

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© В. В. ИОНОВ, И. О. ШИЛОВ

СИНОПТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ
В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ

Введение. Исследование вихрей открытого океана ставилось целью крупных национальных программ, таких как «Полигон-70» (СССР, 1970 г.), МЕГАПОЛИГОН (СССР, 1987 г.) или «МОДЕ» (США, Великобритания, 1973 г.), а также совместных, например советско-американская программа «ПОЛИМОДЕ» (1974—1978 гг.). Эти натурные эксперименты в океане несомненно во многом помогли достичь поставленной цели [3]. В частности, была доказана ответственность этих вихрей за картину «мгновенного» распределения скоростей течения, температуры воды, солёности, скорости звука, других характеристик, иными словами, за «погоду» океана.

В то же время еще более интересно и важно изучение взаимодействия явлений среднего масштаба с крупными звеньями циркуляции Мирового океана: Гольфстримом, Куроисио, и в особенности течением Западных Ветров, или Антарктическим циркумполярным течением Южного океана, поскольку эти процессы отражаются не только на океанической погоде, но и причастны к формированию краткосрочных колебаний климата планеты [9].

Направленное на восток, не имеющее сплошного поперечного препятствия, самое мощное на Земле Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) играет ключевую роль в глобальном переносе масс, тепла и количества движения, транслируя климатические сигналы из одного бассейна Мирового океана в другой. К сожалению, из-за все еще малого количества данных прямых наблюдений четкого понимания физических и динамических процессов, которые делают Южный океан, отличным от других бассейнов, пока нет.

Поток АЦТ и связанные с ним климатические фронты определяют высокую степень изменчивости поля температуры поверхности океана в данном регионе [6]. Контактные и спутниковые измерения подтверждают сказанное и указывают на высокий уровень вихревой активности, связанной главным образом с основными ветвями АЦТ и соответствующими фронтами [5, 7, 8]. Наши недавние натурные исследования выявили высокую степень пространственно-временной мезомасштабной изменчивости положения и формы основных фронтов Южного океана [2].

Основная цель данной работы — определение роли вихреобразования и вихревых структур в формировании температурных полей поверхности Южного океана на основе синхронной детальной спутниковой и контактной информации. Для этого решались следующие задачи: определение широтного положения основных климатических фронтов Южного океана по натурным данным о температуре поверхностного слоя моря (ТПСМ), выявление особенностей распределения ТПСМ на широтных разрезах вдоль Антарктического материка, регистрация процессов вихреобразования и меандрирования климатических фронтов с помощью спутниковых ИК-изображений поверхности океана, мониторинг вихревых структур в прибрежных водах Антарктиды на основе спутниковых ИК-изображений.

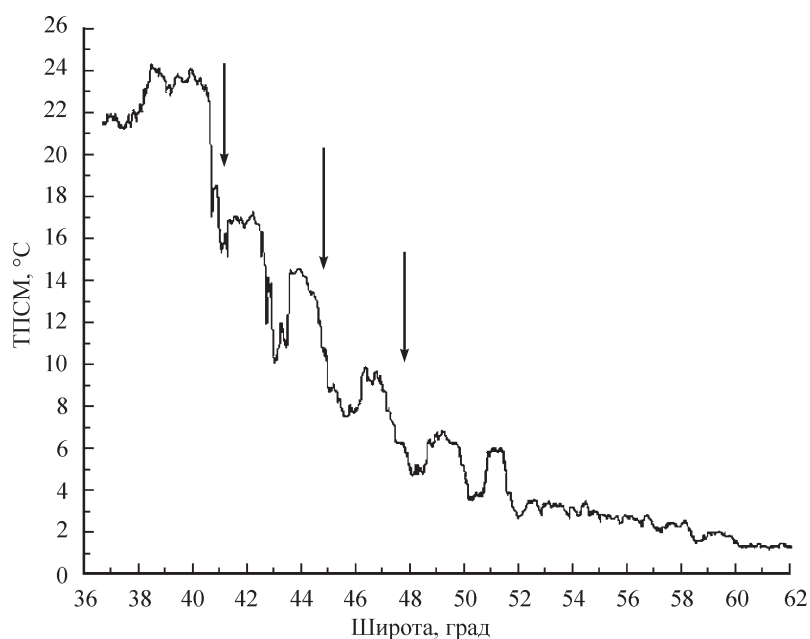


Рис. 1. Изменение ТПСМ (°C) между Африкой и Антарктидой на разрезе п. Кейптаун—ст. Прогресс. Стрелками указаны оси основных циркумполярных фронтов с севера на юг: СТФ, САФ, ПФ (февраль 2009, 54-я РАЭ).

Методы и результаты исследования. Экспериментальной основой для проведения исследования служили данные контактных измерений непрерывно регистрируемой температуры поверхностного слоя моря судовой метеостанцией MILOS-520 (с дискретностью 1 минута времени, что составляет пространственный интервал 450—500 м по ходу движения судна) и данные дистанционных (спутниковых) зондирований температуры поверхности моря (ТПМ) датчиками AVHRR (Advanced Very

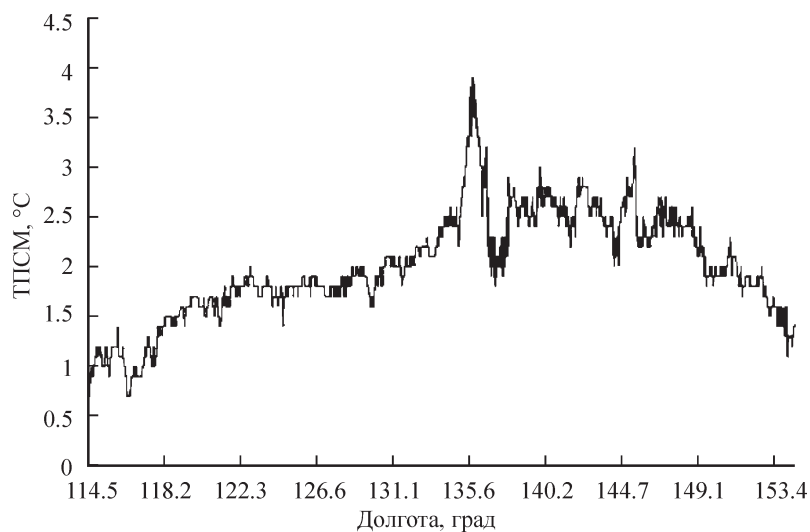


Рис. 2. Изменение ТПСМ в море Д'Юрвиля вдоль 64° ю. ш. на разрезе ст. Мирный—ст. Ленинградская (05.01—08.01.2010 г.).

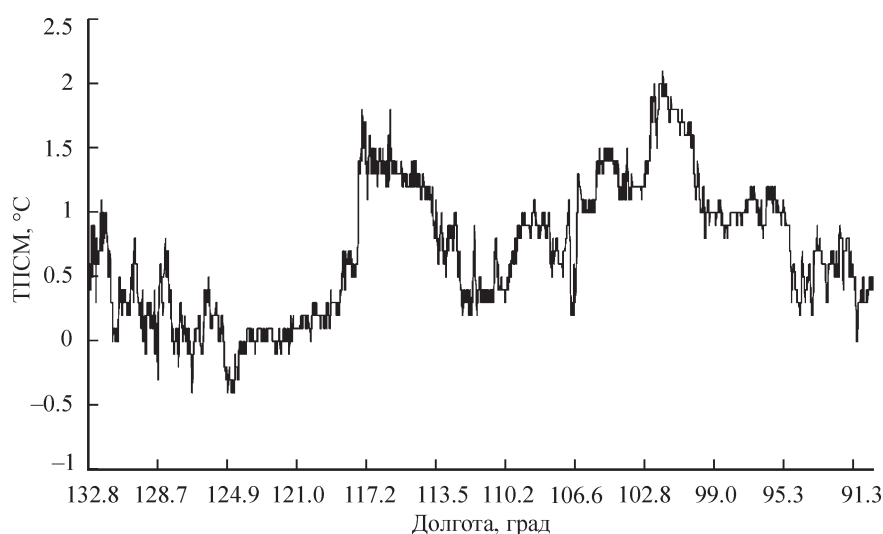


Рис. 3. Изменения ТПСМ в море Беллингаузена вдоль 69° ю. ш. на зональной части разреза ст. Русская—ст. Беллингаузен от 130 до 150° в. д. (27.01—30.01.2010 г.).

High Resolution Radiometer) на борту спутников серии NOAA, полученные в период выполнения сезонных операций 54 и 55 РАЭ в 2008—2010 гг., с борта НЭС «Академик Федоров». Использование судовой приемной спутниковой станции СКАНЭКС позволило получать информацию высокого разрешения (около 1 км по пространству), передаваемую в формате HRPT (HRPT — High Rate Picture Transmission). Всего получено и проанализировано более 200 снимков за период с 2008 по 2010 г. По натурным данным о ТПСМ при выполнении меридиональных разрезов было определено положение основных климатических фронтов: Субтропического (СТФ), Субантарктического (САФ) и Полярного (ПФ). Пример распределения ТПСМ при движении судна между портом Кейптаун и антарктической станцией Прогресс представлен на рис. 1.

В среднем монотонный ход ТПСМ демонстрирует хорошо выраженные положительные аномалии, приуроченные к местоположению основных фронтов. Такие флуктуации можно трактовать как следы струй зонального течения на поверхности моря, меандров или как результат пересечения судном череды разномасштабных холодных и теплых вихрей.

Положительные аномалии обнаруживаются и при выполнении широтных разрезов вдоль Антарктиды, причем некоторые из них устойчивы в пространстве и во времени. В море Д'Юрвиля при плавании вдоль 64° ю. ш. на разрезе ст. Мирный—ст. Ленинградская максимальный размах изменений температуры поверхностных антарктических вод составляет почти 3 °C (2.5) на расстоянии около 120 км, что дает значение градиента 0.02 °C/км (рис. 2). Интересно отметить, что при плавании в 2009 г. практически в те же даты января, вдоль той же широты на более коротком разрезе основные экстремумы ТПСМ пришлось примерно на те же долготы.

Пространственное распределение ТПСМ на зональном разрезе в море Беллингаузена от ст. Русская до ст. Беллингаузен также демонстрирует существенную изменчивость (рис. 3). Наличие значительных аномалий (до 1.7 °C) и их пространственные масштабы (от 200 до 300 км) также могут подтверждать значимость вихреобразования в указанном районе.

Эта особенность основных климатических фронтальных зон Южного океана, характеризующая постоянное взаимодействие водных масс, приводит к появлению «языков вторжения» одной водной массы в пределы другой, и наоборот. Возникновение ситуаций, при которых от сильно развитых «языков вторжения» могут отщепляться отдельные свободные вихри, предсказывалось еще В. Х. Буйницким ([1], с. 7). Под-

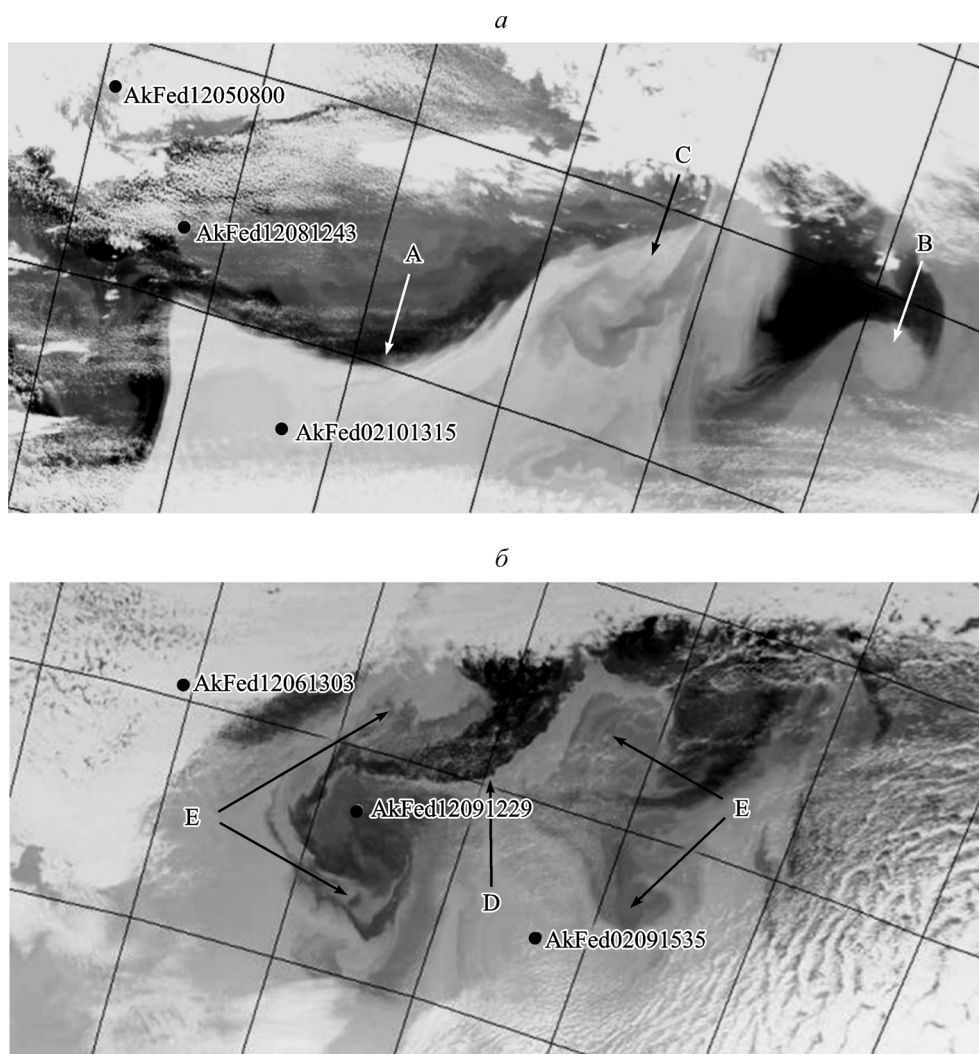


Рис. 4. Меандрирование и вихреобразование в области основных циркумполярных фронтальных разделов.

a — фрагмент ИК спутникового снимка 12061303 HRPT от 06.12.2009 г. на область пересечения судном Субтропического фронта (СТФ), *б* — фрагмент того же снимка на область пересечения судном Субантарктического фронта (САФ). Ось фронтального раздела САФ — $44^{\circ}55'$, широтная $44^{\circ}40'—45^{\circ}45'$).

тверждением тому служит анализ спутниковых ИК-изображений, свидетельствующих об интенсивности процессов меандрирования и вихреобразования на климатических фронтах.

Обсуждение полученных результатов. 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, определенных 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, *a*).

На фоне крупномасштабных меандров и интрузий одной водной массы в другую наблюдались мезомасштабные неоднородности, вызванные вихреобразованием. Горизонтальные размеры таких вихревых структур около 10 км. Наряду с вихреподобными структурами на ИК-снимках на фронтальных разделах выделялись волновые структуры с горизонтальными размерами от 7—15 до 30 км. Часто они представляли собой волновые пакеты от 5 до 20 волн.

Отличительной особенностью выявленных мезомасштабных и крупномасштабных волновых структур является их несимметричность относительно линии фронта. Как правило, волновые структуры (меандры) представлены в виде холодных интрузий клиновидной формы в теплые воды. В то же время теплые интрузии выглядят более сглажено и не имеют формы «острых» языков. Подобная тенденция была обнаружена для волновых структур в широком диапазоне масштабов: от крупномасштабных меандров, волновых структур с продольным масштабом около 30 км до круговых интрузий диаметром до 10 км.

Зачастую меандрирование и динамическая неустойчивость климатических фронтов приводят к образованию вихревых структур, имеющих грибовидную форму (рис. 4, б). Средний пространственный масштаб «ножки гриба» (D) составляет около 80 км и его «шляпки» (E) — 200 км. Горизонтальные размеры циклонического и антициклонического вихрей в диполе (E) составляют величину около 150 км.

Выводы

1. Процессы меандрирования основных фронтов и связанное с ним вихреобразование являются ключевой особенностью динамики вод Южного океана в виде синоптической изменчивости термических полей поверхности океана. Вихревые образования на фронтах, являющихся следствием динамической неустойчивости струй АЦТ, могут играть важную роль в меридиональном переносе тепла, соли и импульса в Южном океане.

2. Поскольку фронтальные системы формируют АЦТ [4], межгодовая и многолетняя изменчивость положения гидрофронтов становится значимым индикатором долгосрочных трендов в процессах обмена энергией поверхностных вод океана с приводным слоем атмосферы.

3. Принимая во внимание, что верхний слой Южного океана наиболее интенсивно взаимодействует с атмосферой и, следовательно, существенно влияет на погоду и климат, отыскивать количественные характеристики горизонтальных неоднородностей его вод с помощью синоптического мониторинга температуры морской поверхности чрезвычайно важно, в том числе и для параметризаций в численных моделях возможных климатических изменений в Антарктике.

Заключение. Оперативно выявленные зоны термических неоднородностей поверхности вод Южного океана в дальнейшем предстоит исследовать на причастность к областям смены геострофических течений. Сделать это можно путем оценки уклонов уровня поверхности, получаемых дистанционно из анализа вдольтрековых измерений уровня моря спутниковыми альтиметрами в окрестностях обнаруженных термических неоднородностей. Новое поколение спутниковых альтиметров предоставляет измерения изменений уровня моря с приемлемо высоким пространственным разрешением (precision) и их строгой географической привязкой (accuracy), что необходимо для корректного сравнения с высокоточными данными синоптического мониторинга температуры морской поверхности (градиенты ТПСМ — in situ и ТПМ — дистанционно).

Список литературы

- [1] Буйницкий В. Х. Морские льды и айсберги Антарктики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 255 с.
- [2] Ионов В. В., Шилов И. О. Изучение динамики термических фронтов Южного океана на основе натурных прямых и дистанционных наблюдений // Материалы Междунар. конф. «Морские иссле-

- дования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08». Тез. 21—23 апр. 2010. 74 с.
- [3] *Мирабель А. П.* Свободные синоптические вихри // А. С. Монин, Н. Н. Корчагин. Десять открытий в физике океана. М.: Научный мир, 2008. С. 128—153.
- [4] *Holliday N. P., Read J. F.* Surface oceanic fronts between Africa and Antarctica. *Deep-Sea Research I*. 1998. Vol. 45. P. 217—238.
- [5] *Ionov V. V., Pavlov A. K.* 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». In book: Abstract volume. SPb. Russia. July 8—11, 2008. P. 104.
- [6] *Lutheharms J. R. E. and Valentine H. R.* Southern Ocean fronts south of Africa. *Deep Sea Research*. 1984. Vol. 31. N 12. P. 1461—1475.
- [7] *Park Y.-H., Pollard R. T., Read J. F., LeBoucher V.* A quasi-synoptic view of the frontal circulation in the Crozet Basin during the Antares-4cruise. *Deep-Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography* 49. 2002. P. 1823—1842.
- [8] *Phillips H. E., and Rintoul S. R.* Eddy variability and energetics from direct current measurements in the Antarctic Circumpolar Current south of Australia // *J. Phys. Oceanogr.* 2000. Vol. 30. P. 3050—3076.
- [9] *Thompson A. F.* The atmospheric ocean: eddies and jets in the Antarctic Circumpolar Current. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 2008. Vol. 366. P. 4529—4541.

Санкт-Петербург
geo-igor@mail.ru

Поступило в редакцию
25 апреля 2011 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 5

© С. Ю. ГРИШИН

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОГО НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Введение. Крупнейший вулкан России, гигант Ключевской, является наиболее мощным вулканом региона. Извергая огромное количество вулканитов, вулкан оказывает мощное и разностороннее воздействие на экосистемы большой территории. Однако ни масштабы, ни формы, ни последствия влияния вулкана на экосистемы прилегающих территорий до сих пор не изучены. Цель данной статьи — очертить масштабы и типы воздействия извержений на важнейший компонент экосистем — растительный покров, и их кратковременные и долговременные последствия. Рассматриваются последствия прямодействующих форм воздействия — эксплозивного и эффузивного вулканизма.

Природные условия. Ключевской (высота около 4750 м) — самый высокий из активных вулканов Евразии [9]. Стратовулкан находится в Ключевской группе вулканов (центральная часть Камчатки) — гигантском массиве площадью 6500 км². Массив состоит из 12 крупных вулканов, включая три «четырёхтысячника». Кроме Ключевского, активными являются вулканы Безымянный, Ушковский, Плоский Толбачик, а также Толбачинская зона шлаковых конусов. Одна половина массива относится к району «хвойного острова» центральной Камчатки, а другая, где и располагается Ключевской вулкан, — к району типично камчатского океанического комплекса лесов из березы каменной, стлаников и лугов [4]. Подножия вулкана ограничены долиной р. Камчатка и ее правого притока р. Хапица, расположенных на расстоянии 32—37 км от кратера. Природный комплекс Ключевского достаточно разнообразен, охватывая как типичные, так и уникальные камчатские ландшафты от шлаковых вулканических пустынь и лавовых покровов до районов с ненарушенной растительностью.