

**СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ  
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ  
ОКЕАНА В РАЙОНЕ  
АНТАРКТИЧЕСКОГО  
ПОЛУОСТРОВА ПО ДАННЫМ  
РЕ-АНАЛИЗА NCEP**

*Е.А. Скрипалева*

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

*По данным ре-анализа NCEP за период с 1982 по 2009 гг. исследованы особенности сезонной и межгодовой изменчивости поля температуры (ТПО) и водных масс на поверхности океана в районе Антарктического полуострова. Анализируется связь пространственно-временной изменчивости структуры поля ТПО с положением крупномасштабных фронтов и изменчивостью индексов атмосферной циркуляции.*

**Введение.** Полярные области Земли в настоящее время рассматриваются как индикаторы глобального состояния климата, поскольку именно в этих районах наблюдаются заметные межгодовые колебания в системе океан-атмосфера [1 – 5]. Эти изменения существенным образом отражаются в изменчивости структуры вод деятельного слоя океана в широком спектре пространственно-временных масштабов. Особое внимание в современных океанографических исследованиях уделяется изучению сезонной и межгодовой изменчивости поля температуры, водных масс и гидрологических фронтов, как важнейших абиотических факторов, определяющих биопродуктивность вод [5 – 12]. Анализ сезонной и межгодовой изменчивости ТПО и ее аномалий позволяет получить информацию о причинно-следственной связи многих климатических явлений.

В последние годы для исследования изменчивости температурных характеристик поверхности океана стали широко применяться данные различных ре-анализов, основанных на спутниковых и контактных измерениях. Высокая пространственно-временная обеспеченность этих массивов существенно расширяет

возможности интерпретации и осмысления физических процессов, протекающих в деятельном слое океана, особенно Южного, где данных контактных измерений крайне мало.

Цель данной работы – уточнить климатическую сезонную и межгодовую изменчивость поля температуры на поверхности океана в районе Антарктического полуострова по данным ре-анализа NCEP.

**Материалы и методика.** В работе рассматривалась область Южного океана, прилегающая к Антарктическому полуострову, между 110° и 30° з.д. и 30° ю.ш. и берегом Антарктиды (рис. 1, а). Использовались среднемесячные данные ТПО из массива NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) в одноградусной сетке [13] и значения индексов Южного (ЮК) [14] и Антарктического (ААК) колебаний [15] за период с 1982 по 2009 гг.

Для исследования сезонной изменчивости поля ТПО в каждом узле регулярной сетки рассчитывались среднемесячные климатические значения температуры, по которым вычислялись амплитудно-фазовые характеристики поля ТПО и оценивалась их значимость согласно методике, изложенной в [7]. На картах распределения годовой и полугодовой амплитуд участки акватории, где соответствующие гармоники незначимы, заштрихованы (рис. 1, б, в).

В работе также исследовалась сезонная и межгодовая изменчивость водных масс на поверхности океана. Поскольку данных по солености крайне мало, анализ проводился только по одному индексу – температуре. Использовался известный метод объемно-статистического анализа [7, 16]. Для каждого месяца (всего 336 месяцев) рассчитывались площади, занимаемые поверхностными водами в температурном диапазоне от -2 до 25 °С с дискретностью 1 °С. Расчеты проводились отдельно для Тихоокеанского (110 – 70° з.д.) и Атлантического (70 – 30° з.д.) секторов Южного океана. В качестве условной единицы площади вод принималась площадь одноградусного квадрата, т.е.  $1.2 \times 10^4$  км<sup>2</sup>. Затем вычислялись среднемесячные аномалии этих площадей относительно их среднемно-

голетних климатических значений и их среднеквадратичные отклонения (СКО) для всех температурных диапазонов.

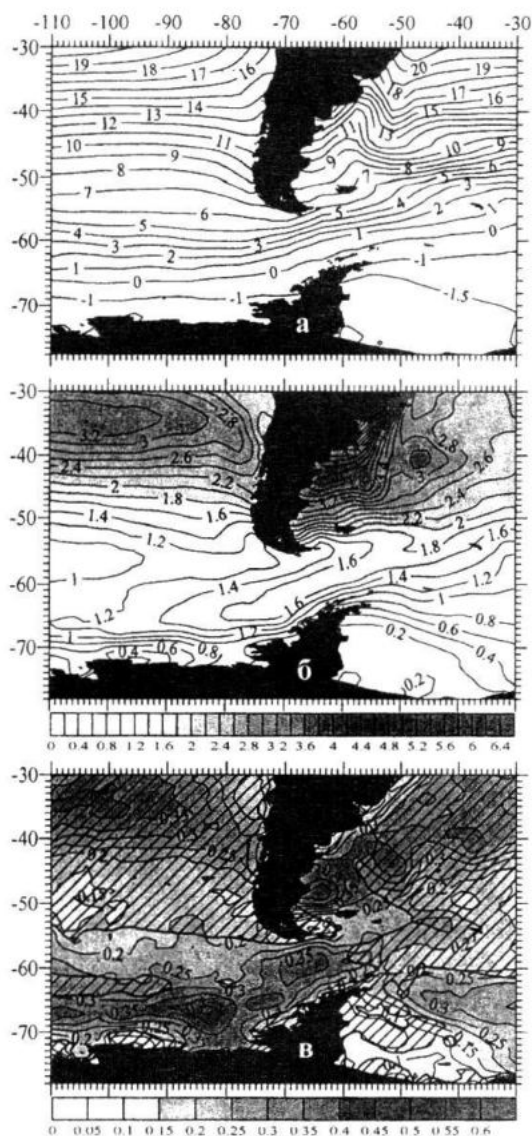
Для оценки характеристик внутригодовой изменчивости расчеты площадей поверхностных вод и их внутригодового СКО проводились для меридиональных полос с дискретностью 10 градусов по долготе.

В работе был проведен совместный анализ сезонного цикла характеристик фронтов и внутригодового СКО поля ТПО и площадей водных масс для меридиональных полос  $78 - 80^\circ$  и  $49 - 51^\circ$  з.д. Для этого рассчитывались среднемесячные климатические поля меридиональных (МГТ) градиентов ТПО, осредненной для этих участков акватории. Согласно методике, изложенной в [7, 11, 12], были выделены основные фронты – Южный субтропический (ЮСБТФ), Субантарктический (САФ) и Антарктический полярный (АПФ) и определены средняя температура на их осях и значения широты, на которой наблюдались фронты (рис. 2).

Основной физической концепцией при анализе связи изменчивости водных масс и фронтов является представление о том, что главные термохалинные фронты являются границами раздела климатических водных масс.

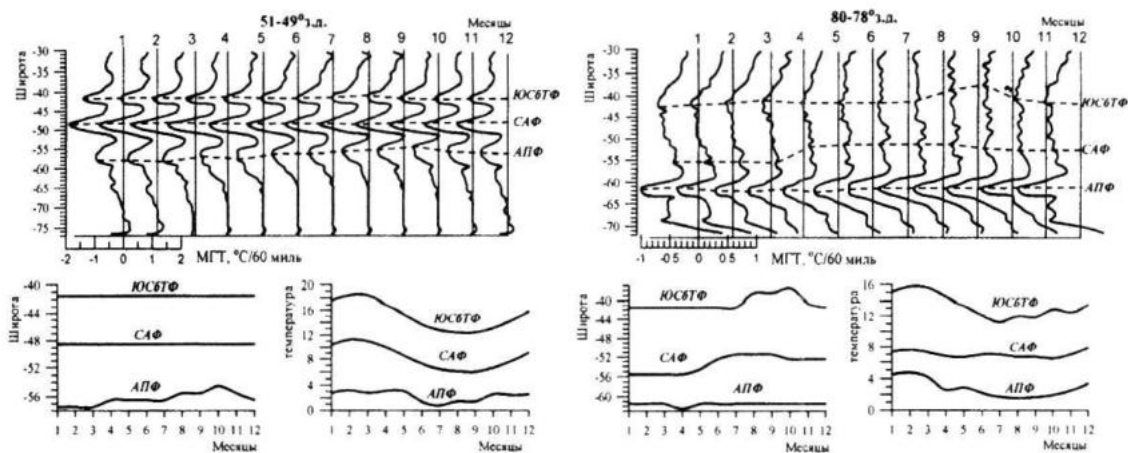
**Анализ результатов. Сезонная изменчивость поля ТПО.** Оценки амплитудно-фазовых характеристик поля ТПО показали, что максимумы годовых колебаний температуры наблюдаются в районах интенсивных течений и соответствующих им гидрологических фронтов (рис. 1, б). В Атлантическом секторе Южного океана это Зона схождения Бразильского и Фолклендского течений (до  $5.0\text{ }^\circ\text{C}$ ), зона Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) или Субантарктического и Антарктического полярного фронтов в проливе Дрейка и море Скоша ( $\sim 1.8\text{ }^\circ\text{C}$ ). В Тихоокеанском секторе – юго-восточная периферия Южного субтропического антициклонического круговорота, где проходит Южно-Тихоокеанское течение или Южный субтропический фронт ( $\sim 3.5\text{ }^\circ\text{C}$ ) и восточная часть моря Беллинсгаузена в районе Антарктического полярного фронта ( $\sim 1.8\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Распределение фазы годовой гармоники ТПО показало, что к западу от Антарктического полуострова температурный максимум наступает в январе-феврале, к востоку – в феврале-марте.



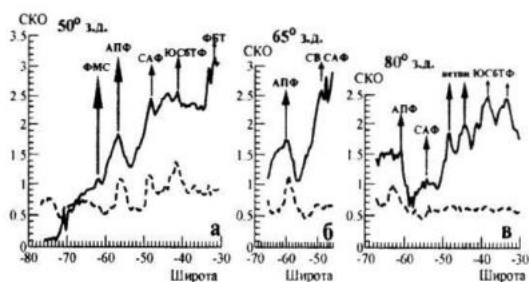
Р и с. 1. Пространственное распределение среднегодового поля ТПО (а), амплитуд годовой (б) и полугодовой (в) гармоник ТПО ( $^\circ\text{C}$ ) по данным массива NCEP

Максимумы амплитуды полугодовой гармоники ТПО (рис. 1, в) прослеживаются в области Антарктического циркумполярного течения в западной части моря Беллинсгаузена и в проливе Дрейка ( $\sim 0.4 - 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ ), южнее Фронта Южной ветви АЦТ (ФЮВ АЦТ) в море Уэдделла (до  $0.35\text{ }^\circ\text{C}$ ) и в области циклонического меандра Субантарктического фронта над Патагонским шельфом (до  $0.6\text{ }^\circ\text{C}$ ).



Р и с. 2. Широтное распределение климатических МГТ по месяцам, положение основных фронтов, графики сезонного цикла широты, на которой наблюдаются фронты, и температуры на их осях для меридиональных полос 49 – 51° з.д. и 78 – 80° з.д.

Анализ внутригодового и межгодового СКО поля ТПО по данным спутниковых измерений [17] показал, что высокий уровень изменчивости температуры в областях фронтальных разделов прослеживается не только в полях амплитудно-фазовых характеристик ТПО, но и в распределении ее СКО вдоль различных меридианов (рис. 3). Видно, что широтное положение зон резкого увеличения СКО температуры соответствует широтному положению Фронта Бразильского течения, ветвей Южного субтропического фронта, Субантарктического, Антарктического полярного фронтов и Фронта моря Скоша.



Р и с. 3. Внутригодовое (сплошные линии) и межгодовое (штриховые линии) СКО поля ТПО и положение фронтов вдоль 50° (а) [11], 65° (б) и 80° з.д. (в) по спутниковым данным.

ФМС – Фронт моря Скоша,  
ФБТ – Фронт Бразильского течения

**Сезонная изменчивость водных масс.** Анализ климатических внутригодовых изменений площадей водных масс на поверхности океана для различных температурных диапазонов (рис. 4) под-

твердил, 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.

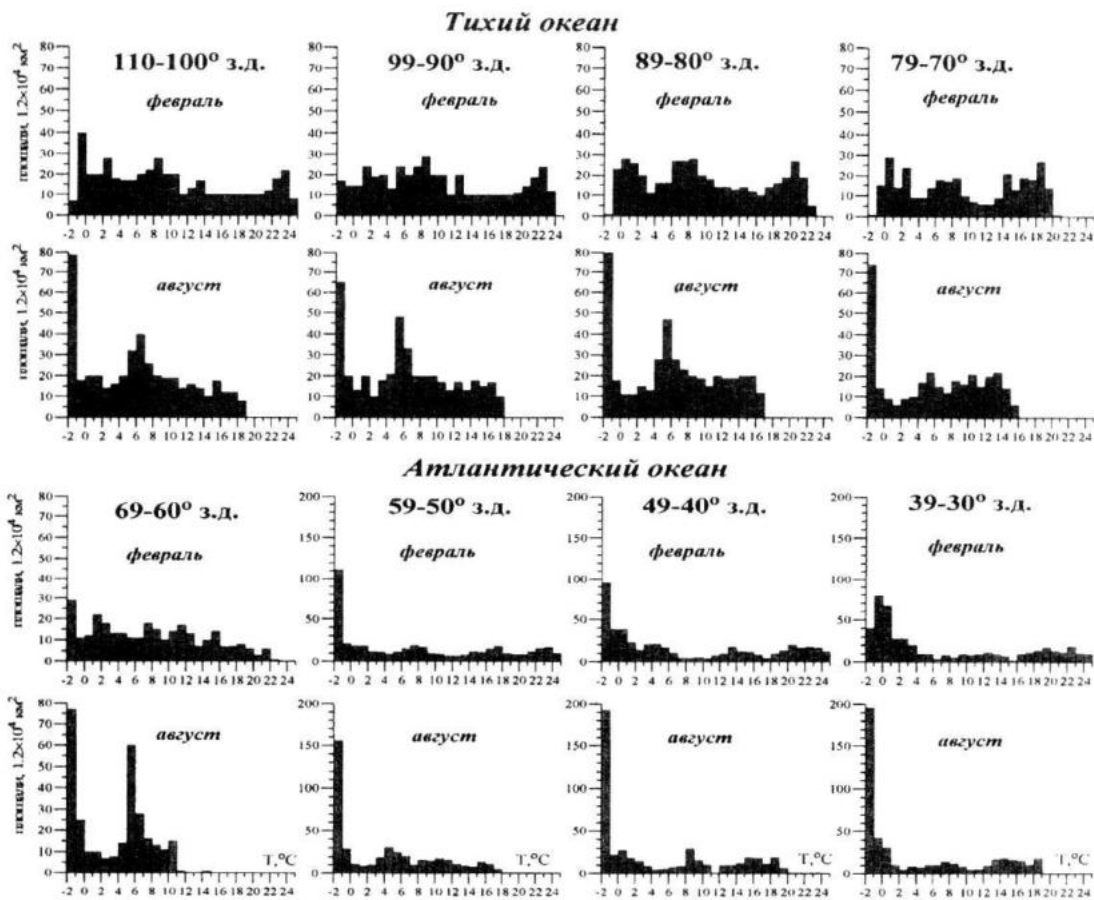
Выявлена связь площадей водных масс и фронтальной структуры на поверхности океана, которая проявляется в том, что при температурных диапазонах крупномасштабных фронтов – Южного субтропического, Субантарктического, Антарктического полярного и Фронта Южной ветви АЦТ прослеживаются хорошо выраженные минимумы площадей вод. В межфронтальных зонах наблюдаются максимумы площадей вод (рис. 4).

Установлено, что наблюдается смещение температурных диапазонов минимумов площадей вод в сторону более низких температур зимой Южного полушария (рис. 4). Это проявляется в аналогичных сезонных смещениях температурных диапазонов фронтов по данным NCEP (рис. 2) и по спутниковым измерениям ТПО [11, 12]. Так, минимум площадей вод с температурным диапазоном, соответствующим АПФ, наблюдается на большей части акватории при 4 – 5 °С в феврале и 1 – 2 °С в августе.

Кроме того, отмечается пространственная изменчивость температурных диапазонов минимумов площадей вод, зафиксированная ранее в пространственной изменчивости температурных

диапазонов фронтов по спутниковым данным [7, 9, 11, 12]. Например, в широтной полосе 39 – 30° з.д. минимум площадей вод, соответствующий АПФ, наблюдается при более высоких темпе-

ратурах, чем на остальной акватории (6 – 7 °С летом и 2 – 3 °С зимой). Повышение температурного диапазона АПФ в этом районе выявлено и по спутниковым данным в [9, 11].



Р и с. 4. Изменения площадей поверхностных вод, осредненных по 10-градусным меридиональным полосам, в зависимости от температурного диапазона летом (февраль) и зимой (август) Южного полушария

Анализ сезонной изменчивости характеристик фронтов, поля ТПО и площадей вод выявил качественную связь между этими параметрами. Показано, что широтное положение максимумов СКО поля ТПО совпадает с положением крупномасштабных фронтов, а для площадей водных масс с температурными диапазонами фронтов характерен минимум СКО, при этом максимумы СКО соответствуют водам, располагающимся между основными фронтами (рис. 2, 5).

Распределение СКО площадей поверхностных вод в зависимости от температуры для 10-градусных меридиональных полос также показывает, что максимумы СКО соответствуют температурным диапазонам межфронтальных зон (рис. 6). Климатический сезонный

ход площадей водных масс, располагающихся между основными фронтами, представлен на рис. 7. Видно, что общая площадь вод, располагающихся между ФЮВ АЦТ и АПФ (ФЮВ АЦТ – АПФ), в сезонном цикле изменяется с годовым периодом, ее максимум наблюдается летом Южного полушария (декабрь-февраль). В этот период, согласно [11, 12], 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) в Тихом океане до 80° з.д., в проливе Дрейка и в Атлантическом секторе до 50° з.д. В широтной полосе 49 –

40° з.д. максимум отмечается в апреле. Полугодовой сигнал в изменчивости площадей этих вод присутствует на востоке Тихоокеанского и Атлантического секторов с максимумами, соответственно, в январе и июне, в июне и октябре. В этих районах полугодовая периодичность наблюдается также и в сезонных изменениях поля ТПО (рис. 1, в) и смещениях фронтов [11, 12].

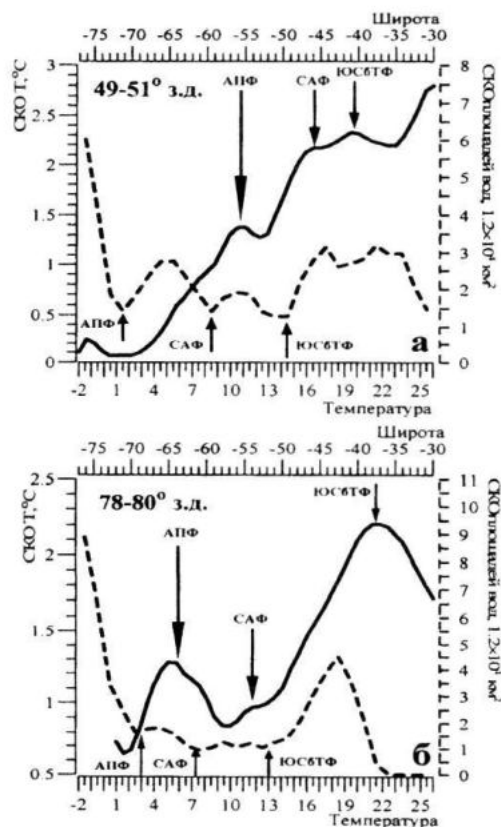


Рис. 5. Распределения внутригодовых СКО поля ТПО (сплошные линии) и площадей водных масс (штриховые линии) по широте и температурным диапазонам для меридиональных полос 49 – 51° з.д. (а) и 78 – 80° з.д. (б) по данным NCEP. Стрелками указано широтное положение и средняя температура основных фронтов

В сезонной изменчивости площадей вод между САФ и ЮСБТФ (САФ – ЮСБТФ) хорошо выраженный годовой сигнал с максимумами в августе-сентябре наблюдается в восточной части Тихоокеанского сектора у побережья Южной Америки и в Атлантическом секторе восточнее пролива Дрейка.

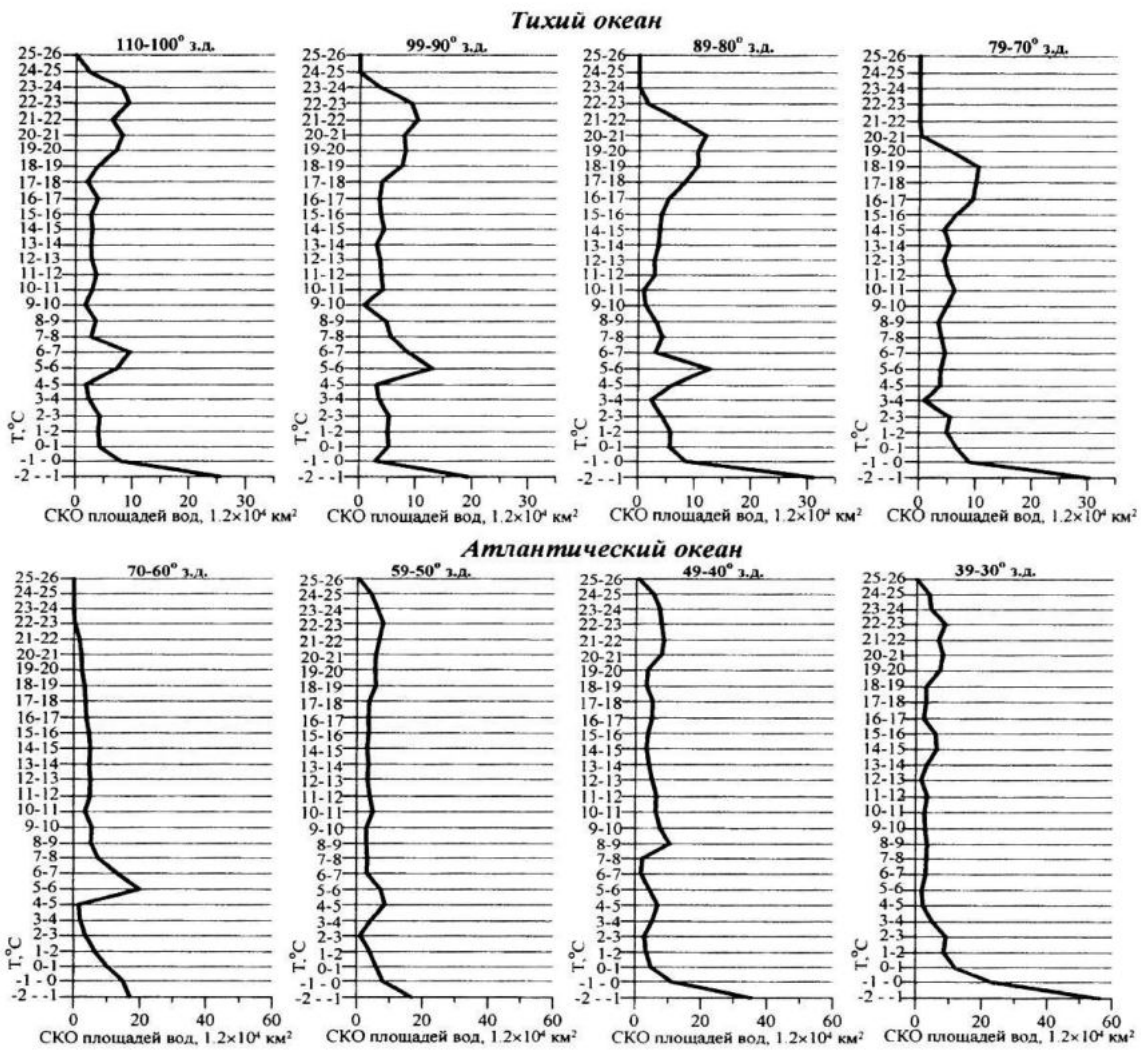
В целом для всей акватории увеличение площади межфронтальной зоны между ФЮВ АЦТ и АПФ сопровожда-

ется уменьшением площади вод между АПФ и САФ, что соответствует характеру внутригодовых смещений широтного положения этих фронтов по данным спутниковых измерений ТПО [7, 11, 12].

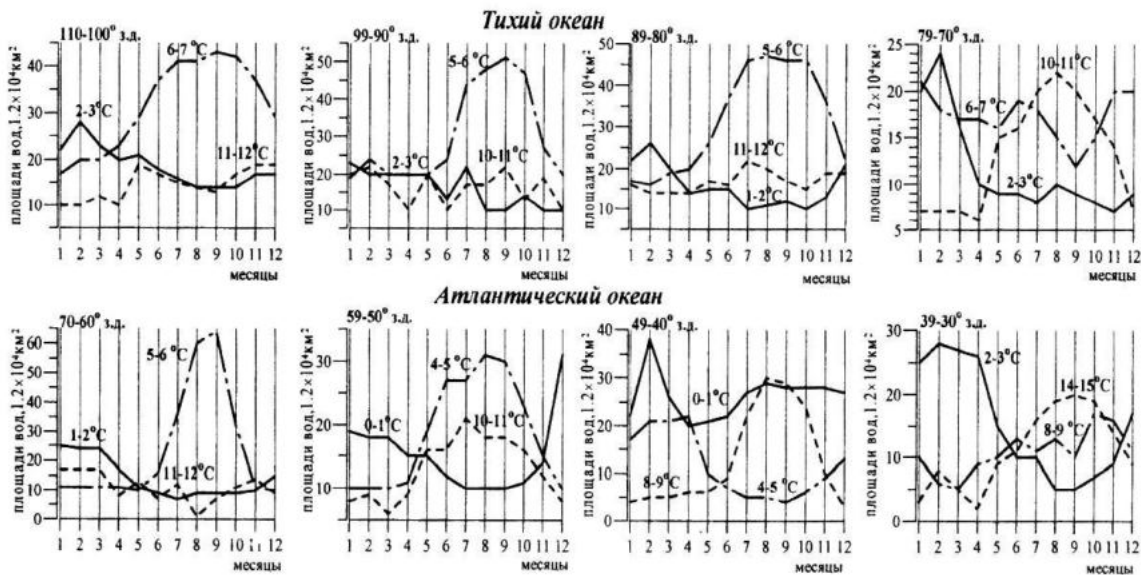
**Межгодовая изменчивость водных масс.** Оценки межгодового СКО аномалий площадей вод для Тихоокеанского и Атлантического секторов в целом (рис. 8) показали, что наибольшим межгодовым вариациям подвержены площади переохлажденных вод в морях Беллингаузена и Уэдделла с температурным диапазоном  $-2 - -1$  °С, располагающихся южнее ФЮВ АЦТ. Увеличение уровня межгодовой изменчивости наблюдается также для площадей вод с температурами  $0 - 1$ ,  $5 - 6$ ,  $8 - 9$  °С, соответствующих межфронтальным зонам ФЮВ АЦТ – АПФ, АПФ – САФ и САФ – ЮСБТФ. Таким образом, максимальная межгодовая изменчивость площадей водных масс, также как и внутригодовая, наблюдается в межфронтальных зонах океана.

Анализ межгодового хода индексов ЮК, ААК и аномалий площадей вод в межфронтальных областях (рис. 9) показал, что колебания индексов атмосферной циркуляции находят свое отражение в изменчивости этих площадей, причем ее характер имеет региональные особенности. Так, в период отрицательных фаз индексов ЮК (Эль-Ниньо 1986 – 1988 гг.) и ААК в Тихоокеанском секторе наблюдались положительные аномалии площадей переохлажденных вод к югу от ФЮВ АЦТ и отрицательные аномалии площадей вод в зонах ФЮВ АЦТ – АПФ, АПФ – САФ и САФ – ЮСБТФ. В Атлантическом секторе в этот период отмечалось уменьшение площадей межфронтальных областей АПФ – САФ и САФ – ЮСБТФ и увеличение площади зоны ФЮВ АЦТ – АПФ.

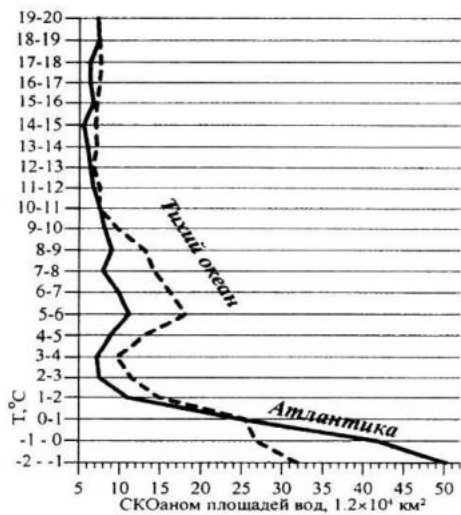
Положительные фазы индексов ЮК (Ла-Нинья 2008 – 2009 гг.) и ААК сопровождалось уменьшением площади зоны САФ – ЮСБТФ и увеличением площади зоны АПФ – САФ на всей акватории. Площадь зоны ФЮВ АЦТ – АПФ увеличивалась в Тихоокеанском секторе и уменьшалась в Атлантическом. Площадь переохлажденных вод в Атлантике существенно возрастала, а в Тихом океане почти не изменялась.



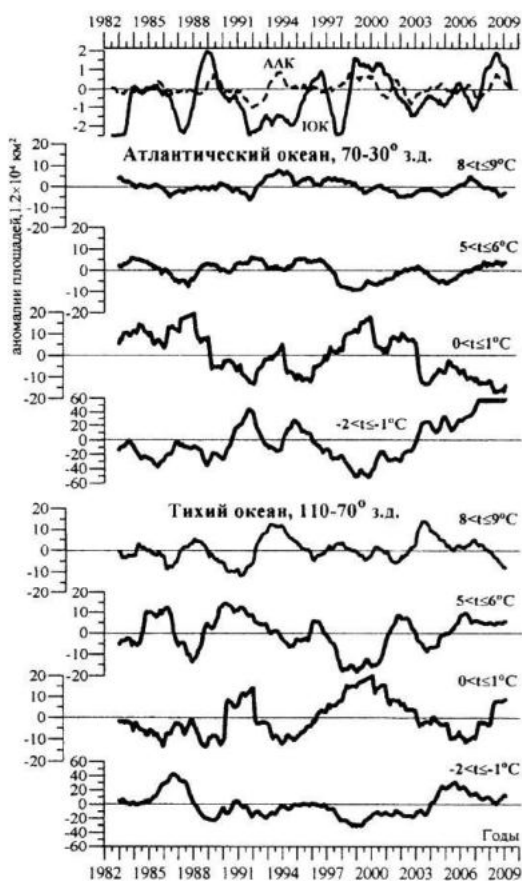
Р и с. 6. Внутригодовое СКО площадей поверхностных вод для 10-градусных меридиональных полос



Р и с. 7. Климатический сезонный цикл площадей поверхностных вод в межфронтальных зонах. Сплошные линии – зона между ФЮВ АЦТ и АПФ, штрихпунктирные линии – между АПФ и САФ, штриховые – между САФ и ЮСБТФ. Температурные диапазоны вод показаны для каждой меридиональной полосы и располагаются над соответствующими кривыми



Р и с. 8. Межгодовое СКО аномалий площадей вод в Атлантическом (сплошная линия) и Тихоокеанском (штриховая линия) секторах Южного океана



Р и с. 9. Сверху вниз: межгодовой ход индексов ЮК (сплошная линия) и ААК (штриховая линия) и аномалий площадей поверхностных вод в Атлантическом и Тихоокеанском секторах Южного океана

Для количественной оценки связей изменчивости межгодовых аномалий площадей вод и индексов атмосферной

циркуляции ЮК и ААК между этими параметрами были рассчитаны кросс-корреляционные функции с 95%-ным уровнем статистической достоверности.

Наиболее тесные значимые связи с индексом ЮК выявлены в Тихоокеанском секторе для аномалий площадей вод, располагающихся между АПФ и САФ и САФ и ЮСБТФ, с величинами коэффициентов корреляции  $R$  соответственно 0.3 и -0.3 и фазовым запаздыванием в 5 месяцев, т.е. повышение положительных значений индекса ЮК сопровождается ростом положительных аномалий площади межфронтальной зоны АПФ – САФ и их уменьшением для зоны САФ – ЮСБТФ.

Связи с аномалий площадей вод с индексом ААК наиболее значимы в Атлантическом секторе. Отмечена прямая корреляция ( $R \sim 0.3$  со сдвигом в 3 месяца) для аномалий площадей вод в зонах ФЮВ АЦТ – АПФ и САФ – ЮСБТФ и обратная корреляция ( $R \sim -0.3$  с временными сдвигами в 1 и 3 месяца соответственно) для площадей переохлажденных вод с температурой  $-2 - -1^{\circ}\text{C}$  и межфронтальной зоны АПФ – САФ. Рост индекса ААК сопровождается увеличением площадей вод между Фронтом Южной ветви АЦТ и АПФ и между САФ и ЮСБТФ и уменьшением площадей вод к югу от ФЮВ АЦТ и зоны АПФ – САФ.

Отметим еще одну характерную особенность межгодовой изменчивости аномалий площадей поверхностных вод. Увеличение положительных аномалий площадей переохлажденных вод югу от ФЮВ АЦТ и межфронтальной зоны АПФ – САФ сопровождается ростом отрицательных аномалий площадей зон ФЮВ АЦТ – АПФ и САФ – ЮСБТФ (рис. 9). Противофазные межгодовые смещения широтного положения отмечены и для САФ, АПФ и ЮСБТФ в [9].

**Заключение.** По данным NCEP за период с 1982 по 2009 гг. выполнен анализ сезонной и межгодовой изменчивости поля температуры и площадей водных масс на поверхности океана в районе Антарктического полуострова.

Показано, что максимальная сезонная и межгодовая изменчивость поля ТПО наблюдается в зонах крупномасштабных фронтов – Южного субтропи-

ческого, Субантарктического, Антарктического полярного и Фронта Южной ветви АЦТ, а площадей водных масс – в межфронтальных районах акватории.

Выявлено соответствие сезонной изменчивости площадей вод по данным NCEP и внутригодовых смещений широтного положения крупномасштабных фронтов по данным спутниковых измерений ТПО.

Показано, что на сезонном и межгодовом масштабах увеличение площадей вод в морях Беллингаузена и Уэдделла, располагающихся южнее Фронта Южной ветви АЦТ, и зоны между Антарктическим полярным и Субантарктическим фронтами сопровождается уменьшением площадей вод, ограниченных Фронтом Южной ветви АЦТ и Антарктическим полярным фронтом, Субантарктическим и Южным субтропическим фронтами.

Выявлено, что наиболее тесные корреляционные связи между аномалиями площадей вод и индексом ЮК наблюдаются в Тихоокеанском секторе Южного океана, индексом ААК – в Атлантическом секторе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полонский А.Б. Роль океана в изменчивости климата. – Киев: Наукова думка, 2008. – 183 с.
2. Peterson R.G., White W.B. Slow oceanic teleconnections linking the Antarctic Circumpolar Wave with the tropical El Nino-Southern Oscillation // J. Geophys. Res. – 1998. – 103. – № С 11. – P. 24573 – 24584.
3. Turner J. Review the El NIÑO-Southern Oscillation and Antarctica // Int. J. Climatology. – 2004. – № 24. – С. 1 – 31. 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.
5. Lau K.M., Weng H. Interannual, Decadal-Interdecadal and Global Warming Signals in Sea Surface Temperature during 1955 – 1997 // Journal of Climate. – 1999. – 12. – P. 1257 – 1267.
6. Casey K.S., Cornillon P. Global and Regional Sea Surface Temperature Trends // Ibid. – 2001. – 14. – P. 3801 – 3818.
7. 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.
8. Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Букатов А.Е., Скрипалева Е.А. Региональные особенности сезонной изменчивости линейных трендов поля температуры в Атлантическом океане и их связь с крупномасштабной циркуляцией вод // МГЖ. – 2008. – № 4. – С. 17 – 27.
9. 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.
10. Скрипалева Е.А. Сезонная и межгодовая изменчивость характеристик Антарктического полярного фронта в тихоокеанском секторе Южного океана по данным спутниковых и контактных измерений // Системы контроля окружающей среды / Средства и информационные технологии. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 100 – 103.
11. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2005. – № 4. – С. 62 – 75.
12. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов восточной части Тихого океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2008. – № 4. – С. 45 – 61.
13. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
14. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrel/indices.html>.
15. <http://jisao.washington.edu/data>.
16. Брянец В.А., Баринов А.А. Обычный статистический T,S-анализ водных масс района Новошотландского шельфа и банки Джорджес // Океанология. – 1971. – 11. – В. 6. – С. 22 – 26.
17. <http://podaac.jpl.nasa.gov/woce/woce3>.