

УДК 551.465

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ МАСС В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА

Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипалёва, А.В. Федирко

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: artam-ant.yandex.ru*

Реферат. На основе климатического массива World Ocean Atlas-2009, массива архивных данных World Ocean Data-2009 и данных ре-анализа NCEP исследована сезонная и межгодовая изменчивость водных масс в проливе Дрейка и прилегающих акваториях Южного океана. Анализируется связь пространственно-временной изменчивости характеристик водных масс с положением крупномасштабных фронтов и изменчивостью индексов атмосферной циркуляции.

Сезонна та міжрічна мінливість водних мас у протоці Дрейка. Ю.В. Артамонов, О.О. Скрипальова, О.В. Федірко

Реферат. На основі кліматичного масиву World Ocean Atlas-2009, масиву архівних даних World Ocean Data-2009 і даних ре-аналізу NCEP досліджено сезонну та міжрічну мінливість водних мас у протоці Дрейка і прилеглих акваторіях Південного океану. Аналізується зв'язок просторово-часової мінливості характеристик водних мас із розташуванням великомасштабних фронтів і мінливістю індексів атмосферної циркуляції.

Seasonal and interannual variability of water masses in Drake passage. Ju.V. Artamonov, E.A. Skripaleva, A.V. Fedirko

Abstract. On the basis of climatic array World Ocean Atlas-2009, archive data bases World Ocean Data-2009 and the data of re-analysis NCEP the seasonal and interannual variability of water masses in Drake Passage and adjacent water areas of Southern ocean is investigated. The connection of water masses spatial-temporal variability with position, large-scale fronts and indexes of atmospheric circulation variability is analyzed.

Key words: Antarctic winter water mass, Antarctic intermediate water mass, Antarctic Circumpolar current, seasonal and interannual variability, large-scale fronts, Southern Oscillation and Antarctic Oscillation indexes.

1. Введение

Особое внимание в современных океанографических исследованиях уделяется изучению сезонной и межгодовой изменчивости водных масс и гидрологических фронтов как важнейших абиотических факторов, определяющих биопродуктивность вод Мирового океана [1–4]. При этом полярные области Земли рассматриваются как индикаторы глобального состояния климата, поскольку именно в этих районах наблюдаются заметные межгодовые колебания в системе океан-атмосфера [5–7]. Эти изменения существенным образом отражаются в гидрологической структуре вод, характеристиках водных масс и их продуктивности в широком спектре пространственно-временных масштабов.

Основные черты крупномасштабной структуры водных масс в Мировом, в том числе и в Южном океане, изложены в обобщающих монографиях [8–10]. В конце 80-х – начале 90-х годов вышла серия работ, в которых представлены результаты исследования синоптической структуры вод, водных масс и фронтов Южной Атлантики на основе экспедиционных материалов [11–15].

В последнее время в связи с повышенным интересом к глобальной климатической изменчивости увеличилось количество работ по исследованию динамики промежуточных, глубинных и донных вод Мирового океана. В работах [16, 17] на основе анализа фактических данных и климатического моделирования исследуются механизмы формирования и изменчивости водных масс. Большие успехи достигнуты в исследовании структуры донных и глубинных вод в проливе Дрейка, морях Скоша и Уэдделла и в Тихоокеанском секторе Южного океана, где уточнены их пространственно-временные характеристики и пути распространения [18, 19, 20]. В частности, показано, что за последние 40 лет Антарктическая промежуточная водная масса (АПрВ) подверглась опреснению на 0.05‰, что связано с резким изменением климата к западу от Антарктического полуострова.

В целом, анализ публикаций по изменчивости водных масс показал, что основное внимание уделяется изучению их синоптической структуры по материалам конкретных экспедиций, и в меньшей степени – исследованию сезонной и межгодовой изменчивости. Количество работ, выполненных на основе климатических массивов, ограничено. В работах [1, 21], базирующихся на основе уже относительно устаревших климатических массивов, показано, что формирование поверхностных водных масс находится в тесной связи с сезонной изменчивостью метеорологических процессов Южного полушария. Максимальные объемы холодных вод отмечаются в зимне-весенний период, теплых – летом-осенью, что еще раз подтверждает концепцию о локальном механизме формирования поверхностных вод. Показано, что в пределах АПрВ отмечаются верхний и нижний максимумы изменчивости объемов вод, природа которых связана с динамикой Антарктического полярного (АПФ) и Субантарктического (САФ) фронтов.

В настоящее время в результате проведения серии международных океанографических проектов (WOCE, SAVE, МПГ 2007-2008 гг. и т.д.) существенно дополнена база архивных гидрологических данных, на основе которой созданы более современные климатические массивы. Кроме этого, в последние годы для исследования изменчивости характеристик поверхности океана стали широко использоваться данные различных ре-анализов, основанные на спутниковых и контактных измерениях. Высокая пространственно-временная обеспеченность этих массивов позволяет выйти на новый качественный уровень в исследовании изменчивости структуры вод и существенно расширяет возможности интерпретации и осмысления физических процессов, протекающих в деятельном слое океана, особенно Южного, где данных контактных измерений крайне мало.

Цель данной работы – исследовать климатическую сезонную и межгодовую изменчивость водных масс в регионе пролива Дрейка на основе современных массивов архивных и климатических баз данных.

2. Материалы и методика

Для анализа изменчивости характеристик водных масс использованы три массива:

- массив среднемесячных значений температуры (Т) и солёности (S), приведенных с помощью процедур объективного анализа в узлы регулярной одноградусной сетки и на стандартные горизонты от поверхности до 1500 м, WOA-2009 [22];
- массив фактических данных архивной базы WOD-2009 [23];
- массив среднемесячных значений температуры на поверхности океана (ТПО) в одноградусной сетке из банка данных реанализа NCEP (National Center for Environmental Prediction) за период с 1982 по 2009 г. [24].

Для оценки связи межгодовой изменчивости водных масс с крупномасштабными атмосферными процессами использовались значения индексов Южного (ЮК) и Антарктического (ААК) колебаний [25] за период с 1982 по 2009 г.

В работе рассматривался регион пролива Дрейка и прилегающих акваторий Южного океана между 50–70° з.д. и 55–65° ю.ш. Из всей совокупности гидрологических станций из

архивной базы WOD-2009 были выбраны станции для трех районов (I, II, III), наиболее обеспеченных квазимеридиональными синоптическими разрезами (рис. 1).

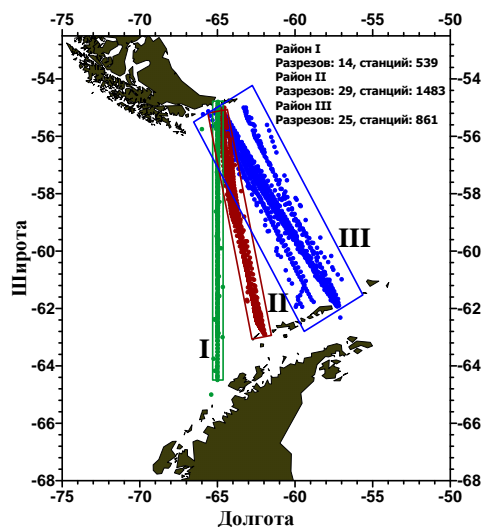


Рис. 1. Районы, наиболее обеспеченные гидрологическими разрезами, точками показано положение океанографических станций.

Анализ внутригодового распределения данных в пределах выбранных районов показал, что даже в этом регионе Южного океана, где проведено наибольшее количество экспедиций, наблюдается крайне неравномерная обеспеченность данными как по пространству, так и по времени (рис. 2). Наибольшая обеспеченность наблюдениями по месяцам отмечается для района II, в котором измерения проводились во все месяцы, кроме июня. Для районов I, III измерения в ряде месяцев полностью отсутствуют. Таким образом, по архивным гидрологическим данным в этих районах наиболее репрезентативно можно анализировать только часть сезонного цикла структуры вод.

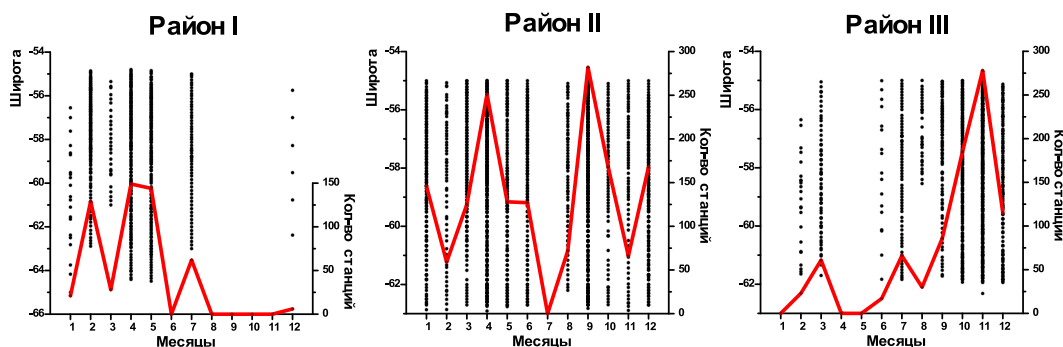


Рис. 2. Внутригодовая обеспеченность данными измерений в трех районах (см. рис.1), количество гидрологических станций по месяцам показано жирной линией.

В работе исследуется верхний слой океана до 200 м, который наиболее подвержен сезонной изменчивости и лучше обеспечен измерениями. В рассматриваемых районах для каждого разреза значения температуры из массива WOD-2009 на фактических горизонтах измерений были приведены в узлы регулярной сетки с дискретностью 1.1×10^4 м по горизонтали и 1 м по вертикали. Использовался стандартный метод объективной

интерполяции Inverse Distance to a Power. Пример разрезов по температуре по фактическим данным представлен на рис. 3, а.

Для каждого из синоптических разрезов были рассчитаны площади (S_q), занимаемые Антарктической зимней (АЗВ) и Антарктической промежуточной (АПрВ) водными массами. АЗВ выделялась как область минимальной температуры в верхнем 200-метровом слое. На рис. 3, а, б эти области заштрихованы. Затем значения площадей осреднялись по всем разрезам для данного месяца. Осредненные значения относились к осевым линиям рассматриваемых районов.

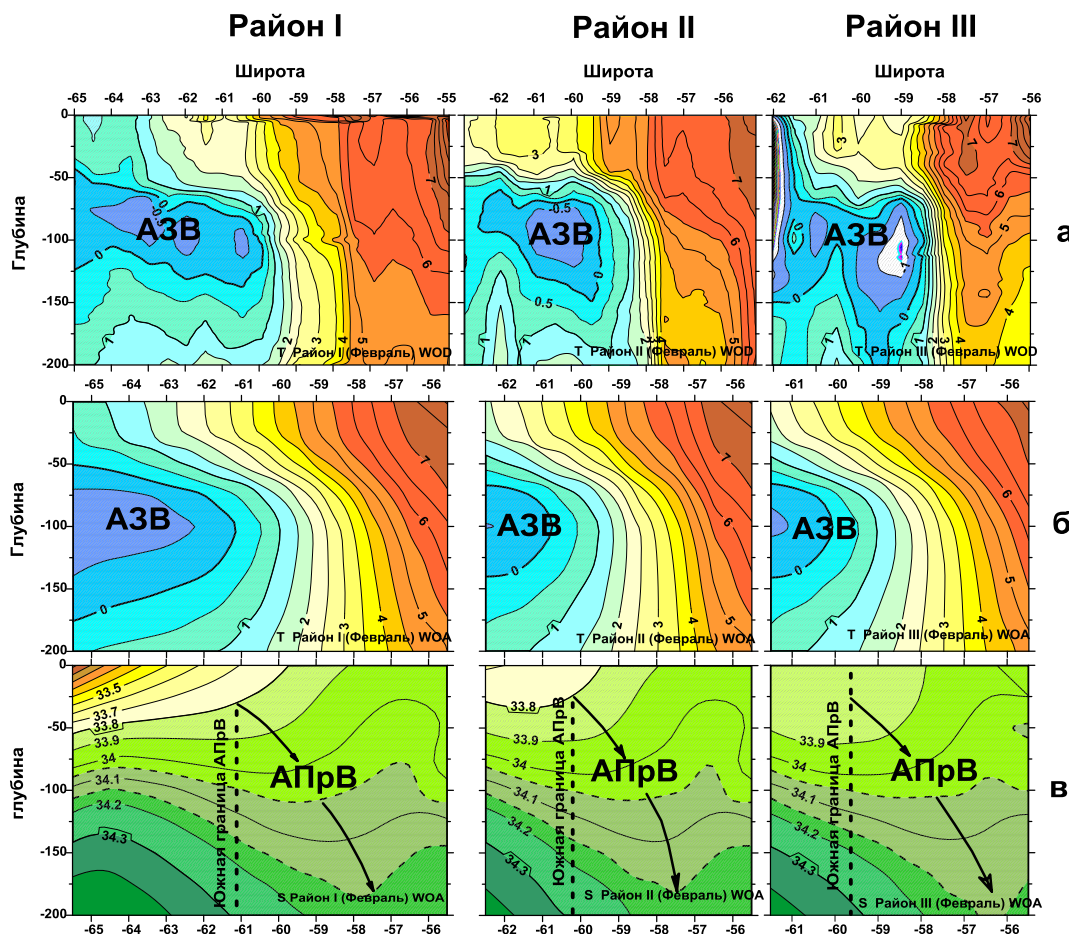


Рис. 3. Климатические разрезы по температуре (а, б) и солёности (в) для февраля, построенные для районов I, II, III по фактическим данным архивной базы WOD-2009 (а) и по климатическому массиву WOA-2009 (б, в). Стрелками на рис. 3, в отмечено направление опускания поверхностных низкосолёных вод.

Характерным признаком АПрВ являлась минимальная солёность. На климатических, сильно сглаженных, распределениях солёности присутствие АПрВ обнаруживается по характерному прогибу изохалин вниз, свидетельствующему об опускании поверхностных низкосолёных вод, к северу от Антарктического полярного фронта (рис. 3, в). Положение АПФ многие авторы определяют как северную границу распространения минимума температуры АЗВ [26]. В данной работе за эту границу условно принималось широтное положение изотермы 0°C , которое соответствовало южной границе АПрВ. Отметим, что

данных по солености в базе WOD-2009 было крайне мало, поэтому изменчивость АПрВ анализировалась только по данным WOA-2009. В отличие от базы фактических данных, массив WOA-2009 в результате пространственно-временной интерполяции первичных данных содержит значения температуры и солености в регулярной одноградусной сетке для всех месяцев года. По этим данным вдоль осевых линий трех районов были построены разрезы температуры и солености. Пример разрезов для февраля представлен на рис. 3, б, в. Необходимо отметить, что из-за отсутствия информации, особенно для зимних месяцев, к этим интерполированным значениям надо относиться осторожно. Полученные распределения необходимо рассматривать не как локальные особенности на данном разрезе, а как проявление более крупномасштабных черт термохалинной структуры вод. Вместе с тем получение одинаковых закономерностей в изменчивости структуры вод по климатическим и фактическим данным повышает их достоверность.

Чтобы минимизировать ошибки, связанные с определением границ водных масс, на которых характеристики могут существенно изменяться в пространстве и времени, расчеты проводились для диапазонов температуры и солености, в пределах которых наиболее вероятно расположение границ соответствующей водной массы. Для АЗВ брался диапазон $-1.5-1^{\circ}\text{C}$ с дискретностью расчетов 0.5°C ; для АПрВ – $33.8-34.3\%$ с дискретностью 0.1% . В качестве условной элементарной площади принималась площадь прямоугольника со сторонами 1 м и 110 км, т.е. $1.1 \times 10^5 \text{ м}^2$.

Чтобы получить значения площадей для тех месяцев, в которых отсутствовали данные, и сгладить колебания параметров от месяца к месяцу, которые в значительной степени связаны с разной обеспеченностью данными, сезонный ход площадей вод как по архивным, так и по климатическим данным был сглажен полиномом третьей степени.

В работе также исследовалась сезонная и межгодовая изменчивость водных масс на поверхности океана по среднемесячным значениям ТПО в одноградусной сетке из банка данных ре-анализа NCEP. Для каждого месяца (всего 336 месяцев) рассчитывались площади, занимаемые поверхностными водами в температурном диапазоне от -2° до 16°C с дискретностью 1°C . Расчеты проводились отдельно для Тихоокеанского ($110-70^{\circ}$ з.д.) и Атлантического ($70-30^{\circ}$ з.д.) секторов Южного океана. В качестве условной единицы площади вод принималась площадь одноградусного квадрата, т.е. $1.2 \times 10^4 \text{ км}^2$. Затем вычислялись среднемесячные аномалии этих площадей относительно их среднееголетних климатических значений для соответствующего месяца и их среднеквадратичные отклонения (СКО) для всех температурных диапазонов.

Для оценки характеристик внутригодовой изменчивости в каждом узле регулярной сетки вычислялись среднемесячные климатические значения температуры, по которым проводились расчеты площадей поверхностных вод и их внутригодового СКО для меридиональных полос с дискретностью 10° градусов по долготе.

Для количественных оценок связей изменчивости аномалий площадей вод на поверхности океана и индексов атмосферной циркуляции ЮК и ААК на межгодовом масштабе между этими параметрами были рассчитаны кросскорреляционные функции с 95%-ным уровнем статистической достоверности.

3. Анализ результатов

3.1. Сезонная изменчивость водных масс

Наибольший размах сезонных колебаний площадей водных масс прослеживается в районе I (рис. 4). Внутригодовой ход площадей АЗВ, рассчитанный по фактическим данным, после сглаживания полиномом третьей степени качественно согласуется с результатом по климатическим данным. Вместе с тем отмечаются фазовые различия в наступлении максимума площадей АЗВ по двум базам данных, которые связаны с разными процедурами получения значений температуры в зимние месяцы, для которых данные

отсутствуют. Так, по климатическим данным весенний максимум запаздывает на 1–3 месяца, за исключением диапазона ниже -1.5°C , где наблюдается противоположная картина. Этим же, вероятно, объясняется появление по фактическим данным второго максимума площадей АЗВ для температурного диапазона $0-1^{\circ}\text{C}$ в середине лета.

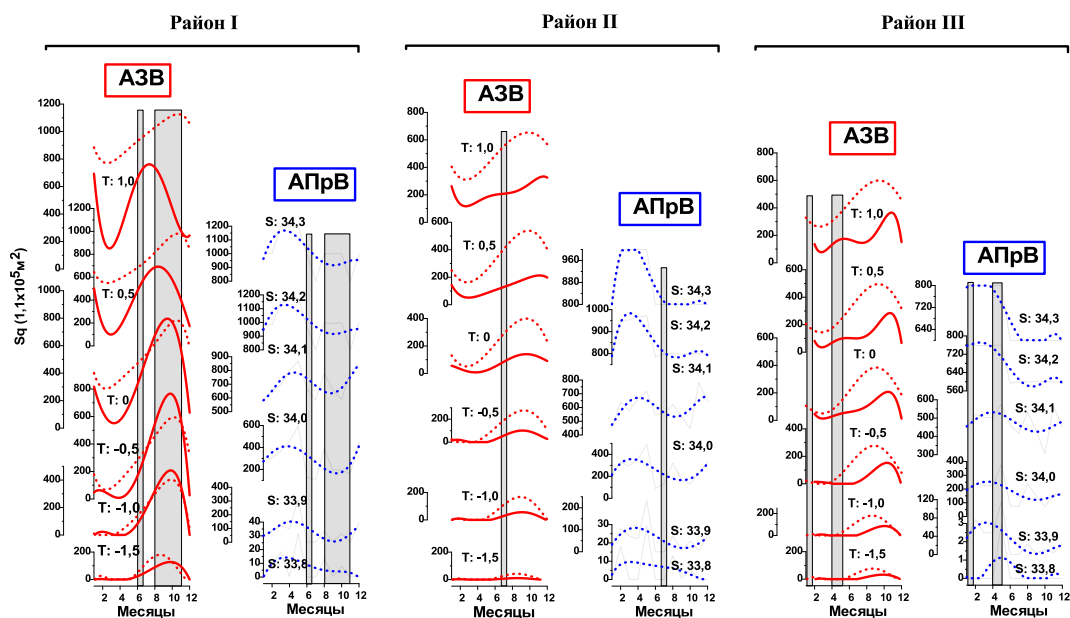


Рис. 4. Сезонная изменчивость площадей АЗВ (красные кривые) и АПрВ (синие кривые) для районов I, II, III по данным базы WOD-2009 (сплошные линии) и климатическому массиву WOA-2009 (пунктир) после сглаживания полиномом третьей степени. Месяцы, в которых данные отсутствуют, заштрихованы.

В районе II, который обеспечен наблюдениями практически круглый год, характер сезонного сигнала изменений площадей АЗВ качественно совпадает с изменчивостью площадей АЗВ в районе I, хотя амплитуда сезонных колебаний заметно уменьшается. Аналогичная картина отмечается и в районе III, где данных снова становится меньше. Таким образом, несмотря на некоторые количественные различия, можно констатировать, что для всех трех районов наибольшие площади АЗВ как по данным WOD-2009, так и WOA-2009, наблюдаются в зимне-весенний период Южного полушария. Их максимум отмечается примерно в сентябре-октябре, после окончания процесса выхолаживания поверхностных вод (рис. 4). В это время внешний тепловой баланс океана переходит от отрицательного к положительному. Минимальное количество АЗВ отмечается в конце лета, осенью Южного полушария (февраль-март). В эти месяцы, наоборот, внешний тепловой баланс океана переходит от положительных значений к отрицательным [27].

Исследования сезонной изменчивости площадей АПрВ на разрезах по данным WOA-2009 показали, что максимум площадей АПрВ в широком диапазоне солёности 33.8–34.3‰ наблюдается в тёплый период, когда океан получает тепло из атмосферы и происходит распреснение поверхностных вод за счет обильных осадков и таяния льдов (рис. 4). Наибольшие площади АПрВ отмечаются в марте-апреле, в конце периода интенсивного распреснения. В целом, полученные закономерности сезонного цикла площадей АПрВ находят свое объяснение во внутригодовой изменчивости процессов в системе океан-атмосфера.

Анализ климатических внутригодовых изменений площадей водных масс в поле температуры поверхности океана (ТПО) для различных температурных диапазонов по

независимому массиву NCEP подтвердил, что максимальные площади холодных вод отмечаются в зимне-весенний период, теплых – летом и осенью, т.е. формирование поверхностных водных масс находится в тесной связи с сезонной изменчивостью метеорологических условий Южного полушария (рис. 5, 6, а, б).

По данным массива NCEP выявлена связь площадей водных масс и фронтальной структуры на поверхности океана, которая проявляется в том, что при температурных диапазонах крупномасштабных фронтов – Субантарктического, Антарктического полярного и Фронта Южной ветви Антарктического циркумполярного течения (ФЮВ АЦТ) прослеживаются хорошо выраженные минимумы площадей вод. В межфронтальных зонах, наоборот, наблюдаются максимумы площадей вод (рис. 5). Установлено, что происходит смещение температурных диапазонов минимумов площадей вод в сторону более низких температур зимой Южного полушария. Это проявляется в аналогичных сезонных смещениях температурных диапазонов фронтов по данным спутниковых измерений ТПО [3, 4]. Так, минимумы площадей вод с температурными диапазонами, соответствующими АПФ, отмечаются на большей части акватории при 4-5°C в феврале и 1-2°C в августе, соответствующими САФ – при 10-12°C в феврале и 7-8°C в августе (рис. 5).

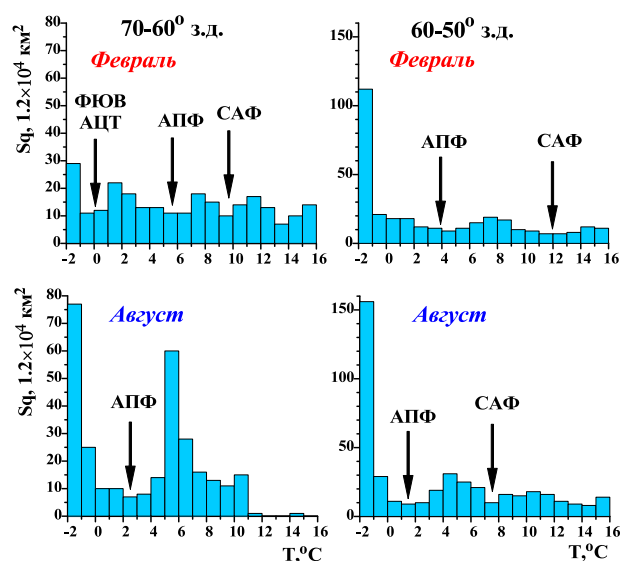


Рис. 5. Изменения площадей поверхностных вод, осредненных по 10-градусным меридиональным полосам, в зависимости от температурного диапазона летом (февраль) и зимой (август) Южного полушария. Стрелками показаны температурные диапазоны основных фронтов.

Совместный анализ сезонной изменчивости характеристик фронтов, поля ТПО и площадей вод показал, что широтное положение максимумов СКО поля ТПО совпадает с положением крупномасштабных фронтов, а для площадей водных масс в зонах фронтов характерен минимум СКО. Максимумы СКО площадей водных масс наблюдаются в межфронтальных зонах океана.

Климатический сезонный ход площадей водных масс, располагающихся между основными фронтами, представлен на рис. 6, в, г. Видно, что общая площадь вод, располагающихся между ФЮВ АЦТ и АПФ (ФЮВ АЦТ – АПФ), в сезонном цикле изменяется с годовым периодом, а ее максимум наблюдается летом Южного полушария (декабрь–февраль). В этот период, согласно [3, 4], ФЮВ АЦТ и АПФ наиболее удалены друг от друга. Площадь поверхностных вод между АПФ и САФ (АПФ – САФ)

характеризуется наибольшими сезонными вариациями с годовым периодом с максимумом зимой Южного полушария (август–сентябрь).

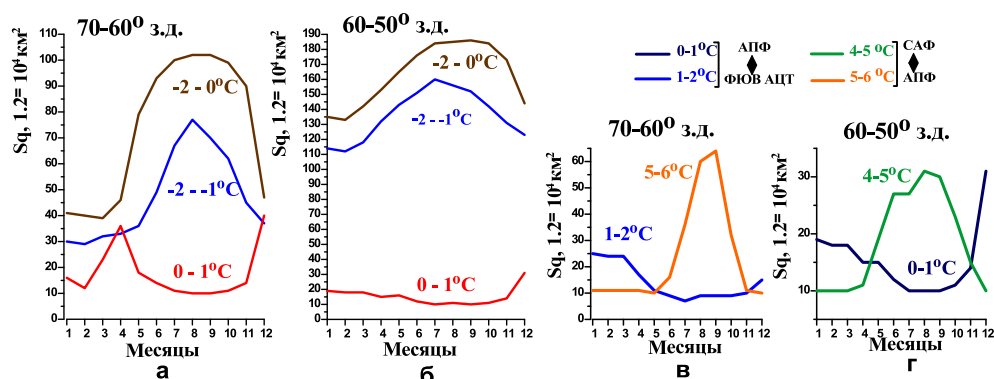


Рис. 6. Климатический сезонный цикл площадей поверхностных вод при различных температурных диапазонах (а, б) и площадей вод в межфронтальных зонах ФЮВ АЦТ – АПФ и АПФ – САФ (в, г). Температурные диапазоны вод приведены над соответствующими кривыми.

В целом для всей исследуемой акватории увеличение площади межфронтальной зоны между ФЮВ АЦТ и АПФ сопровождается уменьшением площади вод между АПФ и САФ, что соответствует характеру внутригодовых смещений широтного положения этих фронтов по данным спутниковых измерений ТПО [3, 4].

3.2. Межгодовая изменчивость водных масс

Оценки межгодового СКО аномалий площадей вод для Тихоокеанского и Атлантического секторов показали, что наибольшим межгодовым вариациям подвержены площади переохлажденных вод с температурным диапазоном $-2 - -1^{\circ}\text{C}$, располагающихся южнее ФЮВ АЦТ (рис. 7, а).

Увеличение уровня межгодовой изменчивости наблюдается также для площадей вод с температурами $0-1^{\circ}\text{C}$ и $5-6^{\circ}\text{C}$, соответствующих межфронтальным зонам ФЮВ АЦТ – АПФ, АПФ – САФ, т.е. максимальная межгодовая изменчивость площадей водных масс, так же как и внутригодовая, наблюдается в межфронтальных зонах океана.

Анализ межгодового хода индексов ЮК, ААК и аномалий площадей вод в межфронтальных областях (рис. 7, б) показал, что колебания индексов атмосферной циркуляции находят свое проявление в изменчивости этих площадей, причем характер этой изменчивости имеет региональные особенности. Эти особенности являются результатом совместного влияния событий Эль-Ниньо (или Ла-Нинья) и Антарктического колебания на изменения площадей вод.

Так, в период Эль-Ниньо 1986-1988 гг. (отрицательная фаза индекса ЮК), когда значения индекса ААК были близки к нулю, в Тихоокеанском секторе наблюдались положительные аномалии площадей переохлажденных вод к югу от ФЮВ АЦТ и межфронтальной области АПФ – САФ, и отрицательные аномалии площадей вод в зоне ФЮВ АЦТ – АПФ. В Атлантическом секторе в этот период отмечались отрицательные аномалии площадей переохлажденных вод к югу от ФЮВ АЦТ и межфронтальной области АПФ – САФ и положительные аномалии площади вод между ФЮВ АЦТ и АПФ.

При отрицательных фазах ЮК и ААК в 1991–1993 гг. в Тихоокеанском секторе наблюдались отрицательные аномалии площадей вод к югу от ФЮВ АЦТ и положительные аномалии площадей вод в зонах ФЮВ АЦТ – АПФ и АПФ – САФ. В Атлантике в это время

аномалии площадей вод к югу от ФЮВ АЦТ и в зоне АПФ – САФ были положительными, в зоне ФЮВ АЦТ – АПФ – отрицательными.

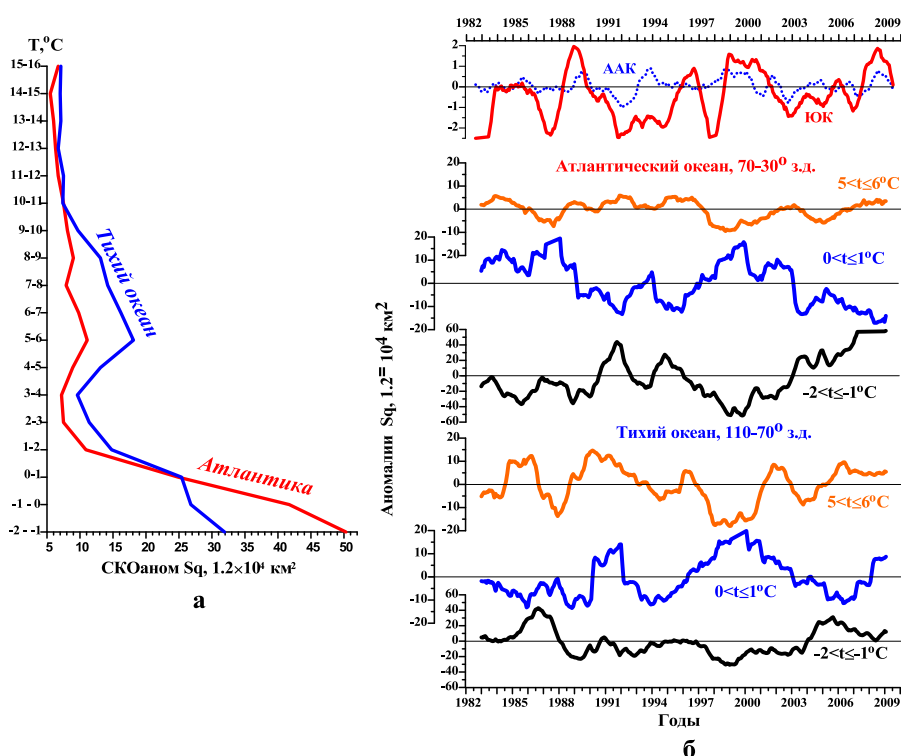


Рис. 7. Межгодовое СКО аномалий площадей вод в Атлантическом (красная линия) и Тихоокеанском (синяя линия) секторах Южного океана (а) и межгодовой ход индексов ЮК (красная сплошная линия) и ААК (синяя штриховая линия) и межгодовых аномалий площадей поверхностных вод в Атлантическом и Тихоокеанском секторах Южного океана (б)

В 1999–2001 гг. наблюдалась положительная фаза ЮК (событие Ла-Нинья), а индекс ААК изменял знак с положительного на отрицательный. Это сопровождалось одинаковыми изменениями площадей вод к западу и к востоку от Антарктического полуострова. В это время отмечались отрицательные аномалии площадей переохлажденных вод к югу от ФЮВ АЦТ и в межфронтальной области АПФ – САФ и положительные аномалии площадей вод между ФЮВ АЦТ и АПФ.

Положительные фазы ЮК (Ла-Нинья 2008-2009 гг.) и ААК сопровождалась увеличением площади вод в зоне АПФ – САФ на всей акватории. Площадь вод в межфронтальной зоне ФЮВ АЦТ – АПФ увеличивалась в Тихоокеанском секторе и уменьшалась в Атлантическом, а площадь переохлажденных вод в Атлантике существенно возрастала.

Количественные оценки связей изменчивости межгодовых аномалий площадей вод и индексов атмосферной циркуляции ЮК и ААК показали, что наиболее значимые связи с индексом ЮК выявлены в Тихоокеанском секторе для аномалий площадей вод, располагающихся между АПФ и САФ. Величина коэффициента корреляции R составляет ~ 0.3 , а фазовый сдвиг – 5 месяцев, т.е. повышение положительных значений индекса ЮК сопровождается ростом положительных аномалий площади межфронтальной зоны АПФ – САФ.

Связи с аномалией площадей вод с индексом ААК наиболее значимы в Атлантическом секторе. Отмечена прямая корреляция ($R \sim 0.3$ с фазовым запаздыванием в 3 месяца) для аномалий площадей вод в зоне ФЮВ АЦТ – АПФ. Для площадей переохлажденных вод с температурой $-2 - -1^{\circ}\text{C}$ к югу от ФЮВ АЦТ и межфронтальной зоны АПФ – САФ выявлена обратная корреляция ($R \sim -0.3$ с временным сдвигом в 1 месяц). Т.е. рост индекса ААК сопровождается увеличением площадей вод между Фронтом Южной ветви АЦТ и АПФ и уменьшением площадей вод к югу от ФЮВ АЦТ и межфронтальной зоны АПФ – САФ.

Отметим еще одну характерную особенность межгодовой изменчивости площадей поверхностных вод. Увеличение положительных аномалий площадей вод к югу от ФЮВ АЦТ и в межфронтальной зоне АПФ – САФ сопровождается ростом отрицательных аномалий площадей вод между ФЮВ АЦТ и АПФ (рис. 7, б), что соответствует противофазным межгодовым смещениям широтного положения этих фронтов [2].

4. Заключение

Анализ сезонной изменчивости площадей водных масс на разрезах в проливе Дрейка с использованием фактических данных архивной базы WOD-2009 и климатического массива WOA-2009 показал, что наибольшие площади Антарктической зимней водной массы отмечаются в сентябре-октябре, после окончания выхолаживания поверхностных вод. Это подтверждается расчетами по данным независимого массива ре-анализа NCEP.

Исследование сезонной изменчивости площадей Антарктической промежуточной водной массы на разрезах по данным климатического массива WOA-2009 показало, что ее наибольшие площади наблюдаются в марте-апреле, в конце периода распреснения поверхностных вод за счет обильных осадков и таяния льдов.

По данным NCEP, за период с 1982 по 2009 г. установлено, что максимальная сезонная и межгодовая изменчивость площадей водных масс наблюдается в межфронтальных зонах. Выявлено соответствие сезонной изменчивости площадей вод и внутригодовых смещений широтного положения крупномасштабных фронтов.

Показано, что на сезонном и межгодовом масштабах увеличение площадей вод, располагающихся южнее Фронта Южной ветви АЦТ, и между Антарктическим полярным и Субантарктическим фронтами сопровождается уменьшением площади вод между Фронтом Южной ветви АЦТ и Антарктическим полярным фронтом.

Установлено, что наиболее тесные корреляционные связи между аномалиями площадей вод и индексом ЮК наблюдаются к западу от пролива Дрейка. Показано, что рост положительных значений индекса ЮК сопровождается увеличением площади вод, расположенных между Антарктическим полярным и Субантарктическим фронтами.

Максимальная связь аномалий площадей вод с индексом ААК выявлена в Атлантическом секторе Южного океана. Рост положительных значений индекса ААК сопровождается увеличением площади вод между Фронтом Южной ветви АЦТ и Антарктическим полярным фронтом. При этом наблюдается уменьшение площадей вод, расположенных к югу от Фронта Южной ветви АЦТ и между Антарктическим полярным и Субантарктическим фронтами.

Литература

1. 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.
2. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Бабий М.В., Галковская Л.К. Сезонная и межгодовая изменчивость гидрологических фронтов Южного океана // УАЖ. – 2009. – № 8. – С. 147 – 158.

3. **Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.** Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2005. – № 4. – С. 62 – 75.
4. **Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.** Сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов восточной части Тихого океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2008. – № 4. – С. 45 – 61.
5. **Масленников В.В.** Климатические колебания и морская экосистема Антарктики // М.: Из-во ВНИРО, 2003. – 295 с.
6. **Turner J.** Review the El Niño-Southern Oscillation and Antarctica // *Int. J. Climatology*. – 2004. – № 24. – С. 1–31.
7. **Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J. et al.** Antarctic climate change during the last 50 years // *J. Climatology*. – 2005. – 25. – P. 279 – 294.
8. **Степанов В.Н.** Мировой океан. – М.: Знание, 1974. – 256 с.
9. **Кукса В.И.** Промежуточные воды Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 272 с.
10. **Саруханян Э.И., Смирнов Н.П.** Водные массы и циркуляция Южного океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 288 с.
11. **Peterson R.G., Whitworth T.III.** The Subantarctic and Polar Fronts in Relation to Deep Water Masses through the Southwestern Atlantic // *J. Geophys. Res.* – 1989. – 94. – № C8. – P. 10.817 – 10.839.
12. **Peterson R.G., Stramma L.** Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // *Prog. Oceanogr.* – 1991. – 26. – P. 1–73.
13. **Белкин И.М.** Фронтальная структура Южной Атлантики // Пелагические экосистемы Южного океана. – М.: Наука, 1993. – С. 40–53.
14. **Tsuchiya N., Talley L.D., McCartney M.S.** Water-mass distribution in the western South Atlantic; A section from South Georgia Island (54 S) northward across the equator // *J. Marine Res.* – 1994. – 52. – № 1. – P. 55–81.
15. **Stramma L., England M.H.** On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean // *J. Geophys. Res.* – 1999. – 104. – P. 20863–29883.
16. **England M.H., Santoso A.** Antarctic Intermediate Water variability in a coupled climate model // EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003.
17. **Santoso A., England M.H., Hirst A.C.** Circumpolar Deep Water circulation and variability in a coupled climate model // *Journal of Physical Oceanography*. – 2006. – 36. – P. 1523–1552.
18. **Тараканов Р.Ю.** Циркумполярная донная вода в море Скотия и проливе Дрейка // *Океанология*. – 2010. – 50. – № 1. – С. 5–22.
19. **Кошляков М.Н., Тараканов Р.Ю.** Промежуточные воды южной части Тихого океана // *Океанология*. – 2005. – 45. – № 4. – С. 485–503.
20. **Naveira Garabato A.C., Jullion L., Stevens D.P. et al.** Variability of Subantarctic Mode Water and Antarctic Intermediate Water in the Drake Passage during the late-twentieth and early-twenty-first centuries // *J. of Climate*. – 2009. – 22(7). – P. 3661–3688.
21. **Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д., Скрипалева Е.А.** Сезонная изменчивость термохалинных характеристик и объемно-статистических параметров водных масс в проливе Дрейка // *МГЖ*. – 2004. – № 6. – С. 62–73.
22. http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html.
23. <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/dbsearch/dbsearch.html>.
24. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
25. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrel/indices.html>.
26. **Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д.** Фронты Атлантического сектора Южного океана (обзор литературы). Препринт. – МГИ НАН Украины, Севастополь, 1999. – 68 с.
27. **Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д. и др.** Распределение и сезонная изменчивость внешнего теплового баланса и его составляющих на поверхности Атлантического океана. Препринт. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – 50 с.