
Среда обитания
водных биологических ресурсов

УДК 551.461: 551.46.062: 504.064.37

**Синоптический мониторинг поверхностных термических фронтов
Южного океана***В.В. Ионов*

Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург)
E-mail: victor@vi3787.spb.edu

Представлена методология синоптического мониторинга поверхностных фронтов Южного океана на основе попутных наблюдений во время сезонных морских операций снабжения российских антарктических станций. Используются непрерывные наблюдения за пространственной изменчивостью горизонтальных градиентов температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) *in situ* и горизонтальных градиентов температуры поверхности моря (ТПМ) по спутниковым ИК-данным, принимаемым на судне в реальном времени. При этом оказывается возможным детальное определение термических характеристик горизонтальных градиентов и протяжённости фронтальных зон по непрерывным данным о ТПСМ судовой автоматической метеостанции, с одновременной GPS-регистрацией их пространственного местоположения, с одной стороны; и точное определение географического положения фронтальных зон ТПМ по спутниковым изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне с высоким пространственным разрешением — с другой. Такие данные, полученные во время регулярных меридиональных плаваний научно-экспедиционных судов Российской антарктической экспедиции между Африкой и Антарктидой, позволяют увереннее чем прежде судить о наличии (или отсутствии) тенденций межгодовых изменений широтного местоположения основных фронтов Южного океана как свидетельств проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод. В период 2009—2015 гг. в межгодовых сезонных положениях основных климатических фронтов на поверхности индоокеанского сектора Южного океана выраженной тенденции к смещению на север или юг не выявлено. Процессы меандрирования основных фронтов и связанное с ними вихреобразование в зоне Антарктического циркумполярного течения порождают в горизонтальном движении вод завихренность разного знака. Это приводит к восходящим или нисходящим движениям в фотическом слое моря, что увеличивает или уменьшает концентрацию биогенов в нём, тем самым влияя на скорость роста фитопланктона — основу первичной продуктивности океана.

Ключевые слова: прямые и спутниковые наблюдения, градиенты температуры поверхности моря, основные поверхностные фронты Южного океана, межгодовая изменчивость, меридиональные смещения фронтов.

ВВЕДЕНИЕ

Основным направлением исследований, выполненных сотрудниками кафедры океанологии Санкт-Петербургского государственного университета в составе сезонных 53—55, 57, 58 и

60-й Российских антарктических экспедиций (РАЭ) в период 2007—2015 гг., было получение *новых* сведений о наличии (или отсутствии) изменений широтного положения основных фронтов Южного океана как свидетельств

проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод Мирового океана.

Климат можно определить, следуя А.С. Монину [Монин, 1982], как статистический ансамбль взятых за период в несколько десятилетий синоптических состояний глобальной климатической системы «Атмосфера—Океан—Суша». Океан и атмосфера беспрестанно и активно взаимодействуют друг с другом на поверхности своего раздела, которая составляет более 2/3 поверхности Земли. Именно поверхность океанов и морей служит базовым источником тепла для приземных слоев атмосферы.

Для надёжных представлений о климате планеты в целом сугубо важно глубокое понимание физических процессов, идущих в приповерхностных водах океанов и морей. В самом деле, «не исследуя климат океана и его изменчивость, а также влияние этой изменчивости на климат всей Земли, нельзя всерьёз думать о постановке глобальных климатологических задач» [Фёдоров, Островский, 1986. С. 3]. Достоверно оценить климатические изменения в Мировом океане можно лишь осуществляя синоптический (от *sinoptikos* — обзоревающий все вместе) мониторинг его основных климатически значимых физических параметров: низкочастотных колебаний уровня моря, флуктуаций температуры поверхности моря и характера ледового покрова. Наиболее доступны для оперативных прямых и дистанционных (спутниковых) наблюдений сведения о температуре поверхности моря.

Южный океан — одно из важнейших звеньев климатической системы планеты. Однако скудость прямых океанографических наблюдений в этой удалённой и суровой для мореплавания части Мирового океана препятствует чёткому пониманию физических и динамических процессов, которые отличают Южный океан от других океанических бассейнов. Главной особенностью циркуляции вод Южного океана является Течение западных ветров, или Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) — самое многоводное на Земле, направленное на восток и не встречающее сплошной поперечной преграды. АЦТ играет ключевую роль в глобальном переносе массы, тепла и количества движения (импульса), транслируя климатические сигналы из одного бассейна Мирового

океана в другой [Yuan et al., 2004]. Характерной чертой гидрологии поверхностных вод Южного океана можно считать множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные из этих фронтов формируются в пределах АЦТ [Holliday, Read, 1998]. Учитывая климатообразующую роль Южного океана, можно утверждать, что задача выявления количественных характеристик горизонтальных термических неоднородностей в поверхностных водах чрезвычайно важна ещё и для параметризации численных моделей взаимодействия атмосферы и океана и возможных климатических изменений в Антарктике [Thompson, 2008]. Будучи индикаторами общей циркуляции вод Южного океана, основные гидрологические фронты на его поверхности косвенно определяют зоны повышенных значений первичной продуктивности в поверхностном слое моря [Sokolov, Rintoul, 2007].

РАЗГРАНИЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИИ

История топонима «Южный океан» весьма длительна и драматична. На протяжении более чем двух столетий авторитетными научными собраниями и международными морскими организациями Южный океан то воспринимался, то отвергался как самостоятельный географический объект. Это происходило главным образом из-за неоднозначности определения его северной границы.

Наиболее современным и солидным источником информации по этому поводу мог бы стать последний том из серии «Атлас океанов», посвящённый Антарктике [Атлас океанов, 2005]. В предисловии к тому находим: «установлено, что к югу от северной границы АЦТ расположена единая область Мирового океана — ...макродиркуляционная система, ...обладающая ...характеристиками, отличными от ... характеристик вод ... севернее АЦТ. Указанная система была выделена ... в самостоятельный Южный океан». И ниже сообщается, что Международная гидрографическая организация в 2000 г. приняла за северную границу Южного океана параллель 60° ю.ш.

Оба определения не представляются самостоятельными. Первое — не только из-за из-

быточного многословия, но и потому, что граница географического объекта Южный океан обозначается через неконкретную границу его части — АЦТ. Второе — потому, что главная особенность циркуляции вод Южного океана (АЦТ) почти полностью располагается северней его предела — 60° ю.ш. Поэтому мы определяем Южный океан в следующих границах: на юге — берег Антарктиды, а на севере — «линия, соединяющая южные оконечности Африки, Австралии, Новой Зеландии и Южной Америки. Эта линия почти совпадает с субтропической конвергенцией». Это определение, взятое нами из предисловия к первому тому Атласа Антарктики [Атлас Антарктики, 1966], предпочтительнее не только потому, что в нём, по сравнению с рассмотренными ранее, северная граница обозначена более конкретно, но и потому, что влияние вод Южного океана действительно простирается столь далеко на север (рис. 1).

Теперь о фронтальной терминологии. Мы считаем *зоной фронта* в Южном океане такую зону, в которой градиенты гидрологических полей обострены по сравнению со средними градиентами вне её. Это определение практически совпадает с предложенным К.Н. Фёдоровым [Фёдоров, 1983]. Далее, следуя К.Н. Фёдорову, *фронтальным разделом* мы будем называть часть зоны фронта, на которой наблюдается максимальный температурный градиент.

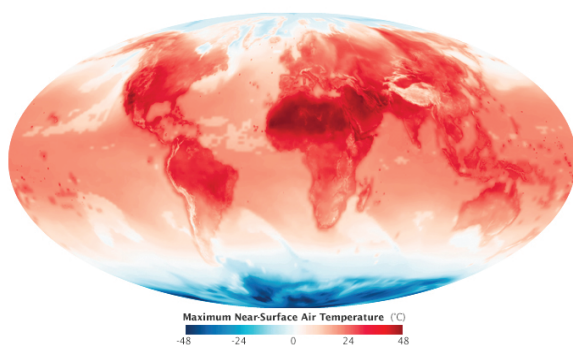


Рис. 1. Карта температуры приземного воздуха над поверхностью океана и суши на момент июньского солнцестояния (21.06) 2014 г. Карта составлена NASA на основе данных проекта NEX-CDDP. Оттенки красного показывают температуру до 48°C выше нуля, оттенки синего представляют температуру до 48°C ниже нуля. Доступно через: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=86027&src=eo-a-iotd> (18.06. 2015)

Тогда фронт — это след (линия) пересечения фронтального раздела с любой выбранной поверхностью, в нашем случае — с поверхностью Южного океана. Теперь исследование изменчивости поверхностных климатических фронтов Южного океана сводится к обнаружению их смещений по меридиану (южнее или севернее), своего рода «понижение размерности, или переход от непрерывного описания среды к дискретному» [Сеидов, 1989. С. 40].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В период выполнения сезонных операций РАЭ на НЭС «Академик Фёдоров» и «Академик Трёшников» ставилась следующая задача: основываясь на *попутных* измерениях температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ), осуществить *синоптический* мониторинг положения основных фронтов на поверхности Южного океана с целью изучения межгодовой изменчивости одного из главных океанических индикаторов климата Антарктики. Результаты подобных работ сотрудников кафедры океанологии СПбГУ при участии автора, полученные ещё в 80-е гг. прошлого века во время антарктических плаваний в составе РАЭ (САЭ) на НЭС «Михаил Сомов», НИС «Профессор Зубов» и НЭС «Академик Фёдоров», отражены в ряде научных публикаций [Клепиков, Дмитраш, 1981; Дмитраш, Ионов, 1984; Ионов, Дмитраш, 1984; Дмитраш, Ионов, 1984; Ионов, Булгаков, 1986; Ионов, 1990; Ионов, 1991]. Новые результаты, полученные в ходе морских работ 53-й РАЭ в сезон 2007–2008 гг., были представлены уже летом 2008 г. на Открытой научной конференции SCAR/IASC «Полярные исследования — Арктические и Антарктические перспективы в Международном Полярном году» [Ионов, Pavlov, 2008].

Важными отличиями исследований в текущем столетии являются: а) возможность *точной географической привязки* практически непрерывных измерений ТПСМ по ходу судна и б) наличие оперативных *спутниковых данных* высокого пространственного разрешения о температуре поверхности моря (ТПМ). Это стало реальным благодаря двум важнейшим технологическим новшествам: весьма точному определению местоположения движущегося

судна с помощью GPS и применению ГИС-технологий, лежащих в основе программных продуктов для оперативной работы со спутниковыми изображениями поверхности океана в разных диапазонах электромагнитного спектра излучения (ЭМС).

В настоящее время оказалось возможным *детальное* определение горизонтальных градиентов температуры и протяжённости фронтальных зон по непрерывным данным о ТПСМ судовой автоматической метеостанции с одновременной GPS-регистрацией их *пространственного местоположения*, с одной стороны, и *точное* определение географического положения фронтальных зон по спутниковым изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне ЭМС — с другой.

Судовая автоматическая метеостанция позволяет каждую минуту получать значения основных метеорологических характеристик: температуры воздуха, направления и скорости ветра (измеряемого на носовой и кормовой мачтах), атмосферного давления. Датчик температуры забортной 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 400 м, а вблизи Антарктического материка около 100 м. Полученные таким образом данные дают возможность изучить местоположение и пространственную структуру поверхностных фронтов, рассчитывая горизонтальные градиенты ТПСМ существенно детальнее, чем это позволяли измерения на гидрологических станциях прежде. В частности, мы можем получать сведения о средней географической широте положения фронта, протяжённости зоны фронта по широте, её ширине в км, диапазоне температуры на краях зоны фронта, среднем для зоны фронта горизонтальном градиенте ТПСМ в °С/км.

Результаты измерений ТПСМ на борту судна оперативно сопоставляются с результатами дистанционных (спутниковых) определений ТПМ. Это позволяет уточнять линейные и площадные характеристики температурных неоднородностей при пересечении фронтальных зон Южного океана. При этом использовались спутниковые изображения, полученные с помощью судовых станций СКАНЭКС и

Dartcom. Эти станции предназначены для приёма информации, передаваемой, среди прочих спутников, с метеорологических искусственных спутников Земли серии NOAA в формате HRPT (High Rate Picture Transmission). В основном это были изображения поверхности океана сканирующим радиометром AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) со спутников NOAA-18 и NOAA-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 со снимками ведётся в терминах относительных величин яркостей в ИК-диапазоне ЭМС, при этом выявляются наиболее резкие контрасты тонов на спутниковых изображениях, свидетельствующие о наличии выраженного пространственного градиента температуры поверхности океана.

По данным о ТПСМ при выполнении меридиональных разрезов через Южный океан между Африкой и Антарктидой дважды за сезон может быть определено положение основных климатических фронтов: Субтропического (СТФ), Субантарктического (САФ) и Полярного (ПФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение местоположения термических фронтов по данным ТПСМ. Визуальный способ. Начальным способом выявления феноменологических признаков термических фронтов является визуальный анализ графиков горизонтального изменения ТПСМ (термограмм). Фронты выделяются по резким, скачкообразным изменениям ТПСМ на единицу расстояния, т.е. по градиенту. Недостатком этого метода является его определённая субъективность, в особенности при рассмотрении очень подробных записей немонотонных (скачками) изменений температуры.

Сравнение горизонтальных градиентов ТПСМ. Расчёт и анализ графиков пространственного распределения абсолютных величин градиентов ТПСМ — более объективный метод выделения термических фронтов. В этом состоит его главное преимущество. Повышенные абсолютные величины горизонтальных

градиентов ТПСМ по сравнению со средне-климатическими значениями для конкретного района Мирового океана являются индикатором поверхностных фронтов. Крупномасштабные циркумполярные поверхностные фронты Южного океана находятся вдали от материков, и при постоянном воздействии ветров и волн их границы в поверхностном слое моря зачастую размываются. При тех же горизонтальных изменениях ТПСМ абсолютные величины пространственных градиентов ТПСМ уменьшаются из-за увеличения ширины пересекаемой зоны. Прибрежные поверхностные фронты, не испытывая на себе мощного ветро-волнового воздействия, остаются достаточно узкими и поэтому сохраняют высокие абсолютные величины градиентов ТПСМ. Таким образом, места пересечения обоих типов термических фронтов на графиках пространственного распределения абсолютных величин градиентов ТПСМ, в зависимости от географической широты, для последних будут выглядеть намного отчётливее, нежели для крупномасштабных термических фронтов.

Метод гистограмм. Этот метод привлекается при анализе термограмм ТПСМ там, где происходит постепенный переход от более тёплых вод к холодным и наоборот. К числу таковых относятся основные пересечения Южного океана в меридиональном направлении. Как правило, подобные гистограммы являются многомодальными. Моды соответствуют наиболее часто регистрируемым значениям ТПСМ в определённом диапазоне. Диапазоны значений ТПСМ с наименьшей частотой регистрации соответствуют температурам поверхностного фронта: чем меньше значений попадает в конкретный диапазон температуры на гистограмме, тем более выраженным является соответствующий термический фронт. Зная его интервал температуры, можно увереннее определять широтное местоположение соответствующего фронта на термограмме ТПСМ. Преимуществом данного метода является объективность. Ограничение в использовании метода гистограмм касается разрезов ТПСМ без чётко выраженной тенденции изменения ТПСМ (от тёплых вод к холодным и наоборот). В этом случае наименьшая повторяемость значений ТПСМ уже не указывает однозначно на тер-

мический фронт, а требует дополнительного анализа.

Таким образом, для выделения термических фронтов на термограммах оптимальным является последовательное применение всех перечисленных методов анализа с привлечением имеющейся оперативной спутниковой информации (см. ниже). В особенности это нужно при определении положения Антарктической конвергенции (Полярного фронта) с присущим ей монотонным падением низких значений ТПСМ, как видно из рис. 2 и 3.

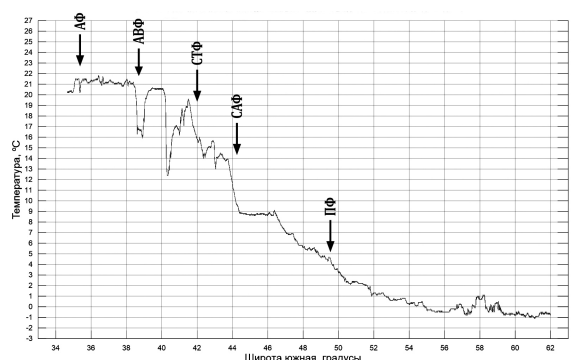


Рис. 2. Термограмма ТПСМ на разрезе п. Кейптаун — ст. Молодёжная. Показаны основные фронты: Агульясов, Агульясов возвратный, Субтропический, Субантарктический и Полярный (Антарктическая конвергенция)

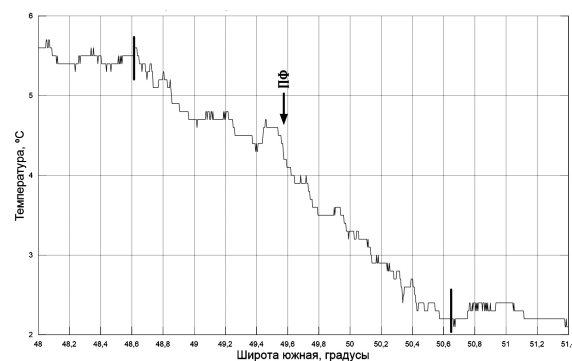


Рис. 3. Широтное положение Полярного фронта (ПФ), или Антарктической конвергенции, по результатам анализа «растянутой» по широте термограммы на разрезе п. Кейптаун — ст. Молодёжная. Вертикальными чёрточками показаны границы зоны фронта

Определённые по ТПСМ с помощью описанных выше методов широтные положения основных климатических фронтов, подтверж-

Таблица. Характеристики основных климатических фронтов между Африкой и Антарктидой по непрерывным судовым наблюдениям ТПСМ в декабре 2014 г.

Название фронта	Дата пересечения фронта	Широтное положение фронта	Зона фронта		Интервал температуры, °С		Зона фронта, км	Средний градиент, °С/км
			от	до	от	до		
СТФ	14.12.2014	42,0°	41°30	42°26	19,6	14,1	104	0,05
САФ	14.12.2014	44,0°	43°44	44°25	13,9	8,9	76	0,07
ПФ (АК)	15.12.2014	49,5°	48°34	50°37	5,5	2,2	227	0,02

дённые имеющимися спутниковыми данными о градиентах ТПМ, сводятся в таблицы (см. таблицу). Помимо других характеристик, это главный результат синоптического мониторинга поверхностных термических фронтов на соответствующем широтном разрезе через Южный океан.

Определение фронтов по спутниковым изображениям контрастов ТПМ. В среднем ход ТПСМ довольно монотонен, однако на некоторых участках (часто в пределах зон основных фронтов) он нарушается резкими повышениями или понижениями температуры. Такие флуктуации можно трактовать как следы струй зонального течения на поверхности моря, меандров или как результат пересечения судном череды разномасштабных холодных и тёплых вихрей. На рис. 4 показаны фрагменты снимков со спутника NOAA-19 районов, на которых выделяются как крупномасштабные меандры (А), так и мезомасштабные вихревые структуры (В), развивающиеся на фронте. Горизонтальные размеры температурных неоднородностей, определённых по ИК-снимкам, имеют величины от 10 до 400 км. Оценки крупномасштабных меандров лежат в пределах от 180 до 280 км. Характерные размеры вихревых структур составляют около 200 км. Особенностью меандров является их заметная пространственная асимметрия. Часто данные образования состоят из большого числа «струйных волокон» (filaments) (С), развивающихся на фронте (рис. 4,а).

Зачастую меандрирование и динамическая неустойчивость климатических фронтов приводит к образованию вихревых структур, имеющих грибовидную форму (рис. 4,б). Средний пространственный масштаб «ножки гриба» (D) составляет около 80 км, а его «шляпки» (Е) —

200 км. Горизонтальные размеры циклонического и антициклонического вихрей в диполе (Е) составляют величину около 150 км.

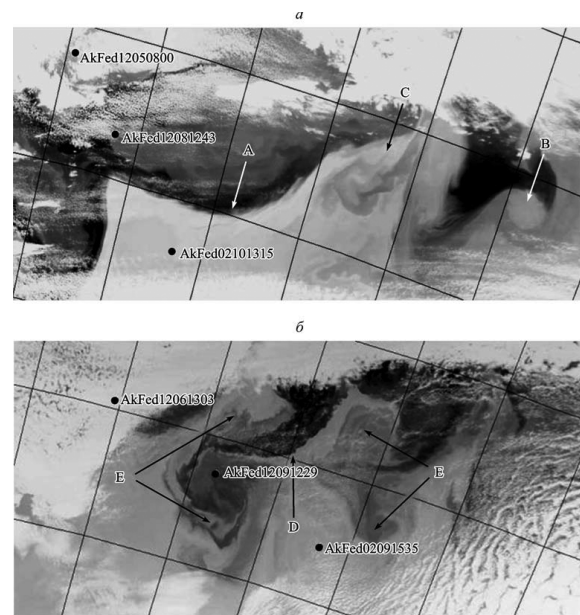


Рис. 4. Меандрирование и вихреобразование в области основных циркумполярных фронтов. а) фрагмент спутникового ИК-снимка области пересечения судном СТФ; б) фрагмент того же снимка фронта САФ — 44°55', зона фронта САФ: 44°40'—45°45'. Чёрные точки указывают местоположения НЭС «Академик Фёдоров» при пересечении соответствующих фронтов. [Ионов, Шилов, 2011]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методология синоптического мониторинга поверхностных термических фронтов Южного океана позволяет использовать возможности ежегодных рейсов научно-экспедиционных судов РАЭ от Африки к Антарктиде и обратно для оперативных наблюдений за изменчивостью градиентов ТПСМ и ТПМ в реальном времени. Сведения о широт-

ном местоположении основных поверхностных климатических фронтов в начале (декабрь) и конце (февраль) астрального лета каждого года за многолетний промежуток времени могут служить индикатором климатических изменений циркуляции вод Южного океана.

Процессы меандрирования основных фронтов и связанное с ними вихреобразование (рис. 4) в зоне АЦТ порождают в поверхностном слое вод завихренность разного знака. Это приводит к восходящим или нисходящим движениям, что увеличивает или уменьшает концентрацию биогенов в фотическом слое моря, тем самым влияя на скорость роста фитопланктона — основу первичной продуктивности океана.

Выводы

Совместный анализ изменений непрерывно регистрируемой температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) и градиентов температуры поверхности моря (ТПМ), фиксируемых спутниковым радиометром AVHRR в ИК-диапазоне электромагнитного спектра, позволяет оперативно определять местоположение термических градиентных зон на поверхности Южного океана.

В межгодовом изменении сезонного (летнего) широтного положения основных климатических фронтов на поверхности индоокеанского сектора Южного океана на протяжении 2009–2015 гг. выраженной тенденции к смещению на север или юг не выявлено. Важно увеличивать длительность периода наблюдений.

Процессы меандрирования основных фронтов и связанное с ними вихреобразование являются ключевой особенностью динамики вод Южного океана, проявляющейся в синоптической изменчивости термических полей.

Вихревые образования на термических фронтах, являющиеся следствием динамической неустойчивости струй АЦТ, играя важную роль в меридиональном переносе импульса, тепла и соли в Южном океане, могут косвенно определять зоны повышенных значений первичной продуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас Антарктики* Т. 1. М.-Л.: ГУГК МГ СССР. 1966. 225 с.
- Атлас океанов*. 2005. Антарктика. СПб: ГУНиО МО РФ. 300 с.
- Дмитраш Ж.А., Ионов В.В., Ребенкова О.А. 1984. Опыт использования спутниковой информации для определения местоположения океанического фронта // Информ. бюл. САЭ. № 105. С. 29–32.
- Ионов В.В., Дмитраш Ж.А., Клепиков В.В. 1984. Горизонтальные температурные неоднородности и фронтальные зоны Южного океана // Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов. Л.: Географ. общ-во СССР. С. 87–88.
- Дмитраш Ж.А., Ионов В.В., Клепиков В.В. 1984. Мезомасштабные температурные неоднородности в Южном океане // Вестник ЛГУ. № 6. Вып. 3. С. 108–111.
- Ионов В.В., Булгаков В.Г. 1986. Об использовании низкотемпературного радиометра на область спектра 8–13 мкм для определения температуры поверхности океана // Межведомственная экспедиция по программе ПОЛЭКС-ЮГ-81. Л.: Гидрометеоздат. С. 111–113.
- Ионов В.В. 1990. Спутниковый мониторинг ледовых вихрей в Антарктической зоне // Современные проблемы промысловой океанографии. Л.: ЛГМИ. С. 292.
- Ионов В.В. 1991. О пространственной структуре температурных неоднородностей поверхности Южного океана в море Скотия и проливе Дрейка // Океанологические исследования Южного океана. Л.: Ленинградский университет. С. 83–92.
- Ионов В.В., Шилов И.О. 2011. Синоптический мониторинг температуры морской поверхности для изучения вихреобразования в Южном океане // Известия Русского географического общества. Т. 143. Вып. 5. С. 39–44.
- Ионов В.В. 2013. Мониторинг климатически значащих характеристик поверхности Южного океана на основе натурных и спутниковых наблюдений // Материалы международной конференции «Экология, Экономика, Информатика». Т. 2. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. С. 328–331.
- Клепиков В.В., Дмитраш Ж.А. 1981. Температурные неоднородности в приафриканских водах Атлантического океана и Южном океане // Труды ААНИИ. Т. 369. С. 90–103.
- Монин А.С. 1982. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеоздат. 246 с.
- Сеидов Д.Г. 1989. Синергетика океанских процессов. Л.: Гидрометеоздат. 288 с.
- Фёдоров К.Н. 1983. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеоздат. 296 с.
- Фёдоров К.Н., Островский А.Г. 1986. Климатически значащие физические параметры океана. Л.: Гидрометеоздат. 40 с.
- Holliday N.P., Read J.F. 1998. Surface oceanic fronts between Africa and Antarctica // Deep-Sea Research. Pt. 1. V. 45. P. 217–238.

- Ionov V.V., Pavlov A.K.* 2008. Synoptical monitoring of spatial and temporal variability of the SST fronts in the Southern Ocean // SCAR/IASC IPY Open Science Conference «Polar Research — Arctic and Antarctic perspective in the International Polar Year». Abstract volume. Sankt-Peterburg, Russia, July 8–11. P. 104.
- Thompson A.F.* 2008. The atmospheric ocean: eddies and jets in the Antarctic Circumpolar Current // Phil. Trans. R. Soc. A. V. 366. P. 4529–4541.
- Yuan X., Martinson D.G., Dong Z.* 2004. Upper ocean thermohaline structure and its temporal variability in the southeast Indian Ocean // Deep-Sea Research. Pt. 1. V. 51. P. 333–347.

Поступила в редакцию 16.06.2015 г.

Принята после рецензии 17.07.2015 г.

Synoptical monitoring of thermic fronts on the sea surface of the Southern Ocean

V.V. Ionov

St. Petersburg State University (St. Petersburg)

The methodology of synoptical monitoring of Southern Ocean fronts based on observations during the seasonal maritime operations for supply Russian Antarctic stations is offered. The continuous registrations of the variability of horizontal gradients sea surface layer temperature (SSLT) in situ, and horizontal gradients sea surface temperature (SST) from satellite infrared (IR) data are used, they were taken on board of research vessel in real-time. This makes possible a detailed definition of the horizontal gradients of thermic characteristics and extent of the frontal zones by continuous data on SSLT from vessel's automatic meteorological station, with simultaneous GPS-registration of their spatial location, on one side; and a precise definition of the geographical position of frontal zones of SST from satellite by the very high resolution IR-images of the ocean surface, on the other. Such data obtained during regular meridional voyages of research-supply vessels of the Russian Antarctic expedition between Africa and Antarctica, allow more confident than before judge the presence (or absence) of trends in interannual changes in the latitudinal location of the main fronts in the Southern Ocean, as evidence of the manifestations of global warming in the surface layer waters. In the period 2009–2015 interannual seasonal positions of major climatic fronts on the surface of the Indian Ocean sector of the Southern Ocean pronounced tendency to shift to the north or south is not revealed. The mean-dering processes of the main fronts and associated vortices formation in the area of the Antarctic Circumpolar Current, both create horizontal movements of water with vorticity of different signs. This leads to movements upward or downward in the photic layer of the sea, and increases or reduces the concentration of nutrients in it, thereby affecting the rate of growth of phytoplankton which is the basis of the primary productivity of the ocean.

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