

ДЕСЯТЬ ЛЕТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ ЗНАЧАЩИХ ТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ЮЖНОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ПРЯМЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.В. ИОНОВ¹, В.В. ЛУКИН².

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e-mail: v.ionov@spbu.ru

² ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: lukin@aari.ru

Характерная черта гидрологии поверхностных вод Южного океана — множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные из этих фронтов формируют крупнейшее в Мировом океане Антарктическое циркумполярное течение. Методология синоптического мониторинга поверхностных термических фронтов Южного океана основана на попутных наблюдениях во время сезонных морских операций снабжения российских антарктических станций. Используются непрерывные наблюдения за изменчивостью горизонтальных градиентов температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) *in situ* и горизонтальных градиентов температуры поверхности моря (ТПМ) по спутниковым инфракрасным изображениям, принимаемым на судне в реальном времени. Вместе эти данные, получаемые во время регулярных меридиональных плаваний научно-экспедиционных судов Российской антарктической экспедиции между Африкой и Антарктидой, позволяют судить о наличии (или отсутствии) тенденций межгодовых изменений широтного местоположения основных фронтов Южного океана как свидетельств проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод. В индоокеанском секторе Южного океана в период 2007–2016 гг. в межгодовых сезонных положениях основных климатических фронтов на поверхности моря отмечена тенденция к смещению на юг.

Ключевые слова: прямые и спутниковые наблюдения градиентов температуры поверхности моря, основные поверхностные фронты Южного океана, мониторинг межгодовой изменчивости их меридиональных смещений.

Я считаю, что обобщение никогда не преждевременно — оно может быть основано на большом числе наблюдений или на малом, иметь более прочный фундамент или менее прочный фундамент, но оно всегда полезно для обзора и проверки уже сделанного и для того, чтобы правильнее наметить ход дальнейших наблюдений.

Откладывая обобщения, мы рискуем потерять годы.

С.О. Макаров. Океанографические работы.

«Витязь» и Тихий океан. 1894. М.: Географгиз, 1950. С. 98.

ВВЕДЕНИЕ

«Основная часть поступающей к Земле солнечной радиации поглощается не атмосферой, а подстилающей поверхностью» (Симмонс, Бенгстон, 1987, с. 99). «Более

двух третей земной поверхности составляет поверхность раздела Океана и Атмосферы, на которой они постоянно и интенсивно взаимодействуют. Поверхность океанов и морей — базовый источник тепла для нижней атмосферы, поскольку она снабжается теплом в основном снизу» (Малкус, 1965, с. 65). Следовательно, понимание физических процессов, которые обозначаются в верхнем пограничном слое вод океанов и морей, является определяющим для верных представлений об изменениях климата планеты в целом. В самом деле, «не исследуя климат океана и его изменчивость, а также влияние этой изменчивости на климат всей Земли, нельзя всерьез думать о постановке глобальных климатологических задач» (Федоров, Островский, 1986, с. 3).

Достоверно оценить климатические изменения в Мировом океане можно лишь осуществляя синоптический (от гр. *synoptikos*, обозревающий все вместе) мониторинг (Ионов, 2015) основных климатически значащих характеристик его поверхности: низкочастотных колебаний уровня моря, флуктуаций температуры воды и характера ледяного покрова.

Температура поверхности любого водного объекта характеризует и существенно обуславливает его термодинамическое состояние. Важнейшим климатически значащим физическим параметром она является потому, что доступна для оперативных и точных прямых и дистанционных измерений.

Главная особенность циркуляции вод Южного океана — самое мощное на Земле, направленное на восток, не встречающее сплошной поперечной преграды течение западных ветров — Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ). АЦТ играет ключевую роль в глобальном переносе тепла, количества движения и массы, транслируя климатические возмущения из одного бассейна Мирового океана в другой. Характерная черта гидрологического режима поверхностных вод Южного океана — множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные из этих фронтальных систем формируют АЦТ (Holliday, Read, 1998). Поэтому межгодовая и многолетняя изменчивость местоположения циркумполярных гидрофронтов становится значимым индикатором долговременных трендов в процессах обмена энергией поверхностных вод океана с приводным слоем атмосферы, а также сдвигов струй АЦТ.

Цель наших исследований — получение *новых* данных о самом факте существования (или отсутствия) межгодовых смещений широтного положения основных циркумполярных термических фронтов на поверхности Южного океана *как свидетельств* проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод Мирового океана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Экспериментальной основой десятилетних исследований кафедры океанологии СПбГУ в Южном океане в период 2007–2017 гг. в шести сезонных отрядах Российских антарктических экспедиций (РАЭ) на НЭС «Академик Федоров» служат контактные измерения температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) по ходу судна и синхронные данные дистанционных (спутниковых) зондирований температуры поверхности моря (ТПМ) радиометрами на борту метеорологических спутников серии NOAA.

Результаты подобных работ океанологов СПбГУ (ЛГУ), с участием одного из авторов, полученные еще в 80-е годы прошлого столетия, во время антарктических плаваний в составе РАЭ (ранее САЭ) на НЭС «Михаил Сомов», НИС «Профессор Зубов» и НЭС «Академик Федоров», отражены в ряде научных публикаций (Ионов, 2015). Значительное отличие исследований в последние десять лет — *точная гео-*

графическая привязка практически непрерывных измерений ТПСМ по ходу судна и спутниковых данных высокого пространственного разрешения о градиентах ТПМ.

Это стало реальным благодаря двум важнейшим технологическим новшествам в использовании данных *in situ* о ТПСМ с борта судна и *дистанционных*, спутниковых, о ТПМ, а именно, появлению весьма точного метода определения местоположения движущегося судна с помощью GPS, во-первых, и благодаря возможностям ГИС-технологий, лежащих в основе программных продуктов для оперативной работы со спутниковыми изображениями поверхности океана в разных диапазонах электромагнитного спектра излучения (ЭМС), во-вторых.

Теперь возможно *детальное* определение температурных характеристик горизонтальных градиентов и протяженности зон фронта по данным о ТПСМ судовой автоматической метеостанции, с одновременной непрерывной регистрацией их *пространственного местоположения*, с одной стороны, и точное определение географического положения фронта по спутниковым изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне ЭМС, с другой.

Судовая автоматическая метеостанция позволяет получать каждую минуту значения основных метеорологических характеристик: температуры воздуха, направления и скорости ветра, измеряемой на носовой и кормовой мачтах; атмосферного давления. Датчик температуры заборной воды установлен в проточной системе в носовой части судна по левому борту на глубине 2 м от ватерлинии. При движении с крейсерской скоростью за 1 минуту судно проходит в среднем от 400 до 500 м, а вблизи Антарктического материка, в условиях ледового плавания, около 100 м.

Данные попутных ежеминутных измерений ТПСМ с точностью 0,1 °C дают возможность, рассчитывая горизонтальные градиенты ТПСМ, изучать местоположение и пространственную структуру фронтов гораздо детальнее. Прежде это были дискретные измерения с судов, находившихся в дрейфе, на гидрологических станциях — редко на расстоянии меньшем, чем 30 морских миль. В частности, теперь можно получать высокоточные сведения о географических координатах пересечения фронта, протяженности зоны фронта по широте, ее ширине в км, диапазоне температур на краях зоны фронта, горизонтальном градиенте ТПСМ в °C/км.

Результаты прямых измерений ТПСМ судовой метеостанцией оперативно соотносятся с дистанционными (спутниковыми) определениями температуры поверхности океана (ТПО). Это позволяет сопоставлять, уточнять линейные и площадные характеристики температурных неоднородностей поверхности океана при пересечении фронтальных зон Южного океана.

Номенклатура и терминология

Сводка (далеко не исчерпывающая) вариантов географической номенклатуры Южного океана в терминах фронтов и фронтальных зон приведена в табл. 1. Как правило, фронты определяются, следуя (Deason, 1937), «который первым отметил, что при пересечении Южного океана смена теплой, менее плотной субтропической воды на севере холодной, более плотной на юге происходит не плавно, а ступенчатым образом. Последующие морские экспедиции, с более близко расположенными гидрологическими станциями, подтвердили, что эти полосы обостренных меридиональных градиентов, или фронтов, имеют место по всему Южному океану. <...> Между фронтами располагаются зоны с относительно однородными характеристиками водных масс» (Sokolov, Rintoul, 2002, p. 151).

Таблица 1

Номенклатура основных циркуполярных фронтов и фронтальных зон Южного океана

Атлас Антарктики I, 1966, с. 99	Lutjeharms, Valentine, 1984	Belkin, Gordon, 1996	Park, Gamberoni, 1997, p. 966	Sokolov, Rintoul, 2002	Атлас океанов. Антарктика 2005, с. 211–212 (с учетом очевидных опечаток в легенде)
Субтропическая конвергенция –	Sub-Tropical Convergence (STC) –	Subtropical front (STF) –	Subtropical front (STF) Subantarctic Zone (SAZ)	Subtropical front (STF) Subantarctic Zone (SAZ)	Субтропическая конвергенция Субтропический фронт –
Субантарктическая дивергенция –	–	–	–	–	–
Антарктическая конвергенция –	Sub-Antarctic Front (SAF) –	Subantarctic Front (SAF) Polar Front zone (PFZ)	Subantarctic Front (SAF) Polar Frontal zone (PFZ)	Subantarctic Front (SAF) Polar Frontal zone (PFZ)	Субполярный (субантарктический) фронт Полярная фронтальная зона Полярный фронт
Антарктическая дивергенция –	Antarctic Polar Front (APF) –	Antarctic Polar Front (PF) –	Antarctic Polar Front (PF) –	Antarctic Polar Front (PF) –	Антарктическая дивергенция –
–	–	Antarctic Zone (AZ)	Antarctic Zone (AZ)	Antarctic Zone (AZ)	–

Мы принимаем такую номенклатуру фронтов и фронтальных зон Южного океана: с севера на юг Субтропический фронт (СТФ), Субантарктическая фронтальная зона (САЗ), Субантарктический фронт (САФ), Полярная фронтальная зона (ПФЗ), Полярный фронт (ПФ), Антарктическая зона (АЗ).

О фронтальной терминологии. В Южном океане считаем зону, в которой градиенты гидрологических полей обострены по сравнению со средними градиентами вне ее, *зоной фронта* (см. рис. 1 на цвет. вклейке). Это определение (кроме названия) практически совпадает с предложенным К.Н. Федоровым (Федоров, 1983). Однако у него это — *фронтальная зона*, что в общепринятой океанографической номенклатуре Южного океана, как отмечено выше, имеет другую смысловую нагрузку.

Таким образом, мониторинг изменчивости поверхностных термических климатических фронтов Южного океана теперь может быть сведен к обнаружению и фиксации их смещений по меридиану (южнее или севернее); своего рода «понижение размерности, или переход от непрерывного описания среды к дискретному» (Сеидов, 1989, с. 40).

Методы определения местоположения термического фронта по ТПСМ

1. Визуальный способ. Начальным способом выявления феноменологических признаков термических фронтов является визуальный анализ графиков горизонтального изменения ТПСМ (термограмм). Фронты выделяются по резким, скачкообразным изменениям ТПСМ вдоль некоего меридиана. Недостатком этого метода является его определенная субъективность, в особенности при рассмотрении очень подробных записей термографом немонотонных (скачками) изменений температуры. Однако с ростом опыта исследователя этот метод становится эффективным способом первичного анализа и выделения поверхностных термических фронтов.

2. Анализ горизонтальных градиентов ТПСМ. Расчет и анализ графиков пространственного распределения градиентов ТПСМ представляют собой более объективный метод выделения термических фронтов. В этом состоит его главное преимущество. Повышенные значения горизонтальных градиентов ТПСМ по сравнению со среднеклиматическими значениями для конкретного района Мирового океана являются индикатором поверхностных фронтов. В отличие от иных, крупномасштабные циркумполярные поверхностные фронты Южного океана расположены вдали от материков, и при постоянном воздействии ветров и волн их границы в поверхностном слое моря зачастую размываются, уменьшая тем самым значения пространственных градиентов ТПСМ за счет увеличения ширины зоны с обостренными градиентами ТПСМ. В то же время прибрежные поверхностные фронты, не испытывая на себе мощного ветро-волнового воздействия, остаются достаточно узкими и сохраняют высокие значения градиентов ТПСМ. Таким образом, пересечения судном обоих типов термических фронтов на графиках пространственного распределения градиентов ТПСМ для последних будут выглядеть намного резче, нежели для крупномасштабных термических фронтов. Поэтому данный метод не может использоваться *a priori* — без учета опыта исследователя и знания специфики региона.

3. Метод гистограмм. Применяется при анализе графиков горизонтального изменения ТПСМ, где постепенно происходит переход от теплых вод к холодным и наоборот. К числу таковых относятся основные пересечения (разрезы) Южного океана в меридиональном направлении (к примеру, Кейптаун – Антарктида). Как правило, подобные гистограммы являются многомодальными. Моды соответствуют наиболее часто регистрируемым значениям ТПСМ. Диапазоны значений ТПСМ с наимень-

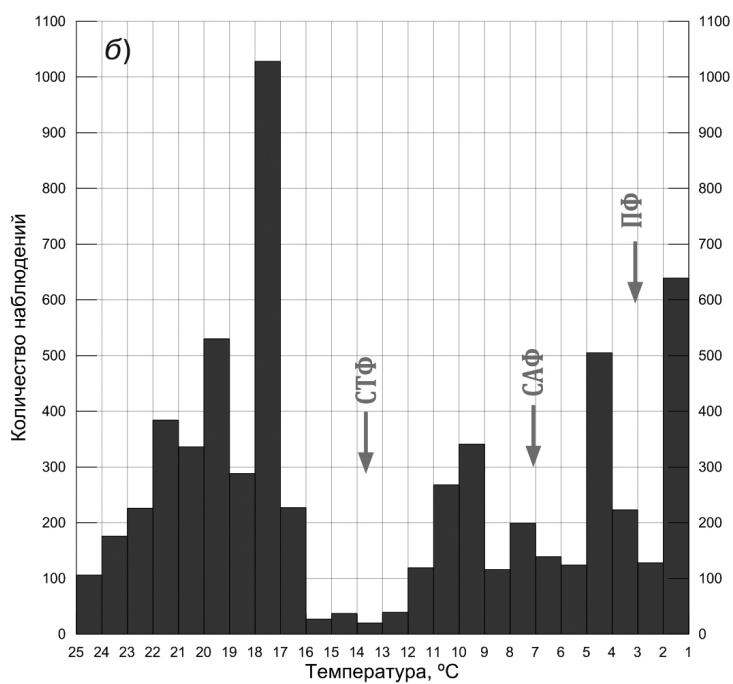
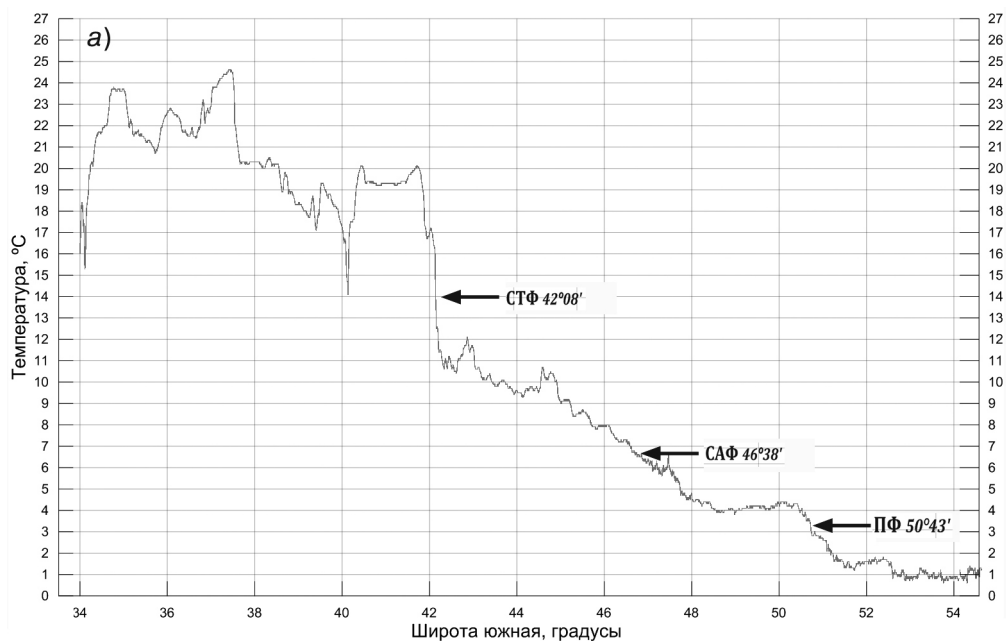


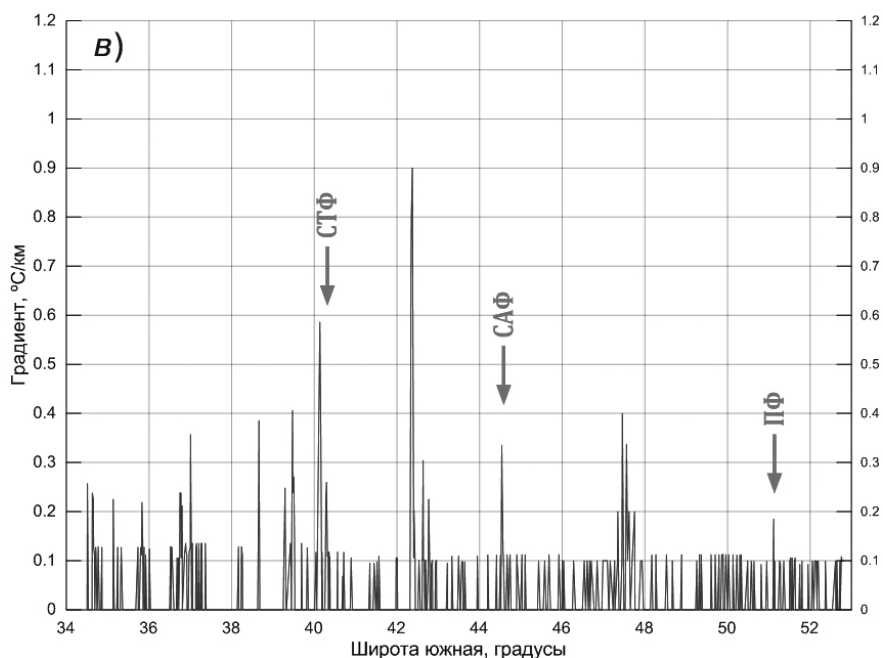
Рис. 2. Определение местоположений основных Субтропического (СТФ), Субантарктического (САФ), а — визуальный анализ термограммы; б — по гистограмме;

шей частотой регистрации соответствуют температуре зоны фронта на поверхности океана. Чем более ярко выражен поверхностный термический фронт, тем меньшее количество измерений температур попадает в межмодовый диапазон гистограммы. Зная интервал температур с наименьшей частотой повторяемости, можно уточнять местоположение соответствующего фронта на термограмме ТПСМ. Преимуществом данного метода является объективность. Недостатком, как и в случае анализа графиков пространственного градиента ТПСМ, является то, что крупномасштабные фронты выражены менее явно, чем прибрежные. Кроме того, ограничение в использовании метода гистограмм касается разрезов ТПСМ без явно выраженной тенденции изменения ТПСМ (от теплых вод к холодным или наоборот). В этом случае наименьшая повторяемость значений ТПСМ уже однозначно не указывает на термический фронт, а требует дополнительного анализа (см. рис. 2).

Таким образом, для выявления фронтов на разрезах ТПСМ оптимальным является последовательное применение каждого из перечисленных методов анализа вкупе с другими, а также с привлечением в анализ имеющейся оперативной спутниковой информации (см. ниже). В особенности это нужно при определении положения Полярного фронта (Антарктической конвергенции) с присущим ему монотонным падением низких значений ТПСМ.

Обнаружение фронтов по спутниковым снимкам контрастов ТПМ

Для этого использовались спутниковые изображения, полученные с помощью судовых станций СКАНЭКС и «Dartcom». Эти станции принимают информацию с метеорологических искусственных спутников Земли серии NOAA в формате HRPT



поверхностных термических фронтов по ТПСМ:

Полярного (ПФ).

в — сравнение градиентов ТПСМ.

(High Rate Picture Transmission). В основном это изображения поверхности океана сканирующим радиометром AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) со спутников NOAA-18,19.

Пространственное разрешение HRPT снимков — 1,1 км. Спутниковые снимки радиометра AVHRR представлены в пяти каналах ТВ (видимого) и ИК (инфракрасного) диапазонов электромагнитного спектра. Работа с черно-белыми спутниковыми снимками ведется в терминах относительных величин яркостей в ИК-диапазоне ЭМС. При этом выявляются наиболее резкие контрасты градаций серого на спутниковых изображениях поверхности моря, которые свидетельствуют о наличии выраженных пространственных градиентов ТПМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанная методология синоптического мониторинга поверхностных термических фронтов Южного океана (Ионов, 2015) позволяет использовать ежегодные рейсы научно-экспедиционных судов РАЭ от Африки к Антарктиде и обратно для оперативных наблюдений за изменчивостью градиентов ТПСМ и ТПМ в реальном времени. Положение основных климатических фронтов можно определять при выполнении попутных меридиональных разрезов через Южный океан по данным о ТПСМ *in situ*.

Однако при окончательном решении о местоположении соответствующего поверхностного термического фронта необходимо учитывать интенсивность процессов меандрирования и вихреобразования на климатических фронтах, о чем свидетельствует анализ спутниковых ИК-изображений поверхности Южного океана.

Горизонтальные размеры температурных неоднородностей, определенных по ИК-снимкам, от 10 до 400 км. Оценки крупномасштабных меандров лежат в пределах от 180 км до 280 км. Характерные размеры вихревых структур составляют около 200 км (рис. 3). Особенностью меандров (А) является их заметная пространственная асимметрия. Как правило, меандры выглядят как холодные (области более светлого тона на снимке) вторжения клиновидной формы в более теплые (области более темного тона на снимке) воды. С другой стороны, теплые интрузии выглядят более гладкими и не имеют формы «острых» языков. Часто данные образования состоят из большого числа «струйных волокон» (filaments) (С), развивающихся на фронте.

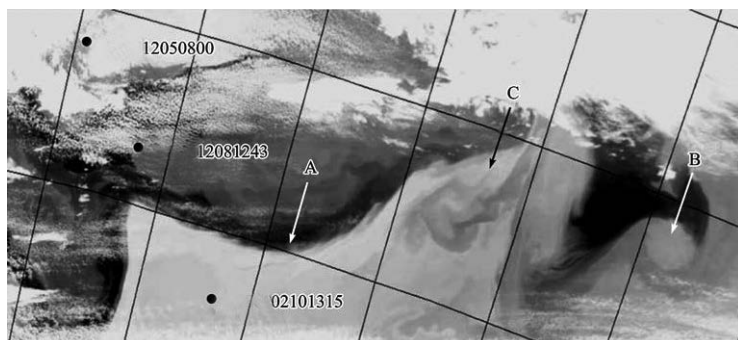


Рис. 3. Меандрирование и вихреобразование в области основных поверхностных циркуполярных фронтов: фрагмент ИК спутникового снимка на пересечение судном СТФ (Ионов, Шилов, 2011). Черные точки — местоположения НЭС «Академик Федоров».

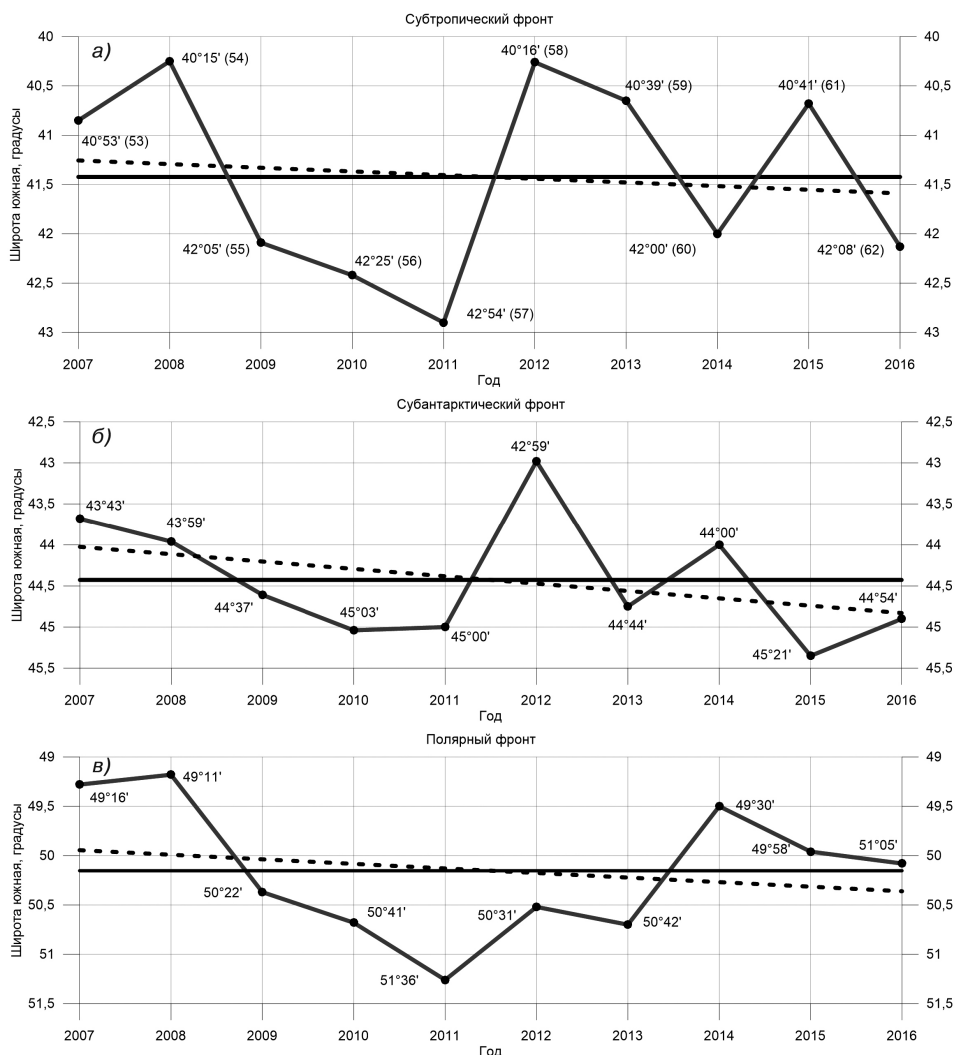


Рис. 4. Временной ход широтных положений основных поверхностных циркумполярных фронтов Южного океана в декабре 2007–2016 гг.: а — Субтропического (СТФ), б — Субантарктического (САФ), в — Полярного (ПФ). На верхнем графике в скобках указаны номера соответствующих РАЭ.

Подобная особенность была обнаружена для волнообразных флуктуаций поверхностных термических фронтов в широком диапазоне пространственных масштабов: от крупномасштабных меандров (А) до круговых интрузий (В) диаметром до 10 км.

Важно, что процессы меандрирования основных фронтов и связанное с ними вихреобразование в зоне АЦТ порождают в поверхностном слое вод завихренность разного знака. Это приводит к восходящим или нисходящим движениям вод в фотическом слое моря, что увеличивает или уменьшает концентрацию биогенов в нем, тем самым влияя на скорость роста фитопланктона — основу первичной продуктивности океана (Sokolov, Rintoul, 2007).

После уточнения положения фронтов по всем полученным за десять лет на НЭС «Академик Федоров» данным о ТПСМ, с учетом имеющихся спутниковых данных о градиентах ТПМ на пути судна, построен межгодовой ход местоположений основных циркумполярных фронтов индийского сектора Южного океана в начале астрального лета (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Руководствуясь основными принципами мониторинга: преемственность, повторность наблюдений, единство методики, — *мы привлекли новые и использовали прежде не прошедшие обработку по нашей методике данные за первые годы десятилетнего периода.* Графики за полное десятилетие на рис. 4, опровергая предварительный вывод в (Ионов, 2015), явно свидетельствуют об общей для всех фронтов тенденции во времени к сдвигу относительно их среднего положения на юг, к антарктическому континенту. Кроме того, обращает на себя внимание отчетливая смена характера флуктуаций временного хода широтных положений фронтов в 2011 г.

Таким образом, результаты десяти лет мониторинга местоположения термических фронтов на поверхности океана между Африкой и Антарктидой в начале астрального лета (декабрь) каждого года свидетельствуют о совместных смещениях широтного положения основных климатических фронтов на поверхности Южного океана. Это может быть указанием на меридиональный сдвиг к югу поверхностной границы между теплыми субтропическими водами и холодными антарктическими водами.

Сведения о широтных сдвигах основных поверхностных термических фронтов за многолетний промежуток времени могут служить индикатором климатических изменений циркуляции вод Южного океана. Следующими шагами должны стать поиски их связи с другими индикаторами климатических изменений в Южном полушарии как свидетельства проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод Мирового океана.

Авторы выражают признательность студентам кафедры океанологии СПбГУ, участвовавшим в работах сезонных отрядов РАЭ на НЭС «Академик Федоров»: А. Павлову (53-я РАЭ), Д. Доронину (57-я РАЭ), Н. Сандаюку (60 и 62-я РАЭ), Г. Аршакяну (62-я РАЭ). Особая признательность пом. капитана по науке В.П. Бунякину за всемерное содействие работам и бережное отношение к сохранности необработанных данных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Антарктики. Т. 1. М.; Л.: ГУГК МГ СССР, 1966. 225 с.
- Атлас океанов. Антарктика. СПб.: ГУНиОМО РФ, 2005. 300 с.
- Ионов В.В. Синоптический мониторинг поверхностных термических фронтов Южного океана // Труды ВНИРО. 2015. Т. 157. С. 143–150.
- Ионов В.В., Шилов И.О. Синоптический мониторинг температуры морской поверхности для изучения вихреобразования в Южном океане // Известия Русского географического общества. 2011. Т. 143. Вып. 5. С. 39–44.
- Малкус Ж.С. Крупномасштабные взаимодействия // Море: Развитие идей и наблюдений, связанных с изучением морей / Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1965. С. 58–254.
- Сеидов Д.Г. Синергетика океанских процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 288 с.

Симмонс А.Дж., Бенгстон Л. Модели общей циркуляции атмосферы: цели их создания и использование для изучения климата // Глобальный климат / Ред. Хотон Дж.Т. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 91–149.

Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.

Федоров К.Н., Островский А.Г. Климатически значащие физические параметры океана. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 40 с.

Belkin I.M., Gordon A.L. Southern ocean fronts from the Greenwich Meridian to Tasmania // Journal Geophys. Res. 1996. Vol. 101. № C2. P. 3675–3696.

Deacon G.E.R. The hydrology of the Southern Ocean // Discovery Report. 1937. Vol. 15. P. 1–124.

Holliday N.P., Read J.F. Surface oceanic fronts between Africa and Antarctica. Deep-Sea Research, 1998. Issue 45. P. 217–238.

Lutjeharms J.R.E., Valentine H.R. Southern Ocean thermal fronts south of Africa // Deep-Sea Research, 1984. Vol. 31. P. 1461–1475.

Park Y.H., Gamberoni L. Cross-frontal exchange of Antarctic Intermediate Water and Antarctic Bottom Water in the Crozet Basin // Deep-Sea Research II, 1991. Vol. 44. № 5. P. 963–986.

Sokolov S., Rintoul S.R. Structure of Southern Ocean fronts at 140°E // Journal of Marine Systems. 2002. Vol. 37. Issues 1–3. P. 151–184.

Sokolov S., Rintoul S.R. On the relationship between fronts of the Antarctic Circumpolar Current and surface chlorophyll concentrations in the Southern Ocean // Journal Geophys. Res. Oceans. 2007. Vol. 112. Issue C7. DOI: 10.1029/2006JC004072.

V.V. IONOV, V.V. LUKIN

THE 10 YEARS LONG MONITORING OF CLIMATICALLY SIGNIFICANT THERMIC CHARACTERISTICS OF THE SURFACE OF SOUTHERN OCEAN BY MEANS OF IN SITU MEASUREMENTS AND SATELLITE REMOTE SENSING

The hydrology of the Southern Ocean is characterized by several oceanic fronts that together form the largest Antarctic Circumpolar Current. The methodology of synoptical monitoring of fronts is based on observations during the seasonal maritime operations for supply of Russian Antarctic stations. It happens by use of continuous registrations of variability of horizontal gradients of temperature of sea surface layer (SSLT) in situ, and horizontal gradients of surface temperature (SST) from satellite infrared (IR) data, which are taken in real-time on board of research vessel. This makes possible more detailed definition of the horizontal gradients of thermic characteristics and latitudinal location of the fronts. It can be done by means of underway data of SSLT from vessel's automatic meteorological station, with simultaneous GPS-registration of their spatial location, on the one side; and by precise definition of geographical position of fronts zones of SST from satellite high resolution IR-images of the ocean surface, on the other side. Such data obtained during regular sub-meridional voyages of research-supply vessels between Africa and Antarctica, helps more confident than before to judge about presence/absence of trends in inter-annual changes in the latitudinal location of the main fronts in the Southern Ocean. Such a trends can be considered as an evidence of substantial change of water circulation, and as the manifestations of global warming of the sea surface layer. Within Indian sector of the Southern Ocean during 2007–2016 was registered a trend in annual shifts of seasonal positions of climatic fronts to the south.

Keywords: in situ registration and remote sensing, gradients of sea surface temperature, Southern Ocean fronts, temporal variability of meridional shifts of the surface front positions.

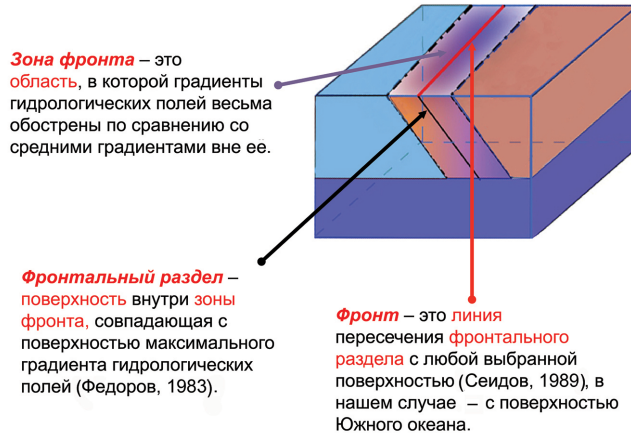


Рис. 1. Блок-схема вод Южного океана для пояснения принимаемой фронтальной терминологии. Синий — цвет холодных вод на глубине, голубой и красный — цвета менее холодных и более теплых вод в поверхностном слое моря.