 1б).

По средним месячным данным были построены горизонтальные распределения температуры и солености. На стандартных горизонтах рассчитаны горизонтальные меридиональные и зональные градиенты температуры и солености. Для расчета градиентов термохалинных характеристик использовалась методика, приведенная в работе [9]. По результатам расчетов построены карты их горизонтального распределения. Вдоль меридианов 30°, 40°, 50°, 55°, 65°, 69° з.д. и широт 40°, 45°, 50° ю.ш. для каждого месяца были построены профили меридиональных и зональных градиентов температуры и солености. По профилям градиентов, на основе карт горизонтального распределения температуры, солености и их градиентов, были выделены экстремумы градиентов, соответствующие Антарктическому полярному (АПФ), Субантарктическому (САФ) фронтам и Фронту моря Скотия

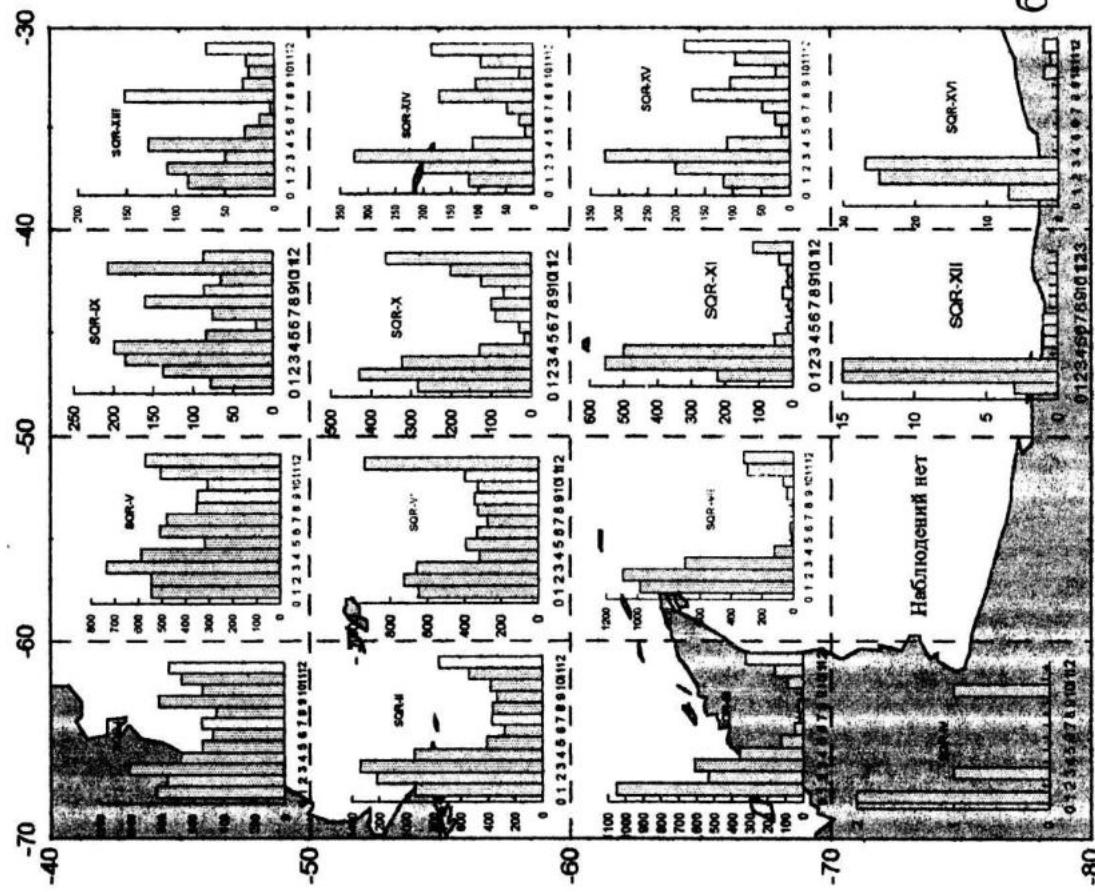
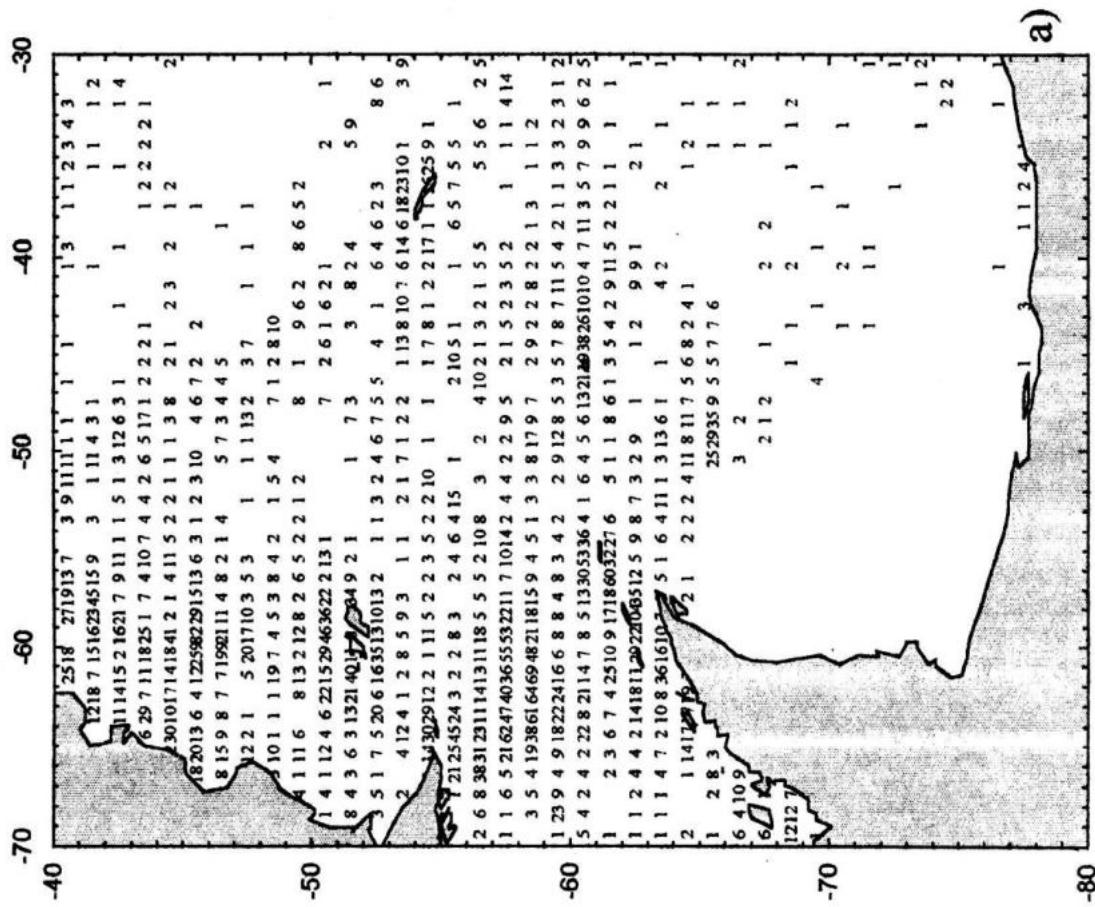


Рис. 1. а) - количество наблюдений в одноградусных квадратах (март), б) - общая обеспеченность в трапециях $10^9 \times 10^9$.

(ФМС). Затем был построен внутригодовой ход величин соответствующих экстремумов и их пространственного положения.

Анализ результатов. Горизонтальные распределения температуры и солености (рисунки не приводятся) показывают, что на поверхности наиболее теплые и соленые воды ($T > 16-17^{\circ}\text{C}$ и $S > 34.5\%$) наблюдаются на северо-западе исследований. Эти воды поступают с Бразильским течением из Тропических широт вдоль западной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота. Южная граница вод Бразильского течения проходит примерно вдоль 40°ю.ш. Здесь по распределению солености (примерно между изохалинами 34.6–34.8%), наблюдается мандрирующий фронтальный раздел, который согласно [2] мы называли Субтропическим фронтом (СТФ). В поле меридиональных градиентов температуры в пределах области исследований этот фронт выражен слабо (рис. 2а), в то время как в распределении меридионального градиента солености в районе 40°ю.ш. наблюдается максимум до $0.18\% / 100 \text{ км}$ (рис. 2г). В полосе широт $47-50^{\circ}\text{ю.ш.}$ примерно между изотермами $9-12^{\circ}\text{C}$ и изохалинами 34.1% и 34.4% наблюдается другой фронтальный раздел. Здесь отмечаются максимумы меридиональных градиентов температуры ($1.5^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$) и солености ($0.12\% / 100 \text{ км}$). Эти характеристики близки к параметрам Субантарктического фронта (САФ), известным по литературе [2]. Ближе к Южной Америке этот фронт сходится с Субтропическим фронтом и зоной распреснения над Патагонским шельфом.

Южнее 55°ю.ш. градиенты температуры и солености на поверхности в целом уменьшаются. Некоторое повышение градиентов температуры ($0.7-0.8^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$) наблюдается в северной части пролива Дрейка, которое распространяется в море Скотия и вытягивается вдоль Патагонского шельфа. Мы связываем это увеличение градиентов с поверхностным проявлением САФ и АПФ. Разделить эти фронты в климатических полях в данном районе невозможно.

Район Фолклендских островов и Огненной Земли, где заметно влияние пресного стока, оконтурен зоной повышенных градиентов солености. В южной части региона, у Антарктического континента, наблюдаются локальные области поверхностного распроснения, оконтуренные зонами повышенных градиентов солености (рис. 2г). Они образуются в результате таяния морских льдов.

На горизонте 100 метров (средняя глубина залегания субтропического максимума солено-

сти и минимума температуры Антарктической зимней водной массы) распределение градиентов температуры и солености существенно меняется (рис. 2б, д). В северной части региона обостряются температурные градиенты в области СТФ (между изотермами 10°C и 14°C и изохалинами 34.7% и 35.1%) и САФ (между изотермами 6°C и 8°C и изохалинами 34.2% и 34.4%). Экстремумы меридиональных градиентов температуры и солености составляют соответственно $1.4^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$ и $1.0^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$ (рис. 2б); $0.2\% / 100 \text{ км}$ и $0.05\% / 100 \text{ км}$ (рис. 2д).

Наблюдается сгущение изотерм $2-4^{\circ}\text{C}$, которое мы интерпретируем как Антарктический полярный фронт (АПФ). Он простирается от пролива Дрейка через море Скотия и на востоке близко подходит к Субантарктическому фронту. В полях меридиональных градиентов температуры и солености здесь наблюдается один экстремум – $1.3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$ и $1.1\% / 100 \text{ км}$ соответственно. В поле меридиональных градиентов солености западнее 50°з.д. в зоне АПФ также наблюдается экстремум ($-0.01\% / 100 \text{ км}$).

На границе моря Скотия и Уэдделла в поле солености на глубине 100 м также наблюдается фронтальная зона (между изохалинами 34.1–34.3%). Меридиональный градиент солености в ней достигает $0.06\% / 100 \text{ км}$. Этот фронт образуется в результате взаимодействия вод холодного подповерхностного слоя моря Скотия и моря Уэдделла. Последние из-за большего количества льда, образующегося в зимний период, имеют большую соленость.

На горизонте 200 м в южной части моря Скотия наблюдается зона повышенных меридиональных градиентов температуры ($> 0.2^{\circ}\text{C} / 100 \text{ км}$) и солености ($> 0.05\% / 100 \text{ км}$), которая показывает южную границу Верхней циркумполярной глубинной воды (рис. 2в, е). Эта водная масса, имеющая более высокую температуру, располагается наиболее близко к поверхности в зоне антарктической дивергенции в южной части моря Скотия.

Рассмотрим внутригодовую изменчивость основных крупномасштабных фронтов в Юго-Западной Атлантике.

Анализ графиков изменения меридиональных градиентов температуры и солености по месяцам на горизонтах 0, 100 и 200 м показал, что на всех кривых выделяется ряд максимумов, которые характеризуют положение и интенсивность крупномасштабных фронтов на данном меридиане. Используя карты горизонтальных распределений температуры и солености и их градиентов, мы идентифицировали каждый экстремум. Наиболее четко выделяют-

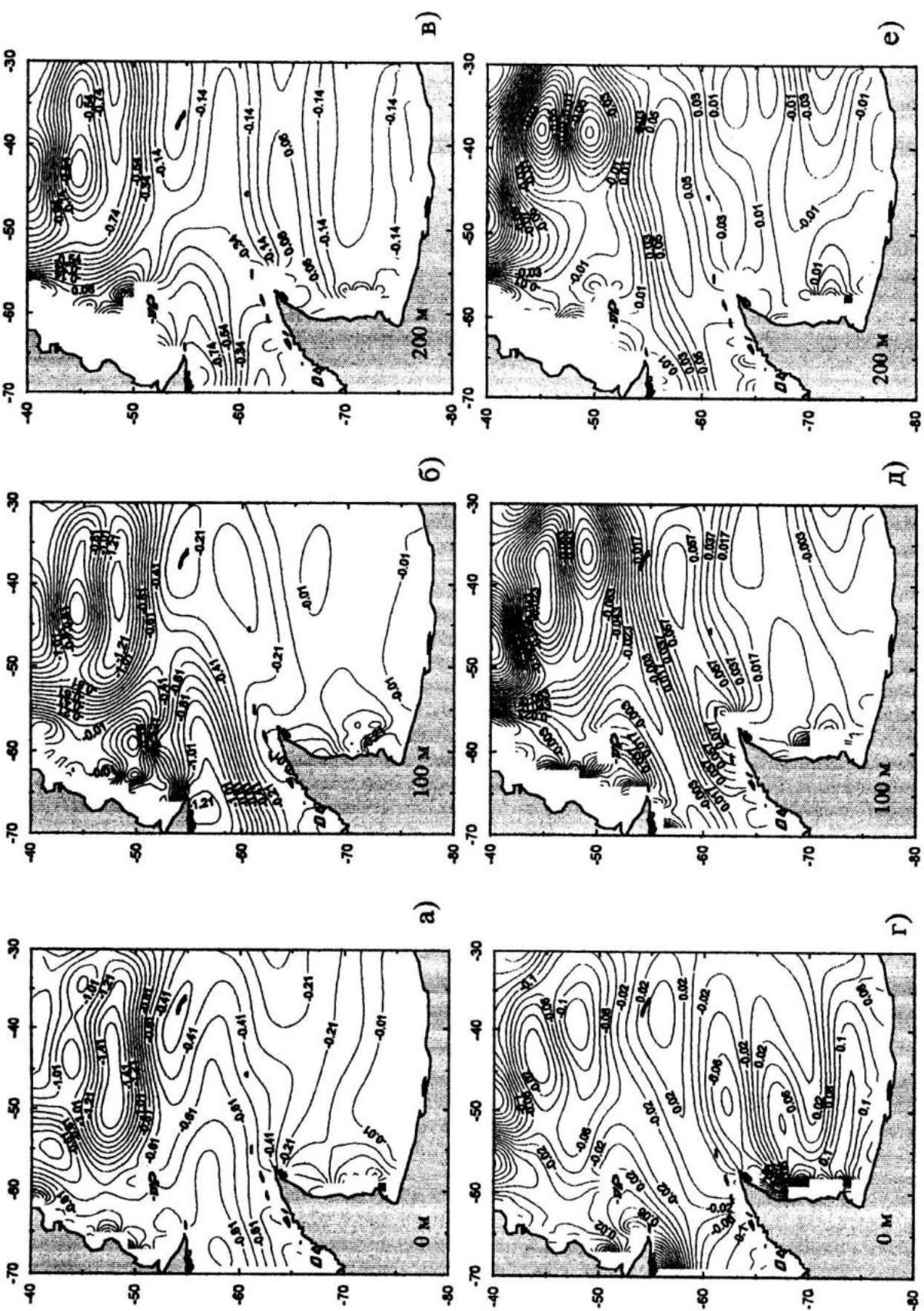


Рис.2. Поля меридиональных градиентов температуры (а, б, в) и солености (г, д, е) на глубинах 0, 100 и 200 м в марте.

ся экстремумы, связанные с Субантарктическим и Антарктическим полярным фронтами, а также с Фронтом моря Скотия.

Вдоль 40° з.д. на поверхности, 100 и 200 м наиболее четко выделяются три максимума. Первый экстремум наблюдается у северной границы области исследований и связан с Субтропическим фронтом (рис. За,в). Поскольку точка перегиба в этом максимуме располагается вне пределов области исследований, сезонный цикл СТФ здесь не обсуждается.

Следующий максимум наблюдается в окрестностях $47\text{--}50^{\circ}$ ю.ш. и соответствует зоне схождения САФ и АПФ. Внутригодовой ход экстремумов градиентов как в поле температуры, так и в поле солености, характеризуется полугодовым сигналом (рис. Зд,ж). На поверхности в поле температуры наибольшее значение этого максимума отмечается в феврале-марте, второй, более слабый, пик интенсивности наблюдается в августе. В поле меридиональных градиентов солености этот экстремум выражен более четко. Максимумы наблюдаются в марте и сентябре. В отличие от поверхности, на горизонте 100 м, при общем незначительном ослаблении градиентов, амплитуда сезонных изменений меридиональных градиентов возрастает почти в два раза. Наступление максимумов запаздывает по сравнению с поверхностными максимумами на 1–2 месяца. На горизонте 200 м амплитуда интенсивности снова уменьшается. Положение зоны схождения САФ и АПФ квазистационарно в поле температуры. На трех рассматриваемых горизонтах в течение всего года этот фронт располагается между 47° и 49° ю.ш., у северного края банки Энгинг. В поле солености наблюдаются сезонные колебания положения фронта в пределах 300 км.

Третий, относительно слабый, экстремум меридионального градиента, но присутствующий во все месяцы, располагается между 55° и 62° ю.ш. Согласно [10,11] мы интерпретируем этот экстремум как обострение градиентов в пределах Фронта моря Скотия (или Вторичной фронтальной зоны). На поверхности максимальные градиенты в поле температуры здесь наблюдаются в июле, в поле солености – в августе. При этом отмечается смена знака градиента с июля по декабрь, что свидетельствует о резком росте солености в холодное время года, обусловленном интенсивным образованием льда. С глубиной величина градиента и амплитуда сезонного сигнала уменьшаются и на горизонте 200 м составляют 50% от поверхностного сигнала. В поле температуры ФМС на всех глубинах занимает крайнее северное положение в июле в районе 56° ю.ш. В это же

время наблюдается максимум значений градиентов (рис. Зд). В поле меридиональных градиентов солености этот фронт выражен более четко (рис. Зв). При этом максимум градиентов солености наблюдается в марте (рис. Зж).

Ближе к побережью Южной Америки (55° з.д.) и в западной части моря Скотия САФ и АПФ разделяются и прослеживаются как два самостоятельных фронта с хорошо выраженным экстремумами меридиональных градиентов температуры и солености (рис. Зб,г). На поверхности в поле температуры в годовом ходе интенсивности фронтов преобладает годовой сигнал с максимумами соответственно летом (февраль–март) для САФ и зимой (июнь–июль) для АПФ. В поле солености АПФ наиболее интенсивен весной (ноябрь). Годовой ход интенсивности САФ характеризуется полугодовым сигналом с максимумами в июне и октябре. С глубиной амплитуда сезонного хода интенсивности фронтов уменьшается для САФ почти в 6 раз, а для АПФ – вдвое. Характерно, что зимняя интенсификация САФ на горизонтах 100 и 200 м продолжается 3–4 месяца, тогда как на поверхности этот процесс длится около месяца. В полях температуры и солености на 55° з.д. САФ и АПФ незначительно меняют свое широтное положение, располагаясь соответственно около 47° и 57° ю.ш. (рис. Зе,з).

В проливе Дрейка (69° з.д.) в поле меридиональных градиентов температуры на поверхности можно выделить один экстремум. Известно, что по результатам синоптических измерений здесь выделяются три фронта: Субантарктический, Антарктический полярный и Граница континентальных вод. Меридиональные размеры этих фронтов по фактическим данным не более сотни километров [2,3]. Используемый нами климатический массив, содержит сильно осредненные гидрологические данные, в которых можно надежно идентифицировать только АПФ. Необходимо отметить, что в проливе Дрейка положение максимальных градиентов солености в среднем смешено от положения экстремумов температурных градиентов на 100–200 км. В поле температуры интенсивность фронта на поверхности и на 200 м содержит годовую гармонику (максимальные меридиональные градиенты на поверхности наблюдаются в июле, на 200 м – в мае). На глубине 100 м отмечается полугодовой сигнал с обострением градиентов температуры летом (февраль) и зимой (июль). Необходимо констатировать, что на горизонте 200 м максимум интенсивности АПФ наблюдается на 2–3 месяца раньше, чем в верхних слоях. Такую закономерность можно отметить и да-

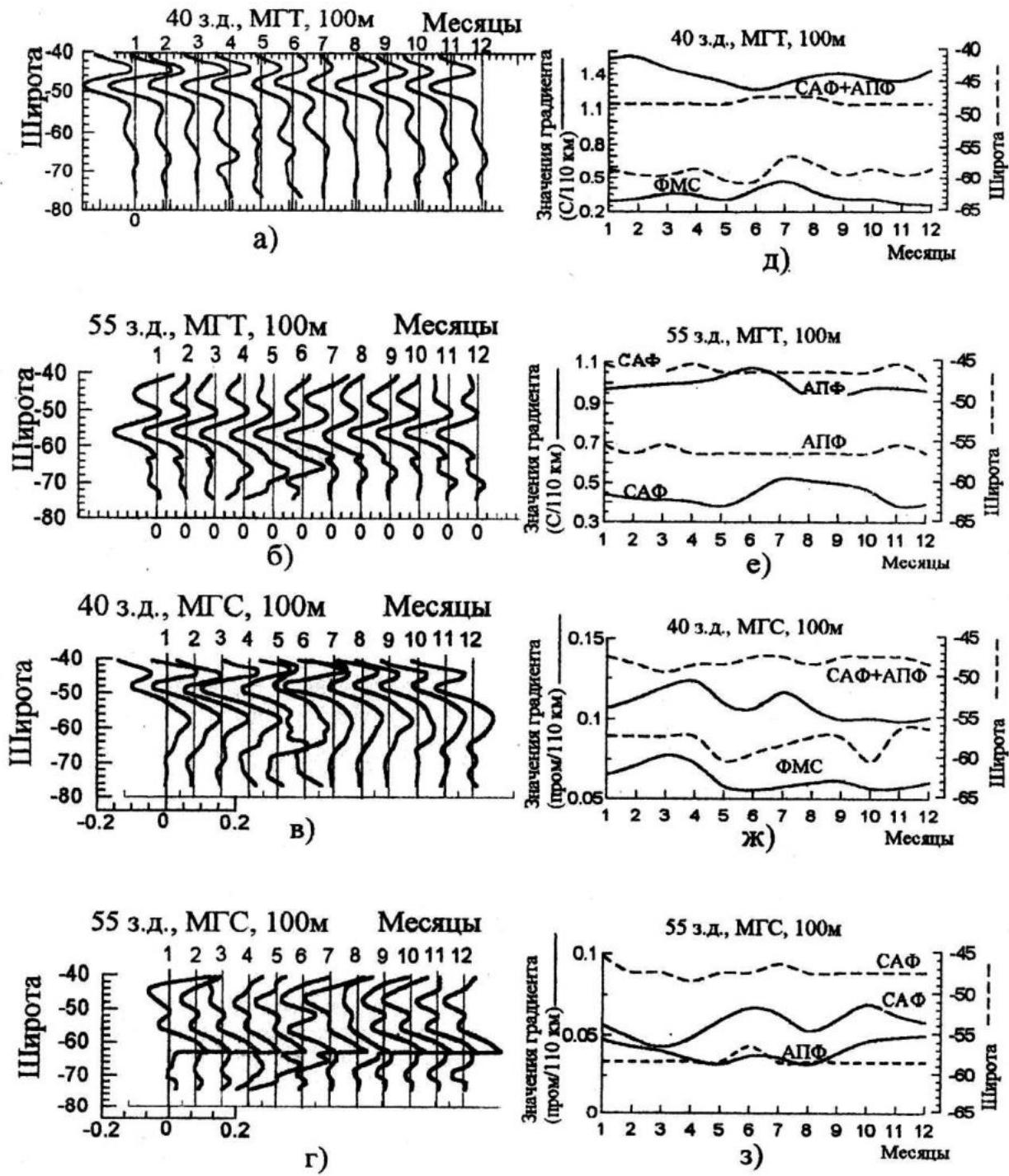


Рис.3. Профили меридиональных градиентов температуры (МГТ) (а, б) и солености (МГС) (в, г) и внутригодовой ход их экстремумов и положения в полях температуры (д, е) и солености (ж, з) на глубине 100 м на разрезах 40°з.д. и 55°з.д.

лес на восток на 65° з.д. (рисунок не приводится).

В поле меридиональных градиентов солености выделяются три экстремума. Два из них прослеживаются у границ пролива и связаны с прибрежным распреснением, которое наиболее интенсивно в летний период южного полушария. Третий максимум располагается в зоне АПФ. Он наиболее выражен в холодное время года. В поле солености годовой ход экстремумов градиентов на 0 и 200 м содержит полугодовой сигнал, а на глубине 100 м – годовой с максимумом в зимнее время года (июль-август). Он располагается около 58° ю.ш. на глубинах 0 и 100 м и смещается до 56° ю.ш. на горизонте 200 м.

Заключение. Анализ горизонтальных полей температуры и солености и их меридиональных градиентов в верхнем 200-метровом слое Юго-Западной Атлантики позволил выделить ряд крупномасштабных фронтальных зон, которые являются проявлением известных климатических фронтов (Субтропического, Субантарктического, Антарктического полярного и Фронта моря Скотия) и оценить их интенсивность и сезонную изменчивость.

Получено, что в горизонтальных полях температуры и солености СТФ и САФ выражены более четко, чем АПФ, за исключением пролива Дрейка. Климатические меридиональные градиенты температуры в зонах СТФ и САФ могут достигать $1-2^{\circ}\text{C}/100$ км, тогда как в зоне АПФ – $0.5-1^{\circ}\text{C}/100$ км. В проливе Дрейка они достигают $1.5-2^{\circ}\text{C}/100$ км.

Отмечены пространственные вариации в положении этих фронтов, наиболее ярко выраженные у побережья Южной Америки. На поверхности такие смещения могут достигать несколько сотен километров. С глубиной амплитуда сезонных смещений уменьшается.

Выявлено, что в полях температуры и солености крупномасштабные фронты проявляются неодинаково. В частности, положение температурного фронта в зоне АПФ смещено к северу относительно соленостного фронта на 100-200 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Водные массы и циркуляция Южного океана // Л.: Гидрометеоиздат.-1986.- 288 с.
2. Peterson R.G., L.Stramma. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr.-1991.-26.-P.1-73.
3. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Бибик В.А., Джиганшин Г.Ф. Антарктический полярный фронт в проливе Дрейка и западной части моря Скотия в феврале и апреле 1997г. // Бюлл. УАЦ.-1997.- №1.
4. Булгаков Н.П., Ярошени Р.А., Скрипалева Е.А., Воскресенская Л.А. Пространственная структура южной полярной фронтальной зоны Атлантики // МГЖ.-1999.- №1. -С.58-70.
5. Артамонов Ю.В. Сезонная изменчивость положения Субантарктического фронта в юго-западной части Атлантики // Доповіді НАН України.-2000. - №10. -С.115-120.
6. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д. Вертикальная термохалинная структура и климатические фронты Юго-Западной Атлантики // МГЖ.-2000.- №6. - С.56-66.
7. Levitus S., Boyer P.T. World Ocean Atlas 1994.-vol.3: Salinity. // NOAA Atlas NESDIS 3.-US Department of Commerce.-Washington.-1994.-99 р.
8. Levitus S., Boyer P.T. World Ocean Atlas 1994.-vol.4: Temperature. // National Oceanographic Data Center.-Ocean Climate Laboratory.-1994.-120 р.
9. Булгаков Н.П., Ярошени Р.А., Скрипалева Е.А., Воскресенская Л.А. Климатические горизонтальные градиенты термохалинных характеристик Тропической Атлантики // МГЖ.-2000.- №4. - С.30-45.
10. Афанасьев Б.В., Масленников В.В. Океанологические условия летом 1982 г. в южной части моря Скотия – в северной части моря Уэдделла // Препринт.-ВНИРО.-1983.-38 с.
11. Богданов М.А., Орадовский С.Г., Солянкин Е.В., Хвацкий Н.В. О фронтальной зоне моря Скотия // Океанология.-1969.-т.9.-в.6.- С.966-974.