



ТВЕРЖДАЮ

Директор ТОИ ДВО РАН

академик РАН

И. Долгих

25 сентября 2024 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН)
на диссертационную работу

Малышевой Алины Анатольевны

**«Вихревая динамика южной части Атлантического океана на основе спутниковых,
натурных и модельных данных»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук
по специальности 1.6.17 – Океанология

Актуальность. Диссертация Малышевой Алины Анатольевны посвящена изучению вихревой динамики южной части Атлантического океана по данным спутниковой альтиметрии, натурных наблюдений и моделирования. Как известно, основная часть кинетической энергии в океане сосредоточена именно в синоптических (в другой терминологии – мезомасштабных) вихрях, в которых преобладают нелинейные эффекты и которые осуществляют перенос воды, тепла, соли и примесей на значительные расстояния и обеспечивают водообмен между водами с разными свойствами, в том числе через океанические фронты. В частности, рассматриваемые в работе агульсовы вихри переносят трансформированные индоокеанские воды на запад, оказывая влияние на структуру вод в умеренных широтах практически на всем протяжении южной Атлантики. Помимо всестороннего анализа различных данных, в работе обсуждаются теоретические концепции, важные для понимания изучаемых процессов. Эти

обстоятельства определяют актуальность рассматриваемой работы, которая позволяет существенно расширить представления о динамических процессах в рассматриваемом регионе.

Целью работы является выявление особенностей вихревой динамики вод южной части Атлантического океана на основе данных спутниковой альтиметрии, глобального океанического реанализа GLORYS12V1 и дрейфующих буев Argo. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- 1) оценка переноса вод, тепла и соли средним агульсовым вихрем, анализ вертикальной структуры таких вихрей;
- 2) анализ распространения в Капской котловине вод различного происхождения на основе лагранжева подхода;
- 3) оценка меридионального смещения вихрей при их перемещении на запад;
- 4) оценка кинематических и динамических характеристик разнополярных агульсовых вихрей;
- 5) анализ изменения кинетической и доступной потенциальной энергии вихрей в процессе их вытягивания.

Научная новизна. В работе получен ряд новых научных результатов, наиболее важными из которых являются следующие:

- 1) Для рассматриваемого региона получены оценки среднего тепло- и солесодержания в агульсовом вихре, а также оценки расхода и переноса тепла и соли.
- 2) Показано, что термохалинная структура вихрей в Капской котловине обусловлена их взаимодействием с водами Южно-Атлантического круговорота и Бенгельского течения.
- 3) Получены оценки пройденных расстояний, времен жизни, зонального и меридионального смещения долгоживущих агульсовых вихрей, а также их характеристик (амплитуды, радиуса, орбитальной скорости). Предложена новая интерпретация меридионального смещения этих вихрей.
- 4) Получены оценки изменения кинетической и доступной потенциальной энергии вихрей в Капской котловине при их трансформации путем вытягивания.

Научная и практическая значимость. Научная значимость результатов состоит в расширении представлений о вихревой динамике вод южной части Атлантического океана. Практическая значимость результатов состоит в освоенных автором подходах и методах, которые могут использоваться для изучения явлений в других областях Мирового океана.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается применением качест-

венных, ранее апробированных регулярных спутниковых данных, данных дрейфующих буев Арго, регистрирующих свойства вод до глубины более 1000 м, данных современного океанического реанализа, полученных с ассимиляцией наблюдений. Обоснованность выводов и утверждений, представленных в диссертации, обеспечивается использованием проверенной методологии и современных методов анализа изучаемых процессов

Апробация работы. Результаты работы опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, из них три статьи в журналах, входящих в престижную базу цитирования Web of Science. Эти публикации полностью отражают содержание работы. Было сделано более 10 докладов на отечественных и международных научных конференциях. Личный вклад соискательницы подтверждается тем, что она является первым автором в 6 статьях и 10 докладах на конференциях.

Структура и содержание диссертации. Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 155 источников.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, с подробным обсуждением современных представлений о синоптических вихрях и их роли в циркуляции и переносе вод. Сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные научные результаты и положения, выносимые на защиту, и обоснована их достоверность. Определен личный вклад автора, перечислены опубликованные статьи и доклады на научных конференциях, где были представлены результаты работы.

Первая глава носит обзорный характер, здесь дана физико-географическая характеристика района исследования – южной части Атлантического течения – и обсуждаются океанологические характеристики течения мыса Игольного (течения Агульяс).

Вторая глава посвящена характеристике исходных данных и применяемых методов исследования. Характеристики вихрей были выбраны из массива «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» (META3.2), основанного на спутниковых альтиметрических измерениях уровня океана. Вертикальная термохалинная структура вихрей изучалась по данным буев Арго. Данные о течениях в толще вод брались по результатам океанического реанализа с высоким разрешением GLORYS12V1 (Global Ocean Physics Reanalysis). Использовались также рельеф дна океана ETOPO1 и Атлас Мирового Океана (WOA13), содержащий климатические характеристики вод. Все эти массивы широко известны международному научному сообществу и апробированы в многочисленных исследованиях.

Для обнаружения и отслеживания вихрей по данным реанализа GLORYS12V1 использовался апробированный алгоритм AMEDA (Angular Momentum Eddy Detection and Tracking

Algorithm). Расчеты переноса тепла и соли и тепло- и солесодержания в вихрях, а также относительной и потенциальной (по формулам Эртеля и Россби) завихренности выполнялись на основе уравнений термогидродинамики. Для анализа вертикальной структуры вихрей применялся т.н. метод со-локации, позволяющий совместить вихри, зарегистрированные по альтиметрическим данным, с измерениями буев Арго, которые дрейфовали вместе с вихрями на протяжении всего времени их жизни. Для оценки происхождения вод в районе исследования применялся лагранжев анализ.

Третья глава начинается с анализа ранее выполненных работ по исследованию агульсовых вихрей, включая известные количественные оценки переноса этими вихрями тепла и соли. Далее обсуждается эволюция одного из 6 вихрей, отобранных для анализа. Затем представлены результаты исследований по временной изменчивости числа агульсовых вихрей в зависимости от конечной долготы их движения, определены годы высокой и низкой интенсивности вихреобразования, выполнены количественные оценки тепло- и солесодержания, а также среднего переноса тепла и соли одним вихрем. Выполнен лагранжев анализ вихрей Капской котловины и показано, что они состоят из вод течений мыса Игольного и Бенгельского, а также из вод Южно-Атлантического круговорота. Рассчитаны статистические характеристики вихрей Капской котловины.

В **четвертой** главе обсуждается меридиональное смещение агульсовых вихрей. Проанализирована изменчивость параметров вихрей при пересечении ими крупных форм рельефа дна. Показано, что под влиянием топографии вихри изменяют траектории, отклоняясь в меридиональном направлении. Получены оценки меридионального и зонального смещения агульсовых вихрей. Проанализированы существующие на сегодняшний день теории, предлагаемые для объяснения меридионального смещения вихрей, в том числе теория Лайтхилла, и показано, что ни одна из них не может объяснить это явление полностью. Предложена модификация формулы Лайтхилла путем замены баротропного радиуса деформации Россби на первый бароклинный, что позволило получить оценки смещения, близкие к наблюдаемым.

В **пятой** главе на основе данных спутниковой альтиметрии и океанического реанализа GLORYS12V1 исследованы динамические, кинематические и термохалинные характеристики вихрей Капской котловины, сделана оценка средних параметров вихрей и времени их жизни, которое у антициклонов на порядок больше, чем у циклонов, что связано с известной циклон-антициклонной асимметрией. Рассмотрены характеристики конкретного вихря и показано, что вихрь действительно переносил воды с определенными свойствами. Обсуждается трансформация энергии при вытягивании вихрей баротропным потоком; показано, что максималь-

ные значения энергии свойственны вихрям, имеющим круглую форму, в то время как минимальные значения энергии связаны с вихрями, имеющими вытянутую форму.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Замечания.

1. Из формулировки результата 1 неясно, являются ли полученные оценки осредненными по шести вихрям, отобранным для анализа, или же средними по времени для одного конкретного вихря. Если верно последнее, то из каких соображений был выбран именно этот вихрь?

2. В работе приведены средние оценки характеристик вихрей, но не указан разброс, что не позволяет судить о значимости этих оценок.

3. В формулировке результата 2 используется неудачное выражение «смешение частиц вод различного происхождения». Лучше было бы написать: «смешение вод различного происхождения».

4. Следовало бы сделать выводы по каждой главе, это облегчило бы восприятие материала.

5. №№ 2 и 3 из списка публикаций автора являются одной статьей, оригинал которой опубликован на русском языке в журнале «Исследование Земли из космоса», а перевод – в англоязычной версии журнала «Известия РАН. Физика атмосферы и океана» («Izv. Atmos. Ocean. Phys.»).

6. В п. 2.1 обсуждается массив «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» (МЕТА3.2), в п. 2.2.1 – «Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product». Из текста неясно, это один массив или два разные.

7. Описание алгоритма AMEDA, приведенное в п. 2.1.7, следовало привести в п. 2.2, где обсуждаются методы исследования.

8. Неудачное название п. 3.3. «Метод со-локации», что совпадает с названием п. 2.2.1, где, собственно, и описан метод. В п. 3.3 описаны вихри, отобранные для анализа, удовлетворяющие условиям, сформулированным в п. 2.2.1, что и должно было быть отражено в названии.

9. На рис. 3.4 показана временная развертка термохалинных аномалий в ядре вихря по данным буя Арго. Как можно объяснить ослабление или даже исчезновение аномалий в некоторые периоды времени?

10. Таблица 4.1. Следовало уточнить, что параметры приведены для каждого фрагмента треков вихрей.

11. Формула 4.1. Не обсуждается, чем определяется параметр ϵ .
12. Подзаголовки пунктов внутри 5.1 не имеют номеров.
13. Рис.5.10. Нужно пояснить, почему в начальный момент эволюции вихря (верхний рисунок) в циклоне отрицательная относительная завихренность, в антициклоне – положительная. Ожидалась обратная ситуация.
14. Не определено широко используемое понятие «ядро вихря».
15. В формулах определены не все переменные (например, формулы 2.1 – 2.4, 2.7, 2.8 и т.п.).
16. Стр. 89, внизу. «В циклоне изопикны сжимаются, а в антициклоне – раздвигаются». Неудачная формулировка.
17. Стр. 93, внизу. Ссылка «Gnevyshev et al. (2022)». Очевидно, имеется в виду «Gnevyshev et al. (2021)».
18. Стр. 101, внизу. Что такое вертикальная полуось вихря?

Заключительная часть.

Отмеченные недостатки не снижают значимости диссертационной работы, в которой проведен разносторонний анализ агульсовых вихрей на основе разных видов данных, дополняющих друг друга, и выполнены количественные оценки характеристик этих вихрей. Сильной стороной работы является обсуждение теоретических представлений о механизмах формирования, движения и трансформации вихрей. Количественные оценки основаны на данных всего о шести вихрях, для которых удалось совместить характеристики по спутниковым данным и по данным буев Арго, что позволило оценить вертикальную структуру вихрей. Однако для этого были проанализированы сотни вихрей за длительное время, поскольку спутниковые данные, позволившие эти вихри выделить, доступны с 1993 г., а данные буев Арго с 1999 г.

Таким образом, диссертационная работа Малышевой А.А. представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится новое решение актуальных задач, важных в научном и практическом планах. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.6.17 – Океанология. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискательница, Малышева Алина Анатольевна, достойна присуждения искомой ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Диссертация обсуждалась на заседании семинара отдела общей океанологии ТОИ ДВО РАН 15 мая 2024 г., отзыв обсуждался на заседании семинара 22 июля 2024 г.

Отзыв составила:

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории физической океанологии ТОИ ДВО РАН Трусенкова Ольга Олеговна.

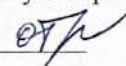


Трусенкова О.О.

22 июля 2024 г.

Я, Трусенкова Ольга Олеговна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«03» сентября 2024 г.



Подпись

Сведения об организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Фактический адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43.

Тел.: +7 (423) 231-1400

Сайт: www.poi.dvo.ru.