

УДК 551.46 (265+267+269)

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В АНТАРКТИКЕ ПО  
ДАНЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС “АКАДЕМИК ФЁДОРОВ”  
В 1999–2011 гг.**

**Ю.В. Артамонов<sup>1</sup>, Н.Н. Антипов<sup>2</sup>, В.П. Бунякин<sup>2</sup>, А.В. Клепиков<sup>2</sup>, В.А. Литвинов<sup>3</sup>,  
В.В. Лукин<sup>2</sup>, Е.А. Скрипалёва<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2*

<sup>2</sup> *Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, РАЭ, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38*

<sup>3</sup> *Национальный Антарктический Научный Центр Государственного комитета Украины по делам науки, инноваций и информатизации, г. Киев, б. Т. Шевченко, 16*

*E-mail: artam-ant@yandex.ru*

**Реферат.** Представлены результаты исследования межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности океана (ТПО) по данным попутных измерений, выполненных на зональных галсах вокруг Антарктиды в ходе экспедиций НЭС “Академик Фёдоров” в 1999–2010 гг. Описаны пространственные особенности аномалий ТПО в районах плавания, которые сопоставляются с аномалиями ТПО, рассчитанными по архивным данным. Результаты анализируются с позиции проявления климатических вариаций в системе океан-атмосфера с типичными периодами 2–7 лет.

**Мінливість поля температури води в Антарктиці за даними попутних вимірів на НЕС “Академик Фёдоров” у 1999–2011 рр.** Ю.В. Артамонов, М.М. Антипов, В.П. Бунякін, О.В. Клепиков, В.А. Литвинов, В.В. Лукін, О.О. Скрипальова

**Реферат.** Представлено результати дослідження міжрічної мінливості поля температури на поверхні океану (ТПО) за даними попутних вимірів, виконаних на зональних галсах навколо Антарктиди в ході експедицій НЕС “Академик Фёдоров” у 1999–2010 рр. Описано просторові особливості аномалій ТПО в районах плавання, які порівнюються з аномаліями ТПО, розрахованими за архівними даними. Результати аналізуються з позиції проявлення кліматичних варіацій у системі океан-атмосфера з типовими періодами 2–7 років.

**The variability of the water temperature field in Antarctica by data of the passing measurements on the R/V “Akademik Fedorov” in 1999-2011.** Yu.V. Artamonov, N.N. Antipov, V.P. Bunjakin, A.V. Klepikov, V.A. Litvinov, V.V. Lukin, E.A. Skripaleva

**Abstract.** The results of investigation of sea surface temperature (SST) interannual variability using the data of the passing measurements, carried out on zonal tacks around Antarctic continent during the expeditions on the R/V “Akademik Fedorov” in 1999-2010 are presented. The spatial features of SST anomalies in navigation areas, which are compared with SST anomalies, calculated on archive data, are described. The results are analyzed from position of display of climatic variations in the ocean-atmosphere system with typical periods 2-7 years.

**Key words:** Sea surface temperature anomalies, zonal tack, passing vessel measurements, Southern and Antarctic oscillations indexes, Antarctic Circumpolar Wave, Antarctic Coastal Circumpolar Wave.

## 1. Введение

Одним из наиболее достоверных источников информации о структуре вод на поверхности океана являются контактные попутные судовые измерения. Преимущество

таких измерений состоит в том, что они за относительно короткий период времени охватывают значительные акватории океана и позволяют получить квазисинхронные крупномасштабные распределения гидрологических полей. Обработка материалов попутных измерений, выполненных в Украинских антарктических экспедициях (УАЭ) в 1997–2002 гг., позволила получить ряд новых сведений о термической структуре вод, водных массах, сделать некоторые оценки влияния глобальных межгодовых вариаций в системе океан-атмосфера на гидрологию вод Атлантического океана, описать структуру и изменчивость температурных фронтов [1].

Попутные измерения в морских УАЭ ограничены 2002 годом, поэтому они не дают возможности оценить развитие межгодовых процессов за последнее десятилетие. Наиболее полный и систематический Банк попутных судовых измерений создан в АНИИ (Россия) по результатам экспедиционных работ на НЭС “Академик Фёдоров”. Этот Банк сейчас обрабатывается в рамках совместных Российско-Украинских океанографических проектов по программе Международного Полярного Года (2007-2008), проекта “Исследования глобальных климатических изменений в системе океан-атмосфера Южного полушария и особенностей их проявления в регионе Антарктического полуострова” (2009-2010 гг.). Первые результаты этих исследований по материалам 27-го рейса НЭС “Академик Фёдоров” представлены в работе [2]. Расчеты аномалий наблюдаемой ТПО в этом рейсе показали, что в Атлантике положительные аномалии в зоне Западно-Африканского апвеллинга и в широтной полосе между Термическим экватором и 7° ю.ш. могут достигать 2-2.5°C. В Антарктике, южнее Антарктического полярного фронта, и в районах, прилегающих к антарктическим станциям, преобладали отрицательные аномалии ТПО, абсолютная величина которых обычно не превышала 1°C. Последующий анализ данных попутных измерений нашел отражение в работе [3], в которой обобщены результаты измерений ТПО, выполненных на трансатлантических галсах в 10-ти рейсах НЭС “Академик Фёдоров” с 1999 по 2010 г. Показано, что период измерений на этих галсах приходился на время перехода от теплого сезона к холодному в Северном полушарии и от холодного к теплому – в Южном. По независимым расчетам выявлена тенденция к увеличению площади положительных аномалий после 2004 г. Исключение составляет ноябрь 2008 г., когда в Северном полушарии прослеживалась мощная отрицательная аномалия ТПО. Установлено, что появление экстремальных значений аномалий ТПО вдоль трансатлантического галса связано с аномалиями ТПО в зоне Северного субтропического антициклонического круговорота и в области Африканского апвеллинга.

Настоящая работа является продолжением начатых исследований и представляет результаты анализа попутных измерений ТПО на НЭС “Академик Фёдоров” (“АФ”), выполненных на зональных галсах вокруг Антарктиды. Проводятся пространственные распределения аномалий ТПО относительно климатических норм, рассчитанных по массиву ре-анализа NCEP. Результаты обсуждаются в связи с крупномасштабной межгодовой изменчивостью в системе океан-атмосфера.

## 2. Материалы и методика

В работе обобщаются результаты попутных измерений ТПО, выполненных на зональных галсах у берегов Антарктиды в 10-ти рейсах НЭС “Академик Фёдоров” в период с 1999 по 2010 г. Рисунок 1 показывает временной ход индексов Южного (ЮК) и Антарктического (АК) колебаний по данным [4], номера рейсов и сроки работ. Из рисунка видно, что контактными измерениями охвачены основные фазы крупномасштабных процессов в системе океан-атмосфера.

На примере трансатлантического галса, который выполнялся регулярно во всех рейсах НЭС “Академик Фёдоров”, практически по одному и тому же маршруту и в одно и то же время года (ноябрь) были выполнены оценки репрезентативности различных вариантов

расчетов аномалий ТПО [3]. Распределения ТПО, полученные контактным методом в ходе рейсов, сравнивались с климатическими распределениями поля температуры по данным спутникового массива [5], Мировой базы гидрологических данных WOD-2005 [6], по материалам Британского центра атмосферных данных BADC [7] и массива ре-анализа NCEP [8]. Оценки корреляционных связей распределений ТПО и ее аномалий вдоль трансатлантического галса по данным попутных измерений и архивных гидрологических массивов показали их хорошее количественное соответствие. Сравнение аномалий ТПО для каждого рейса вдоль трансатлантического галса, рассчитанных относительно средней ТПО за ноябрь всех 10-ти рейсов и относительно средней климатической ТПО для ноября по данным спутниковых измерений, WOD-2005, BADC и NCEP, показало, что наиболее тесная корреляционная связь наблюдается между аномалиями ТПО по попутным измерениям и данным BADC ( $R \sim 0.68$ ) и NCEP ( $R \sim 0.65$ ) [3]. Учитывая, что в нашем распоряжении имелись данные массива BADC только до 2002 г., а массива NCEP – до начала 2010 г., последний массив был взят за основу при дальнейшем анализе пространственного распределения аномалий ТПО.

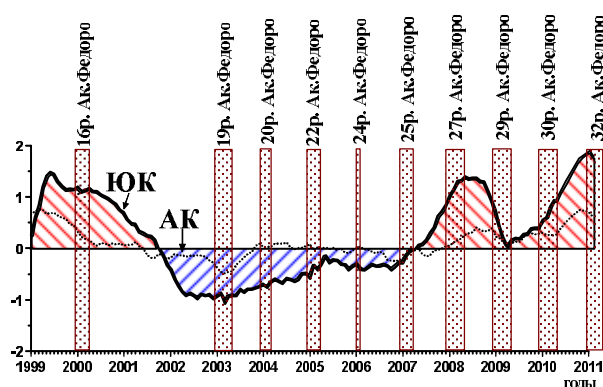


Рис. 1. Межгодовой ход индексов Южного и Антарктического колебаний. Вертикальными линиями показано время выполнения работ в Антарктике на НЭС “Академик Фёдоров”.

По фактическим рейсовым данным ( $ТПО_{РЕЙС}$ ) были рассчитаны аномалии ТПО относительно средней климатической ТПО для соответствующего месяца по данным массива NCEP ( $ТПО_{NCEP_{КЛИМАТ}}$ ). По данным массива NCEP также были рассчитаны аномалии ТПО как разности между среднемесячной ТПО для каждого года ( $ТПО_{NCEP}$ ) и  $ТПО_{NCEP_{КЛИМАТ}}$ . Привлечение данных NCEP позволяет интерпретировать дискретные рейсовые материалы с позиции пространственной изменчивости аномалий ТПО и определить фазу межгодового процесса, протекающего в приантарктической области Южного океана.

### 3. Анализ результатов

Анализ распределения аномалий ТПО по данным NCEP за период 1999–2010 гг. показал, что в Южном океане (ЮО) прослеживаются две структурные особенности. Первая – Антарктический диполь (АД), характеризующийся противофазными колебаниями температуры в восточной части Тихоокеанского и в западной части Атлантического сектора Антарктики [9]. Другая особенность – чередование аномалий ТПО положительного и отрицательного знаков вдоль всего ЮО с масштабом 1000–2000 км, которое является проявлением другой моды – Антарктической циркумполярной волны (АЦВ). Она представляет собой волнообразное распространение на восток примерно между 50° и 60° ю.ш. аномалий атмосферного давления, поля ветра, ТПО и морских льдов с периодом 3-5

лет, которые за 8-10 лет совершают полный оборот вокруг Антарктиды [10, 11]. Представляется важным оценить степень проявления этих мод в данных рейсовых измерений и дать качественное объяснение фактическим распределениям аномалий ТПО той или иной фазой крупномасштабных мод. При дальнейшем анализе положительные или отрицательные аномалии ТПО будут рассматриваться как соответствующие по знаку фазы крупномасштабных мод.

Интерпретация рейсовых измерений усложняется тем, что ближе к берегам Антарктиды, в зоне Западного прибрежного течения, прослеживается тенденция к формированию еще одного сигнала, который распространяется с востока на запад. Он проявляется в межгодовой изменчивости аномалий ТПО, рассчитанных по данным NCEP вдоль среднего положения зональных галсов, выполненных в рейсах НЭС “Академик Фёдоров” (рис. 2). На рисунке 2 предполагаемые области и направления распространения аномалий ТПО вдоль берегов Антарктиды показаны соответственно вытянутыми эллипсами и стрелками. Наиболее яркий пример такого сигнала – это отрицательная аномалия ТПО, сформировавшаяся в 1998 г. в Индоокеанском секторе (80-90° в.д.), которая, волнообразно распространяясь на запад, за 7 лет достигла восточной части Тихого океана (70-80° з.д.). Аналогичную тенденцию можно отметить для положительной аномалии ТПО, возникшей в 1997 г. в западной части Индоокеанского сектора (30-50° в.д.), которая в 2006 г. достигла центральной части Тихого океана. В данной работе это волнообразное распространение аномалий ТПО вдоль берегов Антарктиды с востока на запад названо Антарктической прибрежной циркумполярной волной (АПрЦВ). Необходимо отметить, что фазы АЦВ и АПрЦВ не всегда совпадают, и АПрЦВ может проявляться в виде аномалий другого знака в прибрежной зоне Антарктиды.

В целом суперпозиция АД, АЦВ и АПрЦВ создает крупномасштабный фон, на котором развиваются локальные процессы, в результате на региональном уровне формируется сложная пространственно-временная картина распределения ТПО. Ниже для каждого рейса НЭС “Академик Фёдоров” анализируются крупномасштабные распределения аномалий ТПО по массиву NCEP и особенности их проявления в данных попутных измерений.

**16-й рейс “АФ” (декабрь 1999 г. – март 2000 г.).** В Тихоокеанском секторе ЮО наблюдались мощные отрицательные аномалии ТПО (-1.5 – -2°C), которым соответствовали положительные аномалии (1.5-2°C) в западной Атлантике. Такое распределение аномалий ТПО свидетельствует о хорошо развитом Антарктическом диполе. Обширная область отрицательных аномалий ТПО (до -1.5°C) располагалась в восточной части Индоокеанского сектора Антарктики. Во всей приантарктической области южнее 65° ю.ш. прослеживались слабые, преимущественно отрицательные аномалии ТПО, не превышающие по абсолютной величине 0.5°C (рис. 2, 3, 5, 7, 9 см. на цв. вклейке между 182 и 183 стр.). По данным фактических измерений в восточной Атлантике и в Индоокеанском секторе (Г-3 – Г-6 и Г-10 – Г-12), прослеживались отрицательные аномалии ТПО (рис. 4). Максимальные значения аномалий (до -2.5°C) наблюдались в морях Содружества и Дейвиса (70-90° в.д.).

В целом распределения аномалий ТПО, как по данным NCEP, так и по фактическим данным, показывают, что в декабре 1999 г. – марте 2000 г. в районах плавания доминировали отрицательные аномалии ТПО, соответствующие отрицательным фазам АЦВ и АПрЦВ. Появление положительных аномалий ТПО (до 1.5°C) в январе 2000 г. между 70° в.д. и Гринвичем (Г-7) может быть связано с синоптической изменчивостью ТПО.

**19-й рейс “АФ” (декабрь 2002 г. – апрель 2003 г.).** Антарктический диполь изменил знак. В Индоокеанском и Тихоокеанском секторах ЮО преобладали положительные аномалии ТПО (до 1.5°C), в Атлантическом – отрицательные (до -1.5°C). Ближе к берегам Антарктиды в Индоокеанском секторе и в восточных частях Тихого и Атлантического океанов наблюдались слабые положительные аномалии ТПО (~ 0.5°C). Область высоких отрицательных аномалий (~ -1.5°C) прослеживалась в северной части моря Уэдделла (рис. 2, 3).

По данным попутных измерений в Атлантике (Г-3, декабрь 2002 г.), аномалии ТПО были отрицательными (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ), в Индоокеанском секторе (Г-4, январь 2003 г.) до  $90^{\circ}$  в.д. – положительными (рис. 4). Их максимальные величины наблюдались в море Содружества (до  $3.5^{\circ}\text{C}$ ). На обратном пути (Г-5, январь 2003 г.) аномалии ТПО в море Содружества сохраняли знак. В окрестностях ст. “Молодежная” наблюдались отрицательные аномалии (до  $-1.5^{\circ}\text{C}$ ). В марте-апреле 2003 г. (галсы Г-8 – Г-10) отрицательные аномалии ТПО ( $-1 - -1.5^{\circ}\text{C}$ ) сохранялись в восточной Атлантике и в Индоокеанском секторе Антарктики. Области слабых положительных аномалий ТПО (до  $0.5^{\circ}\text{C}$ ) наблюдались только в море Рисер-Ларсена в марте (галс Г-8) и в западной части моря Содружества ( $55-65^{\circ}$  в.д.) в марте-апреле (Г-8, Г-10).

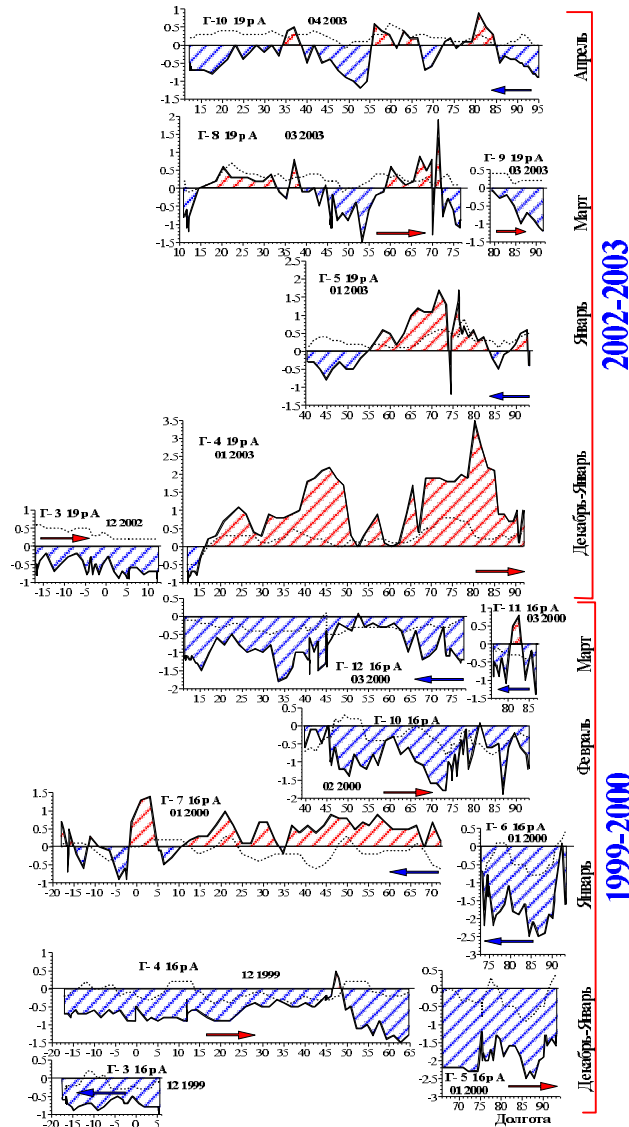


Рис. 4. Распределение аномалий ТПО на зональных галсах вдоль берегов Антарктиды в 16-м и 19-м рейсах НЭС “Академик Фёдоров”.

Здесь и далее на рис. 6, 8, 10 сплошные линии –  $\text{ТПО}_{\text{РЕЙС}} - \text{ТПО}_{\text{НСЕР/климат}}$ , пунктирные линии –  $\text{ТПО}_{\text{НСЕР}} - \text{ТПО}_{\text{НСЕР/климат}}$ , стрелками показано направление движения судна.

Таким образом, по данным NSERP и рейсовым измерениям в районах выполнения работ в Индоокеанском секторе преобладали положительные фазы АЦВ и АПрЦВ, в Атлантике – отрицательная фаза АЦВ и положительная фаза АПрЦВ. Отрицательные аномалии ТПО наблюдались вблизи полярных станций и на галсе Г-3 в восточной части Атлантики.

**20-й рейс “АФ” (январь-март 2004 г.).** В январе Тихоокеанский сектор был занят положительными аномалиями ТПО (до 2°C) (рис. 5). В Атлантике и Индоокеанском секторе аномалии были в основном отрицательные (до -1°C), только в центральных частях прослеживались слабые положительные аномалии (до ~ 0.8°C). В феврале-марте в Тихом океане между 130° и 100° з.д. к югу от Южного субтропического антициклонического круговорота (ЮСАК) образовалась область отрицательных аномалий ТПО (до -1°C), тогда как в Атлантике на этих широтах возникла мощная положительная аномалия (2.5°C). В приантарктической области Тихого океана преобладали слабые отрицательные аномалии ТПО (~ -0.5°C), а в море Беллинсгаузена, восточной части Атлантики и в западной части Индийского океана наблюдались слабые положительные аномалии (~ 0.5°C).

По данным попутных измерений в Индоокеанском секторе (Г-3) аномалии ТПО были преимущественно положительными с максимумом (до 2.5°C) в море Содружества (рис. 6). Только у ст. “Дружная”, “Прогресс” и “Молодежная”, как и в январе 2003 г., прослеживались отрицательные аномалии ТПО (-1.5°C). Западнее, на галсе Г-4 (февраль 2004 г.) также преобладали положительные аномалии ТПО (до 1.5°C).

При приближении судна к берегу между 10° и 20° в.д. появлялись отрицательные аномалии ТПО (~ -1.0°C). В марте 2004 г., когда судно двигалось с запада на восток (Г-7), наблюдалось чередование областей отрицательных и положительных аномалий ТПО. Восточнее ст. “Молодежная” до 60° в.д. прослеживались слабые отрицательные аномалии (~ -0.5°C), далее на восток до ст. “Прогресс” наблюдались положительные аномалии (до 1°C), а между ст. “Прогресс” и “Мирный” аномалии ТПО снова были отрицательными (~ -1.5°C). На обратном пути в Атлантику (Г-8) во второй половине марта структура аномалий на участке галса от ст. “Мирный” до ст. “Молодежная” не изменилась. В Индоокеанском секторе к западу от ст. “Молодежная” прослеживались положительные аномалии ТПО (до 1°C), в восточной части Атлантики – отрицательные (~ -1°C).

В целом распределение аномалий ТПО по данным NSERP и фактических измерений в районе выполнения работ соответствовало положительной фазе АПрЦВ. При этом в восточной Атлантике и западной части Индоокеанского сектора наблюдалась отрицательная фаза АЦВ, а в центральной части Индийского океана – положительная. На участках, прилегающих к Антарктическому континенту, отмечались отрицательные аномалии, что, видимо, обусловлено прибрежными гидрологическими процессами в районах станций.

**22-й рейс “АФ” (декабрь 2004 г. – март 2005 г.).** В декабре 2004 г. в Тихом океане сохранялась область положительных аномалий ТПО (до 1.5°C), которая соседствовала с зонами с отрицательными аномалиями (до -1.5°C) (рис. 5). Западная Атлантика до 40° з.д. была занята положительными аномалиями ТПО (до 2°C). В восточной Атлантике и в Индоокеанском секторе до 110° в.д. преобладали отрицательные аномалии ТПО (до -1°C), у берегов Антарктиды – слабые положительные (до 0.5°C). Восточная часть Индоокеанского сектора также была занята слабыми положительными аномалиями ТПО (до 0.5°C). В марте 2005 г. положительные аномалии ТПО (0.8-1.5°C) охватывали почти всю акваторию Тихоокеанского и восточную часть Индоокеанского секторов Антарктики. В Атлантике положительные аномалии (до 0.8°C) наблюдались к югу от ЮСАК. В приантарктической области преобладали положительные аномалии ТПО (до 0.8°C), отрицательные аномалии (до -0.6°C) прослеживались в морях Беллинсгаузена и Уэдделла.

По данным фактических измерений в декабре 2004 г. (Г-3, Г-4, Г-5) прослеживались преимущественно отрицательные аномалии ТПО (до -1.5°C). На участке между 75° и 90° в.д. (Г-5, Г-8) преобладали положительные аномалии (до 1.5°C) (рис. 6). Вблизи ст. “Прогресс” и “Мирный” наблюдались отрицательные аномалии (до -1°C), на переходе между

станциями аномалии были положительными (до 2°C). На обратном пути в Индоокеанском секторе и восточной Атлантике до 15° в.д. (Г-9, март 2005 г.) преобладали положительные аномалии ТПО (местами до 3°C). Отрицательные аномалии (~ -1°C) прослеживались только вблизи ст. “Мирный” и между 55° и 50° в.д. В восточной и центральной Атлантике к западу от 15° в.д. (Г-10) наблюдались слабые, преимущественно отрицательные, аномалии (до -0.5°C), увеличивающиеся до -1.5°C в море Уэдделла.

В данном рейсе распределение аномалий ТПО по данным NCEP соответствовало отрицательным фазам АЦВ в западной Атлантике и в Индоокеанском секторе, отрицательной фазе АПрЦВ в западной Атлантике и положительной фазе АПрЦВ в восточной Атлантике и в Индоокеанском секторе. По данным попутных измерений, во всем Атлантическом секторе доминировали отрицательные аномалии ТПО, в Индоокеанском – в основном положительные. Так же, как и в предыдущих рейсах, в районах полярных станций наблюдались отрицательные аномалии ТПО.

**24-й рейс “АФ” (январь 2006 г.)** Положительные аномалии ТПО (до 1.5°C) наблюдались в западной и восточной частях Тихого океана, в проливе Дрейка, в восточной части Атлантики и Индоокеанского сектора (рис. 5). В западной Атлантике сформировалась область отрицательных аномалий ТПО (до -2.5°C). У берегов Антарктиды наблюдались слабые (0.5°C) аномалии ТПО: в Тихоокеанском, Атлантическом секторах ЮО и в западной части Индоокеанского сектора преимущественно положительные, на востоке Индийского океана – отрицательные.

По данным попутных измерений в январе 2006 г., в Индоокеанском секторе ЮО (Г-2 и Г-3) наблюдались в основном положительные аномалии ТПО (до 2.5°C). Только вблизи станций отмечались слабые (-0.5°C) отрицательные аномалии (рис. 6). Отметим, что аномалии ТПО по данным NCEP соответствовали отрицательной фазе АЦВ и АПрЦВ в районе галса Г-3 и положительной фазе АПрЦВ в районе галса Г-2, поэтому положительные аномалии ТПО на галсе Г-3, по данным попутных измерений, носят скорее всего синоптический характер.

**25-й рейс “АФ” (декабрь 2006 г. – март 2007 г.)** В декабре 2006 г. в центральной части Тихоокеанского сектора ЮО наблюдалась область высоких положительных аномалий ТПО (до 3°C), простирающаяся почти до 60° ю.ш. (рис. 7). Положительные аномалии ТПО (до 2°C) наблюдались в проливе Дрейка, в западных частях Атлантики и Индийского океана. Западная и восточная части Тихоокеанского сектора, восточные части Атлантики и Индийского океана были заняты отрицательными аномалиями ТПО (до -1.5°C).

В начале следующего года (январь-март 2007 г.) структура аномалий ТПО качественно изменилась мало. Только в западной Атлантике на месте области положительных аномалий ТПО возникла область отрицательных аномалий (до -1°C), которая прослеживалась до марта 2007 г., а в Тихоокеанском секторе область положительных аномалий ТПО расширилась до берегов Антарктиды. У берегов Антарктиды в Тихоокеанском секторе наблюдались преимущественно положительные аномалии (~ 0.5°C), в Атлантике и Индоокеанском секторе – отрицательные, кроме участка между 90° и 130° в.д., где отмечено некоторое повышение ТПО.

По данным попутных измерений, в декабре 2006 г. – январе 2007 г. в восточной части Индийского океана (Г-3 – Г-6) прослеживались в основном отрицательные аномалии ТПО (до -2°C). Только в окрестностях ст. “Молодежная” аномалии были положительными (до 1.5°C) (рис. 8). В феврале 2007 г. (Г-9) также преобладали положительные аномалии ТПО (до 1°C). Далее на восток (Г-10) между ст. “Молодежная” и “Прогресс” преобладали отрицательные аномалии ТПО (~ -1°C). В марте 2007 г. между ст. “Прогресс” и 85° в.д. (Г-11) наблюдались знакопеременные аномалии, которые затем (Г-12) сменились положительными (до 1.5°C).

В целом, распределение аномалий ТПО по данным NCEP и попутных измерений в районах галсов соответствовало отрицательным фазам АЦВ и АПрЦВ. Положительные

аномалии ТПО по данным попутных измерений в западной части Индоокеанского сектора Антарктики и восточнее 85° в.д. могут быть следствием интенсивной синоптической изменчивости.

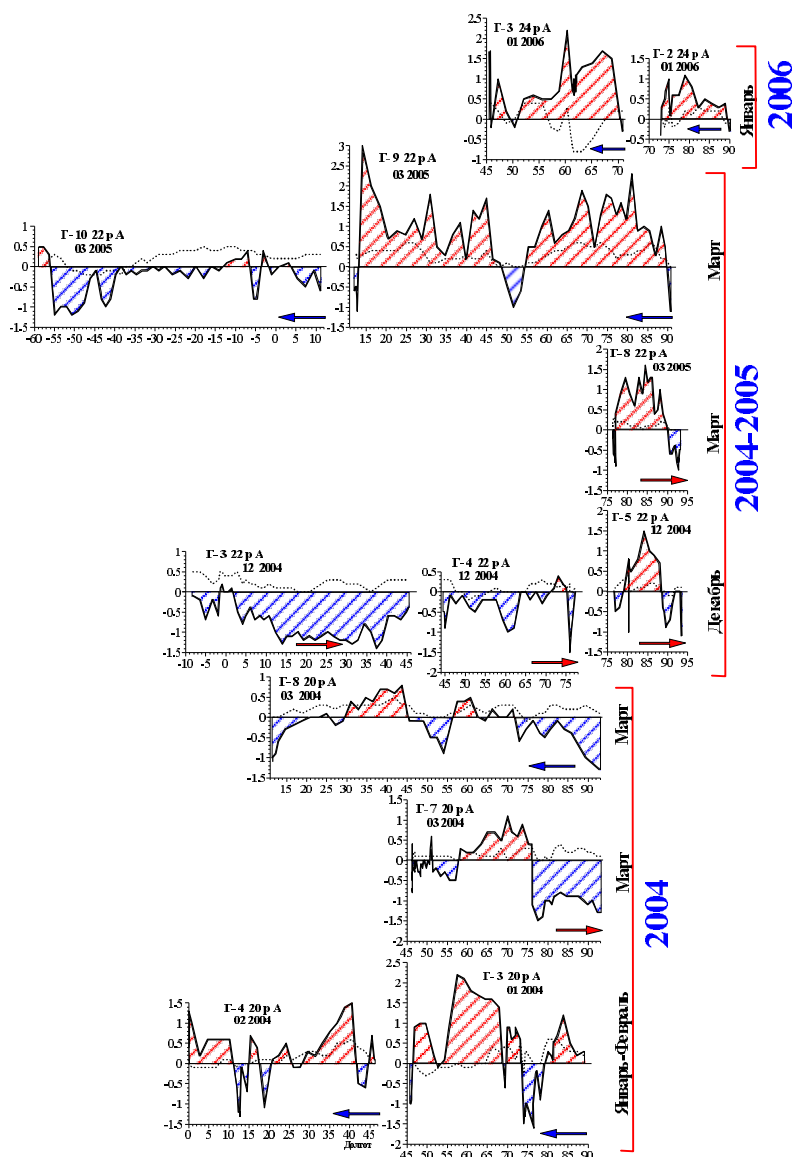


Рис. 6. Распределение аномалий ТПО на зональных галсах вдоль берегов Антарктиды в 20-м, 22-м и 24-м рейсах НЭС “Академик Фёдоров”.

**27-й рейс “АФ” (декабрь 2007 г. – апрель 2008 г.).** В декабре 2007 г. – январе 2008 г. почти вся акватория ЮО была занята отрицательными аномалиями ТПО. Максимальные значения аномалий наблюдались в Тихоокеанском секторе между 160° и 130° в.д. (до -2.5°C) и в западной Атлантике (до -1.5°C). Положительные аномалии ТПО (до 1°C) прослеживались только в восточных частях Тихоокеанского и Индоокеанского секторов (рис. 7). В феврале-апреле 2008 г. положительные аномалии ТПО в Тихоокеанском секторе



сместились к берегам Южной Америки. Отрицательные аномалии в Тихом океане постепенно ослабевали и в апреле не превышали  $-1.5^{\circ}\text{C}$ . В западной Атлантике отрицательные аномалии ТПО в марте 2008 г. сменились положительными (до  $1^{\circ}\text{C}$ ). В апреле там снова наблюдались отрицательные аномалии ТПО (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ). У берегов Антарктиды аномалии ТПО были преимущественно отрицательными (до  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ), их положительные значения отмечены только в восточной части Тихоокеанского сектора (до  $0.6^{\circ}\text{C}$ ).

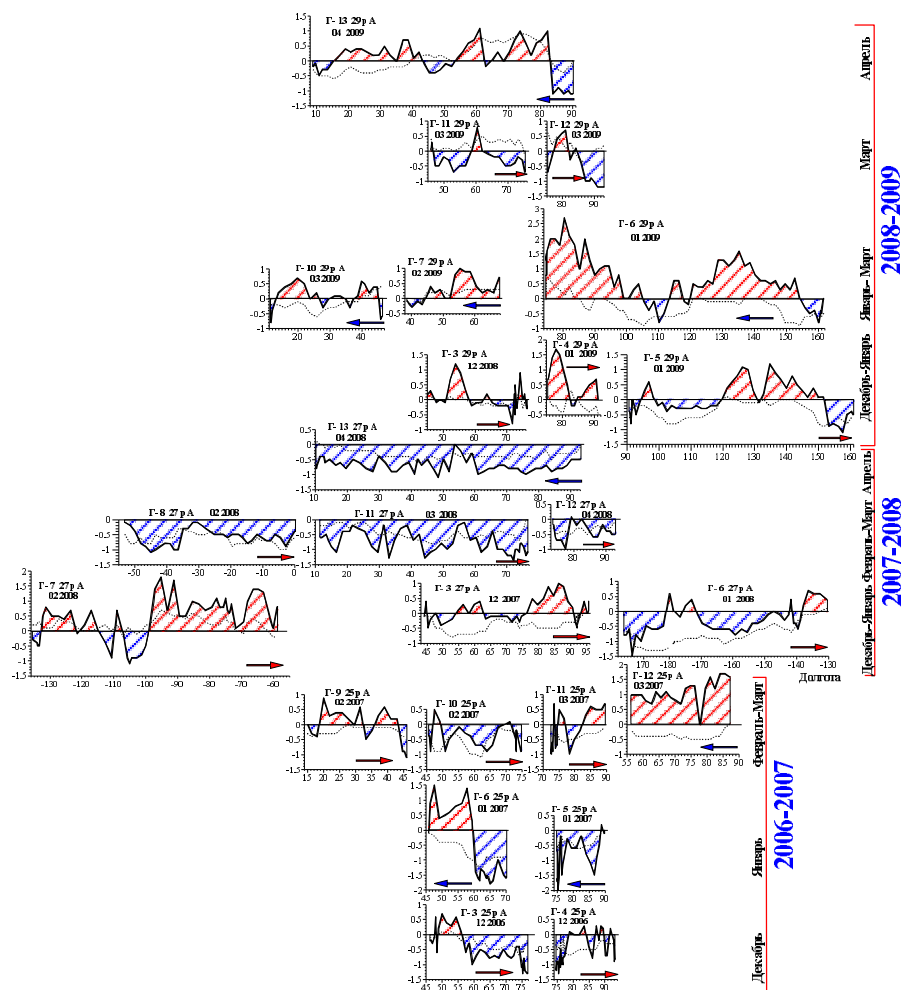


Рис. 8. Распределение аномалий ТПО на зональных галсах вдоль берегов Антарктиды в 25-м, 27-м и 29-м рейсах НЭС «Академик Фёдоров».

По данным попутных измерений, в декабре 2007 г. (Г-3) между ст. “Молодежная” и “Прогресс” наблюдались слабые аномалии переменного знака ( $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ ) (рис. 8). Между ст. “Прогресс” и “Мирный” отмечались положительные аномалии ТПО (до  $1^{\circ}\text{C}$ ). В январе 2008 г. (Г-6) в западной части Тихого океана аномалии ТПО были преимущественно отрицательными ( $\sim -0.5 - -1^{\circ}\text{C}$ ). В феврале 2008 г. восточнее ст. “Русская” (Г-7) наблюдались знакопеременные аномалии. Восточнее  $95^{\circ}$  з.д. до ст. “Беллингаузен” прослеживались положительные аномалии ТПО с максимумом (до  $2^{\circ}\text{C}$ ) в море Беллингаузена и в проливе Дрейка. В феврале-апреле 2008 г. (Г-8, Г-11 – Г-13) между ст. “Беллингаузен” и ст. “Мирный” наблюдались отрицательные аномалии ТПО (до  $-1.5^{\circ}\text{C}$ ).

По данным NСЕР и попутных измерений в Тихоокеанском секторе Антарктики в декабре 2007 г. и январе 2008 г. наблюдались отрицательные фазы АЦВ и АПрЦВ, в феврале 2008 г. – положительные. Исключением является акватория между станциями “Прогресс” и “Мирный”, где по данным попутных измерений в декабре 2007 г. отмечались положительные аномалии ТПО.

**29-й рейс “АФ” (декабрь 2008 г. – апрель 2009 г.).** В декабре 2008 г. – апреле 2009 г. на большей части акватории Тихоокеанского сектора ЮО прослеживались отрицательные аномалии ТПО, их максимум ( $-1.5^{\circ}\text{C}$ ) располагался в области между  $140^{\circ}$  и  $110^{\circ}$  з. д. (рис. 9).

В западной части Атлантического сектора наблюдалась область высоких положительных аномалий ТПО, величины которых постепенно уменьшались от  $2.5^{\circ}\text{C}$  в декабре 2008 г. до  $1^{\circ}\text{C}$  в апреле 2009 г. В Индоокеанском секторе положительные аномалии ТПО (до  $0.8^{\circ}\text{C}$ ) в декабре 2008 г. – январе 2009 г. прослеживались между  $60^{\circ}$  и  $100^{\circ}$  в.д., затем эта область расширилась и в апреле 2009 г. заняла почти всю восточную часть Индоокеанского сектора. В прибрежной зоне Антарктиды в Тихоокеанском секторе наблюдались в основном положительные аномалии ТПО (до  $0.8^{\circ}\text{C}$ ), в Атлантике – отрицательные (до  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ). В приантарктической области Индийского океана в декабре 2008 г. наблюдались слабые отрицательные аномалии ТПО (до  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ). В январе 2009 г. в западной части океана между  $40^{\circ}$  и  $80^{\circ}$  в.д. появились слабые положительные аномалии (до  $0.5^{\circ}\text{C}$ ), которые к апрелю 2009 г. охватили всю акваторию восточнее  $60^{\circ}$  в.д.

По данным попутных измерений (рис. 8) в декабре 2008 г. – январе 2009 г. (Г-3 – Г-5) между ст. “Молодежная” и  $60^{\circ}$  в.д. наблюдались положительные аномалии ТПО (до  $1.2^{\circ}\text{C}$ ), далее на восток до ст. “Прогресс” – отрицательные (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ). В районе самой станции наблюдались высокие положительные аномалии ТПО (до  $2^{\circ}\text{C}$ ). Положительные аномалии (до  $0.5^{\circ}\text{C}$ ) прослеживались далее на восток до  $90^{\circ}$  в.д. На участке между  $100^{\circ}$  и  $120^{\circ}$  в.д. наблюдались слабые отрицательные аномалии (до  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ). Далее на восток до  $150^{\circ}$  в.д. аномалии ТПО были снова положительными ( $\sim 1^{\circ}\text{C}$ ), а между  $150^{\circ}$  в.д. и ст. “Ленинградская” – отрицательными (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ). На обратном пути (Г-6) примерно до  $115^{\circ}$  в.д. прослеживались положительные аномалии ТПО (до  $1.5^{\circ}\text{C}$ ), в восточной части моря Моусона – отрицательные (до  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ), к западу от  $105^{\circ}$  в.д. – высокие положительные с максимальными величинами ( $2-2.8^{\circ}\text{C}$ ) между станциями “Мирный” и “Прогресс”. Положительные аномалии ТПО (до  $1^{\circ}\text{C}$ ) наблюдались в феврале 2009 г. на галсе Г-7 до ст. “Молодежная”. Вблизи станции отмечались слабые отрицательные аномалии (до  $-0.3^{\circ}\text{C}$ ), которые в марте 2009 г. (Г-10) сменились слабыми положительными аномалиями (до  $0.5^{\circ}\text{C}$ ). Западнее станции до  $10^{\circ}$  в.д. наблюдались аномалии разных знаков ( $\sim 0.5-0.8^{\circ}\text{C}$ ). В марте 2009 г. (Г-11, Г-12) при движении судна на восток от станции “Молодежная” до станции “Мирный” наблюдались преимущественно отрицательные аномалии ТПО (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ). Положительные аномалии ТПО ( $\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ) прослеживались только на западе ( $59-62^{\circ}$  в.д.) и востоке ( $78-82^{\circ}$  в.д.) моря Содружества. В апреле 2009 г. (Г-13), когда судно шло на запад от станции “Мирный”, в Индоокеанском секторе преобладали положительные аномалии (до  $1^{\circ}\text{C}$ ). Отрицательные аномалии ( $-0.5 - -1^{\circ}\text{C}$ ) прослеживались только к западу от станции примерно до  $82^{\circ}$  в.д. и вблизи станции “Молодежная”. На крайнем западном участке галса Г-13 в море Лазарева наблюдались слабые отрицательные аномалии ТПО (до  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ).

В районах проведения работ по данным NСЕР в декабре 2008 г. наблюдались положительная фаза АЦВ и отрицательная фаза АПрЦВ. В январе 2009 г. к западу от  $100^{\circ}$  в.д. отмечалась положительная фаза АЦВ, к востоку – отрицательная, при этом фаза АПрЦВ была отрицательной. В феврале наблюдались положительные фазы АЦВ и АПрЦВ. В марте-апреле 2009 г. к западу от  $60^{\circ}$  в.д. фазы АЦВ и АПрЦВ были отрицательными, к востоку – положительными. Структура аномалий ТПО по фактическим измерениям не всегда согласуется с результатами, полученными по массиву NСЕР. Только в феврале 2009 г. в западной части Индоокеанского сектора наблюдалось совпадение фаз АПрЦВ по двум типам данных.

**30-й рейс “АФ” (декабрь 2009 г. – апрель 2010 г.).** Отметим, что в нашем распоряжении имелись данные массива NCEP только по январь 2010 г. В этот период в Тихоокеанском секторе Южного океана между 170° и 100° з.д. наблюдалась обширная область высоких (до 4°C) положительных аномалий ТПО (рис. 9). Другая область положительных аномалий (до 1.8°C) располагалась в Атлантике восточнее 40° з.д. Слабые положительные аномалии ТПО (до 0.6°C) прослеживались в центральной и восточной частях Индийского океана. Отрицательные аномалии (~ -1.5°C) отмечались в западной части Тихоокеанского сектора. В прибрежной зоне Антарктики наблюдались слабые, преимущественно отрицательные (~ -0.5°C), аномалии ТПО. Положительные аномалии (до 0.8°C) прослеживались только в восточной части моря Амундсена, в море Беллинсгаузена, в заливе Прудс и в западной части моря Д’Юрвиля.

По данным фактических измерений в декабре 2009 г. (Г-3), примерно до 80° в.д. наблюдались знакопеременные аномалии ТПО, преимущественно отрицательные (~ -1.2°C). К востоку от 80° в.д. до ст. “Прогресс” (Г-4) – положительные (до 1°C), вблизи станции – снова отрицательные (до -1°C) (рис. 10). Далее на восток до ст. “Мирный” – положительные (до 1.2°C), в районе станции – отрицательные (до -1°C). В январе 2010 г. (Г-5) преобладали положительные аномалии ТПО с максимальными величинами (~ 3.5°C) между 135° и 140° в.д., которые при подходе к ст. “Ленинградская” сменились отрицательными (до -1.5°C). Высокие отрицательные аномалии (до -1.8°C) прослеживались далее (Г-6) в западной части Тихоокеанского сектора до линии смены дат. Восточнее (Г-6, Г-7) аномалии ТПО были положительными. Их максимальные величины (до 2.5°C) наблюдались в западной части моря Амундсена. В феврале-апреле 2010 г. (Г-8, Г-11, Г-12, Г-13) в Атлантике и в западной части Индийского океана преобладали отрицательные аномалии ТПО, наиболее интенсивные в западной части моря Уэдделла (-1.5°C), в море Лазарева и в море Космонавтов вблизи станции “Молодежная” (~ -1°C), в море Содружества вблизи станции “Прогресс” (~ -1.2°C). Слабые положительные аномалии ТПО (до 0.8°C) прослеживались в районах ст. “Беллинсгаузен” и “Академик Вернадский”. В апреле 2010 г. между ст. “Прогресс” и “Мирный” (Г-13) наблюдались слабые отрицательные аномалии ТПО (до -0.5°C). На обратном галсе Г-14 отрицательные аномалии (до -0.5°C) сохранялись только в море Дейвиса. Западнее на всем галсе прослеживались положительные аномалии ТПО (0.5-1°C).

По данным NCEP (декабрь 2009 г. – январь 2010 г.), в районе выполнения работ в западной части Индоокеанского сектора ЮО в декабре 2009 г. наблюдались отрицательная фаза АПрЦВ и переход фаз АЦВ от положительной к отрицательной. В восточной части сектора в январе 2010 г. фаза АЦВ была положительной, фаза АПрЦВ – отрицательной, за исключением моря Д’Юрвиля, где наблюдались положительные аномалии ТПО. В западной и центральной частях Тихоокеанского сектора в январе 2010 г. наблюдались положительная фаза АЦВ и отрицательная фаза АПрЦВ, в восточной части, наоборот, фаза АЦВ была отрицательной, АПрЦВ – положительной.

Данные фактических измерений в западной части Индоокеанского сектора до станции “Прогресс” в декабре 2009 г. в основном соответствовали отрицательной фазе АПрЦВ. Восточнее станции “Прогресс” в декабре 2009 г. – январе 2010 г. в Индоокеанском секторе наблюдалась положительная фаза АПрЦВ, только вблизи станции “Мирный” аномалии ТПО были отрицательными. В западной части Тихоокеанского сектора до линии смены дат фаза АПрЦВ была отрицательной, восточнее линии смены дат – положительной. В Атлантическом и Индоокеанском секторах Антарктики с февраля по начало апреля 2010 г. прослеживалась отрицательная фаза АПрЦВ. В апреле 2010 г. в Индоокеанском секторе западнее 90° в.д. фаза АПрЦВ была положительной.

**32-й рейс “АФ” (декабрь 2010 г. – март 2011 г.).** По данным фактических измерений в декабре 2010 г. – январе 2011 г. при движении судна на восток (Г-5 и Г-7) от ст. “Молодежная” до 63° в.д. прослеживались отрицательные аномалии ТПО (~ -1°C), на участке галса Г-5 от 63° в.д. до станции “Дружная” – положительные (~ 1.2°C) (рис. 10).

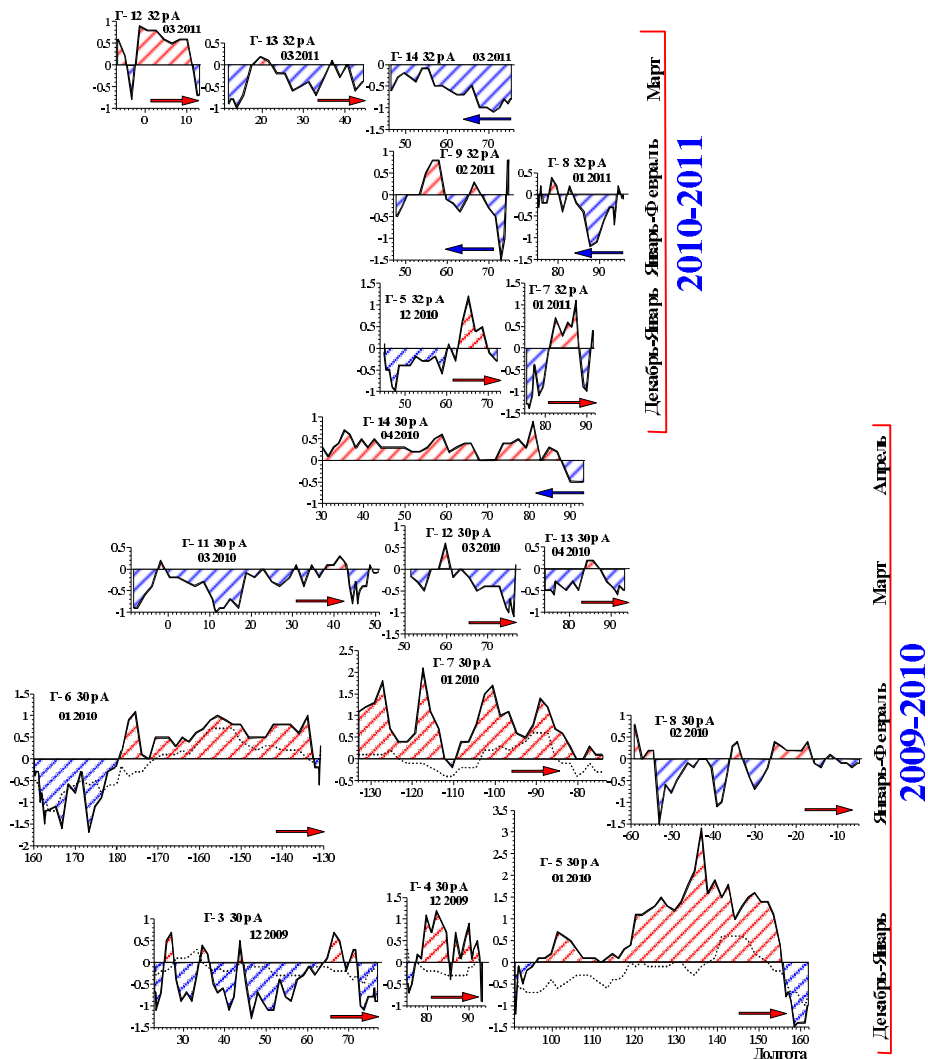


Рис. 10. Распределение аномалий ТПО на зональных галсах вдоль берегов Антарктиды в 30-м и 32-м рейсах НЭС “Академик Фёдоров”.

Вблизи ст. “Дружная” и “Прогресс” наблюдалось понижение ТПО с аномалиями до  $-1.5^{\circ}\text{C}$ . Восточнее снова наблюдались положительные аномалии (до  $1^{\circ}\text{C}$ ), которые сменялись отрицательными (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ) при подходе к ст. “Мирный”. На обратных галсах Г-8, Г-9 (январь-февраль 2011 г.) аномалии ТПО были преимущественно отрицательными (до  $-1.5^{\circ}\text{C}$ ). В марте 2011 г., когда судно шло с запада на восток (Г-12), в восточной части Атлантики преобладали положительные аномалии ТПО (до  $1^{\circ}\text{C}$ ). При подходе к ст. “Новолазаревская” наблюдалось существенное понижение ТПО с аномалиями до  $-1^{\circ}\text{C}$ . Восточнее (Г-13) примерно до станции “Молодежная” также преобладали отрицательные аномалии ТПО (до  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ). На галсе Г-14 в марте 2011 г., когда судно шло обратным курсом с востока на запад, наблюдались отрицательные аномалии ТПО (до  $-1.2^{\circ}\text{C}$ ).

Таким образом, структура аномалий ТПО в прибрежной части Антарктики в районах выполнения работ в декабре 2010 г. – марте 2011 г. в основном соответствовала отрицательной фазе АПрЦВ. Локальные повышения ТПО в декабре 2010 г. и в феврале

2011 г. в море Содружества, в январе 2011 г. западнее ст. “Мирный” и в марте в море Лазарева можно рассматривать как проявление прибрежных эффектов, которые находятся под влиянием синоптических процессов.

Представленный анализ выполнен на относительно коротком временном интервале, что не позволяет дать достоверные статистические оценки связей аномалий ТПО по рейсовым данным, крупномасштабных полей по данным NCEP и индексов атмосферной циркуляции. Хотя ранее показано, что такая связь может существовать при фазовом сдвиге в несколько лет [12]. Вместе с тем, на качественном уровне проявляются некоторые закономерности в поведении основных мод и изменчивости индексов ЮК и АК. На рис. 11 на фоне графиков изменчивости ЮК и АК для каждого рейса НЭС “АФ” показаны фазы АЦВ и АПрЦВ.

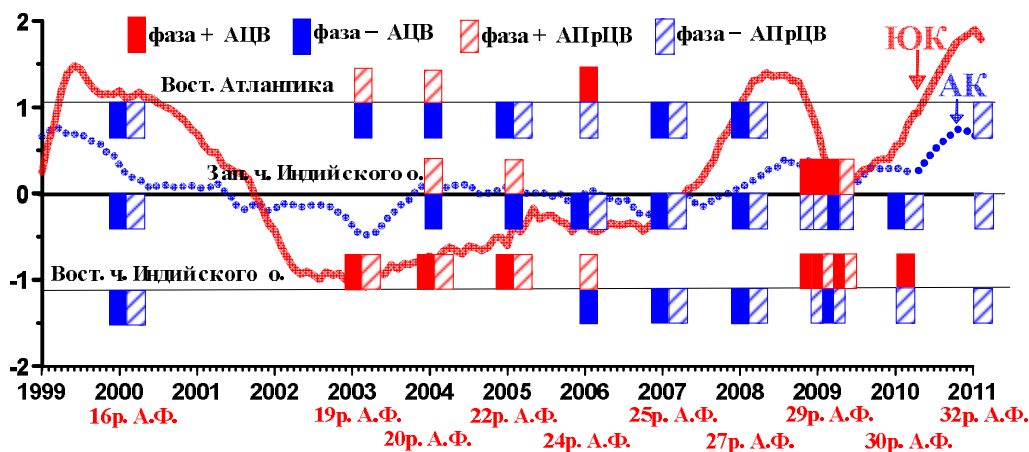


Рис. 11. Временной ход индексов ЮК и АК и фазы АЦВ и АПрЦВ для каждого рейса НЭС “Академик Фёдоров”.

Видно, что в 19-м – 25-м рейсах НЭС “АФ”, когда наблюдались устойчивая отрицательная фаза ЮК и неустойчивая фаза АК, в восточной Атлантике преобладала отрицательная фаза АЦВ, а фаза АПрЦВ была неустойчива. В восточной части Индийского океана преобладали положительные фазы АЦВ и АПрЦВ. В конце 25-го и в 27-м рейсах НЭС “АФ” наблюдался переход к устойчивым положительным фазам ЮК и АК. В это время в восточной Атлантике и во всем Индоокеанском секторе фазы АЦВ и АПрЦВ были отрицательными. В период высоких положительных значений ЮК и АК (16-й и 32-й рейсы НЭС “АФ”) отмечались отрицательные фазы АЦВ и АПрЦВ.

#### 4. Заключение

Анализ пространственной структуры аномалий ТПО на зональных галсах по фактическим измерениям и по массиву NCEP показал, что ее особенности по независимым данным качественно совпадают. Основные различия отмечаются в районах, где судно приближалось близко к берегу и наиболее сильно проявлялось влияние прибрежных эффектов и синоптической изменчивости в океане. Несмотря на то, что рейсовые данные несут в себе информацию о региональной синоптической изменчивости, они также содержат и крупномасштабный сигнал, вызванный главными модами Антарктики. Выявленные особенности проявления этих мод в фактических рейсовых данных в прибрежных районах требуют дальнейшего уточнения, поскольку проведенный анализ выполнен на относительно коротком временном интервале и относится к теплым месяцам Южного

полушария, когда проводились экспедиционные исследования на НЭС “Академик Фёдоров”. В настоящее время достоверные оценки влияния крупномасштабных процессов в системе океан-атмосфера на изменчивость гидрологических полей в прибрежных районах Антарктики, особенно в зимний период, когда контактные измерения практически отсутствуют, наиболее репрезентативны для поверхностного слоя океана. Эти оценки требуют более широкого привлечения к анализу современных массивов спутниковых измерений ТПО, альтиметрии, а также постоянно пополняемых данных ре-анализов.

### Литература

1. **Артамонов Ю.В., Булгаков М.П., Ващенко В.М. та інші.** Океанографічні дослідження України в Атлантичному секторі Антарктики (1997-2004). – Київ: Наукова думка, 2006. – 164 с.
2. **Артамонов Ю.В., Бунякин В.П., Кислицин С.П. и др.** Пространственная структура аномалий температуры поверхности океана по данным попутных измерений на НЭС “Академик Фёдоров” в летний период 2007-2008 гг. // Украинский Антарктический журнал. – 2007/2008. – № 6 – 7. – С. 90–96.
3. **Артамонов Ю.В., Антипов Н.Н., Бунякин В.П. и др.** Структура и изменчивость поля температуры поверхности океана на трансатлантических галсах по данным попутных измерений на НЭС “Академик Фёдоров” в 1999-2010 гг. // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2011. – Вып. 16. – С. 162–171.
4. <http://jisao.washington.edu/data>.
5. <http://podaac.jpl.nasa.gov/woce/woce3>.
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. – 2005.
7. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst>.
8. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
9. **Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J. et al.** Antarctic climate change during the last 50 years // J. Climatol. – 2005. – 25. – P. 279–294.
10. **Ostrovskii A.G., Setov T.** Antarctic Circumpolar Wave and Fronts in the Southern Ocean / Oceanic Fronts and Related Phenomena // Konstantin Fedorov Memorial Symposium, Pushkin, 1998. – P. 375–380.
11. **Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Букатов Ант.А. и др.** Антарктическая циркумполярная волна в аномалиях поля ветра, температуры поверхности океана и сплоченности морских льдов // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – С. 250–252.
12. **Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Букатов А.Е., Скрипалева Е.А.** Корреляционные связи аномалий температуры поверхности Тихого океана и индекса Южного Колебания // УАЖ. – 2009. – № 8. – С. 137–146.

Ю.В. Артамонов, Н.Н. Антипов, В.П. Бунякин, А.В. Клепиков, В.А. Литвинов, В.В. Лукин, Е.А. Скрипалёва

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В АНТАРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС "АКАДЕМИК ФЁДОРОВ" В 1999-2011 гг.

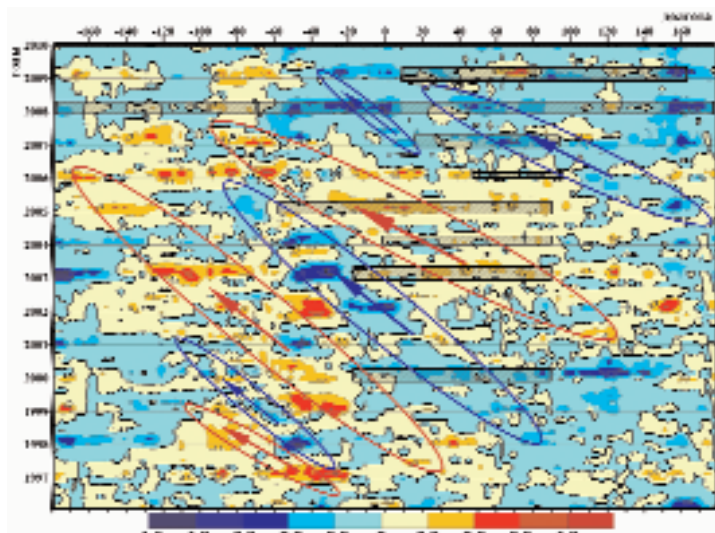


Рис. 2. Распределение аномалий ТПО вдоль зонального галса вокруг Антарктиды, рассчитанных по данным NSCP. Заштрихованными прямоугольниками показаны время выполнения галсов и меридиональный диапазон работ для каждого рейса НЭС "Академик Фёдоров"

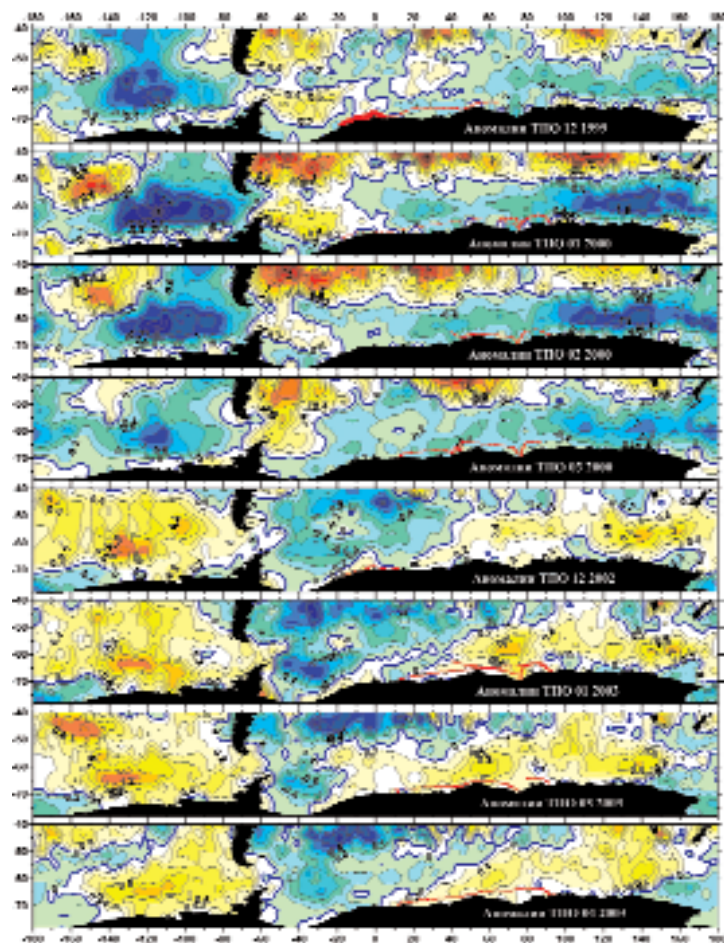


Рис. 3. Пространственное распределение аномалий ТПО по данным NSCP в период измерений на зональных галсах в 16-м и 19-м рейсах НЭС "Академик Фёдоров". Здесь и далее на рис. 5, 7, 9 красными пунктирными линиями отмечено положение галсов

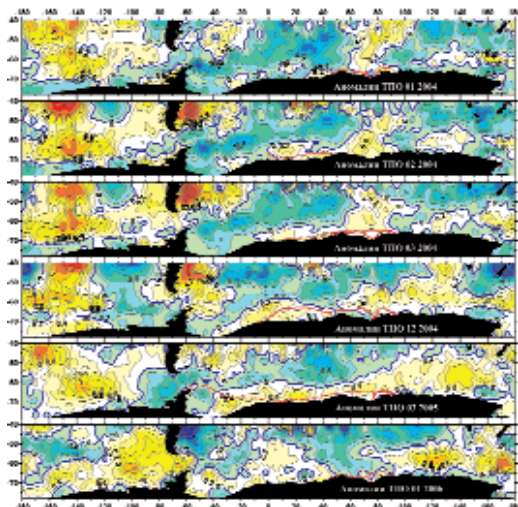


Рис. 5. Пространственное распределение аномалий ТПО по данным NSCP в период измерений на зональных галсах в 20-м, 22-м и 24-м рейсах НЭС "Академик Фёдоров"

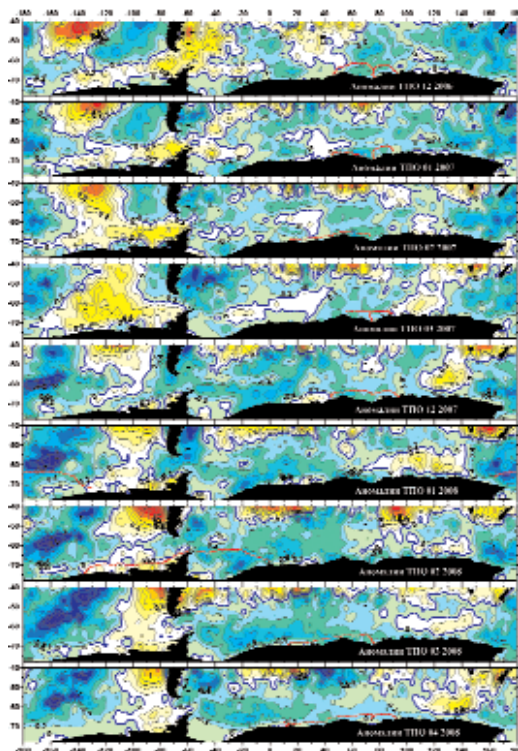


Рис. 7. Пространственное распределение аномалий ТПО по данным NSCP в период измерений на зональных галсах в 25-м и 27-м рейсах НЭС "Академик Фёдоров"

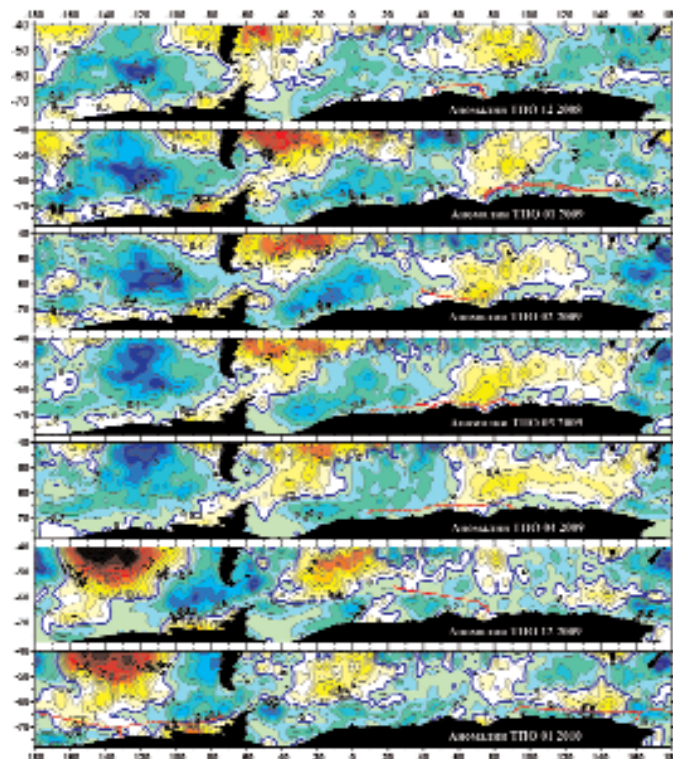


Рис. 9. Пространственное распределение аномалий ТПО по данным NSCP в период измерений на зональных галсах в 29-м и 30-м рейсах НЭС "Академик Фёдоров"