

**СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА НА
ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКИХ ГАЛСАХ
ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС “АКАДЕМИК
ФЕДОРОВ” В 1999 – 2010 гг.**

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

Морской гидрофизический институт
НАН Украины,
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: artam-ant@yandex.ru
*Арктический и Антарктический
Научно-исследовательский институт
Федеральной службы России по гидро-
метеорологии и мониторингу
окружающей среды, РАЭ,
г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38
**Национальный Антарктический
Научный Центр Государственного
комитета Украины по делам науки,
инноваций и информатизации,
г. Киев, б. Т. Шевченко, 16

*Представлены результаты исследования
межгодовой изменчивости поля температу-
ры поверхности океана (ТПО) по данным
попутных измерений, выполненных на
трансатлантических галсах в ходе экспеди-
ций НЭС “Академик Федоров” в 1999 – 2010
гг. Описаны пространственные особенно-
сти аномалий ТПО в районах плавания, ко-
торые сопоставляются с аномалиями ТПО,
рассчитанными по архивным данным. Ре-
зультаты анализируются с позиции прояв-
ления климатических вариаций в системе
океан-атмосфера с типичными периодами 2
– 7 лет.*

Введение. Одним из важных направ-
лений океанографических исследований
в рамках Национальной Программы ис-
следований Украины в Антарктике явля-
ется изучение термохалинной структуры
вод Мирового океана и прибрежных
районов Антарктического континента с
целью выявления особенностей межго-
довой изменчивости полей температуры,
характеристик водных масс и гидроло-
гических фронтов. Актуальность данно-
го направления обусловлена тем, что в

настоящее время широко обсуждаются
проблемы глобального изменения кли-
мата Земли. Показано, что реакция океа-
на на происходящие климатические из-
менения в разных регионах может быть
неодинаковой [1 – 3]. Как правило, для
этих оценок используются данные из
различных массивов ре-анализа. Разный
объем и качество первичной информа-
ции, используемой в этих массивах, раз-
ная продолжительность анализируемых
рядов приводят к тому, что оценки вели-
чин аномалий и трендов температуры
воды в некоторых районах могут сильно
различаться.

Одним из наиболее достоверных ис-
точников информации о структуре вод
на поверхности океана являются кон-
тактные попутные судовые измерения.
Преимущество таких измерений состоит
в том, что они за относительно короткий
период времени охватывают значитель-
ные акватории океана и позволяют по-
лучить квазисинхронные крупномас-
штабные распределения гидрологиче-
ских полей. Обработка материалов по-
путных измерений, выполненных в Ук-
раинских антарктических экспедициях
(УАЭ), позволила получить ряд новых
сведений о термической структуре вод,
водных массах, сделать некоторые оцен-
ки влияния глобальных межгодовых ва-
риаций в системе океан-атмосфера на
гидрологию вод Атлантического океана,
описать структуру и изменчивость тем-
пературных фронтов [4].

Попутные измерения в морских УАЭ
ограничены 2002 годом, поэтому они не
позволяют оценить развитие межгодо-
вых процессов за последнее десятилетие.
Наиболее полный и систематический
Банк попутных судовых измерений соз-
дан в ААНИИ (Россия) по результатам
экспедиционных работ на НЭС “Акаде-
мик Федоров”. Этот Банк сейчас обраба-
тывается в рамках совместных Россий-
ско-Украинских океанографических
проектов по программе Международно-
го Полярного Года (2007 – 2008 гг.),
проекта “Исследования глобальных
климатических изменений в системе
океан-атмосфера Южного полушария и
особенностей их проявления в регионе
Антарктического полуострова”(2009 –
2010 гг.).

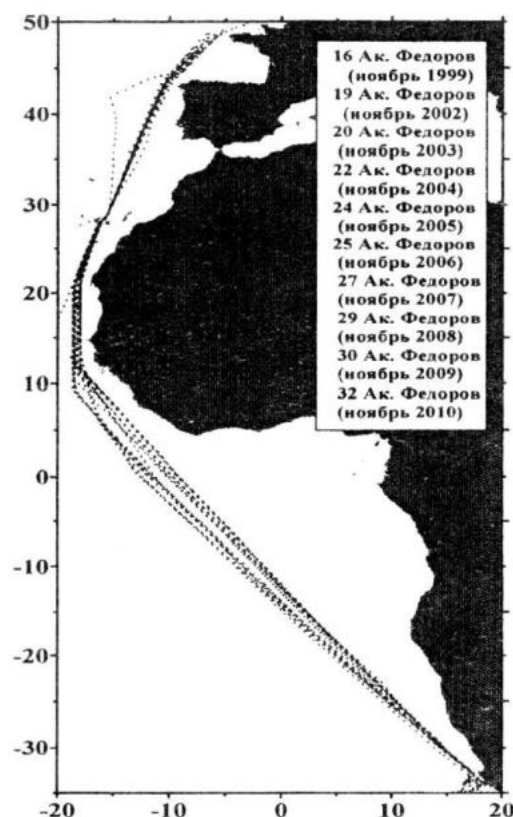
В настоящей работе представлены результаты обработки и анализа материалов попутных измерений на НЭС “Академик Федоров” за период 1999 по 2010 гг. Проводится анализ пространственного распределения аномалий наблюдаемой температуры поверхности океана по маршруту судна в Атлантическом океане относительно климатических норм, рассчитанных по независимым массивам гидрологических и спутниковых данных. Результаты обсуждаются в связи с крупномасштабной межгодовой изменчивостью в системе океан-атмосфера.

Материалы и методика. В работе обобщаются результаты попутных измерений ТПО, выполненных на трансатлантических галсах в 16-м, 19-м, 20-м, 22-м, 24-м, 25-м, 27-м, 29-м, 30-м и 32-м рейсах НЭС “Академик Федоров” в период с 1999 по 2010 гг. Измерения на этих галсах начинались обычно в Атлантическом океане несколько южнее Великобритании и продолжались до п. Кейптаун. При этом они выполнялись регулярно во всех рейсах, практически по одному и тому же маршруту и в одно и то же время года (ноябрь). Это позволяет судить об особенностях межгодовой изменчивости поля ТПО в восточной части Атлантического океана. Положение трансатлантических галсов показано на рис. 1.

Рисунок 2 иллюстрирует временное распределение индексов Северо-Атлантического (САК), Южного (ЮОК) и Антарктического (АК) колебаний по данным [5] и сроки выполнения трансатлантических галсов. Видно, что контактными измерениями охвачены основные фазы крупномасштабных процессов в системе океан-атмосфера.

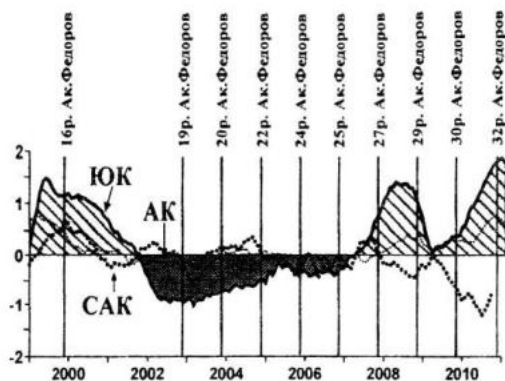
Распределения ТПО, полученные контактным методом в ходе рейсов, сравнивались с климатическими распределениями поля температуры по данным спутникового массива (архив *AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA*) [6], Мировой базы гидрологических данных (*World Ocean Database, 2005*) [7], материалам Британского центра атмосферных данных BADC (*British Atmospheric Data Center HadISST*) [8] и массива ре-анализа NCEP (*National*

Center for Environmental Prediction) [9]. Оценки корреляционных связей распределения ТПО вдоль трансатлантического галса по данным попутных измерений и архивных гидрологических массивов показали их хорошее количественное соответствие. Величины коэффициентов корреляции R на 95%-ном уровне статистической значимости между распределениями ТПО по данным попутных измерений для каждого рейса и массива NCEP составили 0.971 – 0.991.



Р и с. 1. Положение трансатлантических галсов, выполненных в ноябре 1999 – 2010 гг. в ходе следования судна “Академик Федоров” в Антарктику

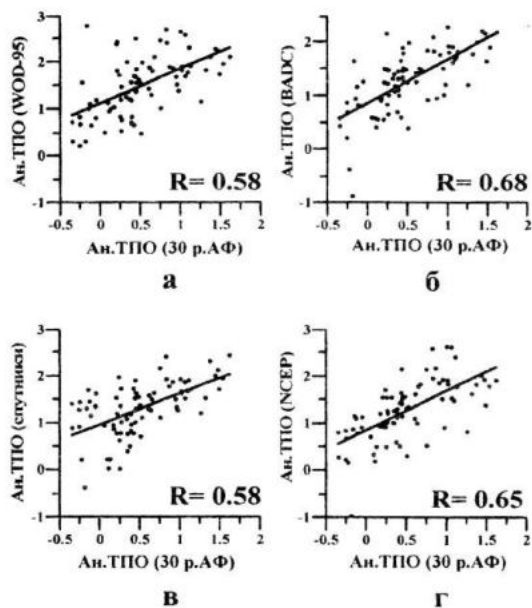
Сопоставление распределений ТПО для трансатлантического галса в ноябре 2009 г. (30-й рейс “Академик Федоров”) по данным попутных измерений ($ТПО_{РЕЙС}$) и спутниковых измерений ($ТПО_{SAT}$), массивов WOD-2005 ($ТПО_{WOD}$), BADC ($ТПО_{BADC}$) и NCEP ($ТПО_{NCEP}$) показало, что высокий уровень связи наблюдается для всех массивов. При этом максимальные величины R выявлены между $ТПО_{РЕЙС}$ и $ТПО_{BADC}$ (0.991), $ТПО_{SAT}$ (0.991) и $ТПО_{NCEP}$ (0.989).



Р и с. 2. Межгодовой ход индексов Северо-Атлантического, Южного и Антарктического колебаний и время выполнения трансатлантических галсов

Далее было выполнено сопоставление аномалий ТПО 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.

Пример графиков линейной связи аномалий ТПО по различным данным для ноября 2009 г. представлен на рис. 3.



Р и с. 3. Графики линейной связи между аномалиями ТПО на трансатлантическом галсе в 30-м рейсе, рассчитанными для ноября 2009 г. относительно средней ТПО за ноябрь всех 10-ти рейсов и относительно средней климатической ТПО для ноября по данным WOD-2005 (а), BADC (б), спутниковых измерений (в) и NCEP (г)

Видно, что наиболее тесная связь наблюдается между аномалиями ТПО по попутным измерениям и данным BADC ($R \sim 0.68$) и NCEP ($R \sim 0.65$). Принимая во внимание, 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.

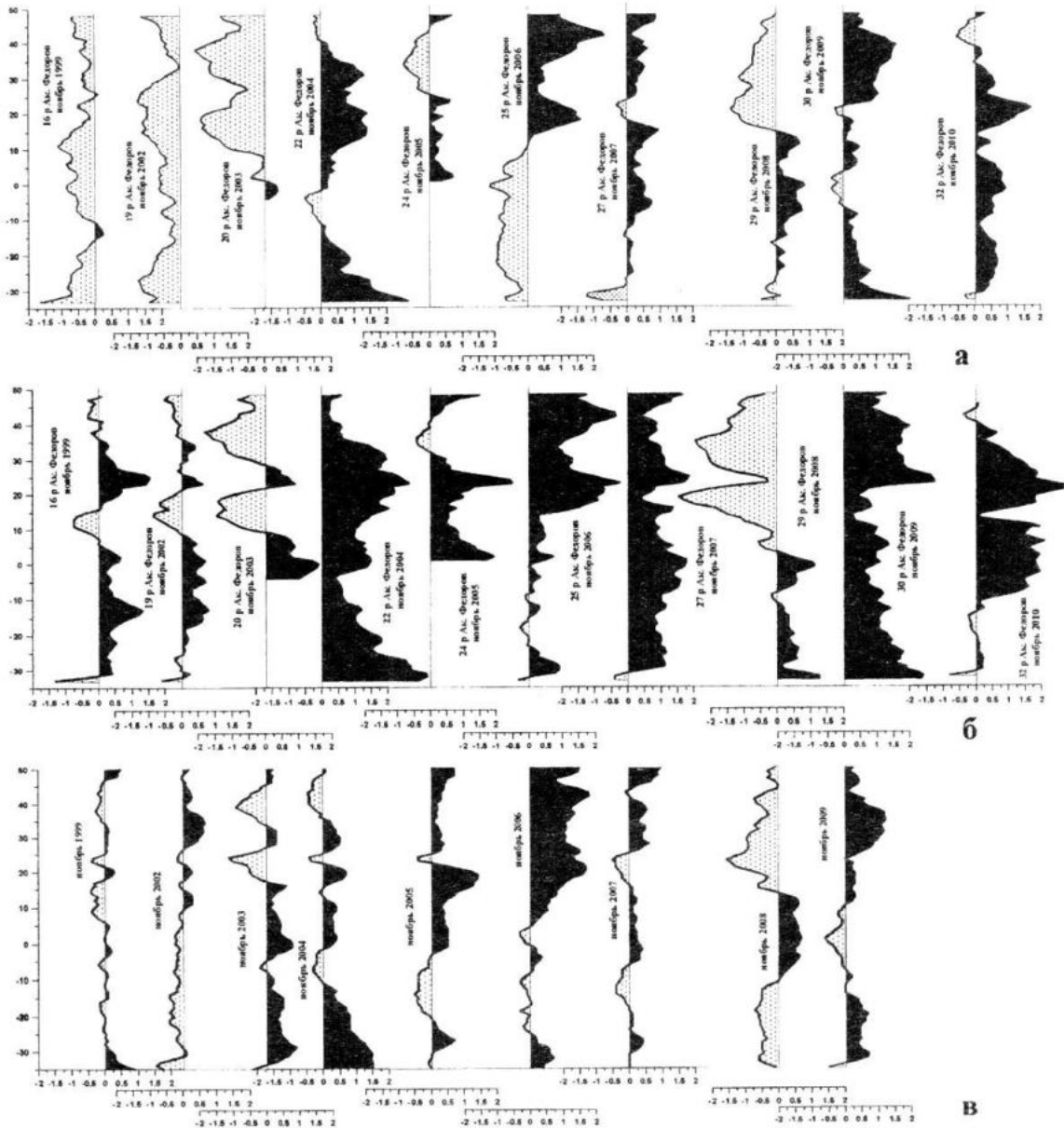
Известно, что аномалии поля ТПО могут достигать нескольких градусов. Особенно они велики в тропических и апвеллинговых зонах океана [10]. Этот эффект настолько значим, что проявляется по расчетам как на статистически недостоверном материале, так и на более обеспеченных массивах. На рис. 4 представлены три варианта расчета аномалий ТПО вдоль трансатлантических галсов. Причем в первом случае (рис. 4, а) расчеты выполнены относительно средней ТПО за ноябрь 10-ти рейсов НЭС “Академик Федоров”, хотя известно, что получение среднемесячной нормы по десяти значениям температуры является статистически недостоверным результатом, так как для таких оценок нужно, по крайней мере, 20 значений [11]. Использование разных норм приводит к тому, что абсолютные значения аномалий в первом и третьем случаях заметно ниже. При значениях аномалий ТПО < 1 °C наблюдаются существенные качественные различия в широтном распределении этих аномалий, рассчитанными разными методами.

Вместе с тем, при больших значениях аномалий ($> 1 - 1.5$ °C) наблюдается качественное соответствие их широтного распределения. Например, в Северном полушарии отрицательные аномалии ТПО в 2003 и 2008 гг. и положительные аномалии в 2004, 2006, 2007, 2009 и 2010 гг. проявляются по всем независимым расчетам. В Южном полушарии значительные положительные аномалии по всем расчетам наблюдались в 2004, 2009 и 2010 гг.

При дальнейшем анализе основное внимание уделялось расчетам аномалий по фактическим рейсовым данным (рис. 4, б). При этом учитывалось несколько факторов. Вариант расчетов аномалий

относительно средней ТПО за ноябрь 10-ти рейсов НЭС “Академик Федоров” далее не рассматривался, как наименее достоверный. Аномалии, рассчитанные, как разности между средней ТПО для каждого месяца каждого года и средней климатической ТПО для конкретного месяца (ноябрь) по данным массива NCEP, использовались для выявления пространственной структуры аномалий, рассчитанных по рейсовым данным. При этом предполагалось, что большая площадь и интенсивность аномалий ТПО по

фактическим рейсовым данным могут являться косвенным признаком их сезонного или межгодового происхождения. В этом случае привлечение непрерывных среднемесячных данных NCEP позволяет интерпретировать дискретные рейсовые материалы с позиции пространственной изменчивости аномалий ТПО, определить фазу сезонного и межгодового процесса, протекающего в восточной части Атлантики и сделать предположения о механизмах формирования этих аномалий.



Р и с. 4. Распределение аномалий ТПО вдоль трансатлантических галсов, рассчитанных как разность фактической измеренной ТПО и средней ТПО за ноябрь всех 10-ти рейсов (а) и средней климатической ТПО для ноября по данным массива NCEP (б); разность между средней ТПО для ноября текущего года и средней климатической ТПО для ноября по данным массива NCEP (в)

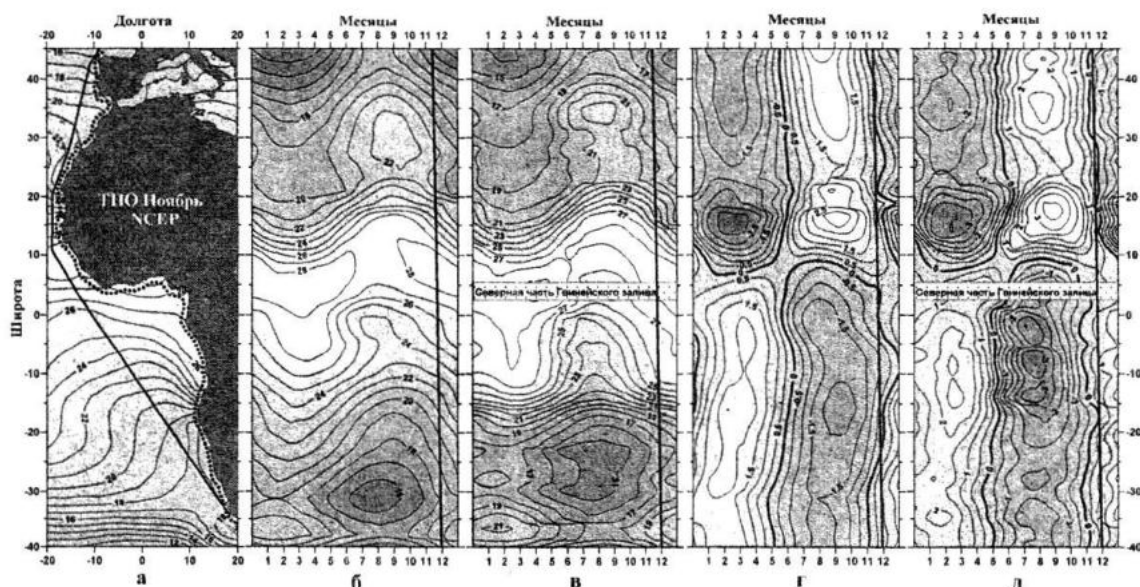
Анализ результатов. Нормальный сезонный цикл ТПО. Рассмотрим климатический сезонный цикл поля ТПО вдоль трансатлантического галса и непосредственно у побережья Африки (рис. 5). Это позволит определить особенности фазы сезонного цикла для ноября и степень проявления прибрежных апвеллингов в распределении ТПО и ее аномалий вдоль галса. На качественном уровне сезонный цикл поля ТПО у берега и вдоль трансатлантического галса отличаются незначительно (рис. 5, б, в). В Северном полушарии период измерений на НЭС "Академик Федоров" (ноябрь) приходился на относительно резкую перестройку поля температуры от теплого сезона к холодному.

В течение октября-декабря ТПО понижалась на 4 – 5 °С. В ноябре сезонные аномалии ТПО изменяли знак и становились отрицательными (рис. 5, г, д).

Некоторое отличие наблюдалось севернее 30° с.ш., где судно не подходило близко к берегу. Здесь под влиянием прибрежного апвеллинга и адвекции холодных вод Канарским течением с севера температура у берега была на 1 – 2 °С ниже, чем в мористой части.

Резкие широтные изменения ТПО наблюдались между 10° и 20° с.ш., где располагается Северный субэкваториальный фронт (ССбЭФ). В период измерений фронт уже начал свое сезонное смещение на юг и прослеживался примерно на 15° с.ш.

Южнее находилась относительно широкая полоса с максимальными значениями ТПО (> 28 °С), соответствующая Термическому экватору. В период измерений он, также как и ССбЭФ, смещался на юг, и в ноябре его ось в восточной части тропической Атлантики располагалась около 6 – 7° с.ш.



Р и с. 5. Распределение ТПО в январе 2008 г. (а), климатический сезонный ход ТПО (б, в) и ее сезонных аномалий (г, д) вдоль трансатлантического галса (б, г) (сплошная линия на рис. 5, а) и вдоль берегов Африки (в, д) (пунктирная линия на рис. 5, а) по данным массива НЭСР (жирной линией на рисунках б – д показано время выполнения трансатлантического галса)

Южнее термического экватора наблюдалась смена сезонного цикла ТПО на противоположный. В Южном полушарии в ноябре происходит переход от холодного сезона к теплему. В течение октября-декабря климатическая ТПО повышается на 3 – 4 °С. Южный субэкваториальный фронт (ЮСбЭФ) более резко выражен у берега, чем в мористой

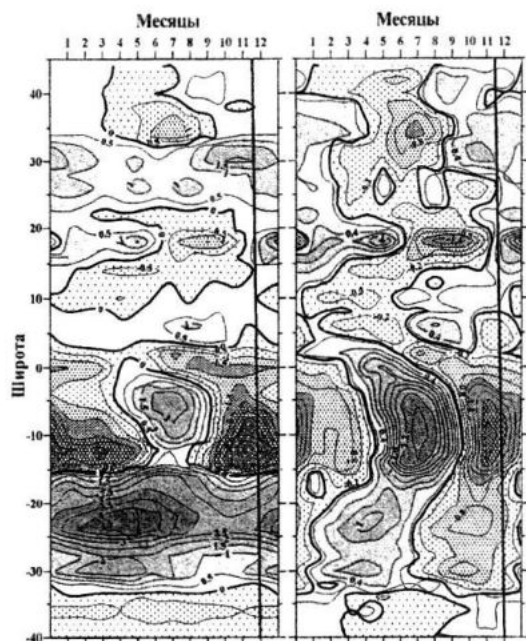
части (на галсе). У берега сезонные аномалии в ноябре уже изменили знак на положительный. В мористой части смена знака сезонных аномалий наблюдалась только южнее 25° ю.ш., т.е. где судно приближалось к зоне Южно-Африканского апвеллинга.

В целом, южнее 20° ю.ш., в ноябре за счет прибрежного апвеллинга ТПО у бе-

рега была более низкая ($< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$), чем вдоль галса ($> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Между 5° и 15° ю.ш. в мористой части холодный сезон продолжается на 1 – 1.5 месяца дольше, чем у берега, и смена знака сезонных аномалий в период измерений не наблюдалась. Это объясняется тем, что в открытом океане поле ТПО медленнее реагирует на сезонные изменения в атмосфере. Из рис. 5, б, в видно, что у берега ЮСБЭФ смещается на юг гораздо быстрее, чем в мористой части.

На рис. 6 представлен сезонный ход разности между климатическими значениями ТПО и ее сезонными аномалиями вдоль галса и вдоль побережья Африки.



Р и с. 6. Сезонный ход разности между климатическими значениями ТПО (а) и ее сезонными аномалиями (б) вдоль галса и вдоль побережья Африки

Минимальные величины разности ТПО свидетельствуют об одинаковых условиях у берега и в мористой части (вдоль галса). Максимальная положительная величина разности ($1.5 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдается в диапазоне широт $28 - 32^{\circ}$ с.ш. Здесь же отмечается большая величина разности сезонных аномалий ($0.4 - 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это связано с достаточно интенсивным прибрежным апвеллингом, который наблюдается в ноябре в этом диапазоне широт, и с адвекцией холодных вод Канарским течением с севера. Другая область значительных величин раз-

ности ТПО и ее сезонных аномалий наблюдается в Южном полушарии между 5° и 15° ю.ш. При этом они имеют отрицательные значения, достигая максимума в районе 10° ю.ш. Механизм формирования этих экстремумов, по-видимому, связан с резким сезонным смещением на юг ЮСБЭФ и, соответственно, теплых экваториальных вод у берега. К югу от ЮСБЭФ между 15° и 30° ю.ш. наблюдаются положительные значения разности ТПО, достигающие $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, и отрицательные значения разности сезонных аномалий ТПО (до $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Положительные значения разности ТПО обусловлены более низкими температурами в зоне прибрежного апвеллинга. Отрицательные значения разности сезонных аномалий на этом участке связаны с запаздыванием сезонного цикла ТПО в мористой части по сравнению с зоной прибрежного апвеллинга.

Таким образом, анализ сезонной изменчивости ТПО вдоль трансатлантического галса и у берегов Африки показал следующие особенности. Период измерений на большей части галса приходился на время перехода от теплого сезона к холодному в Северном полушарии и от холодного к теплому – в Южном. Наибольшее влияние апвеллинга на температурный режим на трансатлантическом галсе в ноябре можно ожидать севернее 35° с.ш. и на участке между 25° и 10° с.ш., где величины разности прибрежной и океанической ТПО минимальны. На этих участках наиболее вероятно влияние прибрежных условий на формирование аномалий ТПО и на межгодовом масштабе.

Межгодовые вариации ТПО на трансатлантическом галсе. Рассмотрим широтные распределения аномалий ТПО вдоль трансатлантических галсов, выполненных в 10-ти рейсах НЭС “Академик Федоров” в ноябре, которые рассчитывались как разность фактической измеренной ТПО и средней климатической ТПО для ноября по данным массива NCEP (рис. 4, б). На этих распределениях можно выделить несколько характерных особенностей.

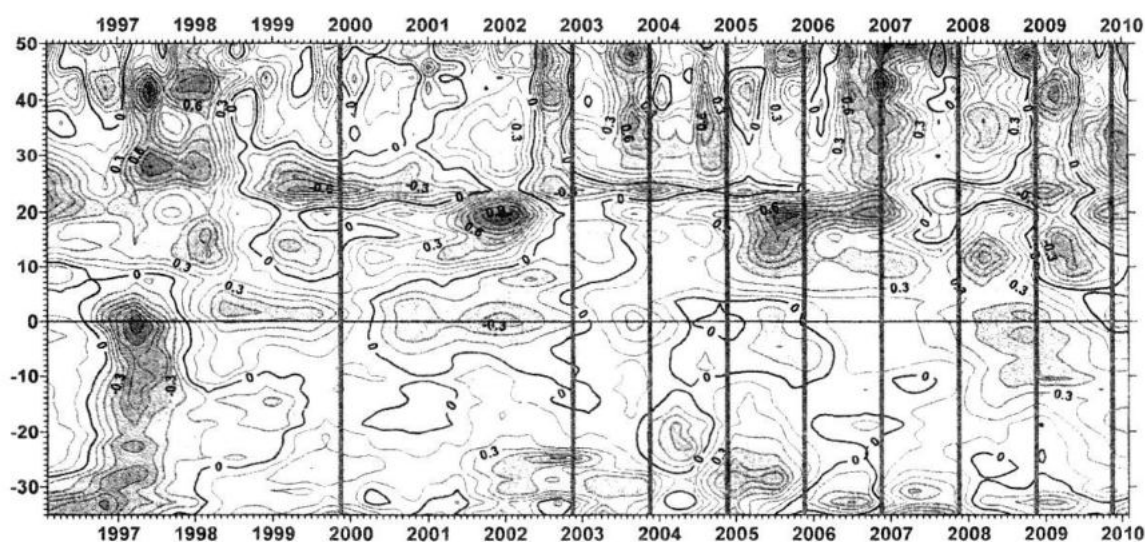
Наблюдается несколько районов с наиболее часто повторяющимися экстремальными значениями аномалий

(рис. 4, б). Наиболее часто экстремум аномалий отмечается в районе 25° с.ш., где, согласно предыдущему анализу, распределение ТПО на галсе подвержено значительному влиянию прибрежного апвеллинга. Причем в этом районе отмечаются преимущественно положительные аномалии ТПО, достигающие 2 – 2.5 °С. Другая область часто повторяющихся максимумов положительных аномалий на галсе – широтная полоса примерно между 10° с.ш. и 5° ю.ш. в зоне Термического экватора. Третий максимум положительных значений аномалий ТПО часто отмечается на подходе к п. Кейптаун в области Южно-Африканского апвеллинга.

Хотя значения аномалий, рассчитанных только по рейсовым данным, примерно в полтора раза меньше, чем рассчитанных относительно климата NCEP,

по всем независимым расчетам наблюдается тенденция к увеличению площади положительных аномалий после 2004 г. Исключение составляют результаты, полученные для ноября 2008 г. В Северном полушарии наблюдалась мощная отрицательная аномалия ТПО. Ее максимальные абсолютные значения (до 3 °С) отмечались около 35° и 20° с.ш., примерно на климатических широтных границах сезонного апвеллинга.

Представляется важным понять, на какую фазу межгодовых колебаний ТПО попадают дискретные по времени судовые измерения. Для этого был построен непрерывный межгодовой ход аномалий ТПО вдоль трансатлантического галса, рассчитанных по данным NCEP, как разность текущих среднемесячных значений ТПО на галсе и их среднемесячных климатических значений (рис. 7).



Р и с. 7. Распределение аномалий ТПО вдоль трансатлантического галса, рассчитанных по среднемесячным значениям ТПО для каждого года относительно средних климатических для каждого месяца по данным массива NCEP. Жирными линиями отмечено время выполнения галсов для каждого рейса

В Северном полушарии в изменчивости аномалий ТПО достаточно четко прослеживается сезонный сигнал с положительным и отрицательным экстремумами аномалий, при этом фаза этого сигнала существенно изменяется от года к году.

Южнее примерно 20 – 25° с.ш. в изменчивости аномалий сезонный сигнал выражен слабо и преобладает более длительный сигнал. С 1999 по 2002 гг. преобладают отрицательные аномалии ТПО,

особенно в районе 25° с.ш. Отметим, что по фактическим данным в районе 25° с.ш. наблюдались положительные аномалии ТПО. Это отличие можно объяснить тем, что границы апвеллинга существенно изменяются на синоптическом масштабе. В этом случае важным становится фактор осреднения данных, и фактическая ситуация может заметно отличаться от среднемесячной. Такие различия наблюдаются и в других случаях. Наибольшее согласование фактических

и среднемесячных аномалий наблюдается, когда величины аномалий ТПО, рассчитанные по данным NCEP, велики ($> 0.5 - 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$). В общем случае можно констатировать, что в Северном полушарии наблюдается увеличение площади положительных аномалий после 2003 г. как по рейсовым данным, так и по данным NCEP.

В межгодовом ходе аномалии ТПО южнее Термического экватора, примерно между 5° с.ш. и 10° ю.ш., имеют противоположный знак, что, преимущественно, связано с обратным сезонным циклом в Южном полушарии. Особенно контрастно это появляется в 1997 г. и в начале 1998 г., когда вся часть галса к северу от 10° с.ш. была занята положительными аномалиями, к югу – отрицательными. Противоположная ситуация наблюдалась в 2008 г., когда мощная положительная аномалия ТПО, возникшая сначала в Северном полушарии, в течение года охватила практически все тропики Южного полушария и сохранялась в 2009 г. и в начале 2010 г. В остальное время в южных тропиках наблюдаются слабые, преимущественно отрицательные, аномалии, которые в субтропиках Южного полушария сменяются положительными аномалиями. Их максимальные значения появляются с периодичностью около 2-х лет. Здесь сезонный ход аномалий прослеживается слабо.

Далее был выполнен совместный анализ межгодового хода индексов атмосферной циркуляции (рис. 2) и аномалий ТПО по данным NCEP на трансатлантическом галсе за период с 1999 по 2010 гг., когда проводились измерения на НЭС “Академик Федоров”. Относительно короткая длина анализируемого ряда пока не позволяет дать количественные оценки связи атмосферных процессов с полем ТПО, но на качественном уровне можно проследить ряд особенностей.

Относительно слабые аномалии в северной части галса в 1999 – 2002 гг. совпадают с положительной фазой индексов ЮК, САК и АК, значения которых большую часть этого периода тоже положительные (рис. 2). В 2003 – 2007 годах положительные аномалии ТПО заметно увеличиваются, при этом индексы

ЮК и АК становятся преимущественно отрицательным, тогда как САК несколько раз изменяет знак. Интенсивные аномалии в конце 2006 года приходится на конец длительного периода отрицательных значений ЮК. Позднее ЮК и АК становятся положительными, а САК – отрицательным. При этом мощные отрицательные аномалии ТПО в Северном полушарии и положительные в Южном, наблюдавшиеся в первой половине 2009 г., сопровождаются минимальными значениями всех трех атмосферных индексов.

Анализ пространственной структуры аномалий ТПО во время измерений на трансатлантических галсах по данным массива NCEP (рис. 8) позволяет высказать ряд предположений об особенностях формирования аномалий в восточной Атлантике в различные фазы крупномасштабных атмосферных процессов, и о возможных причинах их образования.

В ноябре 1999 г., когда индексы ЮК, АК, и САК были положительными, большая часть акватории восточной Атлантики была занята преимущественно отрицательными аномалиями. Наибольшие по абсолютной величине отрицательные аномалии наблюдались на восточной периферии Северного субтропического антициклонического круговорота (ССАК). В этот период САК характеризовался положительной фазой, которая, в свою очередь, сопровождается отрицательными аномалиями ТПО в субтропических и умеренных широтах Северной Атлантики. Слабые очаги положительных аномалий наблюдались в прибрежной зоне апвеллинга у Северо-Западной Африки, в мористой части тропиков и субтропиков Южного полушария. Таким образом, в период положительных фаз ЮК, АК и САК в Северной Атлантике развиваются отрицательные аномалии ТПО.

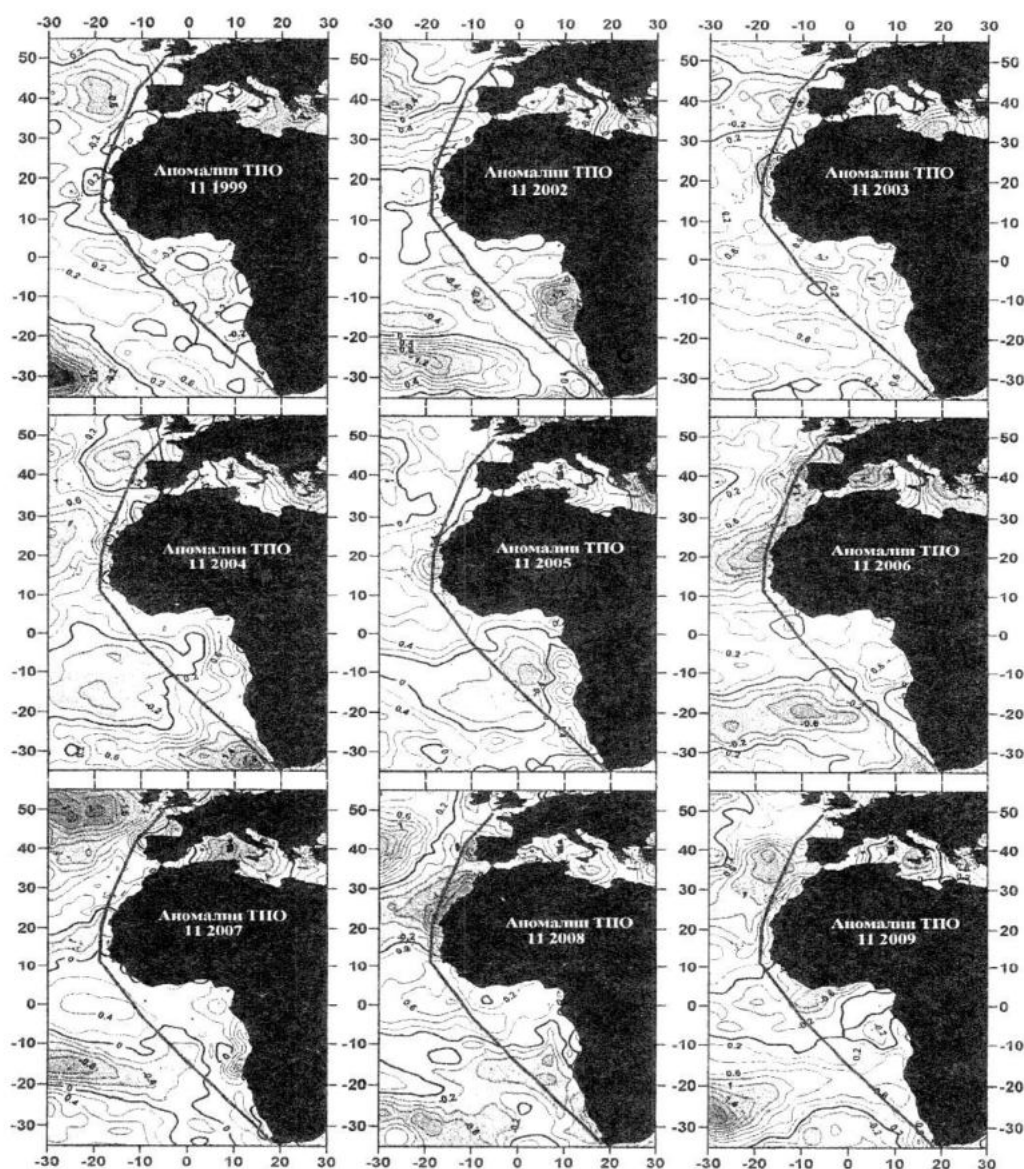
В ноябре 2002 г. значения индексов ЮК и АК были отрицательными, а САК – близким к нулю. В это время в субтропиках обоих полушарий наблюдались положительные аномалии ТПО. На остальной части рассматриваемой акватории отмечались отрицательные аномалии ТПО, достигающие абсолютных

значений в зоне Южно-Африканского апвеллинга.

В ноябре 2003 г., когда ЮК оставался отрицательным, а АК и САК были близки к нулю, картина существенно изменялась. Отрицательные аномалии ТПО сохранялись только в умеренных широтах Северного полушария ближе к берегам Испании. Локальная область

значительных отрицательных аномалий наблюдалась в зоне Африканского апвеллинга.

Остальная часть рассматриваемой акватории была занята преимущественно положительными аномалиями ТПО, максимальные значения которых наблюдались в южных тропиках ближе к берегу Африки.



Р и с. 8. Распределения аномалий ТПО в восточной Атлантике по данным массива NCEP

В следующем 2004 году, хотя индекс ЮК оставался отрицательным, а АК и САК были снова близки к нулю, распределение аномалий ТПО продолжало изменяться. На восточной периферии ССАК появлялись положительные аномалии ТПО, которые в 2005 – 2006 гг. смещались в зону апвеллинга, а в 2007 –

2009 гг. снова наблюдались в зоне ССАК.

В зоне Южного субтропического антициклонического круговорота в 2004 г. возникла область отрицательных аномалий ТПО, которая сохранялась на протяжении пяти лет до 2008 года. Только в 2009 г., когда индексы ЮК и АК стано-

ваться положительными, а САК отрицательным, здесь появляются значительные положительные аномалии ТПО.

Таким образом, в восточной Атлантике отмечается довольно сложная пространственная изменчивость аномалий ТПО. Прямой связи между изменениями атмосферных индексов на таком коротком временном интервале не обнаружено. Ранее показано, что такая связь может существовать при фазовом сдвиге в несколько лет [12].

Вместе с тем, проведенный анализ показал, что появление аномалий ТПО на трансатлантическом галсе может быть связано с двумя причинами. Положительные аномалии ТПО в Северном полушарии в 2002, 2007 и 2009 гг. и в тропиках в 2007 – 2008 гг. связано с изменчивостью ТПО в открытом океане. В 2003, 2005, 2006 и 2008 гг. в Северном полушарии экстремальные аномалии ТПО вдоль трансатлантического галса связаны с прибрежным апвеллингом.

Заключение. Комплексный анализ контактных попутных измерений ТПО на НЭС “Академик Федоров” и данных климатических массивов позволяет сделать ряд выводов.

Использование разных норм и разных массивов данных при расчете аномалий ТПО показал качественно одинаковые результаты.

Период измерений на большей части трансатлантического галса приходился на время перехода от теплого сезона к холодному в Северном полушарии и от холодного к теплomu – в Южном. Наибольшее влияние апвеллинга на температурный режим на трансатлантическом галсе в ноябре можно ожидать севернее 35° с.ш. и на участке между 25° и 10° с.ш., где величины разности прибрежной и океанической ТПО минимальны. На этих участках наиболее вероятно влияние прибрежных условий на формирование аномалий ТПО и на межгодовом масштабе.

По независимым расчетам наблюдается тенденция к увеличению площади положительных аномалий после 2004 г. Исключение составляет ноябрь 2008 г., когда в Северном полушарии наблюдалась мощная отрицательная аномалия ТПО.

Установлено, что появление экстремальных значений аномалий ТПО вдоль трансатлантического галса связано с аномалиями ТПО в зоне ССАК и области Африканского апвеллинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lau K.M., Weng H. Interannual, Decadal-Interdecadal and Global Warming Signals in Sea Surface Temperature during 1955 – 97 // *Journal of Climate*. – 1999. – 12. – P. 1257 – 1267.
2. Casey K.S., Cornillon P. Global and Regional Sea Surface Temperature Trends // *Journal of Climate*. – 2001. – 14. – P. 3801 – 3818.
3. Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J. et al. Antarctic climate change during the last 50 years // *Int. J. Climatology*. – 2005. – 25. – P. 279 – 294.
4. Артамонов Ю.В., Булгаков М.П., Ващенко В.М., Ломакин П.Д. Океанографічні дослідження України в Атлантичному секторі Антарктики (1997 – 2004). – Київ: Наукова думка, 2006. – 164 с.
5. <http://jisao.washington.edu/data>.
6. <http://podaac.jpl.nasa.gov/woce/woce3>.
7. Levitus S., Boyer P.T. World Ocean Atlas. U.S. CD-ROM Data Sets. National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory, Washington, D.C., June. – 2005.
8. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst>.
9. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
10. Артамонов Ю.В., Бунякин В.П., Кислицин С.П., Скрипалева Е.А. Пространственная структура аномалий температуры поверхности океана по данным попутных измерений на НЭС “Академик Федоров” в летний период 2007 – 2008 гг. // УАЖ. – 2007/2008. – № 6 – 7. – С. 90 – 96.
11. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – Москва: Мир, 1974. – 463 с.
12. Скрипалева Е.А. Межгодовая изменчивость термической структуры вод Тропической Атлантики // Системы контроля окружающей среды / Средства и информационные технологии. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2007. – С. 232 – 234.